

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA
FONSECA
ENGENHARIA MECÂNICA**

Thiago Mendes Barbosa

**Estudo de aumento de performance em balanças de pesagem de borracha em
ambiente industrial**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**RIO DE JANEIRO
2023**

Thiago Mendes Barbosa

Estudo de aumento de performance em balanças de pesagem de borracha em ambiente industrial

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca.

Orientador: Prof. Dr. Lais Amaral Alves

Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Ali Guimarães

**RIO DE JANEIRO
2023**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

B238 Barbosa, Thiago Mendes
Estudo de aumento de performance em balanças de pesagem de
borracha em ambiente industrial / Thiago Mendes Barbosa. —
2023.
106f. : il.(algumas color). ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2023.
Bibliografia : f. 103-106
Orientadora Lais Amaral Alves
Coorientador: Alexandre Ali Guimarães

1. Engenharia mecânica. 2. Six sigma (Padrão de controle de
qualidade). 3. Controle de processo. 4. Processos de fabricação. 5.
Controle pneumático. I. Alves, Lais Amaral. (Orient.). II. Guimarães,
Alexandre Ali (Coorient.). III. Título.

CDD 621

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e irmão por todo apoio e incentivo durante os anos de dedicação para a realização do curso de Engenharia Mecânica e pela compreensão de minha ausência durante a realização deste trabalho.

Aos professores orientadores Lais Amaral e Alexandre Guimarães pelas correções, ensinamentos e paciência durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas de curso, em especial ao Bernardo Berlandez, Pedro Luiz e Raphaella Avellar, com quem convivi durante os últimos anos de graduação.

RESUMO

BARBOSA, Thiago. **Estudo de aumento de performance em balanças de pesagem de borracha em ambiente industrial.** 2023. 104 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca. Rio de Janeiro, 2023.

Este trabalho busca apresentar a implementação da metodologia Lean Seis Sigma em um ambiente industrial, destacando seu método de realização e suas vantagens para a obtenção dos resultados. Para isso, foi realizada uma revisão dos fundamentos das metodologias Lean, Seis Sigma e Lean Seis Sigma, abordando suas filosofias, objetivos, indicadores de desempenho e as ferramentas utilizadas. Essa dissertação apresenta a implementação de um projeto Lean Seis Sigma a cerca do processo de fabricação de compostos de borracha em uma renomada indústria de artigos pneumáticos. Para a realização do projeto, recorreu-se a estruturação DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) para a priorização dos principais efeitos e suas respectivas causas raízes que impactam negativamente o desempenho da fábrica. Neste trabalho foram realizadas todas as etapas da estrutura DMAIC, desde a definição do problema, medição dos efeitos, análise dos resultados, identificação das causas raízes, implementação das ações de melhoria até o controle dos resultados alcançados. O trabalho teve como objetivo reduzir as perdas de disponibilidade devido a divergência de peso ou dosagem longa das Balanças de Borracha de 1,79% para 1,40% durante o ano de 2022 permitindo um ganho financeiro de 148 mil reais anuais para a empresa devido a internalização da produção e diminuição da compra do composto de borracha de outras empresas. Com isso, foram identificadas as causas raízes das perdas de eficiência do Circuito para a Balança de Borracha 3 devido a um ponto de degradação do circuito de tapetes que causava encravação da borracha na estrutura. Em relação a Balança de Borracha 2 foi identificado que o tempo de ciclo da pesagem era superior ao tempo de fabricação do Misturador Interno. O projeto abordado é enquadrado como um típico projeto Lean Seis Sigma, com uma robusta etapa de medição e análise, implementação de ações simples utilizando recursos internos da empresa sem a necessidade de grandes investimentos e com período de realização inferior a 12 meses.

Palavras-chave: Lean Seis Sigma. Melhoria de Processo. DMAIC. Pneumáticos.

ABSTRACT

BARBOSA, Thiago. Study of performance increase in rubber weighing scales in an industrial environment. 2023. 104 pages. Trabalho de Conclusão de Curso - Federal Center of Technological Education – Rio de Janeiro, 2023.

This work seeks to present the implementation of the Lean Six Sigma methodology in an industrial environment, highlighting its implementation method and its advantages for obtaining results. For this, a review of the fundamentals of Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma methodologies was carried out, addressing their philosophies, objectives, performance indicators and the tools used. This dissertation presents the implementation of a Lean Six Sigma project about the manufacturing process of rubber compounds in a renowned industry of pneumatic articles. To carry out the project, the DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) structure was used to prioritize the main effects and their respective root causes that negatively impact the performance of the factory. In this work, all the steps of the DMAIC structure were carried out, from the definition of the problem, measurement of the effects, analysis of the results, identification of the root causes, implementation of the improvement actions to the control of the achieved results. The objective of the work was to reduce availability losses due to weight divergence or long dosage of Rubber Scales from 1.79% to 1.40% during the year 2022, allowing a financial gain of 148 thousand reais per year for the company due to the internalization of production and the reduction in the purchase of rubber compound from other companies. With this, the root causes of the circuit efficiency losses for the Rubber Scale 3 were identified due to a degradation point of the carpet circuit that caused rubber jamming in the structure. Regarding Rubber Scale 2, it was identified that the weighing cycle time was longer than the manufacturing time of the Internal Mixer. The project addressed is framed as a typical Lean Six Sigma project, with a robust measurement and analysis stage, implementation of simple actions using internal company resources without the need for large investments and with an implementation period of less than 12 months.

Keywords: Lean Six Sigma. Processes Improvement. DMAIC. Tires.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Cálculo da Eficiência Global do Equipamento (OEE) | 25 |
| Figura 2 – Cálculo do Índice de Disponibilidade..... | 25 |
| Figura 3 – Exemplo de Ferramentas Data Dor. (A) Gráfico de Dispersão. (B) Cartas “Multi-Vari”..... | 27 |
| Figura 4 – Processo de vulcanização da borracha..... | 35 |
| Figura 5 – Processo de fabricação de pneus | 38 |
| Figura 6 – Esquematização de um Misturador Interno (Banbury)..... | 39 |
| Figura 7 – Representação do processo de calandragem do composto de borracha com componente de reforço | 41 |
| Figura 8 – SIPOC da unidade de fabricação A..... | 45 |
| Figura 9 – Detalhamento das Perdas de Disponibilidade por Ineficiências do processo..... | 46 |
| Figura 10 – Detalhamento das Perdas por Divergência de Peso ou Dosagem Longa por máquina. (A) Distribuída pelo percentual da perda de disponibilidade devido Divergência de Peso ou Dosagem Longa. (B) Distribuído pela perda de disponibilidade da Unidade de Fabricação A..... | 48 |
| Figura 11 – Perímetro do projeto Lean Seis Sigma na Unidade de Fabricação | 50 |
| Figura 12 – Contrato de Trabalho | 52 |
| Figura 13 – Relação entre a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa e massa produzida detalhado por máquina..... | 54 |
| Figura 14 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto de borracha | 55 |
| Figura 15 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto de borracha com exclusão da 25348X10 | 56 |
| Figura 16 – Relação entre a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa e massa produzida detalhado por produto com exclusão da 25348X10 | 57 |
| Figura 17 – Interrupção prevista no Circuito de Abastecimento de Borracha da Balança de Borracha 2 devido ao abastecimento de Containers..... | 58 |
| Figura 18 – Proporção das perdas de disponibilidade na Balança de Borracha 2 com interrupções previstas e não previstas. (A) Em relação a quantidade de eventos. (B) Em relação ao tempo total de indisponibilidade. | 59 |
| Figura 19 – BoxPlot das perdas de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 2..... | 60 |
| Figura 20 – Distribuição da média de perda de disponibilidade em relação a carga fabricada..... | 61 |
| Figura 21 – Histograma tempo de pesagem da Balança de Borracha 2..... | 63 |
| Figura 22 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto na Balança de Borracha 3..... | 64 |
| Figura 23 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa a cada 500 pedaços pesagens detalhado por composto na Balança de Borracha 3 | 64 |

| | |
|---|----|
| Figura 24 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto na Balança de Borracha 1 | 67 |
| Figura 25 – Relação entre a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 1 e a massa produzida | 67 |
| Figura 26 – Distribuição da ocupação por hora para o colaborador VC durante produção do composto 25348X10 | 69 |
| Figura 27 –Crítica da ocupação do colaborador VC com o remanejamento das atividades | 70 |
| Figura 28 – Evolução do tempo de adianto de abastecimento de borracha no VC2 durante fabricação do produto 25348X10 e distribuição das perdas de disponibilidade..... | 71 |
| Figura 29 – Detalhamento do tempo realizado por etapa para uma pesagem na balança de Borracha 2 | 72 |
| Figura 30 – Detalhamento do tempo proposto por etapa na Balança de Borracha 2 reduzindo o tempo de Dosagem da Balança | 74 |
| Figura 31 – Detalhamento do tempo proposto por etapa na Balança de Borracha 2 realizando o processo de transporte em simultâneo com nova pesagem | 75 |
| Figura 32 – Detalhamento do circuito de transporte da Balança de Borracha 3..... | 78 |
| Figura 33 – Estrutura de interseção dos Tapetes de Elevação 36 e 37. (A) Apontamento da Degradação da Estrutura. (B) Encravação da Borracha na estrutura causada pela degradação..... | 79 |
| Figura 34 – Análise da produção do composto 22175X05 e perda de disponibilidade na Balança de Borracha 1 | 80 |
| Figura 35 – Análise da perda de disponibilidade na Balança de Borracha 1 da produção realizada no 11º dia do período de análise para o composto 22175X05... | 81 |
| Figura 36 – Representação do evento de borracha colada na Balança de Borracha 1 | 81 |
| Figura 37 – Representação da Matriz de Esforço e Impacto das ações de implementação | 83 |
| Figura 38 – Representação do tempo por etapa na Balança de Borracha 2 com a implementação da modificação dos parâmetros | 86 |
| Figura 39 – Histograma tempo de pesagem da Balança de Borracha 2 após modificação dos parâmetros | 87 |
| Figura 40 – Representação dos cenários de fabricação do composto 25348X10..... | 88 |
| Figura 41 – Representação dos tempos de Espera e perda de disponibilidade na Balança de Borracha 2 com os diferentes cenários de fabricação | 89 |
| Figura 42 – Evolução da perda de disponibilidade pela massa produzida detalhada pelas ações implementadas na BB2..... | 90 |
| Figura 43 – Representação de duas borrachas sintéticas coladas na estrutura | 90 |
| Figura 44 – Substituição da Estrutura TE36/37 | 91 |
| Figura 45 – Evolução da perda de disponibilidade pela massa produzida detalhada pelas ações implementadas na BB3..... | 92 |
| Figura 46 – Acompanhamento da evolução da perda de disponibilidade por produção durante o projeto para a BB2..... | 93 |

| | |
|---|----|
| Figura 47 – Acompanhamento da evolução da perda de disponibilidade por produção durante o projeto para a BB3 | 93 |
| Figura 48 – Carta de controle I-AM da perda de disponibilidade na BB2 por produção analisado por semana (A) Durante início do projeto (B) Após última implementação. | 94 |
| Figura 49 – Carta de controle I-AM da perda de disponibilidade na BB3 por produção analisado por semana (A) Durante início do projeto (B) Após última implementação. | 96 |
| | |
| Quadro 1 – Matriz GUT | 28 |
| Quadro 2 – Representação da escala de trabalho na unidade de fabricação | 43 |
| Quadro 3 – Dados de abastecimento do composto 25348X10 | 58 |
| Quadro 4 – Tempo de Pesagem da Balança de Borracha 3 utilizando 16 pedaços de Borracha | 65 |
| Quadro 5 – Quantidade de pedaços utilizados, tempo de fabricação e tipo de Borracha detalhado por Composto de Borracha | 66 |
| Quadro 6 – Detalhamento das atividades realizadas para pesagem da Balança de Borracha 3 | 73 |
| Quadro 7 – Detalhamento das atividades realizadas para pesagem da Balança de Borracha 3 | 77 |
| Quadro 8 – Representação da Matriz de Prioridade das causas com as perdas de disponibilidade..... | 82 |
| Quadro 9 – Priorização das Ações por meio da Matriz GUT..... | 85 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Níveis de qualidade e defeitos do Seis Sigma | 20 |
| Tabela 2 – Composição típica dos compostos de borracha para uso geral de engenharia..... | 37 |
| Tabela 3 – Relação entre Tempo de Funcionamento das Máquinas e os percentuais de Perda devido Divergência de Peso ou Dosagem Longa | 53 |
| Tabela 4 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 2 caracterizado por quantidade de carga produzida | 62 |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1.1 OBJETIVO | 12 |
| 1.2 ESTRUTURA | 12 |
| 2 LEAN SEIS-SIGMA..... | 14 |
| 2.1 METODOLOGIA LEAN..... | 14 |
| 2.1.1 Fundamentos do Lean..... | 14 |
| 2.1.2 Fluxo de Valor..... | 15 |
| 2.1.3 Identificação dos Desperdícios..... | 16 |
| 2.2 METODOLOGIA SEIS SIGMA | 19 |
| 2.2.1 Fundamentos do Seis Sigma | 20 |
| 2.3 INTEGRAÇÃO DO LEAN SEIS-SIGMA | 21 |
| 2.3.1 Estrutura DMAIC..... | 21 |
| 2.3.2 Etapas Projeto Lean Seis Sigma..... | 22 |
| 3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO BORRACHA..... | 31 |
| 3.1 MATERIAIS UTILIZADOS | 33 |
| 3.1.1 Elastômeros..... | 33 |
| 3.1.2 Plasficantes e Peptizantes | 34 |
| 3.1.3 Agentes Vulcanizantes | 34 |
| 3.1.4 Aceleradores e ativadores..... | 36 |
| 3.1.5 Cargas | 36 |
| 3.1.6 Composição da Borracha | 36 |
| 3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO..... | 37 |
| 3.2.1 Processo de Mastigação | 38 |
| 3.2.2 Processo de Mistura | 39 |
| 3.2.3 Processo de Modelagem..... | 40 |
| 3.2.4 Processo de Moldagem e cura..... | 41 |
| 4 METODOLOGIA..... | 42 |
| 5 DESENVOLVIMENTO..... | 43 |
| 5.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA..... | 44 |
| 5.1.1 Perímetro do projeto | 49 |
| 5.1.2 Objetivo e Contrato de Trabalho | 50 |
| 5.2 MEDIÇÃO DAS INEFICIÊNCIAS | 52 |
| 5.2.1 Balança de Borracha 2 | 57 |
| 5.2.2 Balança de Borracha 3 | 63 |
| 5.2.3 Balança de Borracha 1 | 66 |
| 5.3 ANÁLISE DAS INEFICIÊNCIAS | 68 |
| 5.3.1 Balança de Borracha 2 | 68 |
| 5.3.2 Balança de Borracha 3 | 76 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.3 Balança de Borracha 1 | 80 |
| 5.3.4 Priorização das Causas..... | 82 |
| 5.4 IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS | 83 |
| 5.5 CONTROLE | 92 |
| 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 98 |
| APÊNDICE A - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ESPINHA DE PEIXE) PARA A BALANÇA DE BORRACHA 2 | 99 |
| APÊNDICE B - DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ESPINHA DE PEIXE) PARA A BALANÇA DE BORRACHA 3 | 101 |
| REFERÊNCIAS | 103 |

1 INTRODUÇÃO

O processo de globalização cada vez mais presente nos diferentes setores e mercados ao redor do planeta acentua o aumento de opções de oferta e concorrência, que atrelado a constante busca dos clientes por produtos de maior qualidade e menor preço criam um forte cenário de competição entre as empresas. A fim de se destacar no mercado mundial as empresas necessitam buscar ou desenvolver metodologias de gestão para melhorar seus processos e produtos e conseqüentemente se manterem cada vez mais competitivas para atrair o cliente.

Durante o desenvolvimento das fábricas e indústrias nas últimas décadas diante desse cenário de competição global uma ampla gama de metodologias e ferramentas de melhorias de qualidade e produtividade foram elaboradas. Dentre essas metodologias, se destacam o Lean Manufacture, desenvolvido no Japão pela Toyota Motor Company na década de 1940 e o Seis Sigma, desenvolvido pela Motorola na década de 1980.

As práticas do Lean Manufacturing correspondem ao um conjunto de ações contínuas que difunde para toda a empresa o conceito de valor sob o ponto de vista do cliente e tem como finalidade eliminar desperdícios e construir um fluxo contínuo puxado pelo cliente (Womack, 1996). Por outro lado, o Seis sigma é uma metodologia baseada na maximização dos resultados, suas práticas são orientadas pelo respeito aos requisitos dos clientes e baseadas unicamente nos fatos e análises estatísticas que contribuam na criação de melhorias e reinvenção dos processos da empresa (Scheller, 2014).

Dessa forma, tendo em vista a busca constante das empresas por metodologias de melhoria contínua com o pensamento de produzir o máximo de resultado ou valor com o mínimo de recurso o presente trabalho realizará uma abordagem otimizada da combinação das duas metodologias destacadas, o Lean Manufacturing e o Seis Sigma, denominada de Lean Seis Sigma em uma renomada indústria de pneumáticos no estado do Rio de Janeiro.

A metodologia Lean Seis Sigma é adotada por uma ampla variedade de organizações distribuídas nos mais diferentes setores, desde indústrias até a área de serviços, visto que essa nova metodologia se baseia tanto no pensamento enxuto originado da metodologia Lean quanto na estruturação do Seis Sigma. Com foco exclusivo no cliente, a metodologia Lean Seis Sigma é baseada em fatos

mensuráveis com a utilização de ferramentas consolidadas na literatura que permitem identificar e mitigar as causas raízes do problema abordado, assim como de seus respectivos efeitos (Mani, 2008).

Segundo George (2004) a junção do Lean com o Seis Sigma forma uma das mais eficazes práticas de melhoria de processo disponível para as empresas, entretanto, tal sucesso depende do compromisso tanto dos colaboradores quanto das lideranças da empresa para que seja realizado uma visão panorâmica da organização para compreender o processo em sua totalidade e identificar a real raiz do problema e não apenas seus efeitos.

A empresa na qual será realizado a metodologia abordada no presente trabalho está presente por mais de 50 anos no mercado nacional de pneumáticos e atua desde o processo inicial de fabricação do composto de borracha, material esse resultante da mistura dos inúmeros componentes que compõem o pneu conforme abordados nos capítulos posteriores, até a fabricação do pneu acabado para a utilização em carros, caminhões e máquinas agrícolas. A empresa apresenta uma cultura organizacional voltada para o progresso, dotada de processos robustos e bem estruturados com mais de 10 anos de utilização dos conceitos de manufatura enxuta da metodologia Lean com foco prioritário na gestão do estoque e redução do lead time.

Devido ao aumento de demanda dos pneus pelos clientes a empresa abordada no projeto constatou uma disparidade significativa entre a capacidade atingível de suas unidades de fabricação. Enquanto o setor de moldagem que efetivamente entrega o produto final ao cliente é capaz entregar a demanda, o setor responsável pelo processo de mistura (processo intermediário) possui uma demanda superior à sua capacidade máxima atingível, tornando cada vez mais necessário a compra de compostos de borracha de empresas parceiras a um custo superior e com menor qualidade.

Por consequência, o presente trabalho apresenta como fator motivador a demanda crescente da empresa analisada por estudos de melhoria contínua que busquem aumentar a eficiência do processo de produção do composto de borracha para diminuir os custos gerados pela compra da principal matéria prima utilizada no pneu e dessa forma aumentar os ganhos financeiros da empresa.

1.1 OBJETIVO

O presente trabalho apresenta como objetivo a análise e a implementação de melhorias de processo baseados na metodologia Lean Seis Sigma em um processo de introdução e pesagem de elastômeros (borracha natural, borracha plastificada e borracha sintética) em um conjunto de tapetes e balanças que introduzem a quantidade necessária do material no misturador interno durante o processo de mistura do composto de borracha em uma indústria de pneumáticos.

Durante o trabalho será explorado o fluxo da estrutura DMAIC, com a metodologia Lean Seis Sigma, e a utilização de suas respectivas ferramentas para explorar os dados captados do posto gargalo da fábrica (misturador interno) e entender a interação homem-máquina durante o processo para identificar as principais pistas de melhoria e viabilizar a sua implementação.

1.2 ESTRUTURA

O presente trabalho está dividido em Introdução no qual é abordado um contexto inicial da proposta do trabalho, a justificativa, relevância tanto para a empresa na qual foi realizado o projeto quanto para o meio acadêmico, assim como seu objetivo geral e específico.

Por se tratar de um tema recente tanto em termos acadêmicos quanto empresarial, no capítulo referente a metodologia Lean Seis Sigma será abordado uma análise teórica da metodologia de Melhoria de processo com a apresentação separada tanto do modelo Lean quanto do Seis-Sigma abordando suas filosofias, estruturas e ferramentas para realizar uma abordagem detalhada de sua combinação e como ela é difundida nas organizações.

O capítulo de processo de fabricação da borracha é apresentado um panorama histórico do sinuoso processo de evolução da indústria de artigos pneumáticos desde a sua primeira utilização em veículos até os dias atuais. No capítulo, será apresentado os principais constituintes de um pneu e suas funções para a criação do material base dos pneus, os compostos de borracha. Por fim, é apresentado as principais etapas para a transformação da borracha no pneu popularmente conhecido pela sociedade.

No capítulo de desenvolvimento, será construído a estrutura do trabalho, no qual é abordada detalhadamente as fases da estrutura DMAIC do processo inicial da transformação da borracha a fim de gerar melhorias representativas para o processo de fabricação indústria. Nesse capítulo será abordado desde a definição do perímetro do projeto, com a importância das balanças de borracha para a ineficiência do processo, a medição e análise dos dados, a identificação das causas raízes e, por fim, as propostas, implementações e acompanhamento das melhorias necessárias para alcançar o resultado esperado pela empresa.

Durante as considerações finais do trabalho é apresentado as conclusões do resultado para o meio acadêmico e a importância do referido trabalho para o desenvolvimento tanto acadêmico quanto profissional do aluno por utilizar uma metodologia comum e amplamente difundido nas faculdades e universidades do país, porém ainda em fase de desenvolvimento em empresas tradicionais brasileiras.

2 LEAN SEIS-SIGMA

A metodologia Lean Seis Sigma é uma metodologia gerada a partir da necessidade das empresas em criar uma abordagem otimizada para alcançar os resultados esperados pela organização, seja ela melhoria de custo, aumento de produção ou a satisfação do cliente, a partir da implementação de uma combinação do foco do processo DMAIC e a profundidade estatística do Seis Sigma, atrelado a eliminação das perdas de ineficiência e a valorização do fluxo do Lean Manufacturing.

O Lean Seis Sigma trata-se de uma estratégia de melhoria efetiva em projetos com prazos delimitados focada em atingir resultados concretos e factíveis que buscam tornar um determinado processo mais eficiente e conseqüentemente aumentar o seu valor para o cliente. A metodologia tem como finalidade a eliminação de problemas crônicos da empresa e dos desperdícios dos processos atrelados a eles.

A seguir será apresentado uma revisão das metodologias Lean Manufacturing e Seis Sigma que serão comumente utilizados durante a elaboração de um projeto baseado no Lean Seis Sigma e como as duas metodologias são relacionadas para se alcançar o resultado esperado.

2.1 METODOLOGIA LEAN

A metodologia Lean é uma metodologia de melhoria contínua desenvolvida a partir do estudo do Sistema de Produção Toyota com o princípio básico de priorizar o valor ao cliente a partir da eliminação de desperdícios e a realização de um fluxo produtivo puxado pela necessidade do cliente.

2.1.1 Fundamentos do Lean

O Lean Manufacturing surgiu a partir do desenvolvimento produtivo da Toyota com o conceito da produção enxuta que alterou o método de produção das empresas. As empresas migraram do processo produtivo focado na produção em massa para um método focado ao combate incessante aos desperdícios. O conceito

de produção enxuta surgiu após a observação de Eiji Toyouda entre uma diferença de realidade entre os Estados Unidos que produziam em massa produtos de alto valor agregado e o Japão marcado por uma baixa demanda e grande diversificação de produtos devido principalmente as dificuldades econômicas do país após a Segunda Guerra Mundial.

Devido à necessidade do período, o Sistema de Produção Toyota, caracterizado pela Produção enxuta, representava para a época produzir mais com menos. Ou seja, as empresas buscavam: Produzir em menos tempo, menos espaço, com menos esforço, menos equipamento e menos material, mas a melhor qualidade possível e produzindo somente o necessário para o cliente, sem quaisquer desperdício ou retrabalho (Pansonato, 2020).

Segundo Daychoum (2011), o Lean é uma filosofia de gerenciamento que procura otimizar o processo produtivo de forma a atender a real necessidade do cliente no menor tempo possível com a mais alta qualidade e menor custo ao mesmo tempo em que aumenta a motivação dos colaboradores. O Lean permite integrar a manufatura com todos os setores que compõem a empresa a partir de um mesmo objetivo comum, a satisfação do cliente.

Os princípios do Sistema de Produção Toyota que originou a metodologia Lean Manufacturing são difundidos rapidamente pelas empresas, aumentando cada vez mais seu número de usuários, principalmente por oferece uma metodologia simples e acessível, mas com resultados constantes e perenes que buscam a redução dos custos de produção e conseqüentemente o aumento dos lucros da empresa, tornando-a mais competitiva.

2.1.2 Fluxo de Valor

A fim de permitir a criação de uma produção enxuta, as empresas devem definir o que é realmente importante para o cliente, expressa pelo valor, que pode ser um produto ou serviço com um determinado preço ou custo para os clientes. Para Ward (2007), o valor é determinado pelo cliente de acordo com suas expectativas e necessidades, então para ele um processo criará um determinado valor quando for capaz de adicionar elementos que sejam reconhecidos como valiosos e necessários para um cliente.

O fluxo de valor é usado no Lean Manufacturing como o conceito básico para a definição de como as atividades se alinham e funcionam juntas para produzir um determinado produto ou serviço. Ou seja, o fluxo de valor é constituído pela sequência lógica das atividades que quando combinadas formam o processo de criação de valor na forma de um produto ou serviço, compreendida desde o fornecimento da matéria prima, passando pela transformação do produto até a entrega ao cliente. Entretanto, o fluxo de qualquer processo consiste das atividades com ou sem valor agregado, como variações, defeitos, estoques e retrabalhos.

Nesse sentido, a caracterização do fluxo de valor é de extrema importância para identificar e eliminar os desperdícios e criar o processo ideal para a empresa a fim de maximizar seus lucros. No contexto de valor determinado pelo cliente, o Lean apresenta princípios fundamentais para a criação de uma produção enxuta, que são: determinar o valor, identificar o fluxo de valor, criar fluxos contínuos, criar uma produção puxada e sempre buscar a perfeição.

2.1.3 Identificação dos Desperdícios

Para a criação de uma produção enxuta, a metodologia Lean Manufacturing busca de forma contínua a identificação dos desperdícios, denominado de *muda*, em um fluxo de produção. Sayer (2015) reforça que o desperdício é caracterizado por atividades que não agregam valor e estão infiltrados no fluxo de produção, para ele “o desperdício está por toda a volta, todo dia e em todo lugar”.

A fim de facilitar a identificação e eliminação do muda, Taiichi Ohno, considerado como o principal responsável pela criação do Sistema de Produção Toyota, instituiu sete formas de desperdícios, separadas em: Excesso de Produção, Espera, Transporte ou Movimento desnecessário, Processo inadequado, Excesso de estoque e defeitos.

As sete formas de desperdício são explicadas detalhadamente como:

- Excesso de Produção: Produção superior ao que é consumido pelo cliente. A produção excessiva aumenta a necessidade de armazenamento, mão de obra, transporte e compra antecipada de matéria prima, evidenciando em muitos casos uma capacidade excessiva da instalação ou fabricação excessiva de produtos defeituosos.

- Espera: Também considerada como atraso é considerada a todo momento que um trabalhador está ocioso, sendo um desperdício tanto da mão de obra quanto dos meios de produção. A espera pode ser originada por interrupções no processo, carga de trabalho desequilibrada, colaboradores ineficientes, equipamento insuficiente ou lentos e escassez de matéria-prima.
- Transporte: O transporte é a movimentação do produto ou da matéria-prima. O transporte é considerado um desperdício por não realizar qualquer tipo de transformação do produto, além de utilizarem espaço da infraestrutura, demandar tempo para locomoção e criar oportunidade para geração de eventuais danos no produto. É desejável que tanto a frequência do transporte quanto o tamanho do percurso sejam reduzidas por não trazer valor agregado ao cliente.
- Processo inadequado: Considerado como processamento em excesso de um produto. Representa um conglomerado de processos complexos e inadequados, constituídos de tarefas excessivas ou desnecessárias que podem originar aumento da taxa de defeitos ou retrabalho.
- Excesso de estoque: Qualquer tipo de estoque é considerado um desperdício por não agregar valor ao fluxo e produzir um acúmulo desnecessário de recursos físicos que ocupam espaço e geram custo extra para a empresa. Produtos e matérias-primas estocadas em excesso estão sujeitas a danos, obsolescência que consequentemente podem originar problemas de qualidade.
- Defeitos: Os defeitos ou erros são originados sempre que ocorre algum problema de qualidade no produto, não atendendo as especificações desejada pelo cliente. Qualquer processo ou transformação que não é realizado na forma correta na primeira vez (bom na primeira vez) é considerado um defeito e é fonte de desperdício por necessitar de tempo e mão de obra. A ocorrência de defeitos aumenta consideravelmente o custo de inspeção para detectar produtos defeituosos, além de ser uma fonte de reclamações dos clientes (Dias, 2011).

Dessa forma, a fim de priorizar as ações e delimitar os desperdícios que se tornam exigências do processo produtivo, o *mura* é dividido em duas classificações fundamentais (Sayer 2015):

- Mura Tipo-1: Atividades que não agregam valor, mas são consideradas necessárias para o processo da empresa, tornando-se de difícil eliminação.
- Mura Tipo-2: Atividades que não agregam valor e não são estritamente necessárias para a empresa, sendo os primeiros desperdícios a serem eliminados.

A fim de identificar e eliminar completamente as fontes de desperdício em um processo produtivo a metodologia Lean Manufacturing apresenta uma filosofia robusta e ferramentas que permitem a criação de ações corretivas que tornam o fluxo contínuo e padronizado.

2.1.4 Essência e ferramentas do Lean

Dessa forma, o conceito do Lean Manufacturing visa transformar as empresas em uma organização enxuta com a eliminação de desperdícios em toda a cadeia de valor da empresa, alinhando as atividades de forma ideal para obter a flexibilidade desejada pela empresa e torná-la capaz de responder efetivamente a necessidade do cliente.

O *kaizen*, palavra japonesa traduzida como melhoramento é uma filosofia de melhoria contínua utilizada na metodologia Lean para encorajar a mudança progressiva em todas as áreas de uma organização. O kaizen pode ser considerado como a essência fundamental do Lean e possui como objetivo eliminar os desperdícios no fluxo de valor.

Kaizen significa não deixar nenhum dia passar sem que alguma forma de melhoramento seja feita. Se a filosofia ocidental pode ser resumida a “se não está quebrado, não conserte”, por outro lado, o kaizen diz que, mesmo que não esteja quebrado, aquilo pode – e deve – ser melhorado. Faça algo melhor e o torne melhor. (SAYER; WILLIAMS, 2015, p. 199).

A filosofia kaizen do Lean Manufacturing utiliza ferramentas e técnicas para a melhoria da organização da área de trabalho como o 5S, o trabalho padronizado e o dimensionamento correto do equipamento. Assim como a produção equilibrada com

a demanda do cliente e a redução do estoque com a utilização do *kanban* e a entrega do produto no momento certo com *just-in-time*.

Considerando a implementação da filosofia *kaizen* em uma empresa, as observações abaixo são de extrema importância para a introdução da metodologia Lean para os colaboradores da organização:

- Abandone ideias pré-concebidas e questione hábitos atuais;
- Ao invés de explicar por que não realizar algo, pense em como fazê-lo, use os problemas para progredir;
- Implemente ideias de melhoria o mais rápido possível;
- Não procure ser perfeito agora, melhore 1% a cada dia;
- Corrija os erros ou defeitos de imediato;
- Identifique as causas raízes e só depois proponha soluções;
- Utilize ideias de pessoas diferentes ao invés de esperar pela ideia genial de apenas uma pessoa;
- Tente primeiro em um piloto, avalie e depois implemente;
- Mantenha a mudança constante.

2.2 METODOLOGIA SEIS SIGMA

A metodologia Seis Sigma é uma metodologia voltada para a identificação e controle da variância nos processos que afetam tanto o desempenho quanto o lucro das empresas. Nessa metodologia, profissionais treinados denominados Black Belts (Faixas Pretas) seguem uma metodologia padronizada para analisar a causa raiz dos problemas presentes na empresa e implementar ações corretivas para minimizar ou eliminá-los (Sayer, 2015).

De forma geral, os projetos Black Belts utilizando a metodologia Seis Sigma têm um prazo bem definido, diferente do Lean que é baseado em uma filosofia contínua de aprimoramento, com duração aproximada de quatro a seis meses e que geram ganhos mensuráveis para as empresas que o adotam.

2.2.1 Fundamentos do Seis Sigma

A metodologia Seis Sigma surgiu na Motorola em 1987 como uma metodologia interna de qualidade a partir dos conceitos e métodos propostos por Bill Smith, cujo principal objetivo era a fabricação de produtos de qualidade superior e com menores preços em relação a seus concorrentes. Com a metodologia Seis Sigma a Motorola desenvolveu um padrão de medição de defeitos, baseados em defeitos por milhão de oportunidades, além de uma sequência definida de passos para alcançar o nível mais alto de gestão de qualidade, o seis sigma.

Werkema (2012) reforça que o Seis Sigma é uma estratégia gerencial disciplinada e quantitativa, evidenciando-o como “a metodologia da qualidade para o século 21”. Para ela, o objetivo do Seis Sigma é aumentar drasticamente a lucratividade das empresas utilizando melhorias de qualidade dos produtos e processos a fim de alcançar a redução máxima dos defeitos, com apenas 3,4 defeitos para cada milhão de operações realizadas.

Na tabela 1 é possível observar o padrão seis sigma para a incidência de defeitos e seus custos associados devido a não qualidade em relação ao percentual do faturamento da empresa:

Tabela 1 – Níveis de qualidade e defeitos do Seis Sigma

| Nível de qualidade | Defeito por milhão (ppm) | Custo de não qualidade |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Dois Sigma | 308.537 | Não se aplica |
| Três Sigma | 66.807 | 25 a 40% |
| Quatro Sigma | 6.210 | 15 a 25% |
| Cinco Sigma | 233 | 5 a 15% |
| Seis Sigma | 3.4 | < 1% |

Fonte: Criando a Cultura Lean Seis Sigma – Werkema (2012)

Nesse contexto, as grandes empresas buscam na metodologia Seis Sigma transformar o padrão atual quatro sigma, em que as empresas usualmente operam, para o nível seis sigma, com 99,99966% de conformidade entre seus produtos e processos.

2.3 INTEGRAÇÃO DO LEAN SEIS-SIGMA

Nos últimos 15 anos tem-se observado em um contexto mundial um crescente interesse das empresas e dos acadêmicos em relação ao Lean Seis Sigma, aplicando a metodologia como uma abordagem integrada de duas metodologias de melhoria separadas, o Lean Manufacturing e o Seis Sigma. Para Werkema (2012) a integração de ambas as metodologias é natural, pois as empresas buscam os pontos fortes de ambas. Enquanto o Seis Sigma não foca diretamente na melhoria do processo e a redução do *lead time*, não existindo uma ligação clara entre a qualidade e a velocidade. O Lean não apresenta um método estruturado e profundo de soluções de problemas, constituindo-se apenas de uma filosofia (Endler, 2016).

De forma geral, o Lean Seis Sigma atua principalmente na eliminação de desperdícios e redução das variações dos processos seguindo a estrutura DMAIC para atingir a satisfação do cliente. A metodologia foca na melhoria de processos e no melhor desempenho financeiro para a empresa, assim como todos os benefícios gerados pela junção de ambas as práticas relativos à qualidade, custo, redução do lead time e a satisfação dos clientes. Entretanto, para uma implementação bem sucedida do Lean Seis Sigma é de fundamental importância que todas as etapas da estrutura seja realizada de forma eficiente, pois para qualquer iniciativa de melhoria em uma organização é fundamental que o projeto esteja em concordância aos objetivos estratégicos da empresa, e caso não estejam de acordo, qualquer iniciativa será de difícil implementação e os resultados obtidos a curto prazo serão perdidos ao longo do tempo, retornando o problema original.

2.3.1 Estrutura DMAIC

O principal elemento da metodologia Lean Seis Sigma é a constituição de equipes para a execução de projetos que contribuam para o alcance das metas necessárias para a empresa ou organização, utilizando como base o método DMAIC.

O DMAIC é um método estruturado e organizado baseado no Seis Sigma e representa uma sequência de passos necessários para a execução do projeto. As

etapas que correspondem o DMAIC são: Definir (*Define*), Medir (*Measure*), Analisar (*Analyze*), Implementar (*Improve*) e Controlar (*Control*). Segundo George (2004), essa sequência permite levar a equipe do projeto de forma lógica desde a definição de um problema até a implementação de soluções para corrigir tanto o problema quanto as suas causas raízes e, por fim, o estabelecimento de soluções práticas que garantam os resultados esperados com perenidade e robustez.

O DMAIC é uma ferramenta de extrema importância para os integrantes da equipe encontrarem soluções permanentes para os problemas mais complexos ou repetitivos de uma organização, visto que, como os projetos Lean Seis Sigma tratam de problemas rebuscados, suas causas e possíveis soluções não são óbvias. Para se encontrar a raiz do problema será necessário uma equipe multidisciplinar e experientes no setor, além de possuir uma coleta profunda dos dados para identificar padrões que forneçam as pistas necessária para a determinação das causas.

A estrutura do DMAIC funciona em uma ampla gama de projetos, entretanto, sempre envolverá tempo e custos para sua realização. Logo, deve-se levar em consideração os custos de se utilizar a ferramenta e os seus benefícios gerados.

2.3.2 Etapas Projeto Lean Seis Sigma

A etapa Definir corresponde a primeira etapa da sequência DMAIC. Para Waddick (2002), é durante a fase de Definir que os objetivos do projeto e as entregas para os clientes internos e externos são estabelecidos. George (2004) reforça que o principal objetivo da etapa Definir é esclarecer os objetivos e os valores do projeto. Na etapa, a equipe deve utilizar as ferramentas necessárias para avaliar o impacto das diferentes oportunidades de valor do fluxo de valor dos processos, os recursos necessários, tanto financeiro quanto de mão-de-obra alocada, e o design do processo de solução dos problemas.

O *Work Charter* é a principal ferramenta utilizada na etapa de Definir, sendo esse um documento que representa uma espécie de contrato firmado entre a equipe responsável pelo desenvolvimento do projeto e os gestores da empresa. Dessa forma, o *Work Charter* deve ser o registro dos passos iniciais do trabalho,

apresentando o que é esperado em relação a equipe e definir os objetivos desejados pela empresa para o projeto (Werkema, 2012).

Além disso, é durante a realização da fase Definir em que se deve realizar a criação do SIPOC. Considerado como um mapa de alto nível do processo, o SIPOC serve para definir o principal processo que será envolvido no projeto e consequentemente facilitar a visualização das premissas necessárias para o trabalho (Werkema, 2012). A origem do nome SIPOC resulta das iniciais em inglês dos elementos presentes no diagrama, conforme o detalhamento abaixo:

- Fornecedores: São as entidades (pessoa, processo ou empresa) que fornecem aquilo que é utilizado no processo, seja informações, formulários ou materiais. Além disso, o fornecedor pode ser externo, como uma outra empresa, ou interno, constituído de um processo ou setor anterior da mesma empresa.
- Entrada: Constitui de tudo aquilo que é destinado ao processo pelos fornecedores, podendo a entrada ser um tipo de informação, formulários, materiais ou matéria prima.
- Processo: É a sequência das atividades ou os passos utilizados para transformar a entrada.
- Saída: Representa o produto, serviço ou as informações que são direcionadas aos clientes do processo.
- Clientes: É a entidade que recebe a saída do processo, podendo ser eles internos ou externos.

Seguindo para a fase de Medição, a equipe do projeto deve realizar a coleta dos dados relacionados aos problemas abordados durante a fase Definir. É na fase de Medir que utiliza-se as ferramentas de coleta de dados, mapeamento de processos e análise de Pareto.

Para Warkema (2012), é durante a fase de Medir que o problema deverá ser refinado e focalizado pela equipe do projeto, devendo responder questões como qual resultado deve ser medido para obter os dados úteis para a definição das causas raízes e quais os focos prioritários do problema, reforçando que durante o Medir o problema inicial abordado no projeto poderá ser subdividido em problemas

menores ou mais específicos que tornem as soluções mais fáceis de serem identificados e implementados.

Neste ponto, a equipe deverá decidir entre as alternativas de coletar novos dados ou usar dados já existentes na empresa. Frequentemente, os dados já existentes não são confiáveis, o que implica a necessidade de coleta de novos dados. No entanto, antes da coleta de novos dados ou da análise dos dados já existentes, a forma de estratificação para o problema deverá ser identificada. A Estratificação consiste na observação do problema sob diferentes aspectos, isto é, no agrupamento dos dados sob vários pontos de vista, de modo a focalizar o problema. (WERKEMA, 2012, p. 92).

Dessa forma, a estratificação dos problemas identificados durante a etapa inicial da fase Medir pode ser realizada por:

- Tempo: O período em que ocorre o problema é relevante (manhã, tarde ou noite) ou uma distribuição ao da semana, mês ou ano.
- Local: Quando os dados coletados são diferentes em regiões, fabricas, linhas de produção ou máquinas diferentes.
- Tipo: Os dados variam de acordo com fornecedor do produto, da embalagem ou do próprio produto que foi fabricado.
- Sintoma: Nesse caso, os resultados dos dados variam de acordo com o tipo do defeito, como troca de dimensão, falta de matéria prima ou manutenção de máquina.
- Indivíduo: O operador ou a equipe de colaboradores presentes durante a fabricação causam diferença nos dados coletados.

Então, após a definição da estratificação dos dados a equipe do projeto deverá elaborar o plano de coleta de dados, construindo folhas de verificação para ser registrado os dados e definir estratégias de amostragem para tornar a coleta mais eficaz. Para em seguida apresentar os dados coletados utilizando de diagramas de Pareto, histogramas, índices de capacidade e métricas, gráfico sequencial ou cartas de controle.

A Eficiência Global do Equipamento (OEE) é um indicador amplamente utilizado durante a fase de Medição do Lean Seis Sigma que mede as perdas de eficiência de um determinado equipamento. O OEE é calculado pela multiplicação

de três fatores: Disponibilidade, Eficiência e Qualidade, conforme observado na Figura 1.

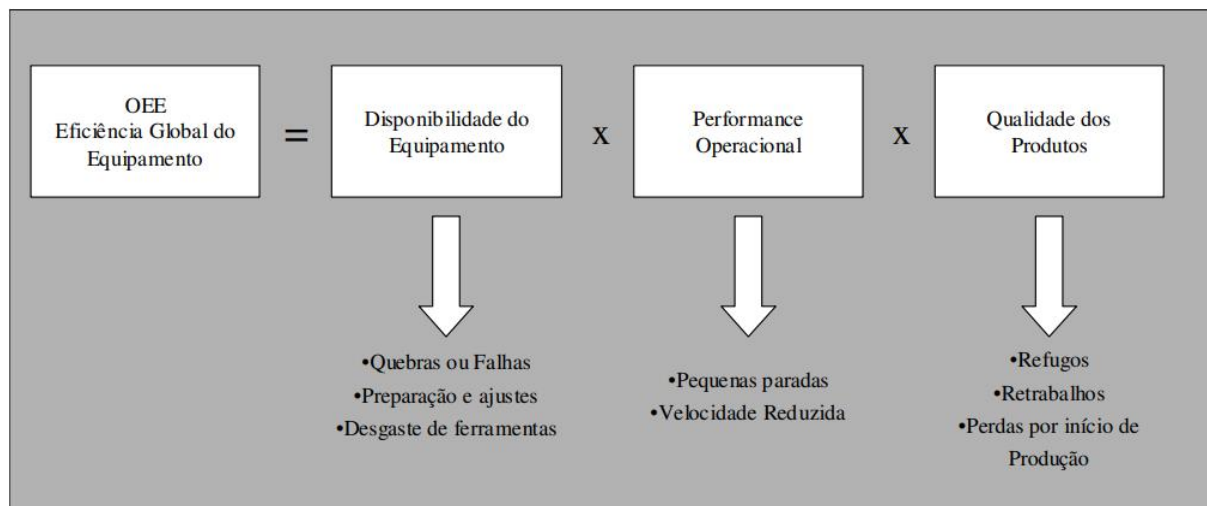


Figura 1 – Cálculo da Eficiência Global do Equipamento (OEE)
Fonte: Kuniyoshi (2006)

Nesse trabalho, será utilizado o índice de disponibilidade do OEE, calculado conforme a Figura 2, para identificar as perdas de eficiência da fábrica que são declaradas pelos colaboradores e que causam as paradas não planejadas do misturador interno. Para esse trabalho, seguindo orientação da empresa estudada será considerada Paradas não Planejadas toda parada de máquina que ocorram no período em que é previsto a presença dos colaboradores na fábrica.

Logo, o índice de disponibilidade corresponde a relação entre o tempo em que o equipamento, geralmente o equipamento gargalo da fábrica, realmente esteve em operação e o tempo disponível para a fabricação (Moraes, 2004).

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{\text{Tempo Total Programado} - \text{Paradas Planejadas} - \text{Paradas não Planejadas}}{\text{Tempo Total Programado} - \text{Paradas Planejadas}} \times 100$$

Figura 2 – Cálculo do Índice de Disponibilidade
Fonte: Moraes (2004)

Na etapa de Análise, a equipe examina os dados coletados e os mapas de processo para caracterizar a natureza e a extensão do defeito. É durante a fase de Análise que se identificam os intervalos de tempo e a definição das ferramentas que

devem ser utilizadas para a solução do problema, assim como sua ordem de prioridade. A partir do conhecimento detalhado do problema durante a etapa de análise será possível estabelecer as bases para se construir as melhorias e soluções durante as fases posteriores de Implementar e Controle que abordarão as causas reais do problema.

A descoberta das causas raízes dos problemas é realizada durante a fase de Análise utilizando a verificação do processo que gera o problema abordado no projeto (*Process Door*) ou dos dados registrados do problema (*Data Door*).

O *Process Door* permite tanto melhorar o entendimento do fluxo quanto a identificação de soluções para a redução do tempo de ciclo e dos custos do processo, utilizando ferramentas como Fluxograma, Mapa de Processo, Mapa de Produto e Análise do Tempo de Ciclo (Werkema, 2012).

Dentre as ferramentas utilizadas no *Process Door*, o fluxograma é uma ferramenta gráfica utilizada para facilitar a visualização das etapas e características de um processo. Por outro lado, o Mapa de Processo é uma ferramenta que documenta todo o conhecimento existente sobre um processo. O Mapa de Processo descreve os limites do processo produtivo, descreve as principais atividades/tarefas, os parâmetros do produto final, produtos intermediários e das etapas do processo, enquanto o Mapa de Produto é uma ferramenta usada para simplificar a descrição funcional de um produto para auxiliar na organização da relação entre os seus componentes. A Análise do Tempo de Ciclo é utilizada para avaliar o tempo gasto na produção de um produto, nessa análise o tempo de cada atividade é medido a partir da entrada inicial da atividade até o momento em que a saída desejada da atividade é realizada.

Durante o *Data Door* são analisados os dados do processo oriundos da fase Medir, e tem por objetivo descobrir pistas ou indicações sobre as causas raízes do problema, correlacionando os diferentes fatores que induzem nas variações dos resultados coletados. Nesse caso, as ferramentas mais indicadas são a Avaliação de Sistemas de Medição e Inspeção, Histograma, Boxplot, Estratificação, Diagrama de Dispersão e Cartas “Multi-Vari” (Werkema, 2012).

As técnicas de Avaliação de Sistema de Medição e Inspeção permitem a análise dos dados históricos de uma empresa a partir da quantificação do grau de confiabilidade dos dados gerados pelos sistemas de medição, inspeção e registro utilizados e sendo divididos em Baixa acurácia, quando os dados apresentam um

alto vício ou baixa precisão, ou alta acurácia quando os dados apresentam baixo vício e alta precisão.

O Histograma é um gráfico de barras que dispõe as informações de modo que sejam possíveis a visualização da forma de distribuição dos dados e sua dispersão. A comparação do dado representado em um histograma com os limites de especificação permite avaliar se um processo está centrado no valor nominal e se é necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade desse processo. Por outro lado, o Boxplot é um gráfico que apresenta simultaneamente várias características de um conjunto de dados como locação, dispersão, simetria ou assimetria e observações discrepantes (*outliers*) e com isso obter informações úteis para o projeto.

O gráfico de dispersão é um gráfico utilizado para visualizar o relacionamento existente entre duas variáveis que podem ser desde duas causas, uma causa e um efeito ou até dois efeitos de um processo, enquanto as Cartas “Multi-Vari” permitem a visualização entre diferentes fontes de variação atuantes sobre um resultado a ser analisado, como pode-se observar na Figura 3.

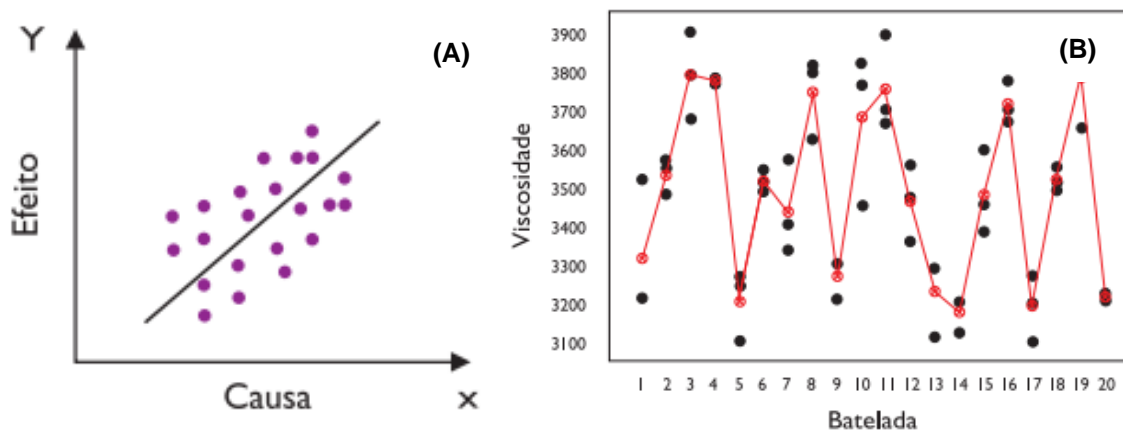


Figura 3 – Exemplo de Ferramentas Data Dor. (A) Gráfico de Dispersão. (B) Cartas “Multi-Vari”.
Fonte: Werkema (2012)

Durante a transição entre as fases de Análise e de Implementação podem ser aplicados ferramentas como o Diagrama de Causa e Efeito, a Matriz de Priorização, a Matriz GUT e o Diagrama de Afinidades para conduzir a equipe na melhor forma de eliminar os defeitos de qualidade e melhorar a velocidade do processo a fim de permitir uma produção mais enxuta conforme a filosofia Lean.

O Diagrama de Causa e Efeito é utilizado para apresentar a relação entre um resultado de um processo (Efeito) e os fatores que possam afetar o resultado. Durante a criação do Diagrama de causa e efeito é realizado um brainstorming em conjunto da equipe e com isso são identificadas muitas causas potenciais para o problema. Porém, como não é viável a coleta de dados de todas as causas potenciais é realizada a priorização por meio de uma Matriz de Priorização que correlaciona as saídas do processo às entradas.

A Matriz GUT assim como a Matriz de Priorização pode ser utilizada para a priorização das causas raízes ou ações durante a realização de um projeto. Para uma realização ideal da Matriz de GUT é necessário primeiro qualificar os problemas, e na sequência atribuir uma pontuação correspondente as categorias da Matriz. Daychoum (2011) define os fatores Gravidade, Urgência e Tendência para a matriz e atribui para cada uma delas uma pontuação numa escala de 1 a 5, conforme Quadro 1. Para ele, a Gravidade representa a não resolução do problema e o impacto gerado, principalmente em relação aos resultados e processos que surgirão. Por outro lado, a Urgência é a variável relacionada com a disponibilidade de tempo necessário para resolução da solução e a Tendência contempla a evolução do problema com o tempo.

| Ponto | G | U | T |
|-------|---|--|--|
| | Gravidade Consequência se nada for feito | Urgência Prazo para tomada de decisão | Tendência Proporção do problema no Futuro |
| 5 | Os prejuízos ou dificuldade são extremamente graves | É necessária uma ação imediata. | Se nada for feito, o agravamento da situação será imediato |
| 4 | Muito Graves | Com alguma urgência | Vai piorar em curto prazo |
| 3 | Graves | O mais cedo possível | Vai piorar em médio prazo |
| 2 | Pouco Graves | Pode esperar um pouco | Vai piorar em longo prazo |
| 1 | Sem Gravidade | Não tem pressa | Não vai piorar ou pode até melhorar |

Quadro 1 – Matriz GUT
Fonte: Daychoum (2011)

O Diagrama de Afinidades é a representação gráfica dos diferentes grupos de dados que têm entre si alguma relação natural que os distingue dos demais. Essa ferramenta permite a estruturação de um tema complexo em uma forma mais clara

de visualização por meio da organização das informações por grupos cujos elementos possuem afinidade.

Durante a implementação das ações são aplicadas ferramentas de gerenciamento visual como o 5S que busca melhorar o ambiente de trabalho dos colaboradores, baseando-se nos princípios descritos abaixo:

- SEIRI (Senso de Utilização): Separar o que é necessário do que não é necessário.
- SEITON (Senso de Organização): Determinar a forma como os itens são acondicionados e sua utilização. Ou seja, sempre busque guardar os materiais ou ferramentais mais usados mais próximos do posto de trabalho e os menos utilizados mais afastados do posto.
- SEISO (Senso de Limpeza): Manter o ambiente de trabalho limpo.
- SEIKETSU (Senso de Padronização): Padronizar os benefícios dos três primeiros sentidos.
- SHITSUKE (Senso de Auto Disciplina): garantir consciência individual e manter a perenidade das melhorias dos sentidos anteriores com a prática contínua dos mesmos.

É na etapa de implementação que todas as ideias e dados levantados nas etapas anteriores devem ser refinadas e combinadas para originarem as soluções e melhorias potenciais para o alcance das metas e objetivos engajados durante o projeto. E no final, após todas as identificações das melhorias, montar um planejamento dos planos de ação de acordo com as prioridades e os recursos disponíveis.

Somente quando o processo atinge o nível exigido de qualidade durante a etapa de Implementação são utilizadas as ferramentas da fase de Controle para garantir que os benefícios e soluções criadas durante a fase de Implementação sejam perenes para a empresa. Com a utilização das ferramentas da etapa de Controle é confeccionado sistemas de monitoramento, medição e retorno para a detecção e correção das variações da tendência de forma imediata, além da criação de métodos a prova de erros com a utilização do *pokayoke* para impossibilitar que o processo crie defeitos.

Os gráficos utilizados durante a fase de controle têm como objetivo identificar se existe alguma variação no processo após a implementação das ações. A estrutura da carta de controle é desenvolvida através de valores do atributo da qualidade que está sendo controlado, uma linha média (LM), um limite superior de controle (LSC) e um limite inferior de controle (LIC), sendo os dois últimos posicionados acima e abaixo da linha média respectivamente (Trivellato, 2010).

A Carta de Controle I-AM (Individual com amplitude Móveis) é uma ferramenta da etapa de controle utilizada para monitorar a média e a variação do processo estudado quando se possui dados contínuos a partir de observações individuais (Ferreira, 2018). Logo, esta carta de controle tem o propósito de monitorar a estabilidade do processo ao longo do tempo para garantir que o problema inicial foi corrigido e o processo permanece estável.

De forma geral, Werkema (2012) resume as etapas do DMAIC em que durante a etapa Definir a equipe do projeto deve estabelecer com precisão o escopo do projeto, na fase de Medir é necessário determinar a localização e o foco do problema, com o Analisar a equipe deve determinar as causas de cada problema prioritário. Na fase de Implementar, deve-se propor, avaliar e implementar as soluções para cada problema definido como prioritário e, por fim, durante a realização da fase de controle é necessário garantir que todas as metas definidas sejam alcançadas e mantidas a longo prazo.

3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO BORRACHA

As borrachas ou elastômeros são materiais indispensáveis à indústria moderna e estão presentes em diversos produtos na sociedade. Os elastômeros são materiais poliméricos que possuem características viscoelásticas únicas, como a rápida capacidade de retornar a sua forma e dimensão originais quando submetidas a esforços ou deformações (Norma ISO 1382, 1996).

As borrachas eram utilizadas para diversas finalidades por povos indígenas antes do descobrimento da América, sendo relatado por exploradores espanhóis no início do século XVI. Durante sua exploração na América, P. d'Anghieria relatou o avistamento de índios mexicanos jogarem com bolas elásticas (Costa, 2003). Após esse primeiro avistamento, a borracha começou a ser utilizada na Europa como apagador pelo inglês Magellan. A palavra borracha foi originada em uma das primeiras aplicações úteis desse elastômero, denominado pelos portugueses quando utilizada na fabricação de botijas quando substituíram as chamadas borrachas de couro em que os portugueses utilizavam no transporte de vinhos (Clavelario, 2012).

A utilização da borracha em ambiente industrial começou no princípio do século XIX devido ao desenvolvimento do processo de vulcanização, originária da mitologia romana por referenciar a Vulcano, o deus do fogo. A vulcanização é utilizada para descrever o processo em que a borracha gera uma rede de ligação cruzada quando em conjunto com o enxofre, fazendo com que as cadeias polimeria se unam para originar um material fixo, não moldável, porém elástico e flexível (Ferro, 1979).

A vulcanização foi de suma importância para a indústria, pois as borrachas sólidas naturais não vulcanizadas apresentavam difícil trababilidade, além de tornarem-se moles e pegajosas, aderindo-se umas às outras, quando submetidos ao calor. Quando sobre influência do frio, as peças fabricadas em borracha não vulcanizada tornavam-se gradativamente mais duras, rígidas e quebradiças, desenvolvendo odores desagradáveis após um curto período, fatores esses que desinteressavam os consumidores sobre a utilização dos artefatos de borracha (Costa, 2003).

Dessa forma, o processo de vulcanização da borracha foi desenvolvido pelo Americano Charles Goodyear em 1841 que provocou uma melhora significativa nas propriedades físico-químicas do material em relação à borracha não vulcanizada, visto que tanto o amolecimento da borracha quando exposta ao calor quanto seu aumento da fragilidade em temperaturas baixas foi resolvido (Costa, 2003).

A partir de diversas descobertas na área da vulcanização e de compostos de borracha, como a utilização de aceleradores orgânicos e a incorporação de Negro de Fumo e Sílica que diminuem o tempo de cura e melhoram as propriedades físicas do produto, além da otimização do processo produtivo da borracha vulcanizada tornou-se cada vez mais relevante a utilização da borracha na indústria, sobretudo para a produção de pneumáticos.

A descoberta da borracha sintética, iniciada pelos estudos de Michael Faraday em 1826, é considerada como um dos principais marcos da produção de compostos de borracha, tendo em vista a insegurança do abastecimento da borracha natural e a política econômica da segunda guerra mundial (Silva, 2013).

Impulsionado com o desenvolvimento do processo de vulcanização e da borracha sintética a indústria de pneus passaram por sucessivos avanços tecnológicos e dotados de empresas amplamente renomadas e conhecidos por toda sociedade.

Quanto aos avanços tecnológicos, tem-se a criação dos pneus com câmara de ar pelos irmãos Michelin que possibilitou aos automóveis maior desempenho nas estradas e melhor potência que se tornou o responsável pela evolução dos veículos automotores, enquanto a Continental fabricou os primeiros pneus com desenho de banda de rodagem. Por fim, em 1910 a BF Goodrich Company aumentou a vida útil dos pneus acrescentando em sua composição além da borracha natural e sintética o negro de fumo que confere maior resistência ao envelhecimento e desgaste, consolidando a cor característica dos pneus atuais (Silva e Castro, 2017).

Os gastos com pneus, junto com o combustível e a manutenção mecânica, representam os três maiores custos de uma empresa de transporte. A cada dia as empresas do setor de pneumáticos buscam incansavelmente o desenvolvimento dos pneus a fim de proporcionar maior segurança, conforto e durabilidade com a adição de componentes que aumentem a qualidade e o custo-benefício dos pneus. Entretanto, com a adição dos componentes em busca de melhorias tornam o pneu mais caros devido a maior complexidade do processo de fabricação e a maior

diversidade das substâncias e dos compostos de borracha que compõem os pneus (Silva e Castro, 2017).

Os sucessivos processos de mistura em um processo de fabricação de artefatos pneumáticos constituem de uma etapa fundamental na produção de compostos de borracha, determinando a processabilidade, características de cura e homogeneidade dos produtos. Durante o processo de mistura dos compostos no misturador interno é desejado que seja realizada a incorporação, a distribuição, a dispersão dos ingredientes e a redução da viscosidade dos compostos.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

A confecção de um composto de borracha consiste na combinação de elastômeros e aditivos a fim de obter uma mistura homogênea que proporcione as propriedades físico-mecânicas, dinâmicas e químicas necessárias ao composto de borracha. Dessa forma, cada ingrediente presente no composto apresenta funções específicas que impactam em suas propriedades físicas, processabilidade e preço conforme detalhado abaixo:

3.1.1 Elastômeros

Os elastômeros, também denominados de borrachas são os principais constituintes dos artigos pneumáticos e são classificadas como borracha natural, a partir da coagulação do látex obtido da seringueira, e sintética, obtida a partir da destilação fracionada do petróleo.

A seringueira, cientificamente chamada de *hevea brasiliensis*, é a única fonte comercial da borracha natural de onde é retirado o látex através de cortes realizados no caule da árvore para a extração da seiva (Hofmann, 1989). O líquido extraído é submetido a um processo de secagem e coagulação a partir do aquecimento e em seguida misturado com outras substâncias químicas para a formação de um polímero, denominada de borracha natural.

A borracha sintética, baseada na tecnologia originada na Alemanha, apresenta como matéria-prima o gás butadieno, que pode ser extraído do petróleo ou do álcool. Quando em repouso o gás se polimeriza, assim como ocorre com a

borracha natural, fazendo com que as cadeias poliméricas se entrelacem para a formação do polímero, porém, em comparação com a borracha natural, apresenta menor resistência a variação de calor que origina trincas com mudanças drásticas de temperatura (Clavelario, 2012).

A borracha sintética pode ser utilizada como um substituto parcial da borracha natural, por possuir melhor resistência ao envelhecimento e ao aparecimento de rachaduras. Entretanto, a borracha natural em comparação com a sintética é constituída de cadeias moleculares maiores e estrutura estável, representando um menor desgaste com o atrito e maior elasticidade. Tais características únicas tornam a borracha natural o único elastômero utilizado para a fabricação de pneus de cargas e aviões, que demandam maior esforço durante sua utilização.

3.1.2 Plasficientes e Peptizantes

Os agentes plastificantes são considerados como aditivos de processamento, visto que permitem alterar as propriedades físicas do composto para diminuir a dureza, aumentar a flexibilidade e melhorar as características da borracha a baixa temperatura. Os plastificantes atuam sobre a borracha como solventes ou diluentes e permitem o inchamento da borracha para permitir a incorporação mais rápida dos componentes (Grison, 2010).

Os peptizantes são componentes cujo objetivo é catalisar a quebra das macromoléculas do elastômero durante a etapa de mastigação para reduzir o tempo de peptização (plastificação) e a viscosidade do elastômero, assim como os plastificantes, porém sem comprometer seriamente as propriedades do elastômero para facilitar a incorporação dos demais componentes, reduzindo o tempo de mistura e conseqüentemente diminui o consumo de energia e aumenta a produtividade da fábrica (Oliveira, 2010).

3.1.3 Agentes Vulcanizantes

O processo de vulcanização, também denominado de cura, consiste em unificar quimicamente as cadeias poliméricas individuais, por meio de ligações

cruzadas para a obtenção de uma rede tridimensional elástica que confere as propriedades desejadas nos produtos pneumáticos (Oliveira, 2010).

Dessa forma, os agentes de vulcanização são as substâncias que promovem as ligações cruzadas entre as macromoléculas dos elastômeros, como observado na Figura 4. Antes do processo de vulcanização, as moléculas de borracha podem deslizar umas sobre as outras, porém com a vulcanização, os átomos de enxofre substituem os hidrogênios formando pontes que ligam as moléculas umas às outras (Gent, 2012).

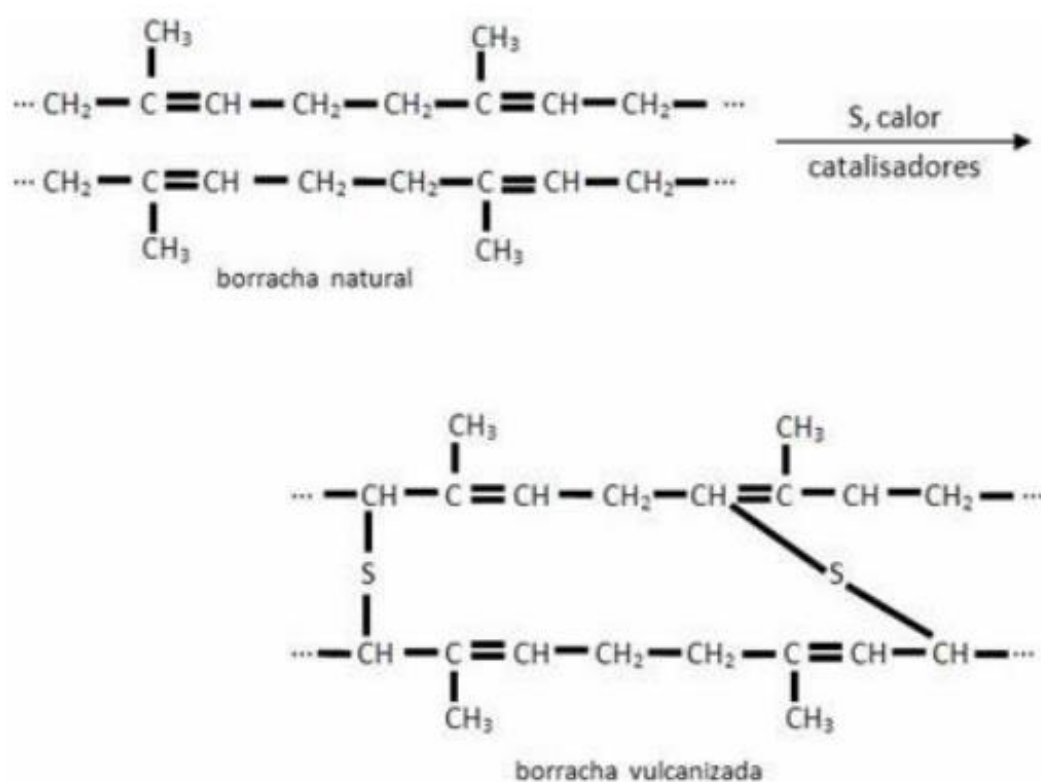


Figura 4 – Processo de vulcanização da borracha
Fonte: Santos (2013)

O enxofre é o agente de vulcanização mais empregado nos compostos de borracha e sua quantidade influencia expressivamente as propriedades do composto. Quanto maior a quantidade de enxofre no composto maior será a dureza e menor será a elasticidade da borracha, para a fabricação de pneus são utilizadas de 1,5 a até 5% de enxofre em sua composição (Santos, 2013).

3.1.4 Aceleradores e ativadores

Os aceleradores são componentes que em conjunto com os agentes de vulcanização permitem reduzir o tempo necessário para ser realizado a vulcanização, além de aumentar a taxa de vulcanização e conseqüentemente, melhorar as propriedades físicas do composto de borracha.

Por outro lado, os ativadores são materiais auxiliares para o processo de vulcanização, aumentando a eficácia do processo (Oliveira, 2010).

3.1.5 Cargas

A carga segundo as normas ISO são: “Ingrediente de composição sólida, normalmente adicionada em quantidades relativamente grandes, às composições de borracha ou de látex por razões técnicas ou econômicas”. Ciesielski (1999) explica que enquanto cruas as borrachas são mecanicamente resistentes, porém tornam-se fracas e quebradiças quando vulcanizadas, necessitando de cargas de reforço.

As cargas de reforço causam, além da redução do custo, um efeito de reforço no composto para aumentar sua resistência mecânica e a rigidez. Algumas cargas populares na indústria de pneumáticos são em ordem crescente de reforço o negro de fumo, sílica, argilas e carbonato de cálcio (Ciesielski, 1999).

3.1.6 Composição da Borracha

Segundo Shreve (1980), a borracha pura, tanto a natural quanto sintética, se assemelham ao ouro puro, ou seja, não possui utilidade para a indústria. As propriedades químicas desejadas, como a plasticidade, elasticidade, resistência, dureza, resistência a abrasão e impermeabilidade são obtidas a partir da mistura dos compostos citados anteriormente em uma ampla gama de combinações, denominada de formulação. Um exemplo de formulação de composto de borracha para uso geral de artigos pneumáticos pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 – Composição típica dos compostos de borracha para uso geral de engenharia

| Componentes | Parte por peso (phr) |
|--------------------|-----------------------------|
| Borracha Natural | 100 |
| Óleo de Processo | 5 |
| Ácido Esteárico | 2 |
| Negro de Fumo | 25, 50, 75 |
| Antioxidantes | 5 |
| Enxofre | 1,5 |
| Aceleradores | 1,1 |

Fonte: Engineering with Rubber – Gent (2012)

Em uma formulação de compostos de borracha, a quantidade de cada ingrediente é expressa em phr (per hundred rubber) ou, de forma menos usual, ppc (parte por cem de borracha). Na formulação, a borracha é o primeiro ingrediente, sendo expresso na quantidade de 100 phr e estando relacionado a massa utilizada de borracha, enquanto os demais componentes são quantificados, também em phr em relação aos 100 phr da borracha.

3.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Para a fabricação de artefatos pneumáticos de borracha são utilizados processos sucessivos de beneficiamento da borracha até a finalização do composto de borracha, um produto intermediário dotado de diversas formulações que após sua fabricação são moldadas e montadas para a fabricação do pneu, conforme representado na Figura 5.

Segundo Subramaniam (2002), os processos envolvidos na conversão das borrachas tanto naturais quanto sintéticas em produtos acabados são divididos em:

- Processo de Mastigação
- Processo de Mistura
- Processo de Modelagem/Formação
- Processo de Moldagem e cura

Dessa forma, será abordado abaixo cada um desses processos fundamentais para a fabricação dos produtos pneumáticos:

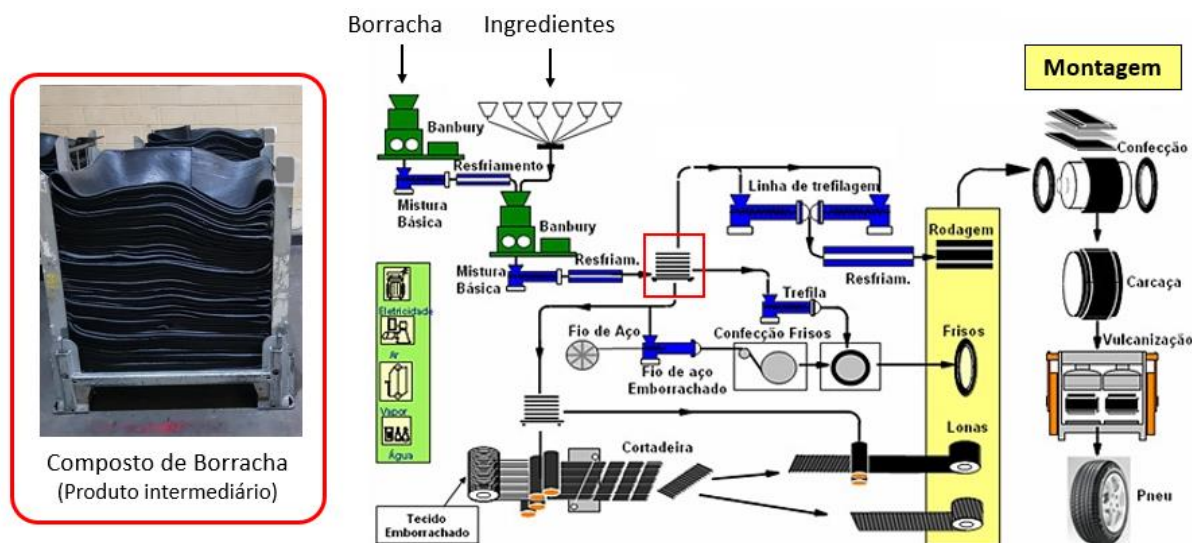


Figura 5 – Processo de fabricação de pneus
Fonte: Leão (2015)

3.2.1 Processo de Mastigação

Tendo em vista que a borracha natural utilizada na indústria de pneus como matéria prima é extremamente resistente e elástica, é necessário realizar um procedimento prévio de processamento do elastômero para adequá-lo a uma condição aceitável de maciez e flexibilidade antes da adição dos ingredientes do composto. Para a obtenção das propriedades desejadas a borracha é submetida a um tratamento mecânico em um moinho de dois rolos para ajustar gradualmente a plastificação do elastômero.

Durante a etapa de mastigação a borracha passa repetidamente entre os rolos do moinho para a alteração de suas propriedades físicas, ou seja, a borracha, comumente dura e compacta torna-se macia, perdendo a elasticidade característica da borracha para um material mais plástico. Após um período aproximado de 10 a 20 minutos as borrachas cruas formam uma faixa bastante macia e plástica que gira em conjunto com os rolos do moinho, tornando-a adequada para o recebimento dos demais componentes no processo de mistura (Subramaniam, 2002).

Dessa forma, pode-se considerar o processo de mastigação como a etapa inicial do beneficiamento da borracha, tendo como finalidade plastificar o elastômero, permitindo não só facilitar a incorporação dos ingredientes da fórmula como também

aumentar a plasticidade do composto de borracha até o valor desejado (Clavelario, 2012).

3.2.2 Processo de Mistura

O processo de mistura consiste na operação destinada a completa dispersão e incorporação dos componentes da formulação do composto, sendo considerada a etapa mais importante e complexa do processo produtivo. Para garantir uma uniformidade do composto, com a dispersão homogênea dos ingredientes, a mistura deve apresentar rigorosos requisitos técnicos como tempo de mistura, temperatura e ordem de incorporação das substâncias que caso não seja respeitado podem originar a formação de grãos, grumos ou ainda porosidade no composto, interferindo de forma significativa no produto final (Clavelario, 2012).

Existem dois tipos de misturadores, o denominado de misturador aberto, de funcionamento similar ao moinho de dois rolos, que consiste em dois rolos cilindros que se movimentam em sentidos contrários com diferentes velocidades e o misturador fechado, popularmente chamado de Banbury apresentado na Figura 6.

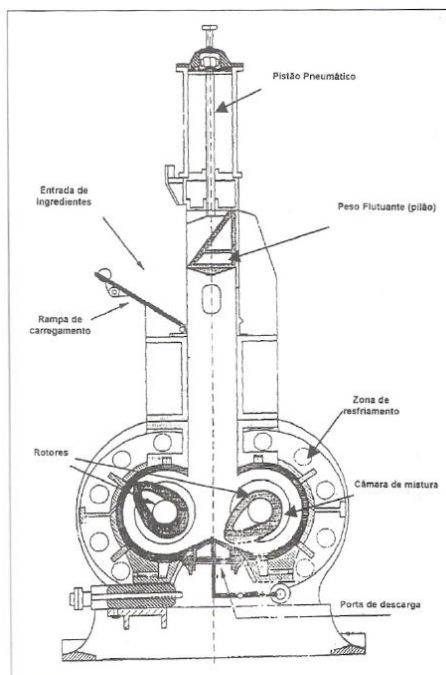


Figura 6 – Esquematização de um Misturador Interno (Banbury)
Fonte: Oliveira (2010)

Assim como os misturadores abertos, os misturadores do tipo Banbury são dotados de dois rolos, porém com características helicoidais dotados de sulcos em sua superfície que permitem a circulação do composto tanto circunferencial quanto horizontalmente em relação aos rolos. Além disso, os rolos são posicionados em uma câmara fechada permitindo que o composto seja trabalhado tanto entre os dois rotores quanto entre as paredes da câmara, estando constantemente comprimido por um pistão na parte superior do misturador (Subramaniam, 2002).

Após o processo inicial de mistura do material para a introdução dos componentes no misturador interno, o composto de borracha pode ser submetido a sucessivos processos de homogeneização em misturadores abertos para garantir tanto as propriedades físicas desejadas quanto eliminar defeitos gerados pela falta de mistura, como a presença de grãos.

3.2.3 Processo de Modelagem

O processo de extrusão é considerado na indústria de pneumáticos, assim como a calandragem, como uma das principais formas de modelagem do composto de borracha. A extrusão consiste em submeter o composto a transpassar uma matriz com um perfil determinado pelo fabricante.

Segundo Clavelario (2012), o processo de extrusão da borracha se assemelha ao processo de extrusão dos metais, pois a princípio o composto entra em uma rosca ou pistão que o empurra em direção a matriz com seção transversal inferior ao do composto para que por fim o mesmo tome a forma do perfil utilizado na matriz. Por fim o material extrudado é resfriado e em seguida armazenado para compor o pneu.

Outro processo de moldagem amplamente utilizado na indústria de pneumáticos é a calandragem, que possui como objetivo a obtenção de uma lâmina mais fina do composto ou até combinar a lâmina de borracha sobre um componente de reforço, como um material têxtil ou cordas metálicas conforme representado na Figura 7.

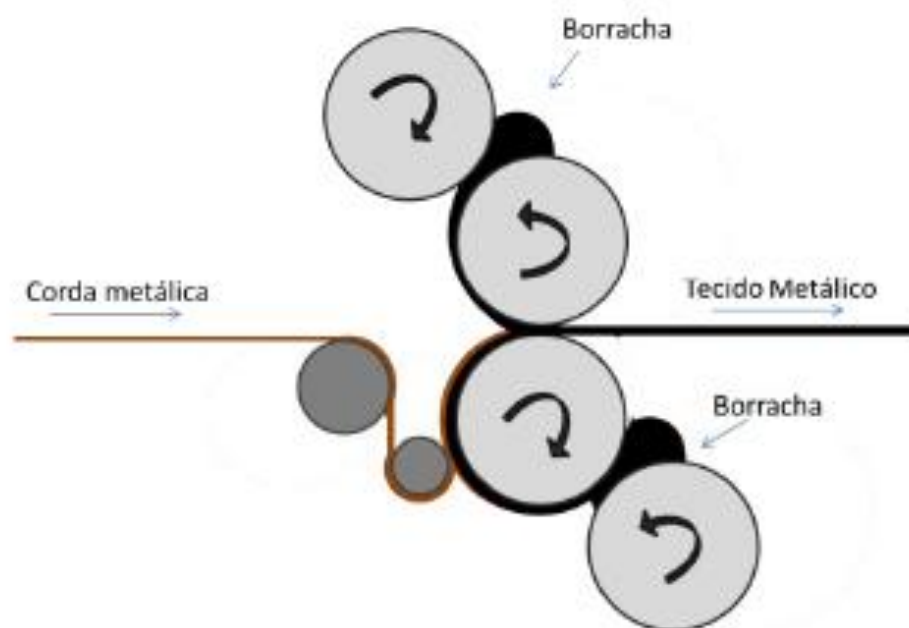


Figura 7 – Representação do processo de calandragem do composto de borracha com componente de reforço
Fonte: Rodrigues (2014)

3.2.4 Processo de Moldagem e cura

Um molde pode ser descrito de forma simplificada como duas ou mais peças de determinado material, tipicamente aço na indústria de pneumáticos, que quando encaixados formam uma cavidade que origina a forma prevista para o produto. Segundo Ciesielski (1999), a moldagem é o processo de cura mais importante, sendo nele onde a borracha não reticulada é colocada em um molde aquecido para a vulcanização do material.

Consistindo na etapa final da fabricação do pneu, o processo de moldagem consiste em introduzir as diversas gamas de compostos de borracha no molde e os componentes de reforço, como o aro e os tecidos metálicos, e submetê-los a altas temperaturas e pressões a fim de promover a reação final de vulcanização da borracha e garantir tanto a junção dos componentes quanto as dimensões desejadas do pneu pelo fabricante.

4 METODOLOGIA

Este trabalho teve como finalidade a realização de um projeto de melhoria em uma unidade de fabricação de uma renomada empresa fabricante de pneus baseado na estrutura DMAIC do Lean Seis Sigma. Durante a realização do trabalho buscou-se compreender as principais causas de perda de performance das máquinas em estudo, assim como o mapeamento do processo de fabricação e a influência de cada máquina, junto se seus respectivos motivos, que causam as paradas não previstas do misturador interno.

O projeto descrito é classificado como uma pesquisa descritiva e exploratória, visto que possui a finalidade de desenvolver os métodos de melhoria de processos característicos do Lean Seis Sigma em um ambiente industrial para criticar e propor mudanças no processo atual de fabricação.

Durante o procedimento de coleta de dados utilizou-se uma abordagem tanto quantitativa para a mensuração dos principais causadores de ineficiência do processo, como a medição dos tempos de ciclo e acompanhamento dos resultados, quanto qualitativa para a determinação das causas raízes, baseado em entrevistas com colaboradores e a expertise da equipe do projeto na busca das causas raízes do problema.

5 DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma demanda de aumento de produção de uma determinada unidade de fabricação de uma renomada empresa fabricante de artigos pneumáticos, no qual desejava-se aumentar o tempo destinado para fabricação de compostos de borracha na máquina gargalo da unidade de fabricação, ou seja, o misturador interno para consequentemente aumentar a capacidade produtiva da fábrica. Atualmente, a unidade de fabricação funciona durante 24 horas ininterruptas de fabricação com seus trabalhadores divididos em 4 equipes com regime de trabalho de 8 horas cada, conforme observado no Quadro 2, e dotados de funcionários com funções específicas para a cobertura do período destinado as refeições.

| Horário | Semana 1 | | | | | | |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado | Domingo |
| A 0h as 8h | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 2 |
| B 8h as 16h | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 |
| C 16h as 0h | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 |
| Horário | Semana 2 | | | | | | |
| | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado | Domingo |
| A 0h as 8h | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 3 | Equipe 3 |
| B 8h as 16h | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 |
| C 16h as 0h | Equipe 4 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 |
| Horário | Semana 3 | | | | | | |
| | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado | Domingo |
| A 0h as 8h | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 |
| B 8h as 16h | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 |
| C 16h as 0h | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 3 |
| Horário | Semana 4 | | | | | | |
| | Segunda | Terça | Quarta | Quinta | Sexta | Sábado | Domingo |
| A 0h as 8h | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 4 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 | Equipe 1 |
| B 8h as 16h | Equipe 1 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 | Equipe 2 |
| C 16h as 0h | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 3 | Equipe 4 | Equipe 4 |

Quadro 2 – Representação da escala de trabalho na unidade de fabricação
Fonte: Autor

Devido à indisponibilidade de aumento da abertura, tempo teórico destinado para fabricação, e conseqüentemente o aumento da capacidade produtiva da unidade de fabricação foi constatado que a única possibilidade de aumentar o tempo destinado para produção seria a diminuição do tempo de ineficiência das máquinas ou do processo que causavam a parada de produção do posto gargalo por meio de um projeto de melhoria baseado na metodologia Lean Seis Sigma a fim de identificar tanto os problemas enraizados no método de produção quanto os desperdícios do processo para assim melhorar a performance da fábrica seguindo a estrutura DMAIC.

5.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Para o conhecimento do processo de fabricação, da matéria prima utilizada e quais os produtos intermediários gerados durante a fabricação do composto de borracha foi realizado o mapeamento do SIPOC, presente na Figura 8, para a unidade de fabricação A. Dessa forma, a partir da observação do processo é possível notar que um total de 8 entradas que são adicionados simultaneamente no misturador interno para em seguida ser realizado o processo de mistura e produzir o composto de borracha.

A unidade de fabricação analisada possui três balanças destinadas para a pesagem de borracha que serão introduzidas no Misturador Interno. A Balança de Borracha 1 utilizada tanto para borrachas que sofreram o processo de plastificação antecipadamente, entregue em tamanhos predefinidos por meio de extrusão, quanto para borracha natural que é fornecida triturada em pequenos pedaços de tamanho não uniforme. A Balança de Borracha 2 é utilizada para a pesagem de placas de borracha resultante do processo de reincorporação de um produto particular de composto de borracha.

As borrachas utilizadas pela Balança de Borracha 1 e 2 são fornecidas pela Unidade de Fabricação Z. Entretanto, a borracha sintética que é pesada pela Balança de Borracha 3 é fornecida diretamente por fornecedores externos, sem quaisquer tratamentos antecipados na forma de blocos de borracha com aproximadamente 30 kg cada e divididas pelo colaborador responsável pela Balança de Borracha 3 em pedaços de 6 kg.

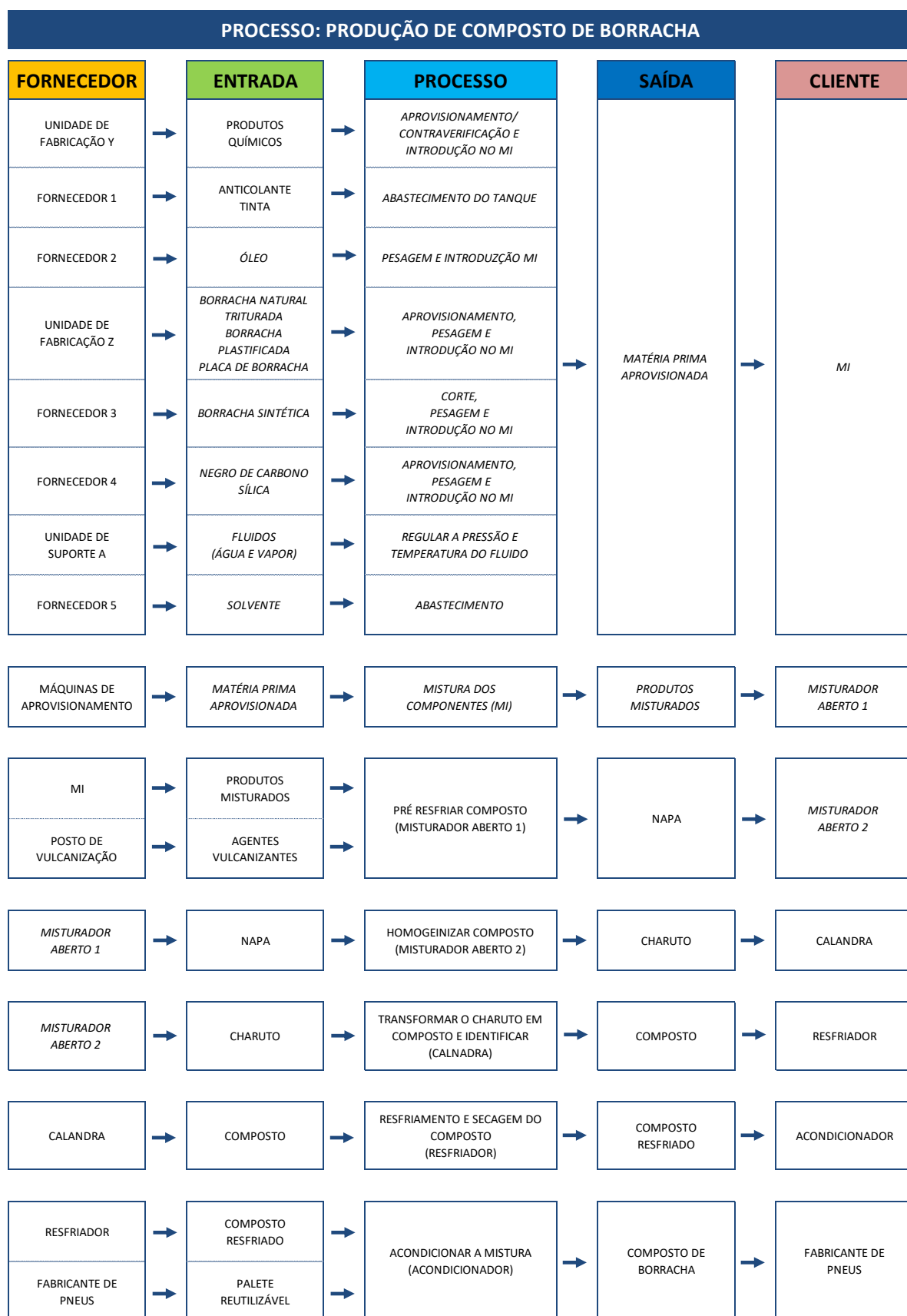


Figura 8 – SIPOC da unidade de fabricação A
Fonte: Autor

Após o processo de mistura do composto de borracha no misturador interno (Banbury) são realizados sucessivos processos de resfriamento e homogeneização em misturadores abertos para posteriormente ser conformado em uma espessura específica na calandra conforme requisitos do cliente.

Para a definição do problema relacionado ao tempo de ineficiência da Unidade de Fabricação A foi calculado o índice de disponibilidade de 64,9% para misturador interno da fábrica durante 60 dias ininterruptos de funcionamento, com o detalhamento das maiores causas de ineficiência presentes na Figura 9.

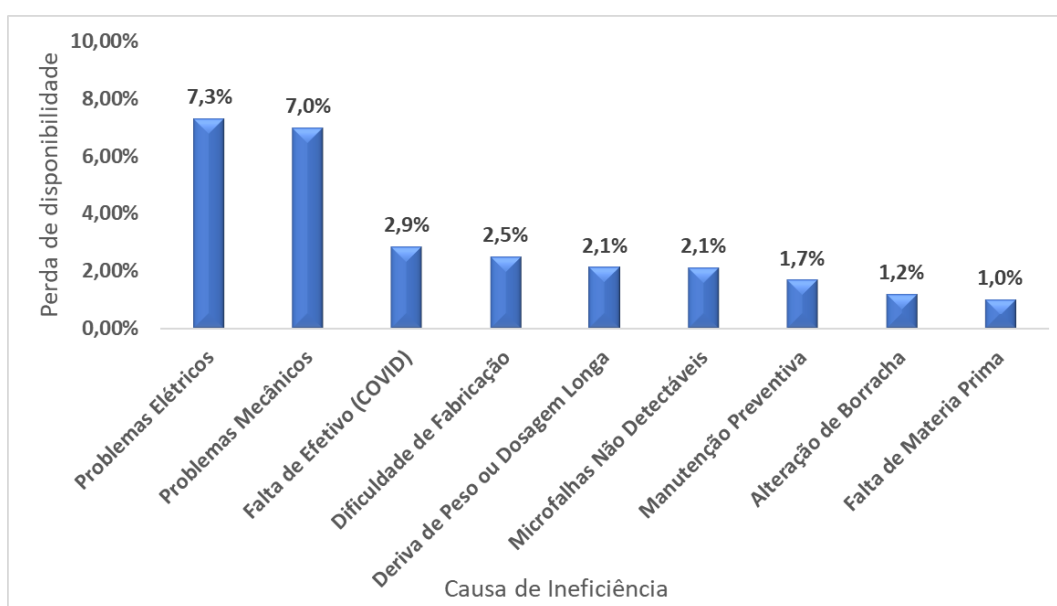


Figura 9 – Detalhamento das Perdas de Disponibilidade por Ineficiências do processo
Fonte: Autor

As causas de ineficiência do grupo de fabricação são explicadas abaixo:

- Problemas Elétricos: Paradas de máquina devido a mal funcionamento de sensores ou do sistema de automatismo da unidade de fabricação, parada de caráter pontual e tratada pelo eletricista da unidade.
- Problemas Mecânicos: Parada de máquina devido a desregulagem mecânica, degradação ou quebra de componentes físicos da unidade de fabricação, parada de caráter pontual e tratada pelo mecânico da unidade.
- Falta de Efetivo (COVID): Parada pontual da máquina devido à ausência de um colaborador, exemplo parada para refeição ou um

colaborador executando dois postos de trabalho simultaneamente, causando espera da máquina.

- Dificuldade de Fabricação: Tempo excessivo de processamento do produto devido à dificuldade de homogeneização do material ou não adequação dos parâmetros de qualidade durante o tempo teórico estipulado.
- Divergência de Peso ou Dosagem Longa: Tempo para correção do peso de determinada matéria prima devido a divergência entre o peso introduzido na balança e o peso teórico estipulado ou a ocorrência de um tempo excessivo de dosagem da matéria prima na balança.
- Microfalhas Não Detectáveis: Tempos de não fabricação do misturador interno inferiores a 1 minuto e sem causa definida.
- Alteração de Borracha: Tempo de não fabricação do misturador interno devido a alteração do tipo de composto de borracha a ser fabricado em sequência, com alteração da borracha, negro de fumo, sílica, óleo ou produto químico utilizado.

A partir das necessidades da Unidade de Fabricação A em conjunto com uma equipe multidisciplinar dotada de representantes dos eletricitas, mecânicos, qualidade e colaboradores da produção foi determinado a realização de um projeto Lean Seis Sigma para o aumento do índice de disponibilidade da unidade com foco na diminuição da ineficiência do processo de dosagem das balanças de matéria prima representada pela perda por divergência de peso ou dosagem longa que representam 2,1% da disponibilidade da unidade de fabricação.

A perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa foi escolhida para ser estudada no presente trabalho, mesmo que não seja a perda prioritária no Pareto, por ser tratar de perdas discretas (de baixa duração) porém com grande repetitividade e que possuem um processo em comum, ou seja, a pesagem de matéria prima.

A fim de determinar as principais máquinas que causam os tempos de parada do Misturador Interno devido a divergência de peso ou dosagem longa foi estratificado em Diagramas de Pareto o percentual da perda de disponibilidade detalhado por máquina, conforme observado na Figura 10.

A partir da análise preliminar do Diagrama de Pareto, é possível constatar que o conjunto de máquinas correspondentes as Balanças de Borracha (BB) são as responsáveis por 83,5% das paradas devido a divergência de peso ou dosagem longa no misturador interno, que corresponde a 1,79% de disponibilidade do posto gargalo.

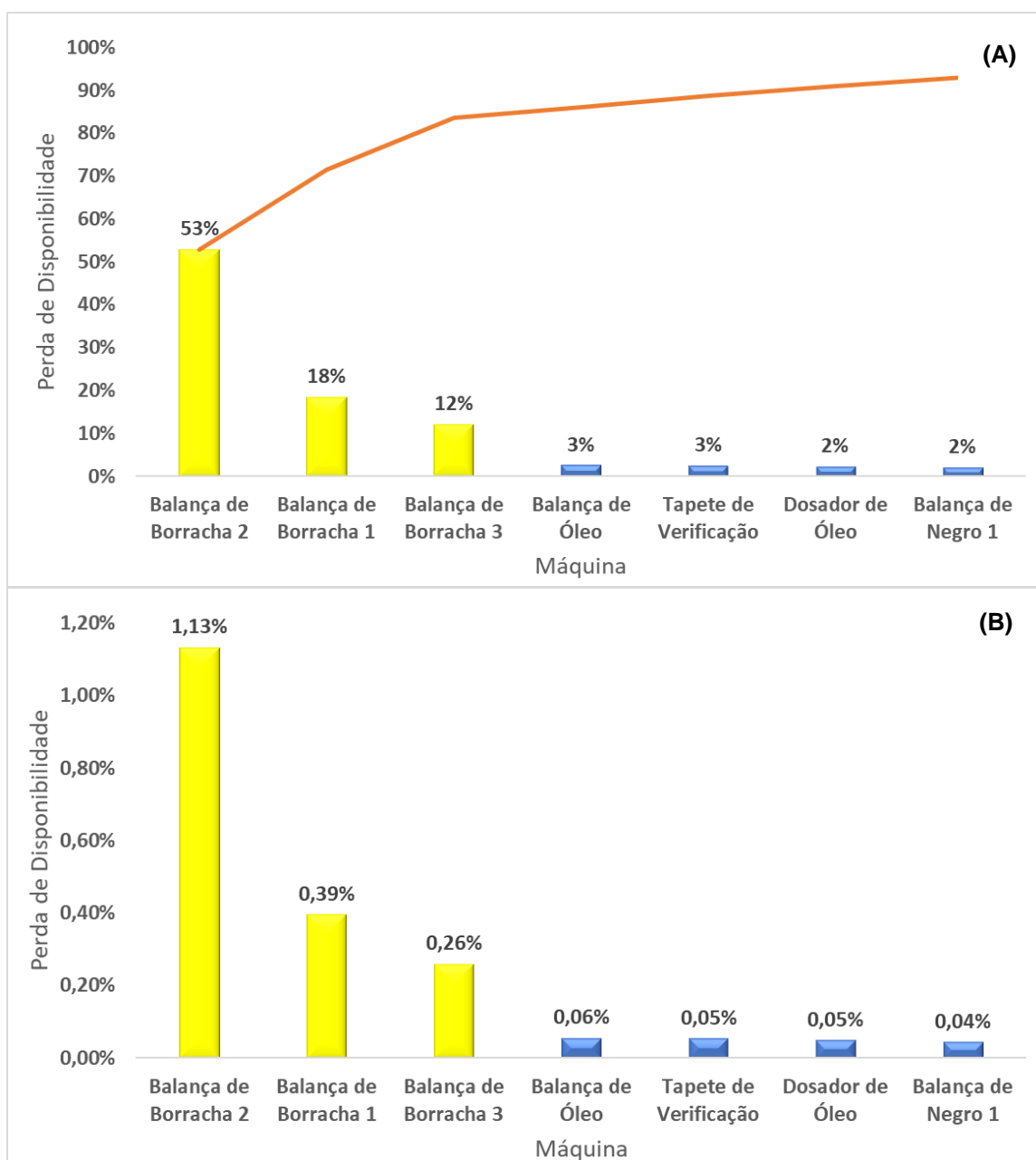


Figura 10 – Detalhamento das Perdas por Divergência de Peso ou Dosagem Longa por máquina. (A) Distribuída pelo percentual da perda de disponibilidade devido Divergência de Peso ou Dosagem Longa. (B) Distribuído pela perda de disponibilidade da Unidade de Fabricação A.
Fonte: Autor

5.1.1 Perímetro do projeto

O projeto Lean Seis Sigma abordado nesse trabalho contemplará as ineficiências do processo de pesagem ou transporte das Balanças de Borracha 1, Balanças de Borracha 2 e Balanças de Borracha 3, assim como o conjunto de máquinas que compõem seus circuitos de funcionamento desde o abastecimento da borracha até a introdução no Misturador Interno. Dessa forma, as máquinas que compõem o circuito são apresentadas na Figura 11. Os Tapetes de Elevação (TE) são as máquinas responsáveis pelo transporte da borracha até o Tapete de Introdução, o Tapete de Introdução (TI) é o tapete responsável por abastecer o Misturador Interno com Borracha, o Virador de Container (VC) é responsável por transbordar a borracha contida em containers para os tapetes e a Balança de Verificação (BV) é responsável por realizar a contra verificação do peso obtido na Balança de Borracha 3 e garantir que caso ocorra perda de borracha durante o transporte a pesagem não seja introduzida no Misturador Interno.

A utilização das três diferentes balanças de borracha não ocorre de forma simultânea, pois sua utilização dependendo da natureza ou tipo da borracha prevista na formulação do composto de borracha. De forma geral, a Balança de Borracha 1 é destinada exclusivamente para borrachas naturais trituradas e borrachas previamente plastificadas, com proporções diferentes de peptizantes e agentes plastificantes. As borrachas utilizadas na Balança de Borracha 1 apresentam pesos que podem variar desde a aproximadamente 10 gramas para as borrachas plastificadas a até 100 gramas para as borrachas naturais trituradas.

Por outro lado, a Balança de Borracha 2 é destinada para placas de borracha utilizada em compostos de borracha que necessitam de sucessivas etapas de misturas no Misturador Interno, tais compostos são dotados de alta densidade e difícil processabilidade, sendo comumente utilizados em bandas de rodagem. A Balança de Borracha 3 é utilizada para o abastecimento da borracha sintética fornecidas diretamente pelas empresas de produtos de petróleo sem quaisquer tratamentos posteriores. A borracha sintética utilizada exclusivamente na Balança de Borracha 3 é abastecida em pedaços de aproximadamente 6 kg de forma manual, enquanto as demais balanças apresentadas realizam o processo de pesagem de forma automatizada por meio de inversores de frequência e sensores.

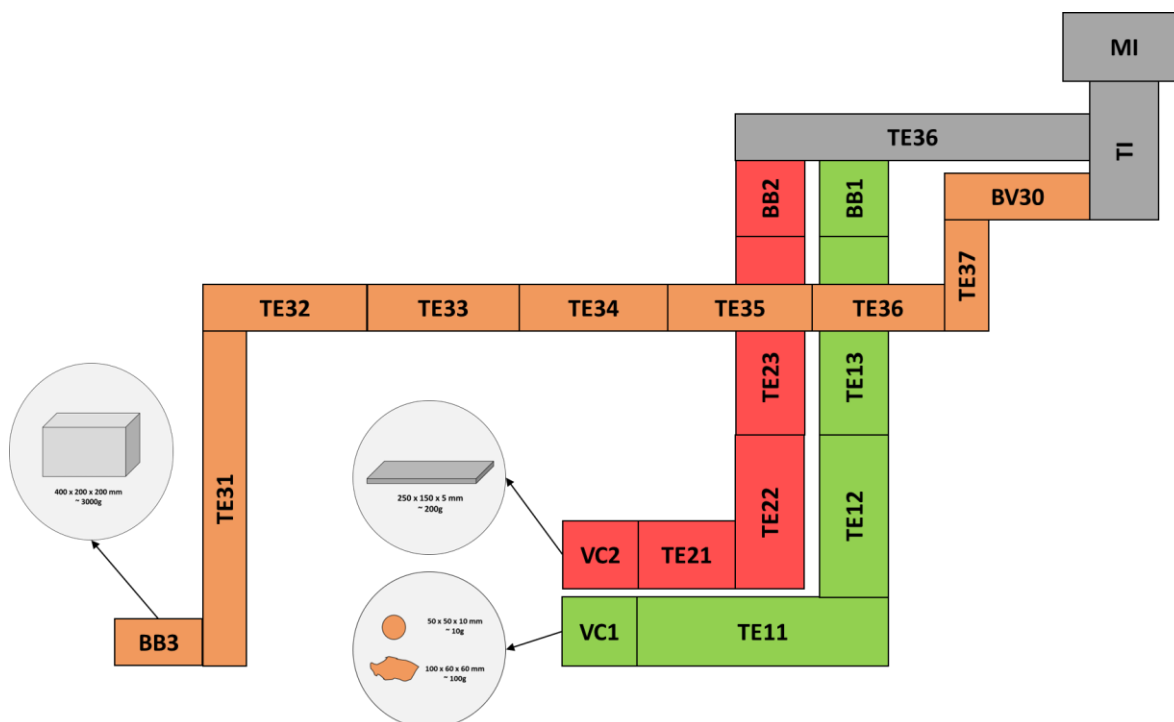


Figura 11 – Perímetro do projeto Lean Seis Sigma na Unidade de Fabricação
 Fonte: Autor

Durante o mapeamento do SIPOC, presente na Figura 8, as Balanças de Borracha 1 e 2, assim como as máquinas que compõem seus respectivos circuitos de abastecimento estão descritas no processo de Aprovisionamento, pesagem e introdução no MI em que seu fornecedor é a Unidade de Fabricação Z e suas entradas a borracha natural triturada, borracha plastificada e a placa de borracha, sendo sua saída a borracha já pesada e pronta para ser introduzida no Misturador Interno. Por outro lado, a Balança de Borracha 3 e suas respectivas máquinas associadas são representadas pelo processo de Corte, pesagem e aprovisionamento da borracha que possui como entrada a Borracha Sintética e como fornecedor, uma empresa externa chamado de Fornecedor 3.

5.1.2 Objetivo e Contrato de Trabalho

Devido a constatação da disparidade de capacidade entre as unidades de fabricação destinadas a fabricação de produtos pneumáticos (responsáveis pela produção e entrega dos pneus ao cliente) e as unidades de fabricação destinadas a produção dos compostos de borracha, principal matéria prima utilizada na fabricação

dos artigos pneumáticos, foi idealizado o presente trabalho a fim de aumentar a capacidade da Unidade de Fabricação A por meio do aumento de seu índice de disponibilidade.

Em virtude do aumento da demanda de artigos pneumáticos por parte dos clientes previsto para 2022, tem-se a necessidade de aumentar a produção de composto de borracha das unidades de fabricação da América do Sul. Porém, tendo em vista a capacidade atual das fábricas e a limitação da compra de compostos de borracha das empresas parceiras será necessário realizar a importação de compostos de borracha das unidades de fabricação europeias para o abastecimento das fábricas da América do Sul a fim de suprir a demanda nacional.

Dessa forma, devido ao fato da Unidade de Fabricação A ser o grupo de menor índice de disponibilidade da América do Sul, o aumento de seu indicador com foco em melhoria de fluxo e máquina é de fundamental importância para gerar o aumento de capacidade esperado pela fábrica a fim de permitir uma entrega maior de compostos de borracha as unidades de fabricação de pneus sem recorrer a importação.

A fim de garantir o aumento de capacidade imposta pelos clientes o presente trabalho apresenta como objetivo reduzir o impacto gerado pelas paradas devido a divergência de peso ou dosagem longa nas máquinas Balança de Borracha 1, Balança de Borracha 2 e Balança de Borracha 3 de 1,79% para 1,40% no indicador de disponibilidade da Unidade de Fabricação A até o final de 2022. Tal objetivo está relacionado a melhoria mínima imposta pela empresa para aumentar a capacidade produtiva da Unidade de Fabricação A em pelo menos 10 toneladas por mês.

Então, o presente trabalho pretende resultar para a empresa em estudo um aumento de capacidade de 140,8 toneladas de composto de borracha por ano (12,2 ton/mês) da Unidade de Fabricação A e que conseqüentemente acarretará uma diminuição dos custos de R\$ 148.000,00 devido a diminuição de compra de compostos de borracha de Empresas parceiras, conforme pode-se observar na Figura 12.

| WORK CHARTER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|-----------------------|-------------------|---------------------|----------------|-----------------------|--|--------------------------------------|--|--|--|-----------------------------|--|--------------------------------|--|----------------------|--|----------------------------|--|-----------------------------|--|--------------------------------------|--|--|--|--|--|
| Projeto: Diminuição das paradas por Divergência de Peso ou Dosagem Longa na Unidade de Fabricação A | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Fator Desencadeador</p> <p>Em virtude do aumento da demanda de artigos pneumáticos dos clientes previsto para 2022, tem-se necessidade de aumentar a produção de Compostos de Borracha das unidades de fabricação da América do Sul. Tendo em vista a capacidade atual das fábricas e a limitação da compra de Compostos de Borracha das empresas parceiras, será necessário realizar a importação de Compostos de Borracha para as fábricas da América do Sul a fim de suprir a demanda nacional.</p> <p>Dessa forma, devido ao fato da Unidade de Fabricação A ser a fábrica de menor Índice de disponibilidade da empresa, o aumento de seu indicador com foco em melhoria de fluxo e máquina é de fundamental importância para gerar o aumento de capacidade esperado pela empresa sem recorrer a importação.</p> | <p style="text-align: center;">Pilotage du Projet</p> <table border="1"> <tr> <td>Commanditaire:</td> <td>Chefe de Produção</td> </tr> <tr> <td>Chef Projet:</td> <td>Thiago Barbosa</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Équipe Projet:</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Responsável da Unidade de Fabricação</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Engenheiro Industrial da Unidade de Fabricação</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Responsável pelos Mecânicos</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Responsável pelos Eletricistas</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Técnico de Qualidade</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Responsável pela Qualidade</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Responsável pela Manutenção</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Colaborador da Unidade de Fabricação</td> </tr> <tr> <td colspan="2"> </td> </tr> <tr> <td colspan="2"> </td> </tr> </table> | Commanditaire: | Chefe de Produção | Chef Projet: | Thiago Barbosa | Équipe Projet: | | Responsável da Unidade de Fabricação | | Engenheiro Industrial da Unidade de Fabricação | | Responsável pelos Mecânicos | | Responsável pelos Eletricistas | | Técnico de Qualidade | | Responsável pela Qualidade | | Responsável pela Manutenção | | Colaborador da Unidade de Fabricação | | | | | |
| Commanditaire: | Chefe de Produção | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chef Projet: | Thiago Barbosa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Équipe Projet: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Responsável da Unidade de Fabricação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Engenheiro Industrial da Unidade de Fabricação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Responsável pelos Mecânicos | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Responsável pelos Eletricistas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Técnico de Qualidade | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Responsável pela Qualidade | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Responsável pela Manutenção | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Colaborador da Unidade de Fabricação | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Finalidade e Impactos Esperados</p> <p>Garantir o suprimento de Compostos de Borracha prevista para as fábricas da América do Sul a fim de minimizar os custos gerados pela importação.</p> | <p style="text-align: center;">Objetivo</p> <p>Em 2022, reduzir o impacto do Índice de Disponibilidade da Unidade de Fabricação A oriundo de Divergência de Peso ou Dosagem Longa nas máquinas BB1, BB2 e BB3 de 1,79% para 1,40%.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Perímetro e Necessidade de Coordenação</p> <p>Unidade de Fabricação A Balanças de Borracha, Tapetes de Elevação, Viradores de Containers e Tapetes de Introdução.</p> | <p style="text-align: center;">Deliverables principaux</p> <p>Aumento da Capacidade da Unidade de Fabricação A em 12,2 t/mês; Ganho de kR\$ 148 com a diminuição de compra de Compostos de Borracha da empresa parceira; Otimização dos tempos de transporte dos tapetes e de pesagem das balanças da Unidade de Fabricação A.</p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Linhas Guia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Acompanhar a rotina da Unidade de Fabricação A; - Acompanhar os resultados de capacidade; - Analisar a variação mensal do OEE da Unidade A; - Acompanhar a variação de demanda; - Realizar o Benchmark com as demais unidades de fabricação. | <p style="text-align: center;">Contraintes</p> <ul style="list-style-type: none"> - Não degradar os indicadores de Qualidade da Unidade; - Respeitar as regras de segurança dos postos; - Não exceder a ocupação dos colaboradores em mais de 95%. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 12 – Contrato de Trabalho
Fonte: Autor

5.2 MEDIÇÃO DAS INEFICIÊNCIAS

Com a definição do motivo da perda de disponibilidade e das máquinas em que serão estruturados o projeto de melhoria contínua é realizado durante a fase de medição o levantamento dos dados que podem indicar possíveis fugas de desempenho. Tendo em vista que as diferentes máquinas apresentam tempos divergentes de funcionamento e ociosidade foi realizado o levantamento de quanto

tempo cada máquina englobada no projeto encontrava-se trabalhando durante os 60 dias de funcionamento da fábrica. A partir dos dados presentes na Tabela 3 é possível observar que a Balança de Borracha 1 funciona de forma ininterrupta durante o funcionamento da fábrica visto que todas as variedades de produtos fabricados na unidade de fabricação utilizam borrachas provenientes de tal balança, quanto a Balança de Borracha 2 que apresenta a maior perda de disponibilidade, por ser utilizada em um único tipo de produto, é dotada de um percentual de utilização de 13,2% e a Balança de Borracha 3, que utiliza borracha sintética, apresenta 24,2% de utilização. É importante reforçar, como visto na Tabela 3, que as Balanças de Borracha 2 e 3 funcionam sempre em conjunto com a Balança de Borracha 1.

Tabela 3 – Relação entre Tempo de Funcionamento das Máquinas e os percentuais de Perda devido Divergência de Peso ou Dosagem Longa

| Máquina | Percentual de Tempo em Funcionamento | Percentual de Perda de Disponibilidade |
|-----------------------|---|---|
| Balança de Borracha 1 | 100,0% | 21,7% |
| Balança de Borracha 2 | 13,2% | 63,9% |
| Balança de Borracha 3 | 24,2% | 14,5% |

Fonte: Autor

A partir dos percentuais de tempo de funcionamento apresentados na Tabela 3 é possível perceber que o percentual das perdas devido divergência de peso ou dosagem longa detalhados por máquina presente na Figura 8, mesmo que seja o objetivo final da organização que solicitou o projeto de melhoria, não correspondem um indicador ideal para a análise e acompanhamento dos resultados. Com a fabricação das diferentes composições de produtos ocorre uma variação do percentual de funcionamento das Balanças que conseqüentemente alterará os respectivos percentuais de perda de disponibilidade de cada balança. Dessa forma, a relação entre a perda de disponibilidade e a produção mássica presente na Figura 13 apresenta uma representação promissora para excluir o efeito da produção de diferentes composições dos produtos visto que ela compensa um eventual aumento ou queda de produção em determinada máquina.

A partir da Figura 11 é possível verificar uma alteração entre as máquinas mais impactantes para a perda de disponibilidade. Porque, embora a Balança de Borracha 3 apresente menor percentual de ineficiência (14,5%) ela também apresenta um baixo tempo de funcionamento (24,2%) que conseqüentemente gera

menor produção de composto de borracha. Então, ao realizar a medição entre a perda de disponibilidade e a massa de composto de borracha fabricado obtêm-se uma perda de 0,22 minutos por tonelada de produto fabricado para a Balança de Borracha 3 e 0,09 minutos por tonelada de produto fabricado para a Balança de Borracha 1.

Em relação à Balança de Borracha 2 é possível perceber uma relação de perda por tonelada 5,9 vezes superior as demais balanças analisadas, pois mesmo que o produto 25348X10 (Único composto de borracha fabricado na Balança de Borracha 2) seja o produto mais fabricado na Unidade de Fabricação, a mesma representa apenas 13,3% da produção total em massa e as perdas na Balança de Borracha 2 representam 63,9% das perdas devido divergência de peso e dosagem longa nas balanças.

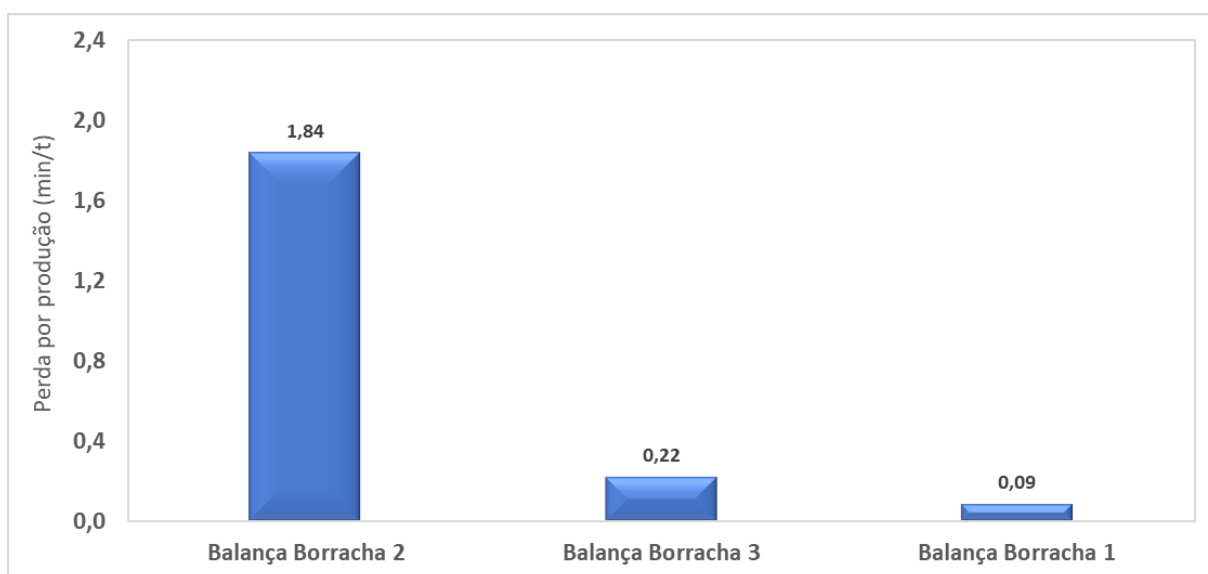


Figura 13 – Relação entre a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa e massa produzida detalhado por máquina

Fonte: Autor

Na Figura 14 são apresentadas as perdas de disponibilidade em relação ao composto de borracha fabricado a fim de destacar a disparidade da perda no composto 25348X10 que representou durante os 60 dias analisados durante a coleta de dados da etapa de medição uma parada do Misturador Interno de 1007 minutos devido a divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 2.

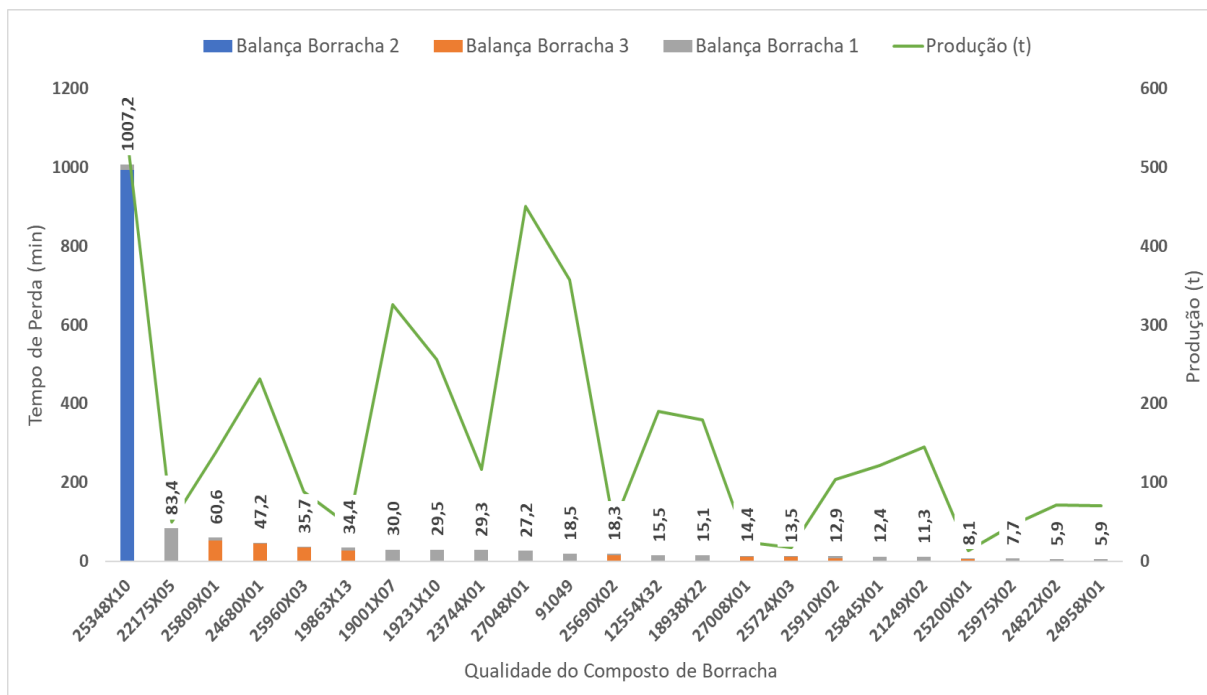


Figura 14 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto de borracha

Fonte: Autor

Na Figura 15 é apresentada, assim como na Figura 14, as perdas de disponibilidade em relação ao composto de borracha fabricado, porém excluindo-se as perdas da 25348X10 a fim de facilitar a visualização dos dados. Ao observar os dados presentes na Figura 15 é possível perceber uma perda significativa do produto 22175X05 na Balança Borracha 1 de 83,4 minutos, equivalente a 14,5% da perda de disponibilidade devido as Balança Borracha 1 e 3. Além disso, é possível observar uma expressiva presença de Compostos que utilizam borracha sintética, desde a 25809X01 até 19863X13 que correspondem a 31,0% da perda de disponibilidade devido principalmente a Balança de Borracha 3.

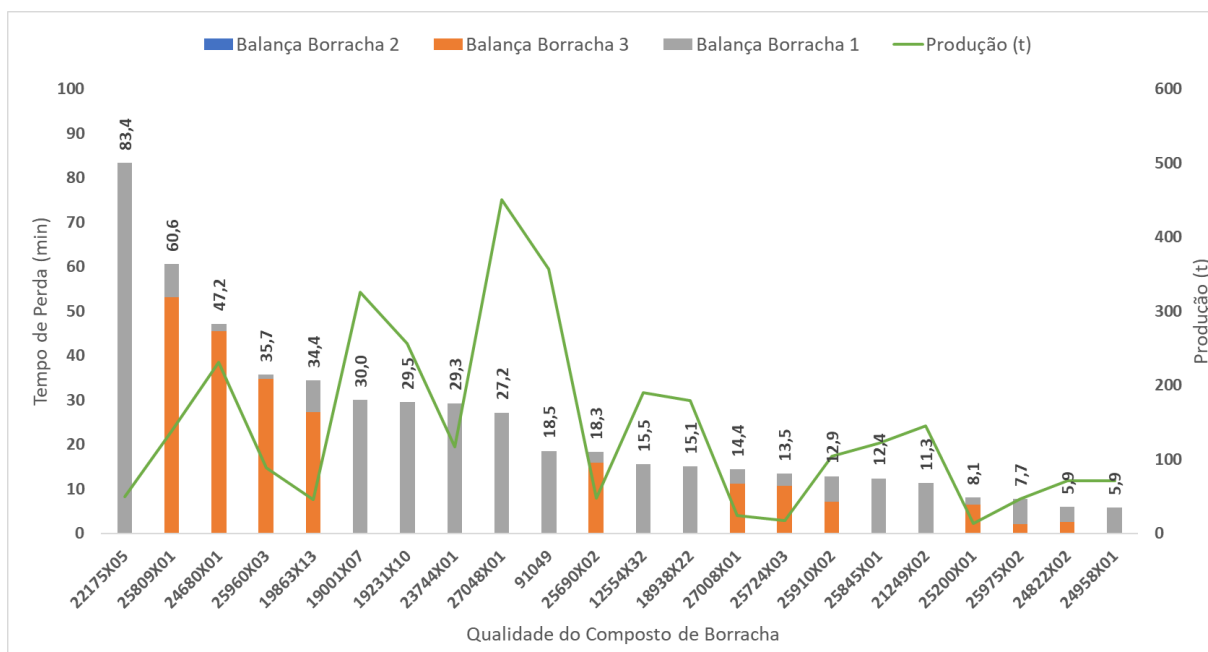


Figura 15 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto de borracha com exclusão da 25348X10

Fonte: Autor

Em relação ao indicador referente a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa e a massa produzida detalhada por produto fabricado, conforme presente na Figura 16, é possível perceber um valor elevado de 1,67 min/t para o composto 22175X05 que pode ser explicada devido ao maior tempo de perda (83,4 min) em conjunto a baixa produção.

Por outro lado, é possível perceber uma forte presença dos compostos de borracha que utilizam a Balança Borracha 3, representada pelas colunas sinalizadas em verde, que se destacaram em relação aos demais que utilizam a outra balança.

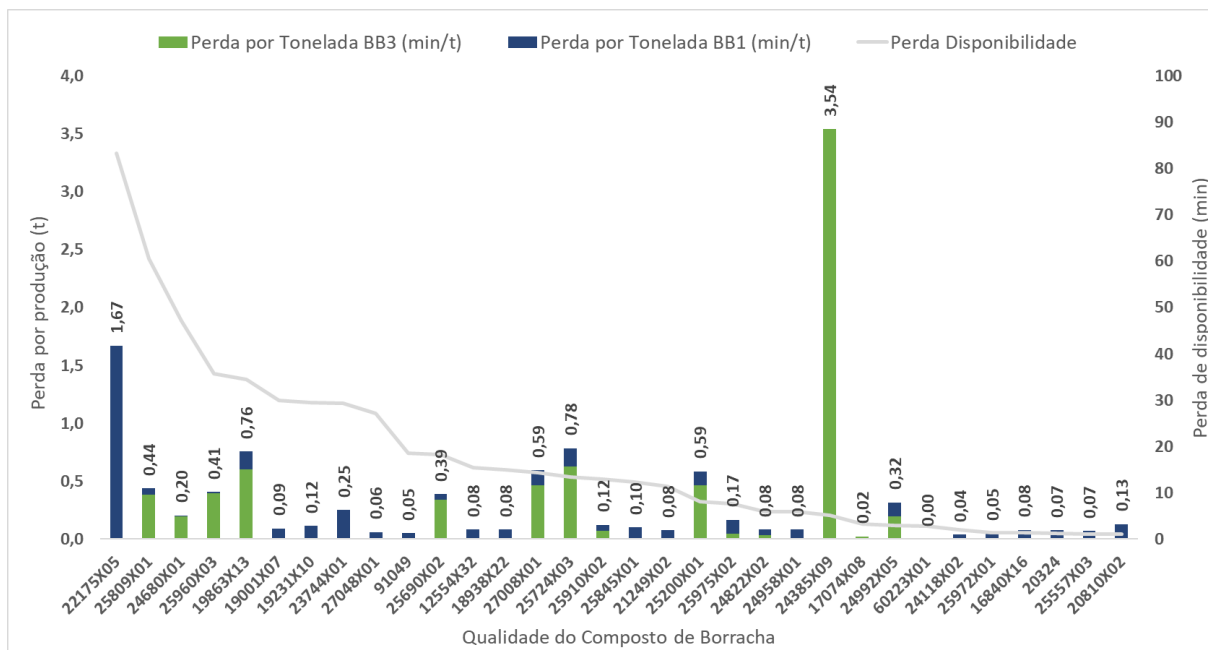


Figura 16 – Relação entre a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa e massa produzida detalhado por produto com exclusão da 25348X10

Fonte: Autor

A seguir serão apresentados dados isolados para cada máquina abordada no projeto, apresentando suas peculiaridades e informações relevantes para a etapa de medição.

5.2.1 Balança de Borracha 2

A Balança Borracha 2 é a máquina que possui maior perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa, acumulando 992,6 minutos de ineficiência durante os 62 dias de medição. Os dados referentes ao tempo entre abastecimentos de container, assim como tempo de ciclo para fabricação de uma carga no misturador interno referentes ao composto 25348X10 estão descritos no Quadro 3. A partir dos dados apresentados é visto que um único operador durante a fabricação desse produto é responsável por abastecer os Viradores de Container 9,53 vezes por hora, sendo esse o composto que mais necessita de abastecimento durante a fabricação.

| | |
|---|-------|
| Tempo de Fabricação (min) | 2,75 |
| Quantidade de Cargas por Container VC1 | 9,50 |
| Tempo entre Aprovisionamentos VC1 (min) | 25,65 |
| Quantidade de Cargas por Container VC2 | 3,09 |
| Tempo entre Aprovisionamentos VC2 (min) | 8,34 |
| Quantidade de Containers aprovisionados por hora | 9,53 |

Quadro 3 – Dados de abastecimento do composto 25348X10
Fonte: Autor

A partir dos dados referentes a quantidade de cargas por container no Virador de Container 2 apresentado no Quadro 2 é possível perceber que a cada 3 cargas produzidas de 25348X10 é necessário realizar o abastecimento de um container no circuito de introdução de borracha da Balança Borracha 2, causando uma interrupção prevista no circuito, como apresentada na Figura 17, que conseqüentemente interfere negativamente no processo de pesagem.



Figura 17 – Interrupção prevista no Circuito de Abastecimento de Borracha da Balança de Borracha 2 devido ao abastecimento de Containers

Fonte: Autor

A fim de compreender o impacto das interrupções devido ao processo de abastecimento foi realizado o levantamento dos eventos de perdas de disponibilidade que ocorreram nas pesagens em que é prevista a interrupção de goma devido ao abastecimento e nas que não são previstas interrupções, ou seja, não ocorre falta de borracha nos tapetes que alimentam a balança. Dessa forma, a partir dos dados da Figura 18, é possível perceber um impacto de 2,8% em relação a quantidade de eventos e de 4,6% em relação ao tempo de indisponibilidade devido as interrupções previstas. Tais impactos são perceptíveis porque caso a falta de Borracha presente na Figura 17 não gera-se prejuízo ao processo de abastecimento da Balança de Borracha 2 a proporção das perdas para a Interrupção Prevista seria de 32,4% para ambos os cenários da Figura 18.

É importante destacar com os valores apresentados, que a perda de disponibilidade referente as cargas em que ocorrem a interseção de borracha entre diferentes contêineres representaram durante o período de medição um aumento de apenas 36,4 minutos de perda, enquanto as demais cargas pesadas na Balança Borracha 2 acumularam um impacto de 625,3 minutos de indisponibilidade.

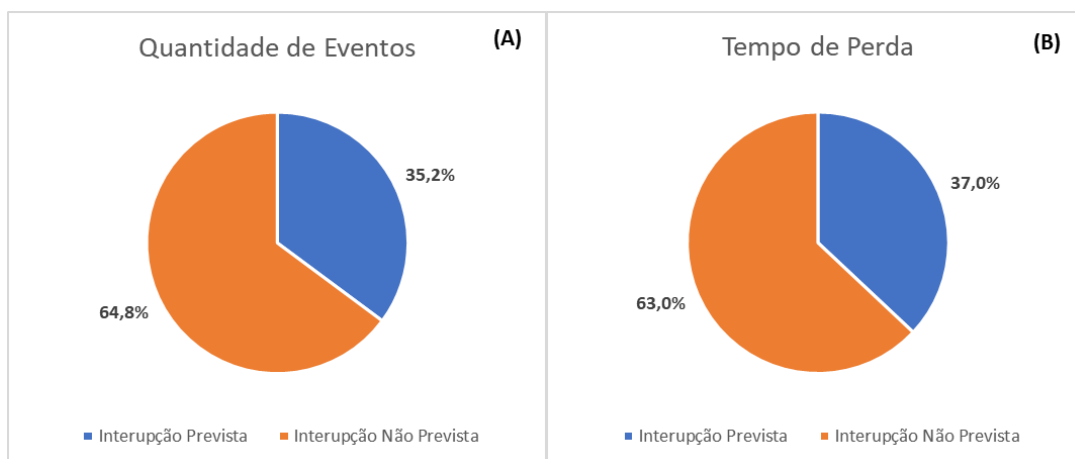


Figura 18 – Proporção das perdas de disponibilidade na Balança de Borracha 2 com interrupções previstas e não previstas. (A) Em relação a quantidade de eventos. (B) Em relação ao tempo total de indisponibilidade.

Fonte: Autor

Com a finalidade de compreender a distribuição dos tempos de perda de disponibilidade na Balança de Borracha 2 foi realizado um Boxplot com as todas as perdas devidos divergência de peso ou dosagem longa da balança em questão,

representado na Figura 19. A partir dos dados, obteve-se uma mediana de 1,3 minutos de perda, uma média de 1,7 minutos e o limite superior de 4,8 minutos. A partir dos 600 eventos coletados, obteve-se 14 pontos de exceção que apresentaram valores desde 4,9 minutos a até 18,1 minutos que podem ser explicados devido a uma demora no abastecimento por parte do colaborador durante o início da fabricação a até um processo de descarte de uma pesagem por um excesso de peso superior a 9 kg de borracha.

Tendo em vista o baixo impacto do processo de abastecimento dos containers de borracha na pesagem foi realizado a comparação das médias das perdas de disponibilidade distribuídas pelas cargas fabricadas do composto 25348X10 da Figura 20 com a mediana de 1,3 minutos obtida no Boxplot. A partir dos dados apresentados na distribuição é possível perceber uma flutuação das perdas ao longo da mediana desde a 1^o até 50^o carga fabricada, com uma instabilidade maior a partir da 51^o carga fabricada. Durante a fabricação do Composto de Borracha, a carga é denominada como uma unidade de fabricação e corresponde a quantidade de material que é introduzido no misturador interno.

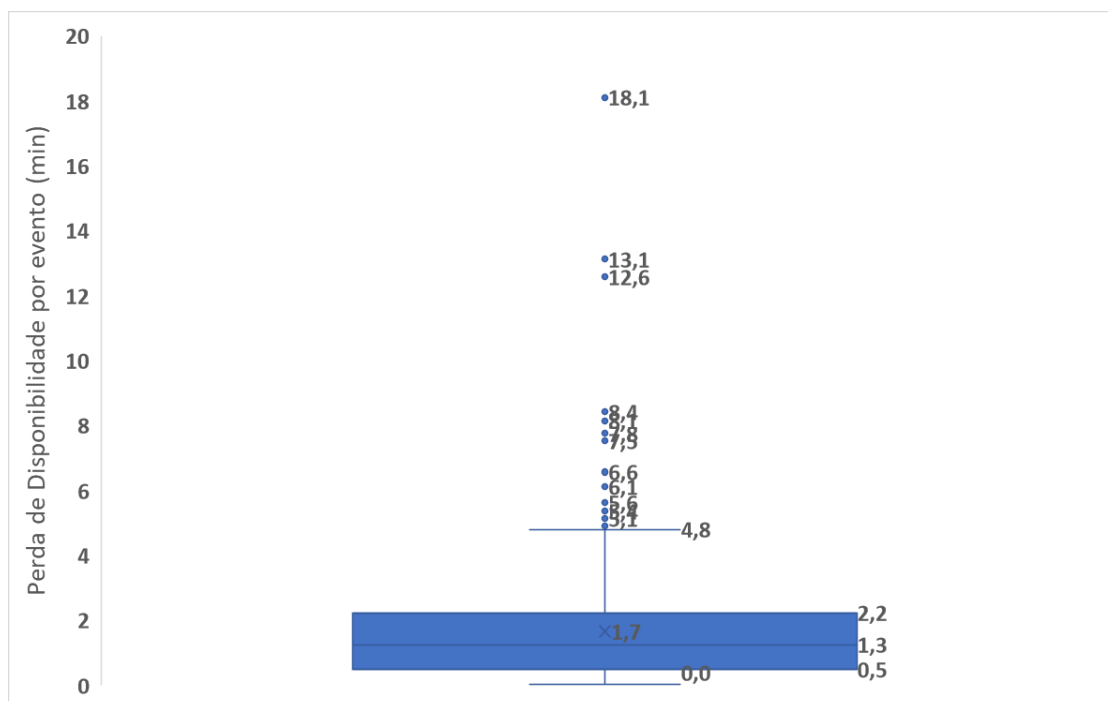


Figura 19 – BoxPlot das perdas de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 2

Fonte: Autor

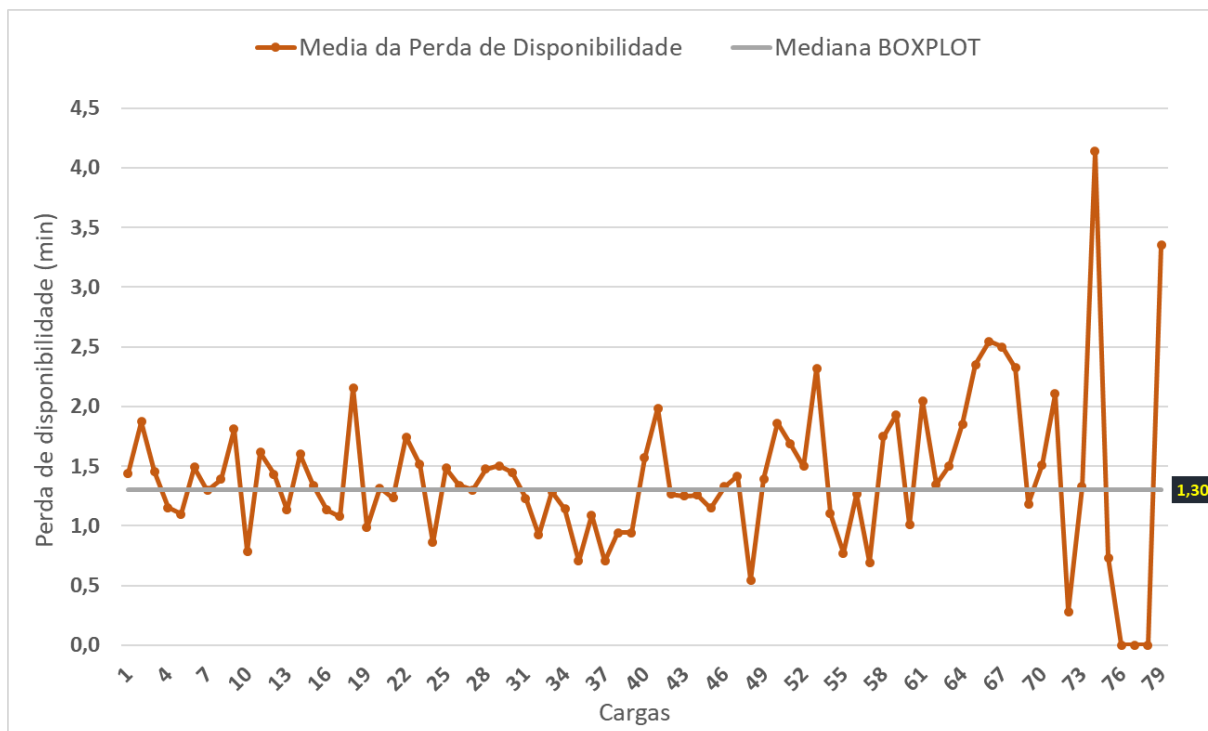


Figura 20 – Distribuição da média de perda de disponibilidade em relação a carga fabricada

Fonte: Autor

Devido ao aumento da instabilidade do valor correspondente a perda de disponibilidade ao longo das cargas fabricadas, conforme apresentado na Figura 20, foi realizado o levantamento das perdas por quantidade de cargas produzidas. Na Tabela 4 é possível observar a média das diferentes quantidades de cargas produzidas caso a mesma fosse produzida com 60 cargas (valor usual de produção do composto 25348X10) e a perda por tonelada para cada quantidade de carga produzida. A partir dos dados da Tabela 4 é possível perceber uma perda inferior para as produções realizadas com 30 cargas em comparação com as demais, seguido de uma elevação para as produções com 45 cargas e uma queda para a produção dotada de 60 cargas, indicando a existência de uma possível ineficiência de máquina que ocorre entre a carga 30 e 45 que é posteriormente compensada com a fabricação de mais produtos em sequência.

Tabela 4 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 2 caracterizado por quantidade de carga produzida

| Quantidade de cargas produzidas | Média de Perda a cada 60 cargas produzidas (min) | Perda por tonelada produzida(min/t) |
|--|---|--|
| < 25 | 44,33 | 2,831 |
| 30 | 25,15 | 1,889 |
| 45 | 33,73 | 2,574 |
| 60 | 26,52 | 2,013 |
| 75 | 27,96 | 2,136 |

Fonte: Autor

Tendo em vista a baixa interferência das interrupções de abastecimento devido a troca de containers, presente na Figura 18, foi realizado a medição dos tempos de pesagem referente a Balança de Borracha 2 presente na Figura 21. A partir dos dados apresentados é possível perceber que das 41 pesagens acompanhadas em sequência, apenas 7 pesagens ocorreram com tempo inferior 2,75 minutos (Tempo de fabricação do Composto de Borracha no Misturador Interno). As pesagens apresentaram uma média de tempo de 3,05 minutos, e quanto as pesagens ocorriam com tempo superior a 3,50 minutos, foi verificado que ocorreram devido tanto ao processo de evacuação da borracha com excesso de peso, ou seja, o descarte completo da pesagem quanto pela troca de containers durante o processo final de pesagem.

Dessa forma, a partir dos dados apresentados na fase de Medir referentes a Balança de Borracha 2 é possível perceber uma ineficiência crônica referente ao processo normal de pesagem, tendo em vista que apenas 17,1% das pesagens respeitam o tempo estipulado para a fabricação do composto de borracha. Uma outra pista de melhoria para o projeto é referente ao procedimento de troca de containers que gera uma interrupção de abastecimento de borracha nos Tapetes de Elevação que compõem o circuito.

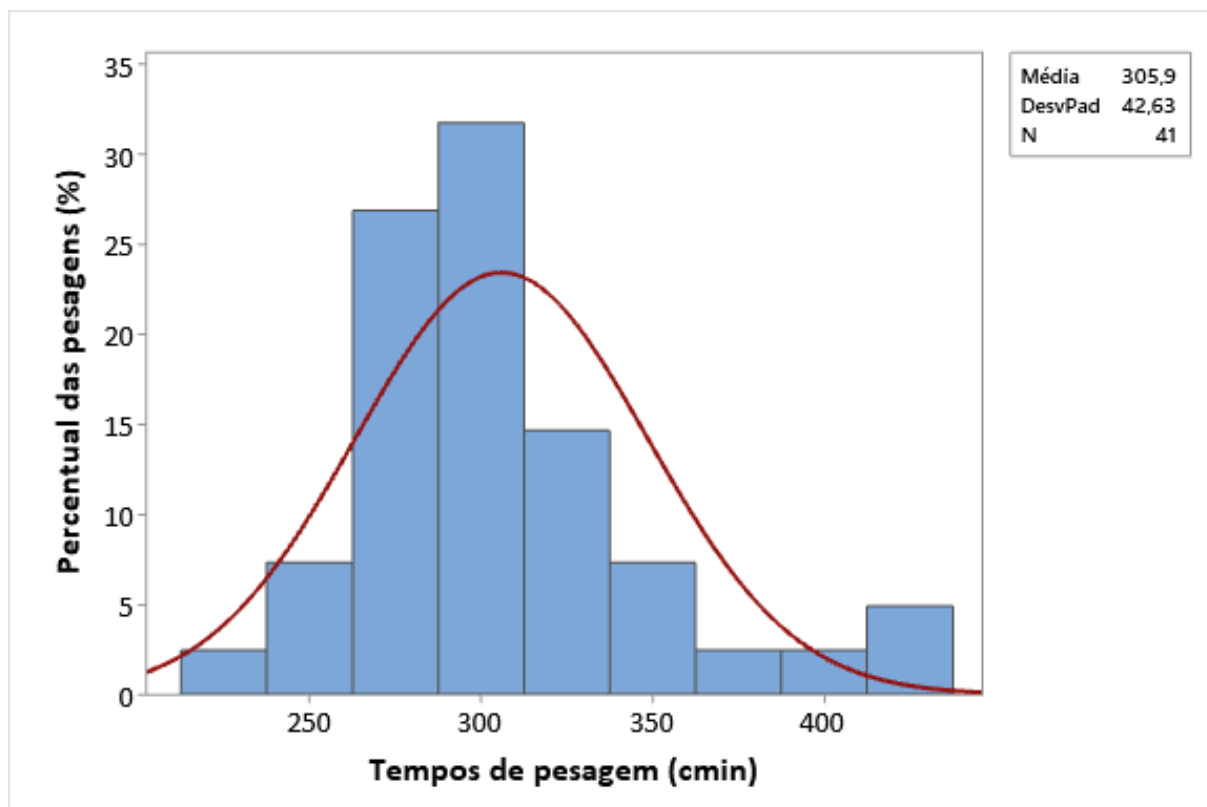


Figura 21 – Histograma tempo de pesagem da Balança de Borracha 2

Fonte: Autor

5.2.2 Balança de Borracha 3

As perdas de Disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 3 detalhada pelo produto fabricado está presente na Figura 22. Entretanto, como cada tipo fabricado apresenta uma quantidade variável de pedaços de borracha utilizados é necessário realizar uma comparação entre as perdas de disponibilidade e o volume de borracha utilizado.

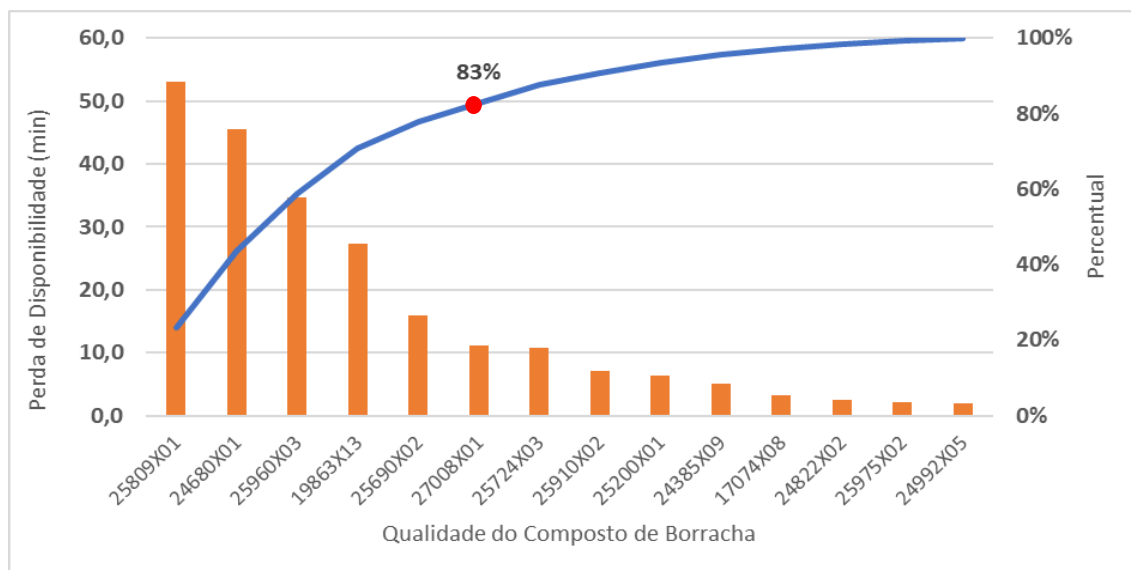


Figura 22 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto na Balança de Borracha 3

Fonte: Autor

Na Figura 23 é possível observar a relação entre as perdas de disponibilidade e a quantidade de pedaços de borracha pesados. No gráfico é possível perceber uma perda próxima de 3 minutos em todas os compostos fabricadas com exceção da 19863X13 devido a um evento unitário de 15,6 minutos. Caso tal evento seja desconsiderado, a perda de disponibilidade tornar-se-ia de 3,15 minutos a cada 500 pedaços pesados, aproximando-se da média.

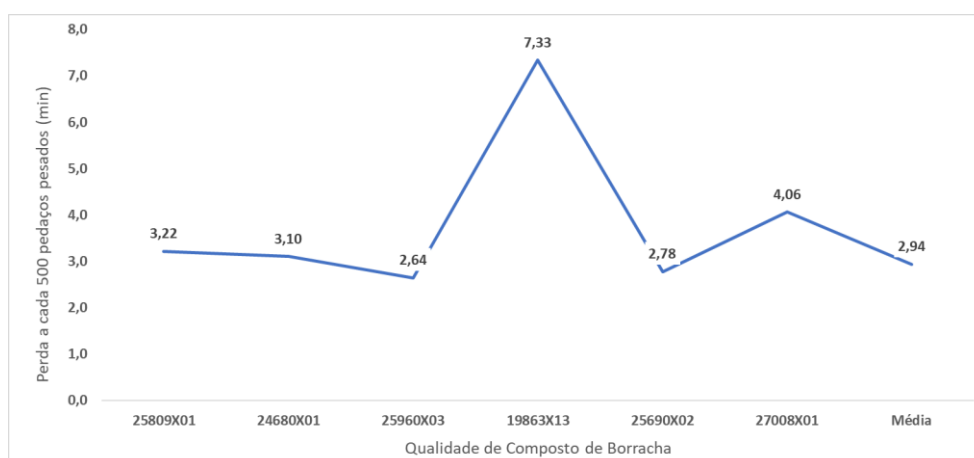


Figura 23 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa a cada 500 pedaços pesagens detalhado por composto na Balança de Borracha 3

Fonte: Autor

A Balança de Borracha 3, diferente das demais balanças do projeto, corresponde a uma balança manual, ou seja, necessita da ação humana para realizar e validar a pesagem. Dessa forma, o tempo entre os abastecimentos realizados pelo colaborador torna-se de suma importância para o projeto, tendo em vista que não é computado de forma automatizado. O Quadro 4 apresenta a medição do tempo necessário para ser realizada a pesagem do maior volume de borracha sintética utilizado na balança (16 pedaços) referente ao composto 25960X03 utilizando a metodologia BasicMOST, um sistema de tempo de movimento predeterminado (PMTS).

A partir dos dados apresentados no Quadro 4, é possível perceber que a soma do tempo necessário para realização da pesagem, de 2,62 minutos, é próxima ao tempo de fabricação de uma carga no misturador interno presente no Quadro 5, sendo uma possível causa para a perda de disponibilidade na Balança de Borracha 3.

| Atividade | Frequência | Tempo Atividade (cmin) | Tempo Elementar (cmin) | Tempo Elementar (min) | Tipo de Análise | Quantidade Medições |
|---|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------------|
| Pesagem Borracha Sintética | 1 | 200,4 | 200,4 | 2,00 | MOST® | - |
| Abastecer posto com Container de Borracha | 1/7 | 237,6 | 33,9 | 0,34 | Cronometragem | 45 |
| Retirar Container vazio do posto | 1/7 | 199,6 | 28,5 | 0,28 | Cronometragem | 45 |

Quadro 4 – Tempo de Pesagem da Balança de Borracha 3 utilizando 16 pedaços de Borracha
Fonte: Autor

A partir da relação da perda de disponibilidade obtida com a quantidade de pedaços pesados presente na Figura 23 e do tempo de pesagem referente a Balança de Borracha 3, presente no Quadro 4, é possível pressupor que a perda de disponibilidade na Balança de Borracha 3 ocorre devido a divergência de peso entre a Balança de Borracha 3 e a Balança de Verificação 30 e que quanto maior a quantidade de pedaços pesados maior a incidência de perda, porém sem nenhuma relação ao tipo de borracha utilizada, conforme apresentado no Quadro 5.

| Produto | Quantidade de pedaços por Pesagem | Tempo de Fabricação Misturador Interno (min) | Tipo de Borracha |
|----------------|--|---|-------------------------|
| 25809X01 | 14 | 2,50 | A e B |
| 24680X01 | 8 | 2,65 | C |
| 25960X03 | 16 | 2,90 | D |
| 19863X13 | 9 | 2,45 | E |
| 25690X02 | 13 | 2,70 | D |
| 27008X01 | 13 | 2,65 | C e F |
| 25724X03 | 4 | 2,70 | A e C |
| 25910X02 | 5 | 2,50 | G |
| 25200X01 | 5 | 2,50 | G |
| 24385X09 | 10 | 3,00 | A |
| 17074X08 | 5 | 2,40 | C |
| 24822X02 | 6 | 3,00 | C |
| 25975X02 | 11 | 3,20 | A |
| 24992X05 | 15 | 2,60 | H |

Quadro 5 – Quantidade de pedaços utilizados, tempo de fabricação e tipo de Borracha detalhado por Composto de Borracha

Fonte: Autor

5.2.3 Balança de Borracha 1

A Figura 24 representa o Pareto das perdas de Disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 1 detalhada pelo produto fabricado. Por outro lado, os dados referentes a relação entre a perda de disponibilidade e a massa de Composto de Borracha produzido é apresentado na Figura 25.

A partir dos dados apresentados em ambos os gráficos é possível observar um alto percentual de perda (24,1%) e um alto valor para relação entre a perda por tonelada produzida (1,67 min/t) referente a produto 22175X05. Tendo em vista a disparidade entre o 22175X05 com os demais compostos que utilizam a Balança de Borracha 1 é considerado como uma pista da causa raiz a existência de uma irregularidade com o produto indicado.

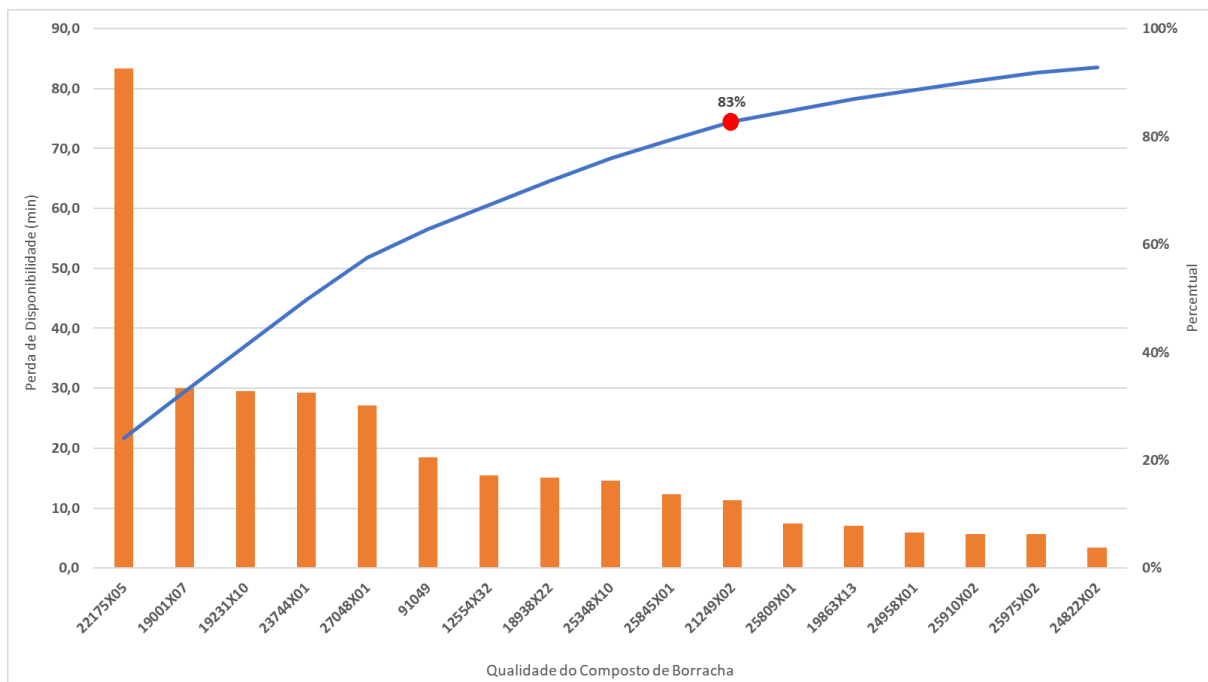


Figura 24 – Perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa detalhado por composto na Balança de Borracha 1

Fonte: Autor

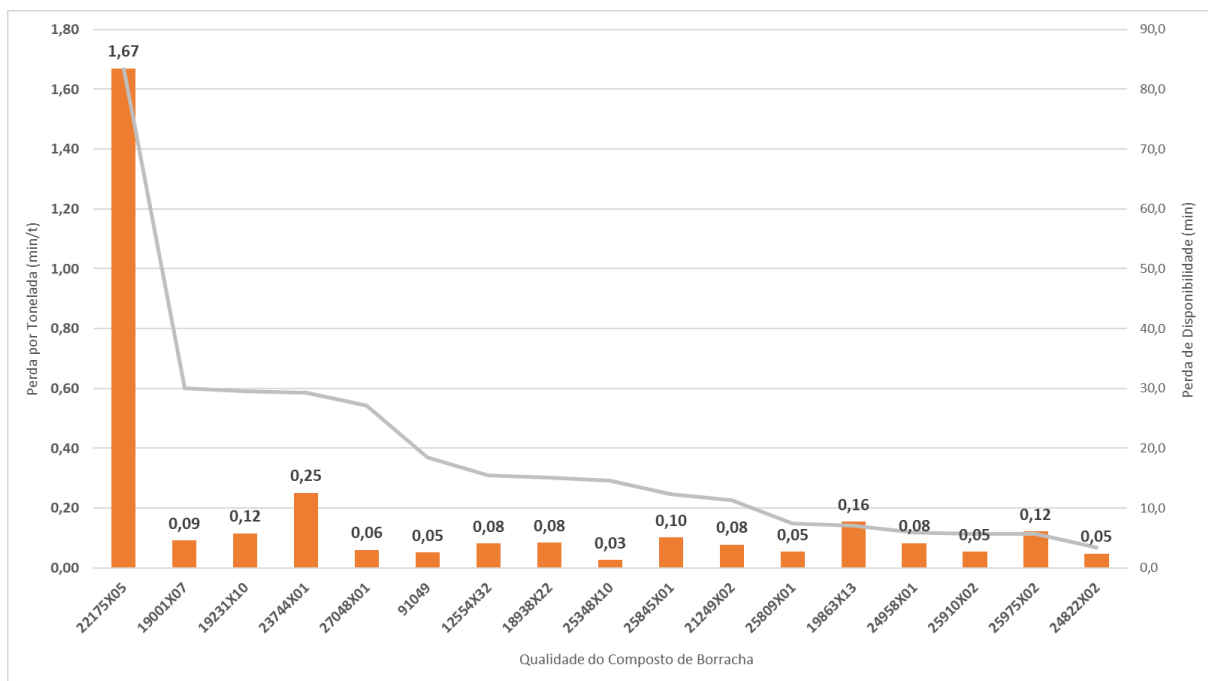


Figura 25 – Relação entre a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 1 e a massa produzida

Fonte: Autor

5.3 ANÁLISE DAS INEFICIÊNCIAS

5.3.1 Balança de Borracha 2

A fim de compreender os principais fatores que podem afetar a perda de disponibilidade na Balança de Borracha 2 devido divergência de peso ou dosagem longa foi realizado um Brainstorming entre os funcionários da empresa ligados ao processo, como operadores, técnicos de manutenção, eletricitas e de qualidade para levantar possíveis causas de ineficiência do processo e em seguida correlacionadas em um Diagrama de Causa e Efeito presente no Apêndice A.

A realização de um Brainstorming junto com o Diagrama de Causa e Efeito é muito importante para a análise de um processo de melhoria, pois enquanto o Brainstorming busca estimular o potencial criativo dos envolvidos para a suposição de possíveis ideias que causem o problema e suas soluções (Chiroli, 2013) o Diagrama de causa e Efeito representa graficamente a relação dos fatores que podem influenciar no problema, ou seja, as causas levantadas durante o Brainstorming. Segundo Werkema (2012), o Diagrama de Causa e Efeito é uma ferramenta utilizada para identificar, explorar, ressaltar e mapear os diversos fatores que influenciam um determinado efeito ou problema. Os fatores no Diagrama de Causa e efeito são categorizados em material (matéria-prima), máquina, pessoa, método, medida e meio ambiente e em seguida subdivididas em sucessivas ramificações que permitem ampliar a visão que enriquecem a análise e consequentemente permitem determina as medidas corretivas que deverão ser adotadas.

A partir do Diagrama de Causa e Efeito foi identificado que a Interrupção de Borracha no Circuito de Abastecimento de Borracha na Balança de Borracha 2 pode ser intensificado devido ao não provisionamento do container no tempo estipulado de 8,34 minutos devido alta ocupação do operador, que além das atividades normais (Aprovisionar Negro de Fumo, Sílica, Borracha na Balança de Borracha 1) também deve provisionar a borracha na Balança de Borracha 2 durante a fabricação do composto 25348X10.

Para a análise da ocupação do colaborador responsável por abastecer os containers foi realizado um acompanhamento da fabricação de 60 cargas fabricadas

do produto 25348X10. A partir da análise da ocupação, representada na Figura 26, é possível perceber uma ocupação média de 94,1% do colaborador, sendo desses 42,4% referentes a atividade de abastecimento das borrachas nas Balanças de Borracha 1 e 2, na qual é realizada exclusivamente pelo colaborador, 13,5% para o abastecimento do negro de fumo e sílica e 22,7% referentes as atividades imprevistas que não deveriam ocorrer em uma jornada normal de produção, porém que são inerentes ao processo produtivo, classificada como irregulares.

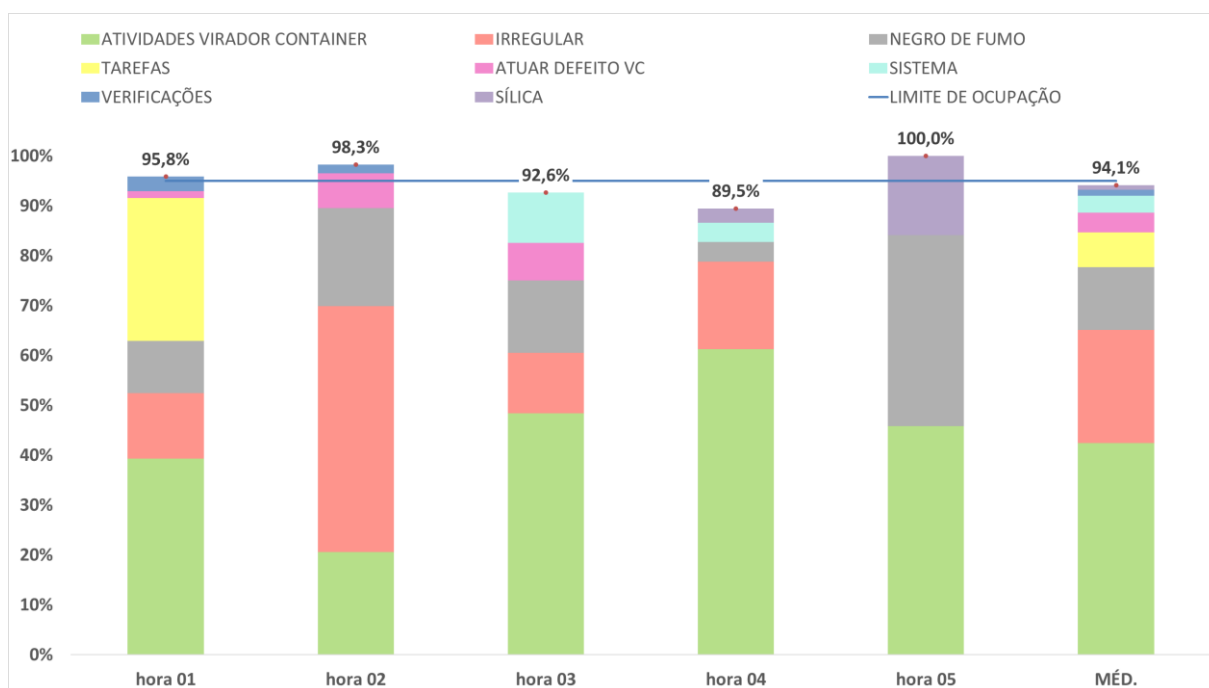


Figura 26 – Distribuição da ocupação por hora para o colaborador VC durante produção do composto 25348X10

Fonte: Autor

A partir da análise dos dados de ocupação do colaborador responsável pelo abastecimento do Virador de Container, foi considerado que se todas as atividades de responsabilidade do colaborador do Virador de Container fossem realizadas durante a fabricação da 25348X10 o colaborador apresentaria ocupação de 100,1%, que inviabilizaria o abastecimento dos containers de borracha e conseqüentemente aumentará o espaço da interrupção de borracha no circuito, aumentando a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 1.

A fim de minimizar o impacto da alta ocupação durante a fabricação do produto 25348X10 é recomendado o remanejamento da atividade de provisionamento de negro de fumo e sílica para o colaborador responsável pelo provisionamento da Balança de Borracha 3, tendo em vista que durante a fabricação desse composto não é utilizada borracha sintética. Outra opção para minimizar a elevada ocupação do colaborador é o adiantamento do provisionamento dos produtos químicos para não interferir no abastecimento da borracha e conseqüentemente não causar uma perda de disponibilidade no misturador interno. Com o remanejamento das atividades propostas na Figura 27 o colaborador apresentaria uma ocupação média de 80,0% que permitiria o abastecimento completo do circuito, assim como a manutenção do adianto de borracha nos tapetes.

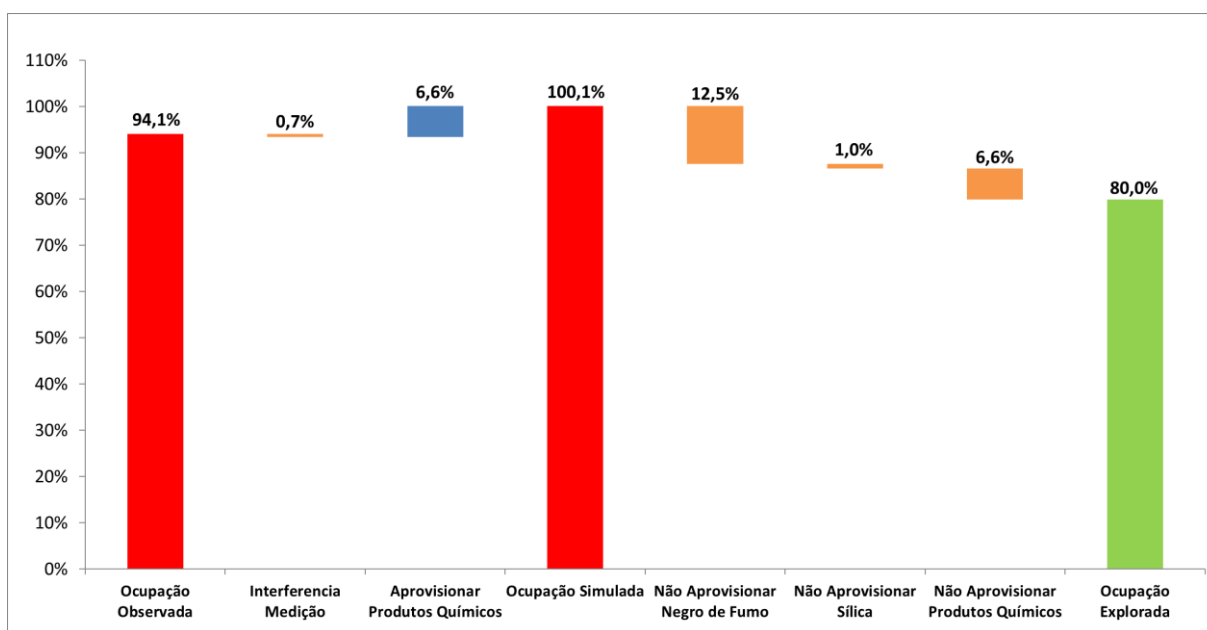


Figura 27 –Crítica da ocupação do colaborador VC com o remanejamento das atividades

Fonte: Autor

A partir dos dados apresentados durante a análise da ocupação do colaborador presente na Figura 27 é proposto principalmente o remanejamento das atividades de Provisionamento do Negro de Fumo (12,5%) e Provisionamento dos Produtos Químicos (6,6%) para o colaborador responsável pelo provisionamento da Balança de Borracha 3. Ambas as atividades descritas não apresentam um momento fixo para sua realização, permitindo uma flexibilidade para sua realização

tendo em torno de 30 minutos tendo em vista que o posto apresenta um adianto de matéria prima.

Ainda em relação ao processo de provisionamento de borracha é verificado na Figura 28 a variação do adianto de borracha nos tapetes que correspondem o circuito da Balança de Borracha 2 (Tapete de Elevação 21, 22 e 23) e as perdas de disponibilidade computadas no misturador interno. A partir do gráfico é possível observar que em situação normal, 1^o hora de acompanhamento, o colaborador com 39,3% de ocupação destinada para atividades de provisionamento de borracha (Atividades do Virador de Container) gerencia de forma satisfatória o adianto de borracha, com variação entre dois e três containers de borracha no circuito e baixa perda de disponibilidade. Entretanto, após uma não realização do abastecimento durante 31,6 minutos no Virador de Container as 8:59, devido a necessidade de provisionamento de negro de fumo e uma parada voluntária de 17,7 minutos do colaborador criou-se uma perda de todo o tempo de adianto de borracha que se difundiu durante o restante da fabricação. Durante o respectivo acompanhamento acumulou-se o tempo de perda de 59,8 minutos, em que destes 21,9 minutos ocorreram devido a falta de borracha no virador de container (1,66 minutos por tonelada produzida) e 23,8 minutos devido a ineficiência do processo de pesagem da Balança de Borracha 2 (1,80 minutos por tonelada produzida), acumulando uma perda de disponibilidade de total de 3,46 minutos por tonelada produzida.

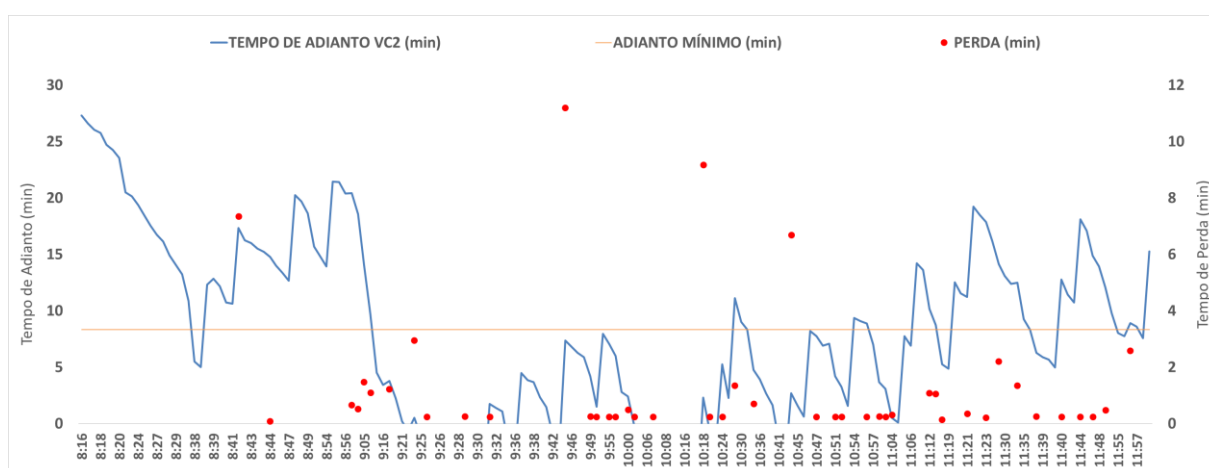


Figura 28 – Evolução do tempo de adianto de abastecimento de borracha no VC2 durante fabricação do produto 25348X10 e distribuição das perdas de disponibilidade

Fonte: Autor

Com a finalidade de analisar as ineficiências do processo de pesagem, identificado no Diagrama de Causa e Efeito, da Balança de Borracha 2 foi realizado na Figura 29 o mapeamento das diferentes etapas descritas no Quadro 6 com a representação de Gantt. A obtenção dos dados referente ao tempo de pesagem considerando as diferentes etapas foi de 3,19 min, enquanto na fase Medir foi obtido o tempo médio de 3,20 min, garantido a alta representatividade do detalhamento com a realidade.

Entretanto, na obtenção dos tempos foi observado uma alta variação do tempo de Dosagem da Balança que se torna o principal fator da ineficiência do processo da pesagem. A etapa de Dosagem da Balança corresponde ao processo de abastecer os 6 kg finais de uma pesagem a partir de pequenas movimentações do Tapete de Elevação 23 e que permitem a caída lentamente da Borracha dentro da Balança. A etapa correspondente a Dosagem da Balança apresenta um tempo de 1,03 min que corresponde a 32,2% do tempo total de pesagem para dosar uma média de 4,97 kg da massa final de uma pesagem.

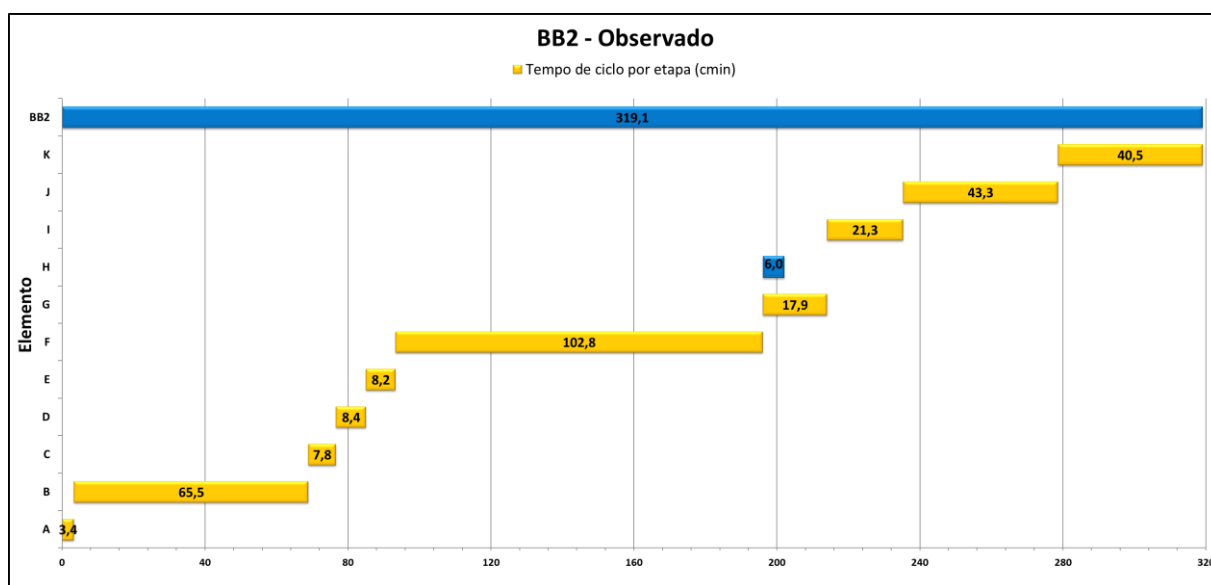


Figura 29 – Detalhamento do tempo realizado por etapa para uma pesagem na balança de Borracha 2
Fonte: Autor

| Índice | Elemento |
|--------|--|
| A | Abertura do Flap |
| B | Pesagem Inicial |
| C | Validação de peso da Balança |
| D | Dosagem Inicial da Balança |
| E | Validação de peso da Balança |
| F | Dosagem da Balança |
| G | Evacuação da Borracha |
| H | Fechamento da Sela |
| I | Movimentação da Borracha da BB2 para TE36 |
| J | Movimentação da Borracha até balancela do TE36 |
| K | Liberação nova pesagem |

Quadro 6 – Detalhamento das atividades realizadas para pesagem da Balança de Borracha 3
Fonte: Autor

Dessa forma, tendo em vista que o processo referente a Dosagem da Balança corresponde a 32,2% do tempo observado de pesagem, propôs-se a redução do tempo atual da Dosagem da Balança por meio da diminuição da massa estipulada para ser aprovionada nessa etapa de 6,00 kg para 2,95 kg. Com a modificação do parâmetro da massa, apenas 2,95 kg de borracha seriam lentamente aprovionados na etapa de Dosagem da Balança a uma velocidade de 4,2 kg/min enquanto o restante da massa seria abastecido na etapa denominada de Pesagem Inicial a uma velocidade de 168,4 kg/min.

Além da modificação de parâmetro descrito acima, foi considerado que as etapas de Dosagem Inicial da Balança e Validação de peso da Balança são irrelevantes para o processo, tendo em vista que correspondem a ação de garantir que uma baixa fração de borracha caia na balança sem realizar a movimentação do Tapete de Elevação 23.

A partir das modificações propostas na Figura 30, a Balança de Borracha 2 apresentará um tempo total de pesagem de 2,71 min, que corresponde a uma diminuição de 14,9% do tempo inicial de pesagem e inferior ao tempo de fabricação padrão da 25348X10 no Misturador Interno.

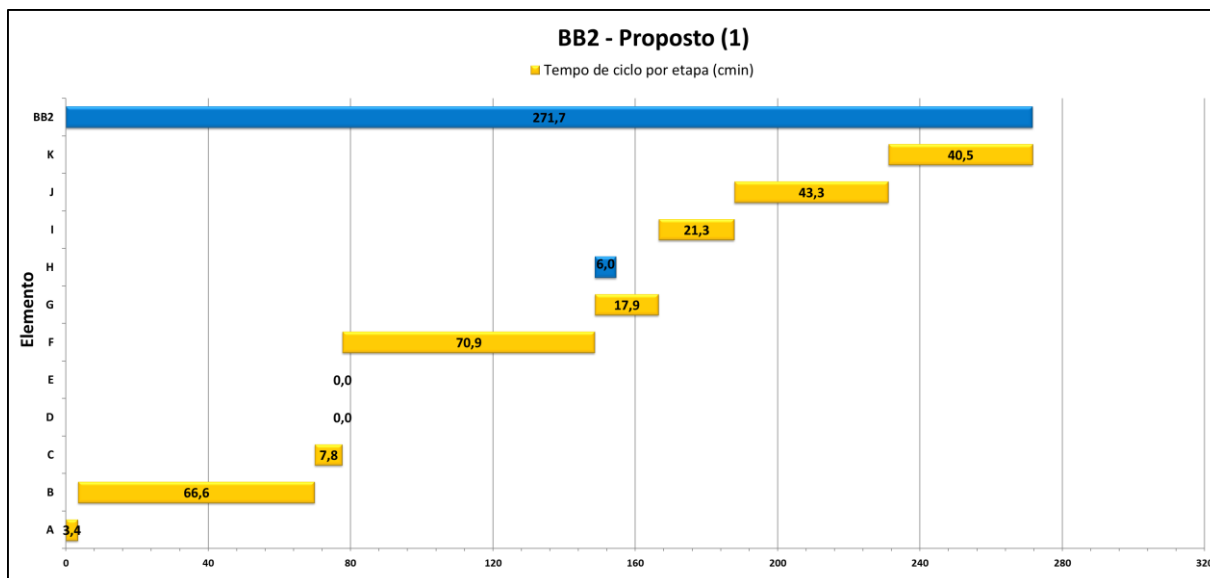


Figura 30 – Detalhamento do tempo proposto por etapa na Balança de Borracha 2 reduzindo o tempo de Dosagem da Balança

Fonte: Autor

A partir da compatibilidade dos equipamentos presentes no circuito de pesagem da Balança de Borracha 2 é possível perceber que mecanicamente as etapas referentes a Movimentação da Borracha até balanceta do TE62 (Etapa J) e Liberação nova pesagem (Etapa K) não impedem o início de uma nova pesagem da balança. Ou seja, enquanto a borracha é transportada pelo Tapete de Elevação 36 até a entrada do Misturador Interno uma nova pesagem na Balança de Borracha 2 poderia ser iniciada sem qualquer risco a qualidade dos produtos fabricados.

Entretanto, a modificação do processo de pesagem descrito na Figura 31 que representa graficamente o transporte da borracha para o misturador simultaneamente com uma nova pesagem mesmo que apresente um tempo total de pesagem de 1,88 min necessita de uma modificação complexa do sistema de pesagem e alto investimento para a modificação do sistema que gerencia os parâmetros da formulação das matérias primas utilizadas para os diferentes produtos fabricados.

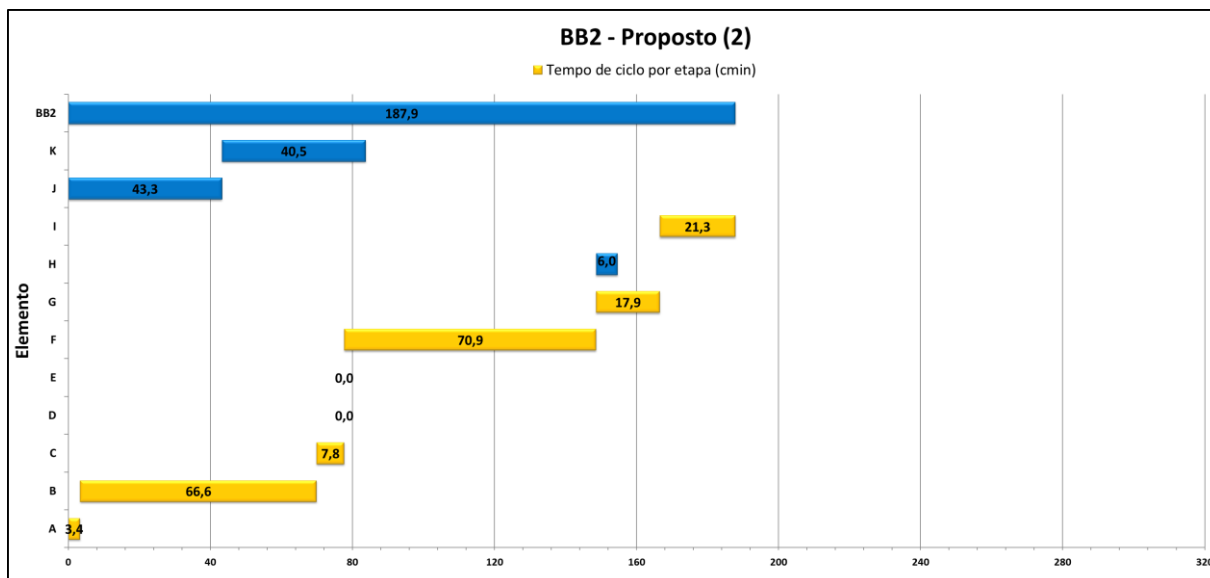


Figura 31 – Detalhamento do tempo proposto por etapa na Balança de Borracha 2 realizando o processo de transporte em simultâneo com nova pesagem

Fonte: Autor

Quanto ao processo de falta de sincronismo dos tapetes que compõem o circuito de transporte sinalizado na categoria máquina do Diagrama de Causa e Efeito, não foi identificada irregularidade nos mesmos que justifiquem a perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa em todas as Balanças de Borracha contempladas no projeto.

Por fim, na categoria materiais foi identificadas variações nas dimensões da borracha utilizada, que deveriam apresentar dimensões de 250x150 mm e entorno de 200 gramas, porém durante o recebimento do material podem apresentar tamanhos superiores com massa de até 500 gramas que dificultam a etapa de Dosagem da Balança descrita no Quadro 6. Ainda na categoria de materiais foi identificada a falta de material anticolante na borracha utilizada na Balança de Borracha 2. A ausência de anticolante na borracha pode gerar aglomerados de borracha que grudam entre si e conseqüentemente ficar preso na estrutura da máquina (encravar) quanto prejudicar a etapa de dosagem ao introduzir um grande volume de borracha simultaneamente.

Tendo em vista que as duas causas identificadas na categoria materiais são originadas pelo fornecedor e não estão presentes no perímetro do projeto, elas foram sinalizadas ao setor responsável por exigir que o fornecedor entregue a matéria prima nas especificações necessárias para a fabricação do produto, além

dos parâmetros serem acompanhadas pelos técnicos de qualidade utilizando uma regra de ação e alerta caso seja identificada a irregularidade.

Dessa forma, a partir dos dados analisados durante a fase de Análise do projeto para a Balança de Borracha 2 foi possível identificar duas oportunidades para a redução da perda de disponibilidade da máquina, o remanejamento das atividades de provisionamento do Negro de Fumo e produtos químicos para o colaborador responsável pelo provisionamento da Balança de Borracha 3 a fim de garantir uma redução de 19,1% da ocupação do colaborador responsável pelo Virador de Container e a alteração dos parâmetros da Balança de Borracha 2 para reduzir o tempo médio de pesagem da borracha para 2,72 minutos.

5.3.2 Balança de Borracha 3

De forma similar ao apontamento realizado na Balança de Borracha 2, foi realizado em conjunto com os funcionários da empresa o Diagrama de Causa e Efeito, presente no Apêndice B, para registrar os principais fatores que podem afetar a perda de disponibilidade na Balança de Borracha 3 devido divergência de peso ou dosagem longa. Durante o levantamento dos problemas para diagrama de Causa e Efeito foram identificados 10 possíveis causas para a perda de disponibilidade, estando todas relacionadas a perda de um pedaço de borracha sintética durante o transporte da Balança de Borracha 3 até a Balança de Verificação 30. Além disso, quatro dos problemas identificados (Operador do MI não consegue visualizar os tapetes do posto de trabalho, Operador da BB3 não consegue visualizar os tapetes do posto de trabalho, Circuito de transporte possuem muitas curvas/partições e Ponto de Pesagem da BB3 afastado da introdução (MI)) estão relacionados ao longo tamanho do circuito de transporte de borracha sintética da fábrica em que, caso aconteça a perda de um eventual pedaço de borracha durante o transporte não é possível identificar de forma rápida o local em que houve a encravação e nem mesmo saber se o pedaço perdido ainda continua preso na estrutura, tendo em vista que o mesmo pode se misturar com as fabricações seguintes. Ou seja, um único pedaço de borracha sintética, caso seja perdido durante o transporte pode acarretar a perda de divergência de peso em uma outra carga posterior por causa do excesso de peso gerado pelo pedaço perdido.

Dessa forma, o próprio circuito de transporte pode ser considerado uma causa raiz do problema, entretanto, por exigir de um alto investimento que necessitará alteração tanto do posicionamento das máquinas quanto da estrutura civil da fábrica uma forma de contornar o problema é a utilização de câmeras que permitam aumentar a reatividade dos operadores para a identificação e correção quando ocorrer eventual fuga de um pedaço de borracha durante o transporte.

Quanto a categoria de métodos, foi sinalizado que devido à baixa ocupação do operador responsável por realizar o processo de pesagem na Balança de Borracha 3 (49%) o mesmo realizava o enchimento dos tapetes com borracha muito antes do momento necessário para sua utilização, permitindo que a borracha se deforme plasticamente e conseqüentemente cole na estrutura responsável pelo transporte. Dessa forma, a partir dos dados obtidos durante a etapa Medir para o tempo necessário de realização de uma pesagem foi obtido no Quadro 7 o tempo de 24,78 minutos necessário para o operador iniciar a pesagem das borrachas sintéticas. Logo, uma regra prática para garantir que o operador possua tempo hábil para completar todas as pesagens e não ocorra deformação da borracha sintética na estrutura dos tapetes durante o tempo de espera é iniciar o processo de pesagem 10 vezes o tempo necessário para realizar a fabricação no misturador interno.

| Atividade | Quantidade | Tempo Atividade (cmin) | Total (cmin) | Total (min) |
|---|-------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|
| Pesagem Borracha Sintética | 9 | 200,4 | 1803,6 | 18,03 |
| Abastecer posto com Container de Borracha | 2 | 237,6 | 475,2 | 4,75 |
| Retirar Container vazio do posto | 1 | 199,6 | 199,6 | 1,99 |
| Total de Tempo necessário para adianto | | | 2478,4 | 24,78 |

Quadro 7 – Detalhamento das atividades realizadas para pesagem da Balança de Borracha 3
Fonte: Autor

Por outro lado, quanto ao método de provisionamento de pedaços pequenos não foi possível analisar uma correlação as perdas de disponibilidade e o tamanho

dos pedaços de borracha sintética, tendo em vista que a perda do pedaço ocorre com os mais variados tamanhos e qualidades de borracha.

Durante o mapeamento das causas que podem originar as perdas de disponibilidade na Balança de Borracha 3 foi sinalizado que devido ao elevado peso das borrachas transportadas no circuito impacta negativamente a estrutura dos tapetes, causando degradação dos mais diversos elementos mecânicos da máquina. A degradação da máquina torna-se mais evidenciado nas curvas acentuadas do circuito, conforme observado na Figura 32, que são propícias para a colagem da borracha nas proteções do tapete.

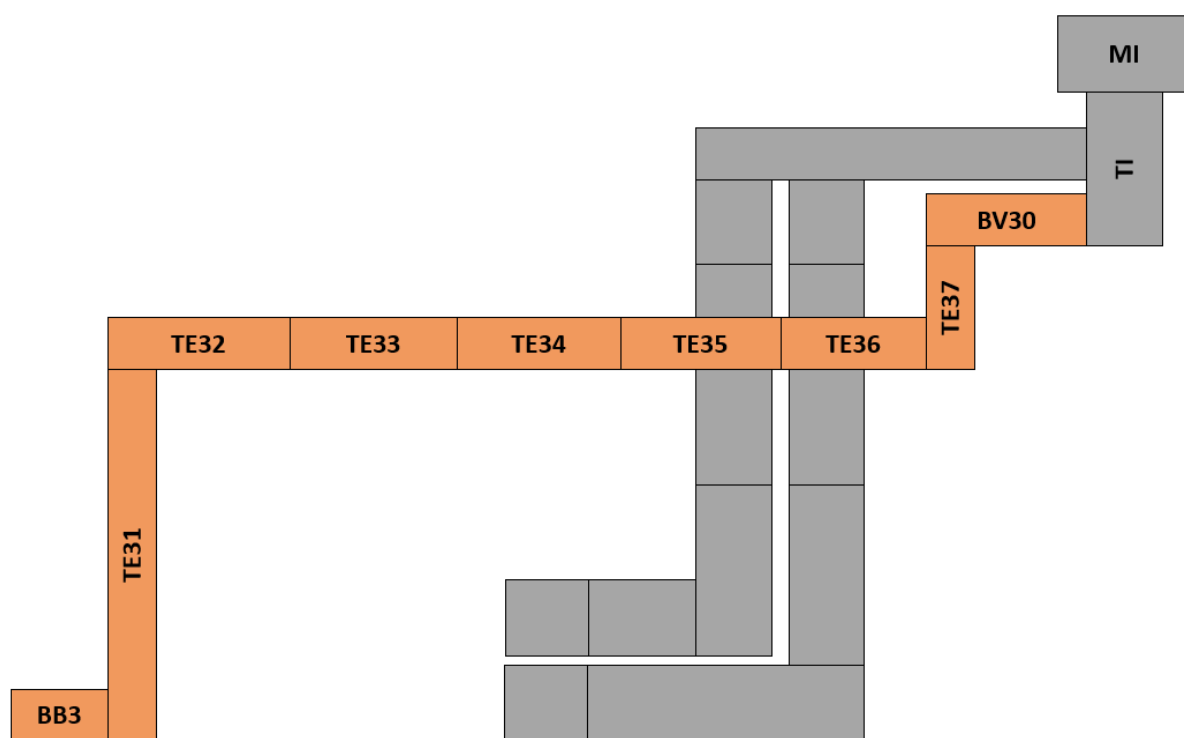


Figura 32 – Detalhamento do circuito de transporte da Balança de Borracha 3

Fonte: Autor

Dessa forma, após uma caça aos desperdícios a fim de identificar possíveis pontos de encravação da borracha na estrutura foi identificado uma degradação de máquina na curva entre os Tapetes de Elevação 36 e 37, conforme presente na Figura 33, em que um pedaço de borracha mal posicionado se prende no retorno do tapete TE36. A falta de presença da borracha presa no Tapete de Elevação 36 causa erro de leitura no peso na Balança de Verificação 30 (deriva de peso) que interrompe a introdução das matérias primas no misturador interno. A interrupção do

fluxo de borracha descrito necessita da interferência do colaborador responsável para o desprendimento da borracha e normalização do circuito de introdução das matérias primas.

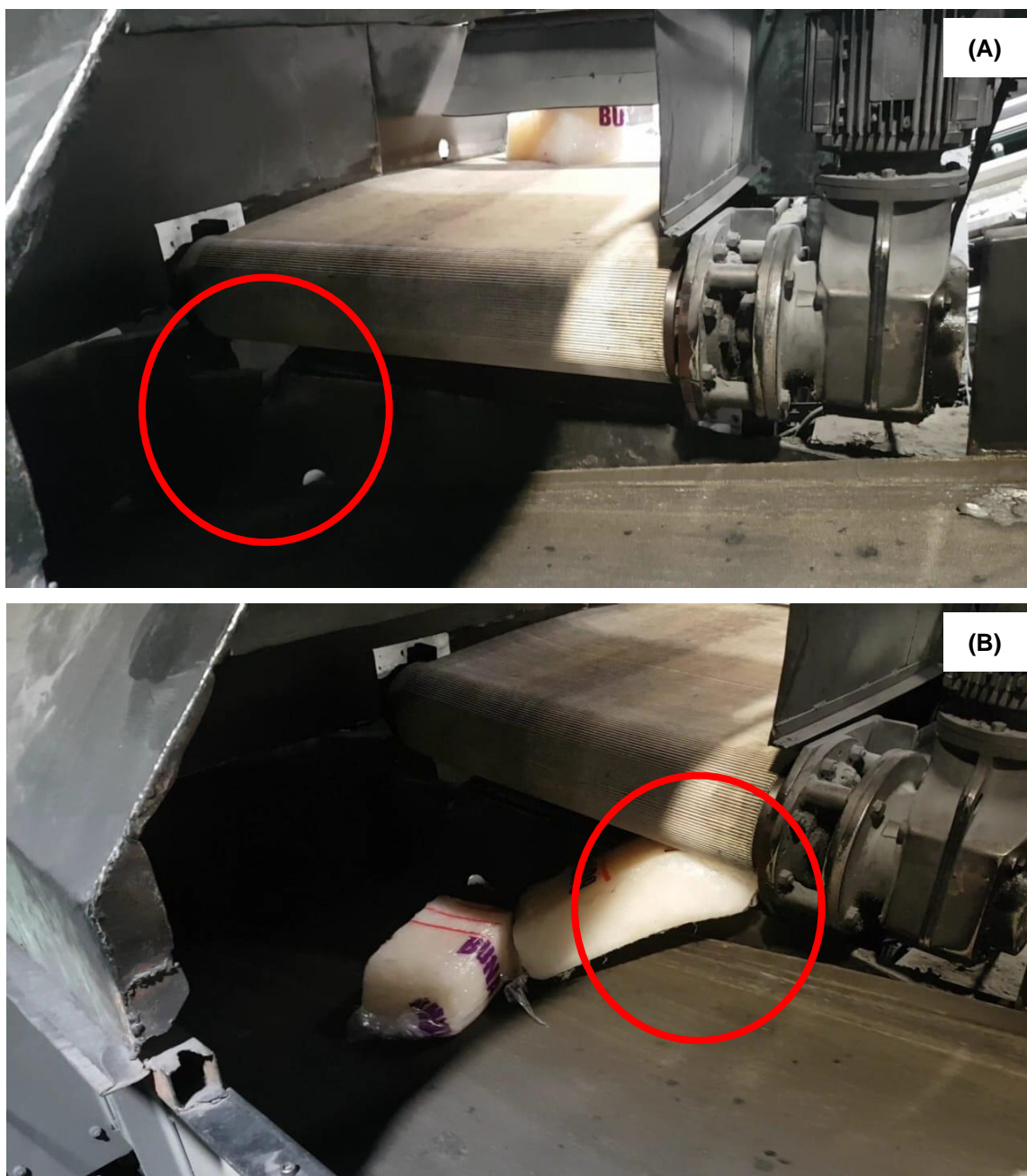


Figura 33 – Estrutura de interseção dos Tapetes de Elevação 36 e 37. (A) Apontamento da Degradação da Estrutura. (B) Encravação da Borracha na estrutura causada pela degradação.

Fonte: Autor

5.3.3 Balança de Borracha 1

A partir da Análise dos dados representados na Figura 24 e 25 referentes a medição da perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa e sua relação com a massa produzida dos produtos fabricados pela Balança de Borracha 1 é possível perceber uma discrepância do produto 22175X05, com perda equivalente de 1,67 min/ton, das demais que possuem uma média de 0,07 min/ton. Dessa forma, a fim de identificar o motivo do elevado valor de perda de disponibilidade para o respectivo composto de borracha foi analisado na Figuras 34 os dias em que ocorreram as produções da 22175X10 assim como suas respectivas perdas de disponibilidade.

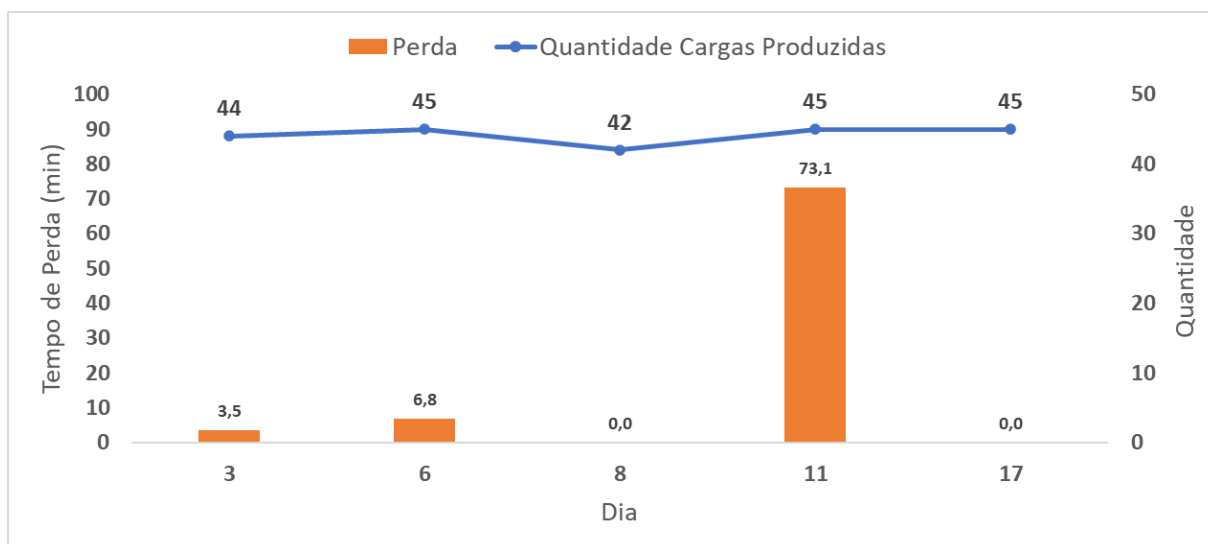


Figura 34 – Análise da produção do composto 22175X05 e perda de disponibilidade na Balança de Borracha 1

Fonte: Autor

A partir do detalhamento das perdas de disponibilidade da produção realizada no 11º dia dos dados analisados é possível reparar na Figura 35 que ocorreu perdas pontuais de 42 minutos na 7ª carga, de 14,4 minutos na 10ª carga, de 8,3 minutos 20ª carga e de 3,8 minutos na 27ª carga, tempos esses superiores à média de 2,09 minutos de perda de disponibilidade na Balança de Borracha 1 para os demais compostos de borracha fabricados.

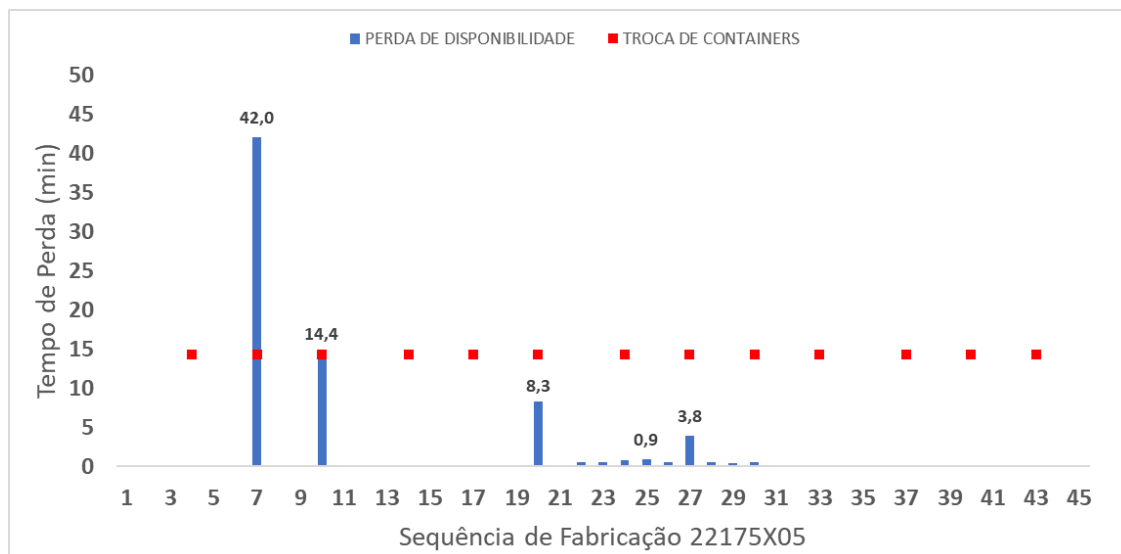


Figura 35 – Análise da perda de disponibilidade na Balança de Borracha 1 da produção realizada no 11º dia do período de análise para o composto 22175X05

Fonte: Autor

Dessa forma, a partir da análise da Figura 36 é perceptível uma perda acumulada de 68,5 minutos que ocorreram durante a troca de containers. O evento ocorrido no 11º dia da análise foi causado devido a um problema pontual no fornecedor que originou o acúmulo de borrachas coladas nos containers que consequentemente se fixaram na estrutura móvel de controle de pesagem da balança (Flap), conforme representado na Figura 36.

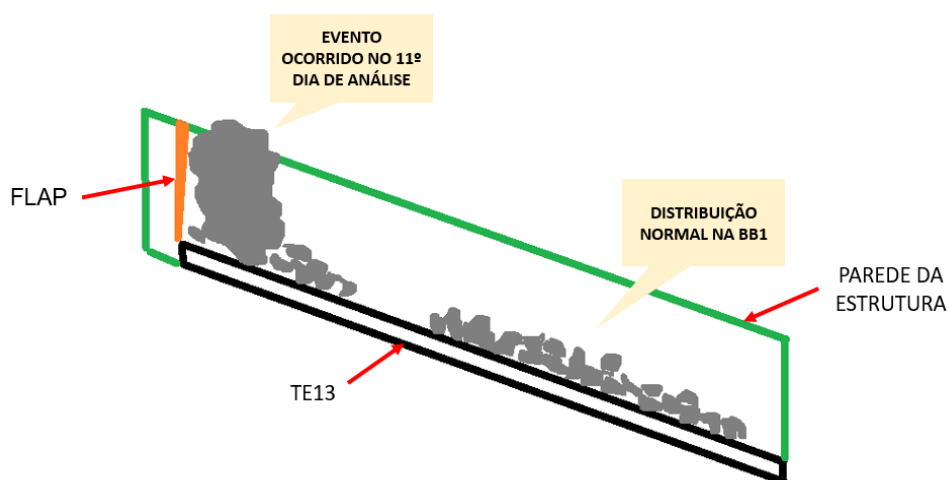


Figura 36 – Representação do evento de borracha colada na Balança de Borracha 1

Fonte: Autor

5.3.4 Priorização das Causas

Ao término da construção e detalhamento dos Diagramas de Causa e Efeito para as diferentes máquinas que contemplam o projeto foram identificadas muitas causas potenciais para a perda devido divergência de peso ou dosagem longa nas balanças de borracha. No entanto, mesmo com a análise dos dados que reforçam o impacto das causas levantadas com seus respectivos efeitos, como a análise de Tempo de Ciclo para a Balança de Borracha 2 e a ocupação do colaborador responsável pelo Virador de Container que realmente contribuem para a ocorrência da perda ainda existem causas potenciais identificadas no diagrama que se tornam inviáveis a coleta de dados em um tempo hábil para o projeto.

No caso indicado Werkema (2012) recomenda a utilização da Matriz de Priorização, conforme presente no Quadro 8, para correlacionar as saídas do processo (medidas associadas aos problemas) com as entradas e demais variáveis (causas potenciais dos problemas prioritários) para então quantificar a importância das causas prioritárias que causam a perda de disponibilidade.

| Causas | Problemas | Perda de disponibilidade na BB2 Inferior a 100 cmin | Perda de disponibilidade na BB2 superior a 100 cmin | Perda de disponibilidade na BB3 | Perda de disponibilidade na BB1 | Total |
|--|-----------|---|---|---------------------------------|---------------------------------|-------|
| Peso (5 a 10) | | 10 | 9 | 7 | 5 | |
| Ocupação Elevada colaborador VC | | 1 | 3 | 0 | 0 | 37 |
| Ineficiência processo de pesagem BB2 | | 5 | 3 | 0 | 0 | 77 |
| Falta de borracha no circuito maior que previsto | | 1 | 5 | 0 | 0 | 55 |
| Tamanho irregular da borracha | | 1 | 1 | 0 | 1 | 24 |
| Encravação da borracha ao longo do circuito | | 0 | 0 | 1 | 0 | 7 |
| Tempo excessivo da borracha no circuito | | 0 | 0 | 3 | 0 | 21 |
| Degradação da estrutura TE36 / TE37 | | 0 | 0 | 5 | 0 | 35 |
| Legenda: (5) Correlação Forte; (3) Correlação Moderada; (1) Correlação Fraca; (0) Correlação Ausente | | | | | | |

Quadro 8 – Representação da Matriz de Prioridade das causas com as perdas de disponibilidade
Fonte: Autor

A partir das prioridades resultada dos critérios de peso e correlação atribuídos pela equipe do projeto a causa prioritária corresponde a ineficiência do processo de pesagem da Balança de Borracha 2 que apresenta um tempo de pesagem média de

3,19 min enquanto a máquina gargalo (Misturador Interno) apresenta tempo de fabricação de 2,75 min. Em contrapartida, durante a realização do projeto não foi identificada uma causa raiz para a perda de disponibilidade na Balança de Borracha 1 devido divergência de peso ou dosagem longa com exceção da perda pontual com o produto 22175X05.

5.4 IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS

A partir dos resultados das análises dos dados durante a fase de Análise será realizado na fase de Implementação a criação de propostas de ações que visem a eliminação das causas raízes identificadas e que consequentemente resultará na diminuição das perdas de disponibilidade conforme estabelecidos pelo cliente na fase Definir.



Figura 37 – Representação da Matriz de Esforço e Impacto das ações de implementação

Fonte: Autor

No início da fase de Implementação, após uma reunião de brainstorm para a identificação das ações necessárias para solucionar as causas identificadas na etapa de Análise, buscou-se a identificação das propostas e categorização em um diagrama de Esforço e Impacto, presente na Figura 37. No diagrama, as ações foram separadas conforme o esforço de implementação da ação, ou seja, o quanto a empresa deve investir tanto financeiramente quanto o tempo de dedicação da equipe para a implementação da ação de melhoria e o impacto ou resultado alcançado com a implementação da ação.

A partir do diagrama de esforço e Impacto, as ações categorizadas com Maior Impacto e Baixo Esforço (Alteração dos parâmetros de pesagem e utilização de 2 containers no circuito de pesagem) foram consideradas como as ações mais recomendadas, caracterizadas como ganhos rápidos. A ação de substituição da estrutura do TE36 / TE37, mesmo que demande um maior gasto financeiro com contratação de serralheiro e material também é recomendada a realização a Médio-Longo prazo visto que sua realização não envolve diretamente a equipe do projeto.

Por outro lado, as ações consideradas de Baixo Impacto e Alto esforço (Substituição das facas de corte de borracha no fornecedor, Ajuste parâmetros de anticolante no fornecedor e Diminuição do circuito da Balança de Borracha 3) foram descartadas pela equipe tendo em vista que fogem do perímetro do projeto e necessitam de modificação direta do fornecedor ou de uma intervenção severa na estrutura da máquina, demandando um alto custo e perda de disponibilidade para implementação.

Pelo fato do diagrama de Esforço e Impacto corresponder de uma abordagem qualitativa da relação das ações com a real solução das causas raízes apresentadas na fase de Análise foi montado a Matriz de GUT para o projeto, presente no Quadro 9, a fim de permitir uma melhor priorização das ações pela equipe. Segundo Bastos (2014) a técnica de GUT foi desenvolvida por especialistas em solução de questões organizacionais com o objetivo de orientar decisões mais complexas, sendo frequentemente empregada para definir as prioridades diante de diversas alternativas de ações.

| Nº | MÁQUINA | AÇÃO | GRAVIDADE | URGÊNCIA | TENDÊNCIA | TOTAL | PRIORIDADE |
|----|-----------|--|-----------|----------|-----------|-------|------------|
| 1 | BB2 | Remanejamento das atividades do colaborador do VC para colaborador BB3 | 2 | 5 | 4 | 40 | 3º |
| 2 | BB2 | Alteração dos Parâmetros de Pesagem | 5 | 4 | 4 | 80 | 1º |
| 3 | BB2 | Utilização de 2 Containers no circuito da BB2 | 2 | 3 | 3 | 18 | 6º |
| 4 | BB2 / BB1 | Substituição das Facas de corte de borracha no fornecedor | 2 | 3 | 4 | 24 | - |
| 5 | BB2 / BB1 | Ajuste parametros de anticongelante no fornecedor | 2 | 3 | 2 | 12 | - |
| 6 | BB3 | Diminuição do circuito da BB3 | 2 | 1 | 2 | 4 | - |
| 7 | BB3 | Implementação de Camaras para visualizar circuito da BB3 | 2 | 4 | 3 | 24 | 5º |
| 8 | BB3 | Implementar tempo máximo de adianto da pesagem | 3 | 4 | 3 | 36 | 4º |
| 9 | BB3 | Implementar novo procedimento de pesagem para colaborador BB3 | 1 | 2 | 2 | 4 | - |
| 10 | BB3 | Substituição estrutura TE36/ TE37 | 4 | 4 | 5 | 80 | 2º |

Quadro 9 – Priorização das Ações por meio da Matriz GUT
Fonte: Autor

Dessa forma, com a análise conjunta da Matriz de Esforço e Impacto e a Matriz de GUT é possível responder racionalmente perguntas como “o que devemos fazer primeiro?” e “por onde devemos começar?”, pois várias ações mapeadas apresentam o mesmo responsável e sem um direcionamento definitivo dificultaria a realização delas no prazo do projeto.

A primeira ação prioritária na Matriz GUT é a alteração dos parâmetros de pesagem, conforme proposta na Figura 30 do presente trabalho. A modificação dos parâmetros tem por finalidade a diminuição do tempo de pesagem da Balança de Borracha 2 com a alteração do parâmetro de massa de 6,00 kg para 2,95 kg em que ocorre a troca do processo mais rápido de Pesagem Inicial para o processo mais lento de Dosagem da Balança.

É importante explicar que durante a modificação do parâmetro de pesagem não ocorreu a alteração da massa total pesada pela balança para a fabricação de uma carga do composto de borracha, apenas que a etapa mais lenta em que ocorre a pesagem (Dosagem da Balança) irá pesar um peso menor de borracha (2,95 kg) enquanto o restante do peso requerido será realizado durante a etapa mais rápida (Pesagem Inicial).

Dessa forma, o resultado das modificações propostas na Fase de Análise para a alteração dos parâmetros de pesagem está apresentado na Figura 38. A partir do resultado dos dados é possível observar um aumento natural do tempo de Pesagem Inicial de 0,655 min para 0,923 min e a consequente diminuição do tempo da etapa de dosagem da balança (etapa mais lenta) de 1,028 min para 0,307 min.

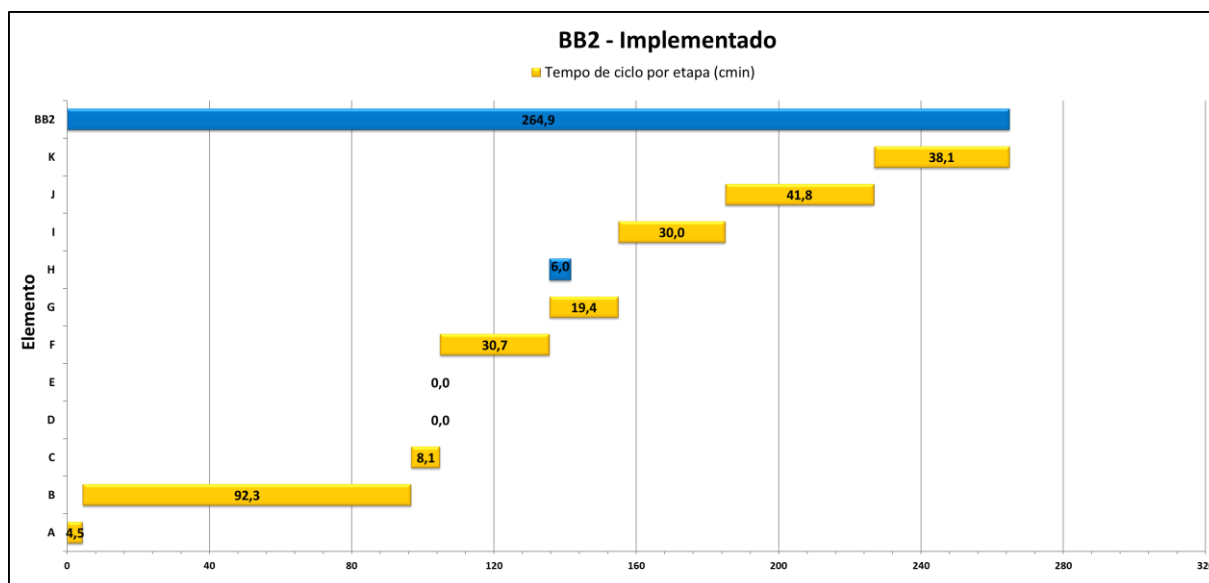


Figura 38 – Representação do tempo por etapa na Balança de Borracha 2 com a implementação da modificação dos parâmetros

Fonte: Autor

Por outro lado, a partir da análise dos tempos após a implementação presente na Figura 38 é possível perceber um aumento do tempo médio da etapa de movimentação da borracha da BB2 para TE36 que pode ser explicado pela espera da Balança de Borracha 2 para a finalização do tempo de ciclo do misturador interno de 2,75 min. Ou seja, na média, com a implementação da modificação ocorreu uma mudança de comportamento na fabricação da mistura em que a Balança de Borracha 2 deixa de se tornar a máquina gargalo durante a fabricação do composto 25348X10.

A fim de verificar a eficácia da alteração dos parâmetros de pesagem da Balança de Borracha 2 foi realizado a medição dos novos tempos de pesagem da balança, presentes na Figura 39. A partir dos dados apresentados é possível perceber uma diminuição expressiva dos tempos médios de pesagem passando de

3,20 min para 2,69 min que reforça a eficácia da implementação e a solução da ineficiência do processo.

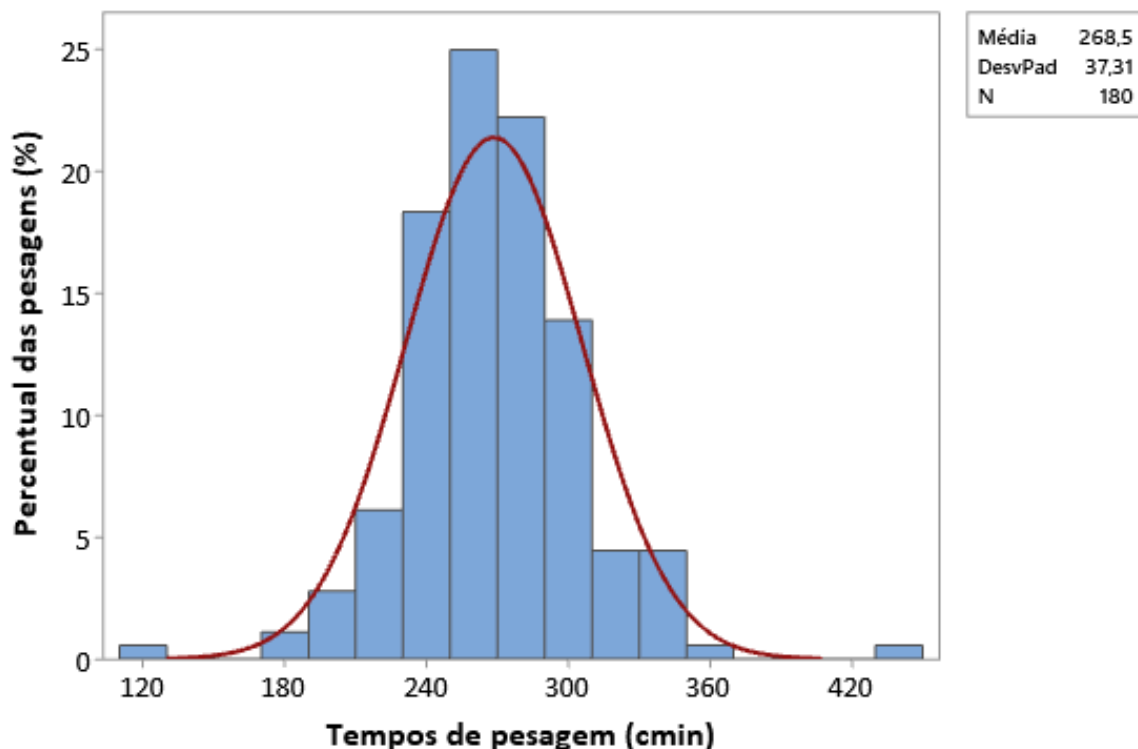


Figura 39 – Histograma tempo de pesagem da Balança de Borracha 2 após modificação dos parâmetros
Fonte: Autor

Dessa forma, como um desdobramento do excelente resultado gerado pela alteração dos parâmetros, a fim de tornar a unidade de fabricação mais competitiva, propôs-se a diminuição do tempo de fabricação desse produto no Misturador Interno de 2,75 min para 2,60 min tendo em vista que não causaria a degradação das características físico-químicas do composto de borracha 25348X10. A partir da modificação do tempo de fabricação no misturador interno será possível transformar um tempo ocioso da Balança de Borracha 2 em um tempo destinado para a fabricação, conforme apresentado na Figura 40. Ao retornar à configuração inicial, em que o misturador interno espera a Balança de Borracha, será possível reduzir o tempo total de fabricação em 0,065 min por carga (0,26 min a cada 4 cargas).

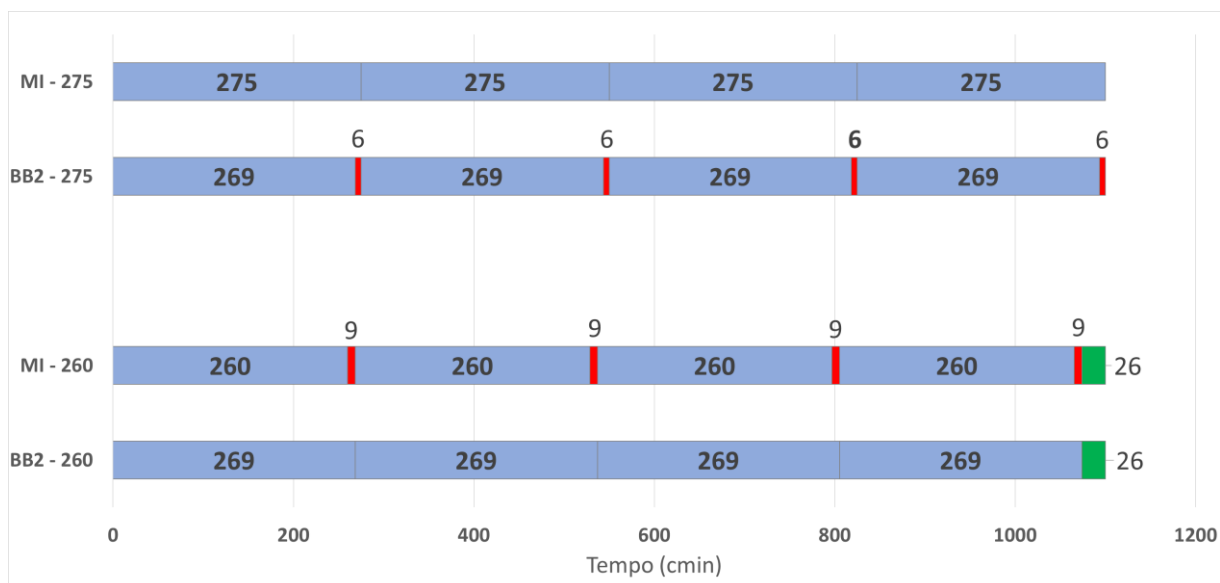


Figura 40 – Representação dos cenários de fabricação do composto 25348X10

Fonte: Autor

Entretanto, devido a variabilidade do processo de pesagem, a partir dos tempos obtidos no Histograma da Figura 39 foi possível calcular uma média do quanto cada pesagem espera um novo ciclo do misturador interno (0,18 min) e ao mesmo tempo uma média do quanto cada pesagem gera de perda de disponibilidade para a unidade de fabricação (0,11 min) apresentado na Figura 41. A partir do cenário com tempo de fabricação de 2,60 min presente na Figura 41 prevê-se para a Balança de Borracha 2 à espera de novo ciclo do misturador interno com uma média de 0,10 min e uma perda média de disponibilidade de 0,18 min. Ou seja, durante a fabricação de uma carga do produto 25348X10 com a alteração dos parâmetros de pesagem a Balança de Borracha 2 gera uma perda de 0,5 minutos a cada tonelada produzida e que caso o tempo de ciclo do misturador interno fosse alterado para 2,60 min causará uma perda de 0,82 min a cada tonelada produzida.

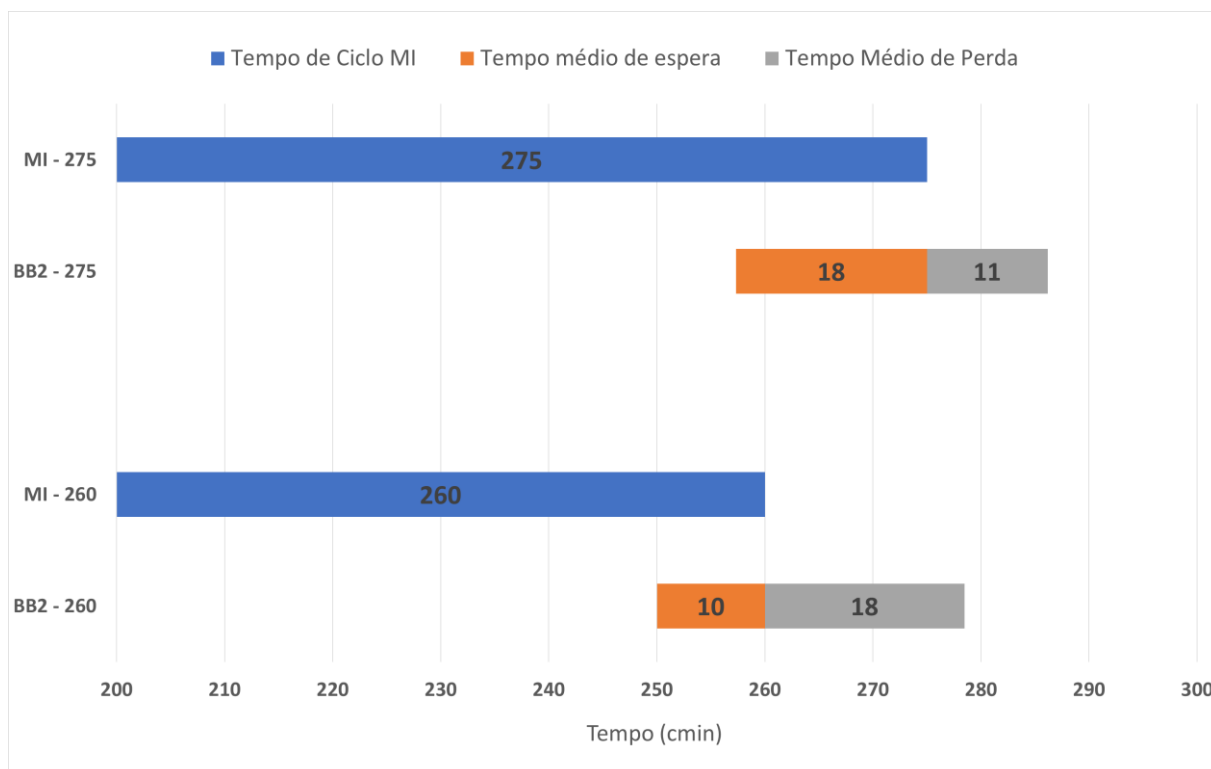


Figura 41 – Representação dos tempos de Espera e perda de disponibilidade na Balança de Borracha 2 com os diferentes cenários de fabricação

Fonte: Autor

A partir da realização das ações de Alteração dos parâmetros de pesagem e utilização de 2 containers no circuito de pesagem expressas na Matriz GUT do Quadro 9 é possível observar na Figura 42 a evolução do indicador Chave do projeto de 1,84 minutos de perda de disponibilidade por tonelada produzida para uma perda equivalente de 0,51 minutos de perda de disponibilidade por tonelada produzida caso fosse mantido os parâmetros de fabricação do início do projeto. É importante ressaltar que com a modificação do tempo de fabricação do composto 25348X10 para 2,60 min aumentou-se consequentemente as perdas de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa na Balança de Borracha 2, porém que foram compensados pelo aumento de capacidade de 4,8 para 5,08 toneladas produzida por hora para o produto indicado.

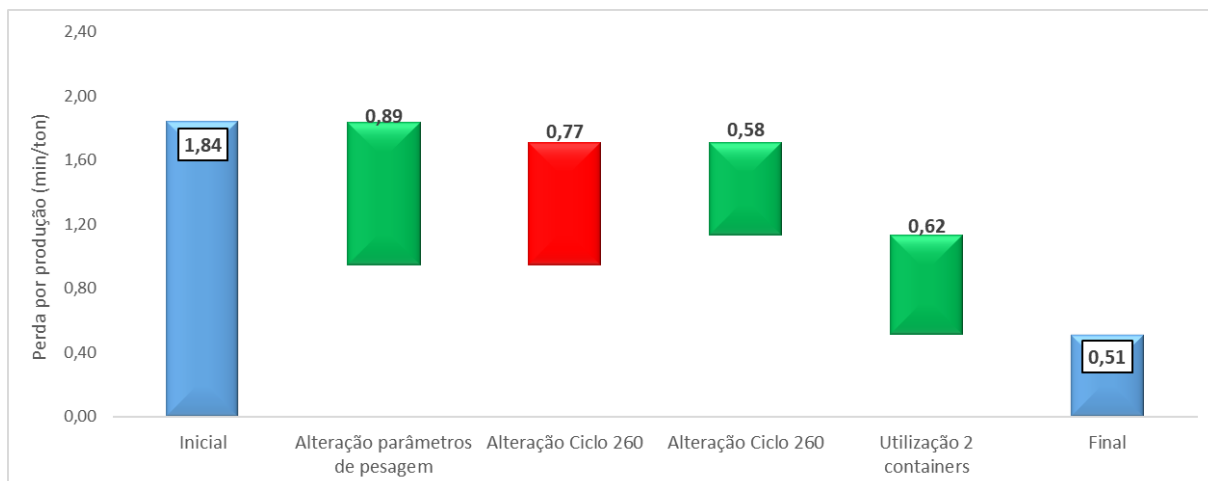


Figura 42 – Evolução da perda de disponibilidade pela massa produzida detalhada pelas ações implementadas na BB2

Fonte: Autor

Quanto a implementação das ações referentes a Balança de Borracha 3 fora estipulada o tempo de adianto para o abastecimento das borrachas sintéticas no circuito da Balança de Borracha 3 para no máximo 10 vezes o tempo necessário para realizar a fabricação no misturador interno ou o tempo máximo de 30 minutos antes do início da fabricação, devendo-se sempre utilizar o menor tempo estipulado. Tal ação não apresenta um resultado direto nas perdas de disponibilidade tendo em vista que apresenta como objetivo reduzir o risco da borracha colar na estrutura do circuito, conforme Figura 43, que é agravado durante o verão.



Figura 43 – Representação de duas borrachas sintéticas coladas na estrutura

Fonte: Autor

Para a substituição da estrutura de interligação do Tapete de Elevação 36 e 37 foi realizada a substituição do suporte degradado feito de uma chapa de aço de 1,5 mm localizado abaixo do Tapete de Elevação 36 por um novo suporte mais robusto dotado de duas chapas grossas de 3 mm soldadas conforme pode-se observar na Figura 44.



Figura 44 – Substituição da Estrutura TE36/37

Fonte: Autor

A partir da realização das ações de substituição da estrutura do TE36 / 37 em conjunto com a implementação do tempo máximo de adianto para a pesagem expressas na Matriz GUT para a Balança de Borracha 3 é possível observar na Figura 45 o resultado do indicador Chave do projeto de 0,22 minutos de perda de disponibilidade por tonelada produzida para uma perda real de 0,09 minutos de perda de disponibilidade por tonelada produzida. Tendo em vista a dificuldade de isolar os efeitos das duas ações escolheu-se durante o projeto considerá-las como uma ação única que resultou em uma redução de 0,14 minutos por tonelada para a Balança de Borracha 3.

Quanto a implementação das câmeras para o monitoramento do circuito da Balança de Borracha 3 não foi possível a sua realização durante o tempo estipulado para o projeto e, portanto, foi considerado como uma ação futura a ser realizada pela equipe da unidade de fabricação tendo em vista que necessita de mão de obra e externa e um prazo maior para realização.

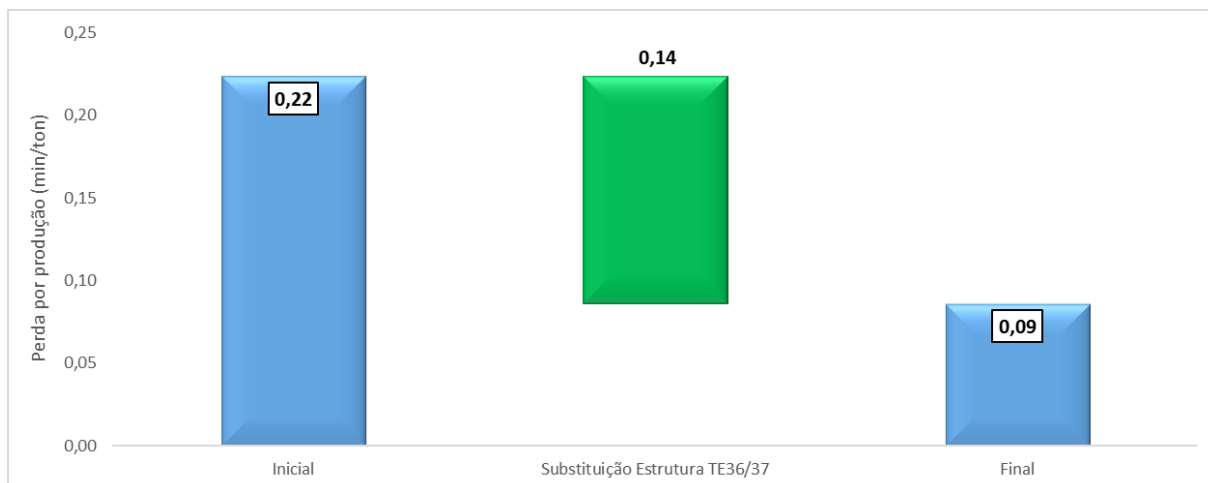


Figura 45 – Evolução da perda de disponibilidade pela massa produzida detalhada pelas ações implementadas na BB3

Fonte: Autor

5.5 CONTROLE

A partir dos resultados do indicador de perda de disponibilidade devido divergência de peso ou dosagem longa em relação a quantidade em massa produzida ao longo dos meses em que ocorreram o projeto é possível acompanhar a evolução do indicador na Figura 46 para a Balança de Borracha 2 e na Figura 47 para a Balança de Borracha 3.

Dessa forma, a partir de uma observação da Figura 46 é possível observar a queda de 1,86 para 0,87 minutos por tonelada entre os meses M3 e M4 devido a alteração dos parâmetros de pesagem da BB2, uma degradação de 0,98 para 1,77 minutos por tonelada produzida entre os meses M6 e M7 devido a modificação do tempo de fabricação do composto 25348X10 no Misturador Interno de 2,75 min para 2,60 min, ocorrendo uma perda do índice de disponibilidade, porém aumento da capacidade produtiva da unidade de fabricação e por fim uma diminuição de 1,77 para 1,11 minutos por tonelada entre os meses M7 e M8 devido a utilização de 2 containers no circuito da Balança de Borracha 2.

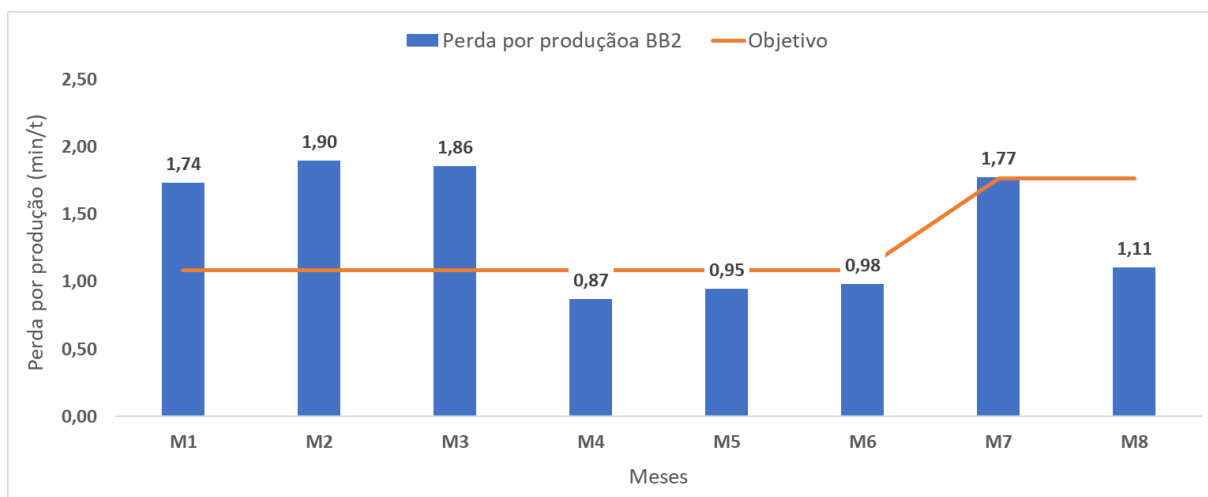


Figura 46 – Acompanhamento da evolução da perda de disponibilidade por produção durante o projeto para a BB2

Fonte: Autor

A partir do acompanhamento dos resultados do indicador do projeto para a Balança de Borracha 3 é possível reparar uma crescente da perda de disponibilidade ao longo dos meses do projeto, reforçando o alto valor de tendência atribuído a ação, que é interrompida entre os meses M5 e M6 com a substituição da estrutura do TE36 / 37 que gerou uma redução imediata de 0,321 para 0,104 minutos por tonelada produzida de borracha sintética.

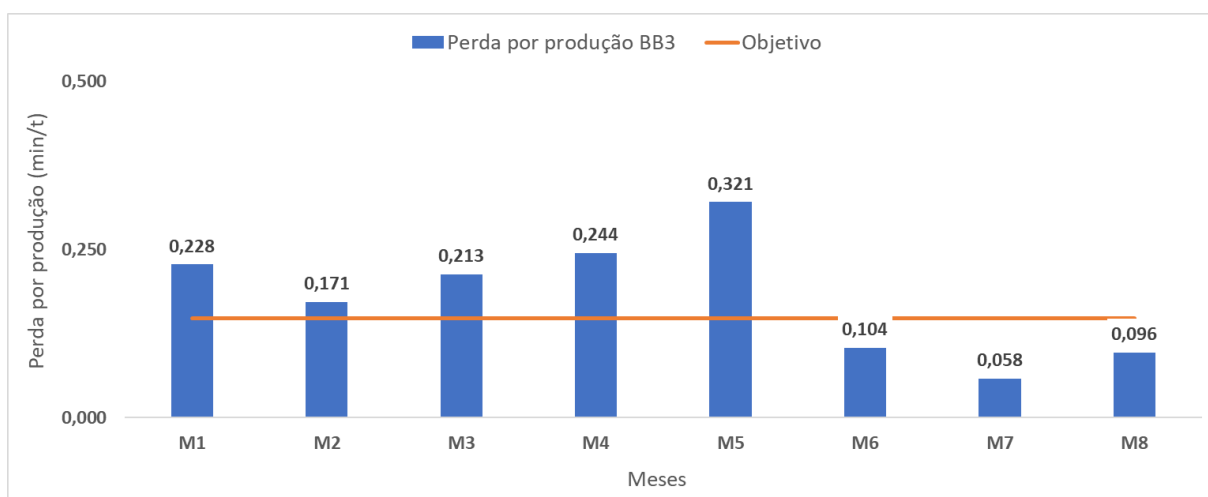


Figura 47 – Acompanhamento da evolução da perda de disponibilidade por produção durante o projeto para a BB3

Fonte: Autor

Após a realização das ações de melhoria realizada na fase de implementação do projeto, foi realizado um acompanhamento semanal dos resultados da perda de disponibilidade pela massa de produto fabricado na forma da carta de controle I-AM, conforme apresentado na Figura 48.

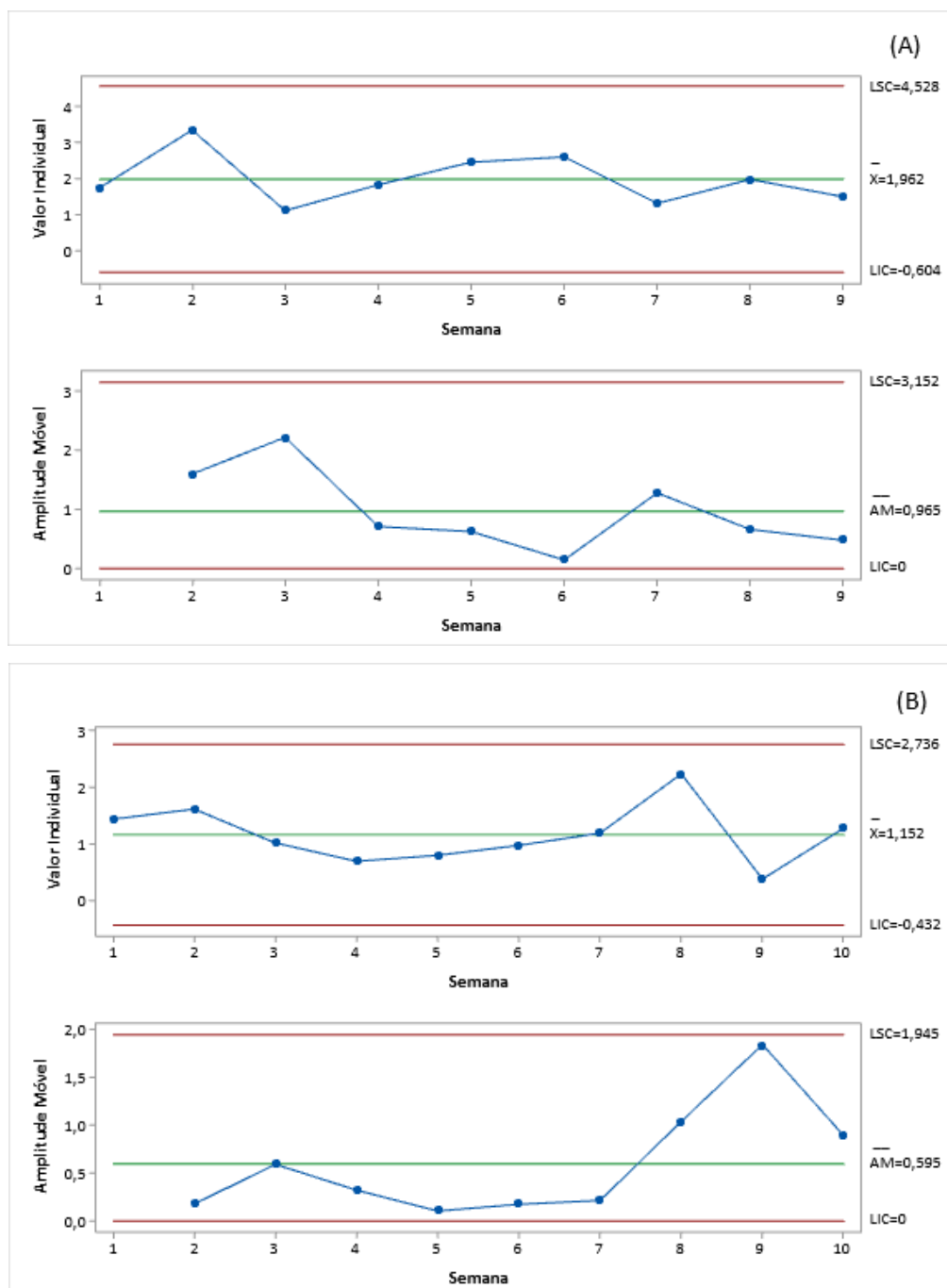


Figura 48 – Carta de controle I-AM da perda de disponibilidade na BB2 por produção analisado por semana (A) Durante início do projeto (B) Após última implementação.

Fonte: Autor

A partir do resultado obtido, é visto uma diminuição do valor médio da perda semanal de 1,962 (obtido da carta de controle durante o início do projeto) para 1,152 min/ton após a finalização das ações. Além disso, para a Balança de Borracha 2 ocorreu uma diminuição da média da amplitude móvel, de 0,965 para 0,595 min/ton que confirma tanto a redução da perda de disponibilidade quanto de sua variabilidade.

Em relação a Balança de Borracha 3, também foi realizado o acompanhamento semanal dos resultados da perda de disponibilidade pela massa fabricada de produtos que utilizam borracha sintética na forma da carta de controle I-AM, presente na Figura 49.

De forma similar ao ocorrido para a balança descrita anteriormente, foi observado uma diminuição da média da perda de disponibilidade semanal da Balança de Borracha 3 de 0,276 para 0,087 minutos por tonelada produzida após a substituição da estrutura do TE 36/37, confirmando que a ação foi eficaz e mantém a perenidade necessária para o projeto.

Por outro lado, ao observar a amplitude móvel das cartas de controle de antes e depois da implementação da ação de melhoria, é possível perceber uma evolução de uma perda altamente variável dotada de uma amplitude móvel média de 0,236 minutos por tonelada para uma amplitude menor de 0,104, confirmando a redução da variabilidade do processo.

Logo, com a obtenção dos dados de perda por produção ao longo do período do projeto pode-se concluir que ocorreu uma melhora da perda de disponibilidade, de 1,84 minutos por tonelada durante a fase inicial do projeto para uma perda no último mês (M8) de 1,11 minutos por tonelada para a Balança de Borracha 2, representando uma diminuição de perda de disponibilidade de 0,73 minutos por tonelada produzida do composto 25348X10, ou seja, um ganho de capacidade equivalente a 198,6 toneladas a mais por ano. Acrescido a diminuição do tempo de ciclo, de 2,75 para 2,60 min por carga de 25348X10 produzida com um equivalente ao aumento de capacidade de 158,9 toneladas por ano.

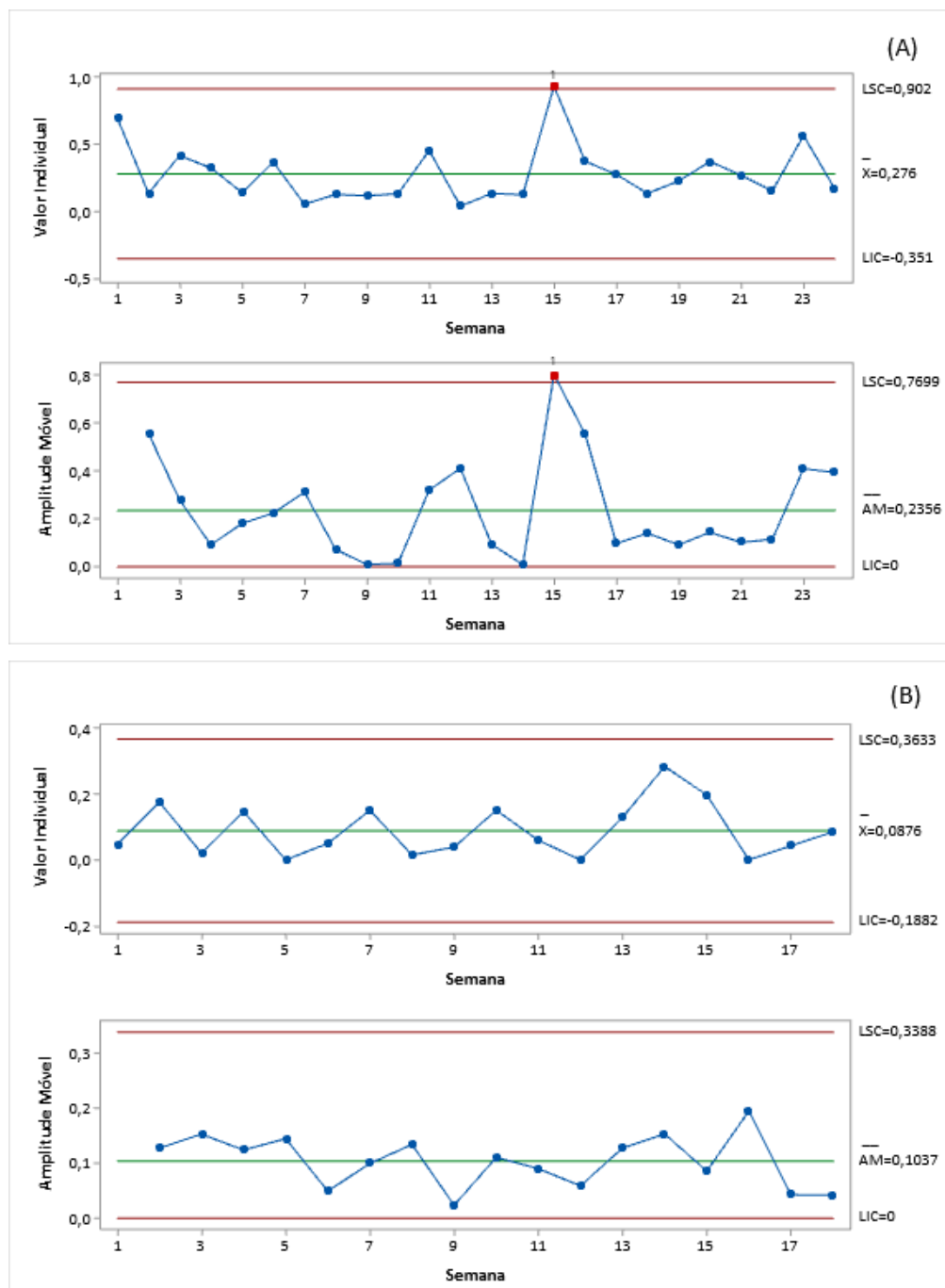


Figura 49 – Carta de controle I-AM da perda de disponibilidade na BB3 por produção analisado por semana (A) Durante início do projeto (B) Após última implementação.

Fonte: Autor

Por outro lado, em relação a Balança de Borracha 3, a única ação realizada, representou uma diminuição de 0,14 minutos por tonelada produzida de borracha sintética com a evolução da perda do início do projeto de 0,22 para 0,09 minutos por tonelada, correspondendo a um ganho de capacidade de 65,6 toneladas por ano.

Dessa forma, durante a realização do projeto foram realizadas ações robustas e perenes que corresponderam ao aumento de capacidade anual da unidade de fabricação A de 423,1 toneladas de compostos de borracha ao ano, ou 35,26 toneladas de compostos de borracha a mais por mês, cumprindo o objetivo engajado no contrato de trabalho do projeto de 12,2 toneladas a mais por mês e ao mesmo tempo, entregando um ganho financeiro para a empresa de R\$444.200,00 por ano com a diminuição da compra dos compostos de borracha com empresas parceiras.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na conjuntura atual, uma ampla gama de empresas e organizações nos mais variados setores vêm-se na necessidade de buscar projetos e iniciativas que permitam garantir a qualidade e eficiência de seus processos. Nesse contexto, a metodologia Lean Seis Sigma tem sido constantemente adotada pelas organizações para melhorar seu desempenho produtivo e se destacarem no mercado mundial.

O Seis Sigma fornece uma visão estruturada, o DMAIC, para a resolução de problemas com foco exclusivo no cliente, partindo diretamente da definição do problema até a execução das melhorias necessárias. Por outro lado, o Lean Manufacturing fornece ferramentas que melhoram a velocidade do processo e eliminem os desperdícios presentes nos processos das empresas.

O Lean Seis Sigma é amplamente utilizado pelas organizações, pois promete “o melhor dos dois mundos” do Seis Sigma e do Lean Manufacturing com a utilização de uma ampla gama de melhorias e uma estrutura robusta com etapas de execução bem definidas. Com isso, ao utilizar o Lean Seis Sigma a equipe de projeto é dotada de uma alta flexibilidade para resolver problemas de diversas naturezas para organizações dos mais variados setores, escolhendo as ferramentas mais adequadas para resolver os problemas da forma mais eficaz.

Com base nesse trabalho, pode-se considerar que a correta utilização das ferramentas disponíveis do Lean Seis Sigma, atrelada ao respeito das sucessivas etapas do DMAIC e o comprometimento da equipe do projeto é possível identificar e solucionar as ineficiências recorrentes dos mais variados processos, como no projeto estudo que buscou mitigar as perdas de disponibilidade devido a ineficiência de pesagem de um conjunto de Balanças de Borracha.

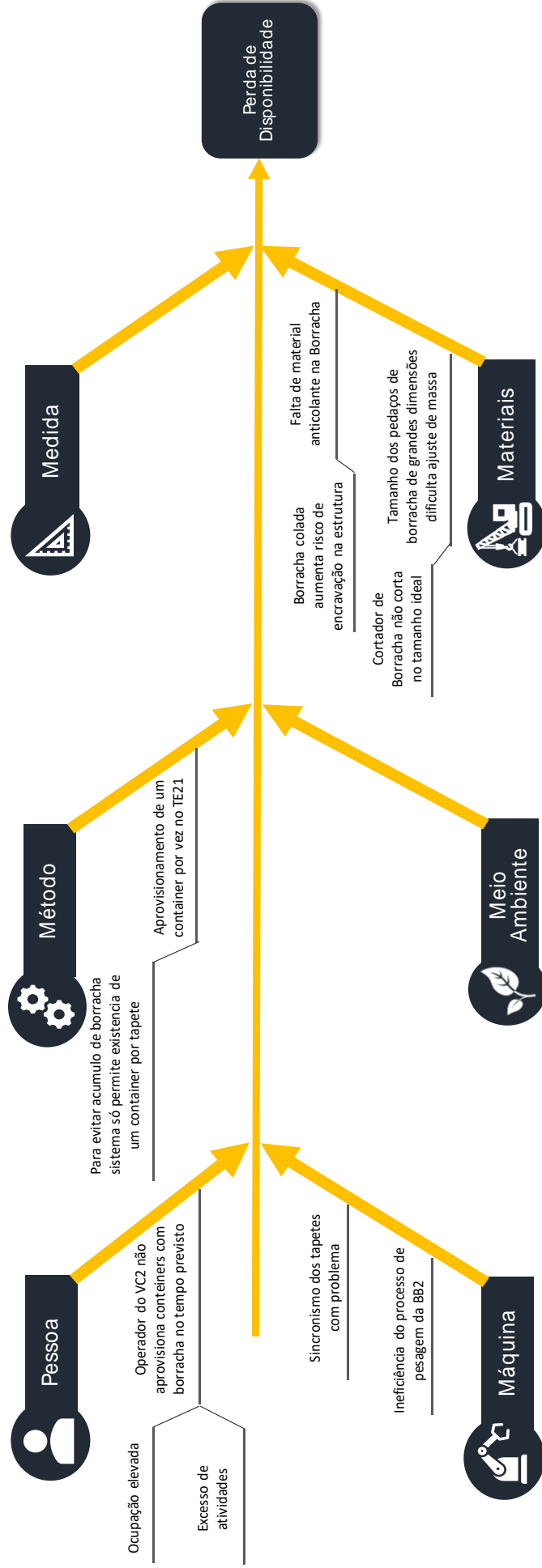
No entanto, a ampla oferta de ferramentas e a necessidade da utilização de uma estrutura rígida pode-se tornar um obstáculo decisivo para a falha da implementação de um projeto baseado no Lean Seis Sigma, pois pode ocorrer uma dificuldade de compreensão da metodologia. A escolha inadequada das ferramentas e a falta de priorização dos envolvidos para o projeto devido à falta de informação, por se tratar de uma metodologia nova, atrelada a imaturidade das empresas muitas vezes inviabilizam as propostas de melhoria ou são realizadas ações ineficazes que busquem tratar o efeito do problema e não sua causa raiz.

APÊNDICE A - Diagrama de Causa e Efeito (Espinha de Peixe) para a Balança de Borracha 2

DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO DA BALANÇA DE BORRACHA 2

Causa

Efeito

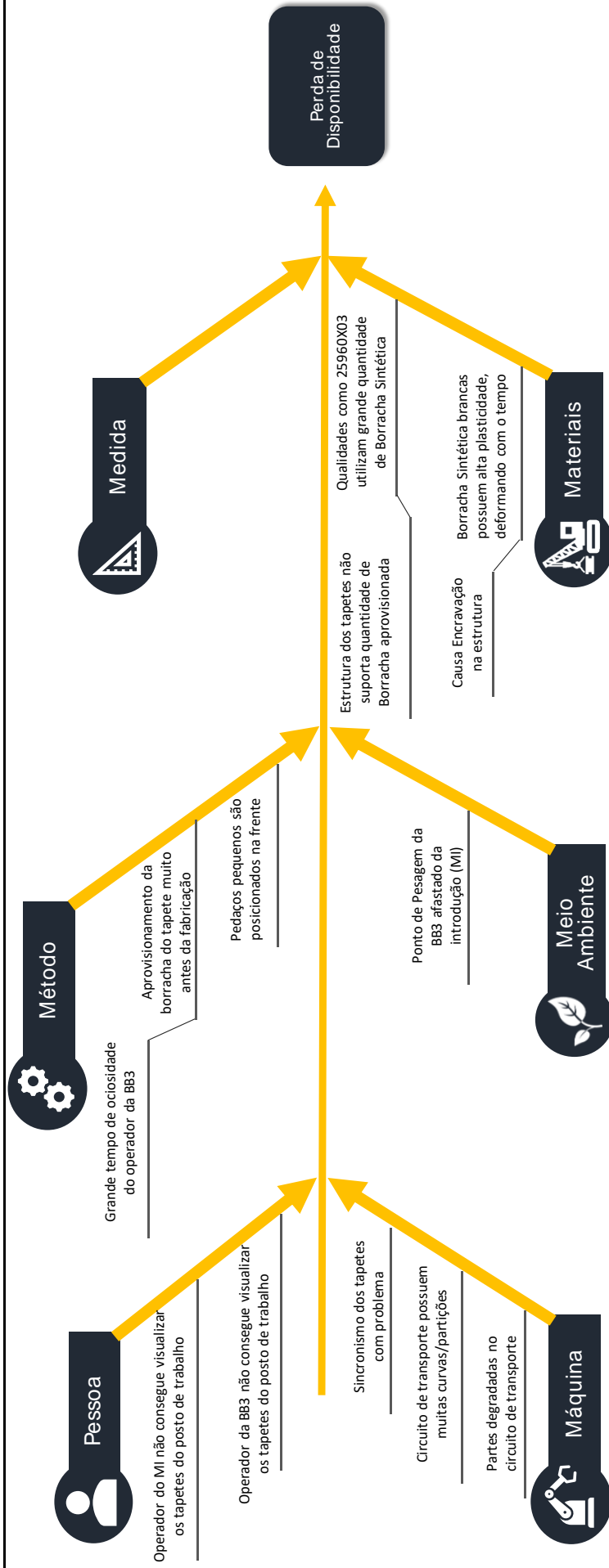


APÊNDICE B - Diagrama de Causa e Efeito (Espinha de Peixe) para a Balança de Borracha 3

DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO DA BALANÇA DE BORRACHA 3

Causa

Efeito



REFERÊNCIAS

BASTOS, M. Ferramentas da Qualidade – Matriz GUT, 2014. Disponível em: <https://www.portal-administracao.com/2014/01/matriz-gut-conceito-e-aplicacao.html>. Acesso em: 06/11/2022.

CHIROLI, D. M. G.; VIEIRA, A. A. Melhoria de Processo Utilizando de Ferramentas da Engenharia da Qualidade. **Revista Tecnológica**, Maringá, edição especial SIMEPRO, p. 35-48, 2013.

CIESIELSKI, A. An Introduction to Rubber Technology. UK, Rapra Technology Limited, 1999.

CLAVELARIO, R. F. Processamento de Elastômeros na fabricação de pneumáticos. Dissertação (Tecnologia em Polímeros), Centro Universitário da Zona Oeste. Rio de Janeiro, 2013.

COSTA, H. M. Aspectos históricos da Vulcanização. **Polímeros**, São Carlos, v. 13, n. 2, jun. 2003.

DAYCHOUM, M. 40 Ferramentas e Técnicas de Gerenciamento. Rio de Janeiro: Brasport, 2011.

DIAS, S. M. Implementação da Metodologia Lean Seis-Sigma – O caso do Serviço de Oftalmologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, 2011.

ENDLER, K. D.; BOURSCHEIDT, L. E.; SCARPIN, C. T.; STEINER, M. T. A.; GARBUIO, P. A. R. Lean Seis Sigma: Uma contribuição bibliométrica dos últimos 15 anos. **Revista Científica eletrônica de Engenharia de Produção**, Florianópolis (SC), v. 16, n.2, p. 575-605, abr./jun. 2016.

FERREIRA, V.; CABRAL, E. L. S.; PEDROSA, F.; CASTRO, W.; SOUZA, R. P. Aplicação da carta de controle I-AM para estudo de capacidade em uma organização do setor de catering aéreo. XXXVIII Encontro nacional de Engenharia de Produção, Alagoas. 2016.

FERRO, S. Borracha sintética expande produção e retoma mercado. **Plástico Modeno**, São Paulo, p. 12-20, abr. 1997.

GENT, A. N. Engineering with rubber: How to design rubber components 3 ed. Ohio: Hanser, 2012.

GEORGE, M. Lean Seis Sigma para serviços: Como Utilizar Velocidade Lean e Qualidade Seis Sigma para Melhorar Serviços e Transações. São Paulo: Desenvolvimento, 2004.

GRISON, E. C.; BECKER, E. J.; SARTORI, A. F. Borrachas e seus Aditivos. Porto Alegre: Editora Suliani, 2010.

HOFMANN W. Rubber Technology Handbook. New York: Hanser, 1989.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 1382:1996 – Rubber Vocabulary.

KUNIYOSHI, D. S. Implementação da Metodologia Lean Seis Sigma em uma empresa do setor Têxtil. Dissertação (Bacharelado em Engenharia de Produção), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

LEÃO, N. S. M. S.; ANDRADE, J. J. O. Aplicação da FMEA e análise de falhas em um equipamento de trafilagem para estabelecimento de estratégias de manutenção: estudo de caso. **Espacios**, v. 36, n. 8, p.1. 2015.

MANI, G. M.; PÁDUA, F. S. M. Lean Seis Sigma. **Interface Tecnológica**, v.5, n.1, p. 115-126. 2008.

MORAES, P. H. A. Manutenção produtiva total: estudo de caso em uma automobilística. Dissertação (Mestrado em Gestão e Desenvolvimento Regional) - Departamento de Economia, Contabilidade e Administração, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2004.

OLIVEIRA, A. M. Estudo de correlação entre as principais variáveis de processo de um misturador interno e as propriedades mecânicas de um composto elastomérico. Dissertação (Bacharelado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PANSONATO, R. C. Lean Manufacturing, Curitiba: Contentus, 2020.

RODRIGUES, J. R. Melhoria do processo de produção de tecidos metálicos na fabricação de pneus. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção Mestrado Profissionalizante, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

SANTOS, E. R. Processo de Vulcanização do pneu. Dissertação (Tecnologia em Polímeros), Centro Universitário da Zona Oeste. Rio de Janeiro, 2013.

SAYER, N. J.; WILLIAMS, B. Lean para leigos 2 ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2015.

SCHELLER, A.C.; MIGUEL, P.A.C Adoção do Seis Sigma e Lean Production em uma empresa de manufatura. **Revista Científica eletrônica de Engenharia de Produção**, Florianópolis (SC), v., n., p. 1316-1347, out./dez. 2014.

SILVA, A. E. M; CASTRO, V. A. Tecnologia do pneu, fabricação, dimensionamento e aplicação. Rio Verde: Universidade do Rio Verde, 2017.

SILVA, L. M. A Fabricação de Pneus com sílica. Dissertação (Tecnologia em Polímeros), Centro Universitário da Zona Oeste. Rio de Janeiro, 2013.

SUBRAMANIAM, K. Fundamentals of Rubber Technology 1 ed. Colombo: Kurmaran Press, 2002.

SHREVE, R. N.; BRINK, J. A. J. Indústrias de Processos Químicos 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1980.

TRIVELLATO, Arthur. Aplicação das sete ferramentas básicas da qualidade no ciclo PDCA para melhoria contínua: estudo de caso numa empresa de autopeças. São Carlos. 2010.

WADDICK, P. Six Sigma DMAIC Quick Reference. Disponível em: <https://www.isixsigma.com/new-to-six-sigma/dmaic/six-sigma-dmaic-quick-reference/>. Acessado em: 29/05/2022.

WARD, A. Lean Production and Process Development. Lean Enterprise Institute, 2007.

WERKEMA, M. C. C. Criando a Cultura Seis Sigma. Rio de Janeiro: Qualimark, 2012.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D.A Máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Campus, 1996.