

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA**  
**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**Gustavo José Caçador**

**PROPOSTA PARA SELEÇÃO DE PROJETOS DE MELHORIA DE  
FLUXO DE PRODUÇÃO: UM ESTUDO DE CASO EM UMA  
UNIDADE FABRIL DE EMBALAGENS, ENVOLVENDO OS  
ASPECTOS RESTRITIVOS E DE CUSTOS DO PROCESSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção do Centro Universitário de Araraquara – UNIARA – como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção. Área de Concentração: Gestão Estratégica e Operacional da Produção.

Prof. Dr. Walther Azzolini Junior

Araraquara, SP – Brasil

2014

C124p Caçador, Gustavo José

Proposta para seleção de projetos de melhoria de fluxo de produção: um estudo de caso em uma unidade fabril de embalagens, envolvendo os aspectos restritos e de custos do processo/Gustavo José Caçador. – Araraquara: Centro Universitário de Araraquara, 2014. 120f.

Dissertação - Mestrado Profissional em Engenharia de Produção do Centro Universitário de Araraquara - UNIARA

Orientador: Prof. Dr. Walther Azzolini Junior

1. Teoria das restrições. 2. Árvore de perdas. 3. Eficácia global do equipamento-OEE. I. Título.

CDU 62-1

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CAÇADOR, G. J. **Proposta para seleção de projetos de melhoria de fluxo de produção: um estudo de caso em uma unidade fabril de embalagens, envolvendo os aspectos restritivos e de custos do processo.** 2014. 84. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Centro Universitário de Araraquara, Araraquara-SP.

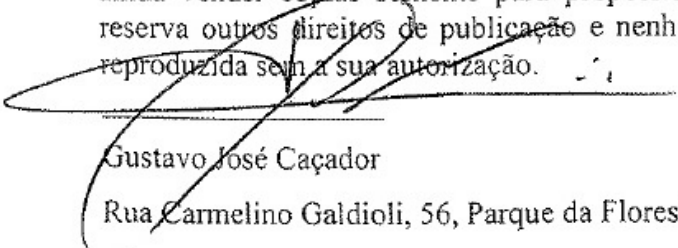
## ATESTADO DE AUTORIA E CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gustavo José Caçador

TÍTULO DO TRABALHO: Proposta para seleção de projetos de melhoria de fluxo de produção: um estudo de caso em uma unidade fabril de embalagens, envolvendo os aspectos restritivos e de custos do processo

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL/2014

Conforme LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998, o autor declara ser integralmente responsável pelo conteúdo desta dissertação e concede ao Centro Universitário de Araraquara permissão para reproduzi-la, bem como emprestá-la ou ainda vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação pode ser reproduzida sem a sua autorização.

  
Gustavo José Caçador

Rua Carmelino Galdioli, 56, Parque da Floresta

13172-753 – Sumaré - SP

gustavo.cacador@solvingefeso.com



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ARARAQUARA – UNIARA**

**MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO**

Dissertação aprovada em sua versão final pela banca examinadora:

---

**Prof. Dr. Walther Azzolini Junior**  
Orientador(a) – UNIARA

---

**Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto**  
Universidade de São Paulo - USP

---

**Prof. Dr. José Luis Garcia Hermosilla**  
UNIARA – Araraquara

**Araraquara, 26 de Abril de 2014**

Dedico esta dissertação a meus pais, meu irmão, minha cunhada, minha sobrinha e a minha noiva, pelo incentivo e apoio em todos os momentos difíceis.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela saúde, ânimo e força para desbastar a pedra bruta até transformá-la em polida, demonstrando o quanto sabemos pouco e que devemos ser, na realidade, eternos aprendizes.

Agradeço a meus pais, Aparecido Valdemar Caçador e Marina Baldo Caçador, pois sempre acreditaram e me incentivaram a realizar um sonho. Também sou grato à minha noiva, Rita de Cássia Gomes pela paciência, por estar sempre ao meu lado e me confortar, mesmo nos momentos difíceis.

O companheirismo da turma de 2012 foi indispensável, principalmente o de meus amigos Fábio Ferreira Cardoso, Jederson Donizete Zuchi e Marcelo Edmundo Alves Martins, pois realizamos vários trabalhos em equipe e construímos uma grande amizade.

De grande importância, também, foram meus amigos Paulo Yida, Frederico Speranza e Fábio Mateus em função da disponibilidade de tempo e de pesquisa, condições verdadeiramente indispensáveis para a realização deste mestrado.

Sou grato aos professores, em especial meu Orientador Dr. Walther Azzolini Junior, que teve a sabedoria e a paciência necessárias, para direcionar este trabalho e os artigos, ao fazer colocações justas e perfeitas na edificação desta dissertação. E também ao professor Dr. José Luis Hermosilla Garcia, por me expor ao início do curso e pelos questionamentos que direcionaram a execução metodológica.

E, finalmente agradeço a todos os professores e funcionários da UNIARA e à Glorinha da Cantina, por proporcionar-nos condições para concluir este Mestrado.

## RESUMO

A concorrência e a necessidade de perenidade das empresas no mercado, exigem que a gestão da produção, busque modelos de gestão para potencializar o atendimento ao cliente e ao mesmo tempo a redução dos custos operacionais. O presente trabalho tem como objetivo propor um procedimento de cálculo para servir de ferramenta de apoio à seleção de projetos de melhoria (*Kaizen*), com foco no balanceamento do fluxo produtivo e redução do custo operacional. Para o balanceamento do fluxo produtivo aplica-se o conceito da teoria das restrições para identificar processos gargalos. Para redução do custo operacional, aplica-se o conceito da árvore de perdas do TPM (*Total Productive Maintenance*) e destacam-se as perdas do OEE (*Overall Equipment Efficiency*). O conjunto de etapas do procedimento e fluxograma propostos, direcionam à coleta de dados de entrada e lógica de relacionamento entre as variáveis do sistema de produção consideradas, se desenvolve por meio da teoria das restrições e da árvore de perdas, assim como o indicador OEE (*Overall Equipment Efficiency*) fundamentado nas seis grandes perdas do TPM (*Total Preventive Maintenance*). O procedimento de cálculo proposto é aplicado em um estudo de caso, integrando os conceitos revisados na literatura e numa indústria do setor de embalagens. Conclui-se, por fim, que a combinação dos dois conceitos de restrição do processo de fabricação e mensuração dos tipos de perdas em um único procedimento de cálculo possibilita a valoração, em tempo e custo, das perdas de processo identificadas com maior precisão e visibilidade, desta forma possibilitando a simulação de projetos de melhorias, identificando a combinação de cenários, balanceando o processo produtivo e potencializando a redução dos custos operacionais.

**Palavras-chave:** *Teoria das Restrições, Árvore de Perdas, OEE (Overall Equipment Efficiency).*

## ABSTRACT

This paper aims to propose a procedure for calculating serve as support to the selection of improvement projects ( Kaizen ), focusing on balancing the production flow and reduced operating cost tool. For balancing the productive flow, we apply the concept of the theory of constraints . To reduce operational costs, we apply the concept of tree losses TPM (Total Productive Maintenance ), which demonstrates the losses of OEE (Overall Equipment Efficiency). The set of steps in the procedure that directs the collection of input data and logical relationship between the variables of the production system considered is developed through the theory of constraints and losses tree , as indicated by the OEE (Overall Equipment Efficiency ) based in the six major losses of TPM (Total Preventive Maintenance ) . The proposed calculation procedure is applied in a case study that integrates the concepts reviewed in an industry of the packaging sector . Finally, we conclude that the combination of the two concepts of restricted manufacturing and measurement of the types of losses, in a single procedure for the calculation process, enables identification of process losses with greater accuracy and visibility , as well as the valuation of them in time and costs, which balances the production process and enhances the reduction of operating costs .

**Keywords :** *Tree Losses , Theory of Constraints, OEE (Overall Equipment Efficiency).*

## Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 – Fatores críticos identificados pelos líderes e consultores de projetos.....                            | 21 |
| Figura 2 – Modelo genérico da Árvore de Perdas, considerando o Indicador OEE.....                                 | 29 |
| Figura 3 – Efeito das Seis Perdas no Calendário de Planejamento e o Impacto no OEE.....                           | 30 |
| Figura 4 – Modelo genérico da Árvore de Perdas, considerando o Indicador OEE e as Seis Grandes Perdas do TPM..... | 32 |
| Figura 5 – Modelo genérico da correlação das seis grandes perdas do TPM nos custos de fabricação.....             | 33 |
| Figura 6 – Modelo genérico da Árvore de Perdas, considerando o Indicador OEE.....                                 | 40 |
| Figura 7 – Padrão para definição das variáveis.....   | 47 |
| Figura 8– Fluxo do Processo Produtivo.....  | 56 |
| Figura 9 - Desdobramento do volume de Produção.....   | 62 |
| Figura 10 – Gráfico de Pareto dos motivos das Paradas em horas de equipamento Ext.1.....                          | 72 |
| Figura 11 - Gráfico de Pareto da Valoração em R\$ dos motivos das paradas do Equipamento Ext.1.....               | 72 |
| Figura 12 - Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Lam.1.....                          | 73 |
| Figura 13 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Lam.1.....               | 73 |
| Figura 14 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Imp.1.....                          | 74 |
| Figura 15 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Imp. 1.....              | 74 |
| Figura 16 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Imp.2.....                          | 75 |
| Figura 17 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Imp. 2.....              | 76 |
| Figura 18 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.1.....                         | 76 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 19 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.1.....                          | 77 |
| Figura 20 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.2.....                                     | 77 |
| Figura 21 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.2.....                          | 78 |
| Figura 22 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.3.....                                     | 79 |
| Figura 23 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.3.....                          | 79 |
| Figura 24 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.4.....                                     | 80 |
| Figura 25 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort. 4.....                         | 80 |
| Figura 26 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas por equipamento.....   | 81 |
| Figura 27 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas por equipamento.....                                | 82 |
| Figura 28 – Gráfico de Pareto em horas totalizadas por motivos das paradas dos equipamentos.....                              | 82 |
| Figura 29 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ do total dos motivos das paradas e equipamentos.....                        | 83 |
| Figura 30 – Gráfico de Pareto em horas das 15 principais combinações de motivos das paradas e equipamentos.....               | 83 |
| Figura 31 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ do total dos motivos das paradas por equipamentos.....                      | 84 |
| Figura 32 – Desdobramento do volume de produção com aumento do tempo disponível da Cortadeira.....                            | 88 |
| Figura 33 – Representação gráfica do aumento de volume por equipamento, considerando o impacto dos projetos selecionados..... | 95 |

## Lista de Quadros e Tabelas

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1 – Abreviatura dos nomes dos equipamentos do estudo de caso.....   | 63 |
| Quadro 2 – Correlação das paradas dos equipamentos com os custos de produção.....  | 67 |
| Tabela 1 - Características dos Processos e Equipamentos da Empresa KSSA Embalagens LTDA.....   | 57 |
| Tabela 2 – Composição das Paradas Programadas em Horas.....  | 58 |
| Tabela 3 – Informações para simular o carregamento de volume em cada equipamento.....  | 59 |
| Tabela 4 - Informações sobre o volume de entrega de cada equipamento.....  | 59 |
| Tabela 5 - Informações sobre os equipamentos, avaliando o volume de entrega de produto no tempo disponível para produção em relação à demanda prevista.....    | 60 |
| Tabela 6 – Total de paradas dos equipamentos em horas dos últimos 12 meses (coletada de dados transversal).....  | 64 |
| Tabela 7 – Custos do refugo gerado por equipamento, considerando o mesmo período da coleta das paradas.....  | 65 |
| Tabela 8 – Custos coletados pela controladoria para valorar as paradas na Tabela 6.....  | 66 |
| Tabela 9 – Número médio de operadores e manutentores que atuam no equipamento.....   | 67 |
| Tabela 10 – Valoração das paradas do equipamento Ext.1, compilado as Tabelas 6, 8, 9 e Quadro 2.....   | 69 |
| Tabela 11 – Tabulação dos dados das paradas do equipamento Ext.1 em horas, considerando os dados da Tabela 6, para formatar o gráfico de Pareto Figura 10..... | 71 |
| Tabela 12 – Simulação de seleção de projetos de melhoria no equipamento gargalo Extrusora 1, considerando os dados anuais dos gráficos de Pareto.....          | 89 |
| Tabela 13 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento Laminadora 1, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto.....                  | 90 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 14 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento Impressora 1, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto..... | 91  |
| Tabela 15 – Simulação de Seleção de projeto de melhoria no equipamento Impressora 2, considerando os dados anuais dos gráficos de Pareto..... | 92  |
| Tabela 16 – Simulação de Seleção de projeto de melhoria no equipamento Cortadeira 1, considerando os dados anuais dos gráficos de Pareto..... | 93  |
| Tabela 17 – Plano Anual de Lançamento dos potenciais projetos selecionados.....   | 94  |
| Tabela 18 – Tabulação do Resultado da Entrevista aplicada com formulário do Apêndice A.....   | 105 |
| Tabela 19 – Procedimentos utilizados pelas empresas entrevistadas.....  | 106 |

## **Lista de Abreviaturas e Siglas**

ARA - *Árvore da Realidade Atual*

CRT - *Current Reality Tree* (*Árvore da Realidade Atual*)

FCS – Fatores Críticos de Sucesso

JIPM – *Japan Institute of Plant Maintenance* (Instituto Japonês de Manutenção)

MP – Matéria Prima

MRP - *Material Requirements Planning* - (Planejamento de Necessidades de Materiais)

OEE - *Overall Equipment Efficiency* (Eficácia Global do Equipamento)

OPT – *Optimized Production Technology* – (Tecnologia da Produção Otimizada)

RRC – Recurso com Restrição de Capacidade

TOC – *Theory of Constraints* – (Teoria das Restrições)

TPC – Sistema Tambor-Pulmão-Corda

TPM - *Total Productive Maintenance* – (Manutenção Produtiva Total)

VSM – *Value Stream Mapping* – (Mapeamento do Fluxo de Valor)

WCM – *World Class Manufacturing* – (Manufatura Classe Mundial)

## Sumário

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução.....</b>   | <b>17</b> |
|          | <b>1.1 Problema de Pesquisa .....</b>  | <b>22</b> |
|          | <b>1.2 Objetivos da Pesquisa .....</b>   | <b>22</b> |
|          | <b>1.3 Justificativa .....</b>   | <b>23</b> |
|          | <b>1.4 Metodologia de Pesquisa.....</b>  | <b>25</b> |
|          | <b>1.5 Estrutura do trabalho .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>2</b> | <b>Revisão Bibliográfica.....</b>  | <b>27</b> |
|          | <b>2.1 Árvore de Perdas.....</b>   | <b>27</b> |
|          | 2.1.1 Definição e Composição da Árvore de Perdas do TPM .....  | 27        |
|          | 2.1.2 Construção da Árvore de Perdas do TPM e seu uso no OEE .....                                       | 28        |
|          | 2.1.3 Valoração da Árvore de Perdas .....  | 32        |
|          | <b>2.2 Teoria das Restrições (TOC).....</b>  | <b>35</b> |
|          | 2.2.1 Histórico.....   | 35        |
|          | 2.2.2 Medidas para Alcance da Meta.....  | 36        |
|          | 2.2.3 Conceito do Sistema de Programação Tambor-Pulmão-Corda .....                                       | 38        |
|          | 2.2.4 Os Cinco Passos da Teoria das Restrições (Processo de Raciocínio)....                              | 39        |
|          | <b>2.3 Métodos de avaliação de desempenho global de sistemas produtivos .....</b>                        | <b>41</b> |
| <b>3</b> | <b>Metodologia de Pesquisa .....</b>   | <b>44</b> |
|          | <b>3.1 Coleta de Dados .....</b>   | <b>44</b> |
|          | <b>3.2 Definição das Variáveis.....</b>  | <b>46</b> |
| <b>4</b> | <b>Estudo de Caso.....</b>   | <b>54</b> |
|          | <b>4.1 Contextualização da Proposta para seleção de projeto para melhoria de fluxo de produção .....</b> | <b>54</b> |
|          | <b>4.2 Universo de Estudo.....</b>   | <b>54</b> |

|            |   |            |
|------------|---|------------|
| <b>4.3</b> | <b>Aplicação do Estudo de Caso .....</b>  | <b>55</b>  |
| <b>4.4</b> | <b>Estudo da Capacidade de Entrega de Produção.....</b>   | <b>56</b>  |
| <b>4.5</b> | <b>Estudo do desdobramento da Árvore de Perdas.....</b>   | <b>62</b>  |
| <b>4.6</b> | <b>Análise dos processos-gargalos, com base nos gráficos de Pareto, e dos resultados obtidos com a simulação do efeito da escolha dos projetos de melhoria, por meio do procedimento de cálculo proposto.....</b> | <b>83</b>  |
| <b>5</b>   | <b>Considerações Finais, Limitações do Trabalho e Recomendações ..</b>  | <b>95</b>  |
| <b>5.1</b> | <b>Considerações Finais.....</b>  | <b>95</b>  |
| <b>5.2</b> | <b>Limitações do trabalho .....</b>   | <b>97</b>  |
| <b>5.3</b> | <b>Recomendações.....</b>   | <b>98</b>  |
|            | <b>Referências .....</b>  | <b>99</b>  |
|            | <b>Apêndice A – Questionário para Entrevista sobre qual procedimento é utilizado para definir projetos de melhorias.....</b>  | <b>103</b> |
|            | <b>Apêndice B – Resultado do questionário aplicado para entrevista sobre qual procedimento é utilizado para definir projetos de melhorias.....</b>  | <b>104</b> |
|            | <b>Apêndice C – Tabela de apoio para definir as características dos processos e equipamentos.....</b>   | <b>107</b> |
|            | <b>Apêndice D – Tabela de apoio para coleta das paradas programadas de produção .....</b>   | <b>108</b> |
|            | <b>Apêndice E – Tabela de apoio para calcular o carregamento do volume de produção em cada equipamento .....</b>  | <b>109</b> |
|            | <b>Apêndice F – Tabela de apoio para calculo do volume de entrega (produção) de cada equipamento .....</b>  | <b>110</b> |
|            | <b>Apêndice G –Tabela de apoio para cálculo das condições de saturação dos equipamentos.....</b>  | <b>111</b> |
|            | <b>Apêndice H – Tabela de apoio para coleta das paradas não programadas de produção por equipamento.....</b>  | <b>112</b> |
|            | <b>Apêndice I – Tabela de apoio para coleta do custo de matéria prima, volume de refugo e o custo total das perdas de material .....</b>  | <b>113</b> |
|            | <b>Apêndice J – Tabela de apoio para coleta dos custos de produção .....</b>  | <b>114</b> |
|            | <b>Apêndice L – Tabela de apoio para correlacionar os motivos de paradas pelos custos de operação.....</b>  | <b>116</b> |
|            | <b>Apêndice M – Tabela de apoio para valoração das paradas de produção. Uma tabela por equipamento. ....</b>  | <b>117</b> |

|  |     |
|--|-----|
| Apêndice O – Tabela de apoio para simulação de projeto de melhoria. Uma tabela por equipamento. .... | 118 |
| Apêndice P – Fluxo para aplicação dos passos do procedimento proposto pelo trabalho .....            | 119 |
| Apêndice Q – Passos para aplicação do procedimento proposto pelo trabalho. ....                      | 120 |

Esta dissertação foi desenvolvida por meio do objeto de estudo Empresa do setor de Embalagens, e somente foi possível com a autorização da Diretoria da Empresa e do apoio do Programa Nacional de Pós-Doutorado - *PNPD/2009 Edital MEC/CAPES e MCT/FINEP* de acordo com o escopo do projeto “Tecnologias de Informação para a integração da manufatura, com ênfase à programação da produção”, coordenado pelo Prof. Dr. Walther Azzolini Junior, líder do grupo de pesquisa *TIMPROD – Tecnologias de Informação para a integração da manufatura, com ênfase na programação da produção*, com a participação do recém Dr. Fábio Ferraz Junior.



## 1 Introdução

De acordo com os dicionários da língua portuguesa a origem do termo paradigma é do grego “*paradeigma*”, que significa modelo, padrão. Na literatura especializada em gestão da produção, alguns modelos-padrão desta gestão, ou paradigmas, surgiram e foram aprimorados ao longo das últimas décadas, a partir da Revolução Industrial. Tais modelos-padrão, foram fortemente influenciados pela evolução tecnológica dos produtos e dos processos, em conjunto com o perfil da dinâmica do mercado mundial, característico da mudança de costumes e hábitos de consumo da sociedade contemporânea.

De acordo com Azzolini et al. (2012), os principais modelos-padrão de gestão da produção ou paradigmas, cronologicamente definidos na literatura, são:

- 1) **Paradigma produção artesanal** – uso intensivo da mão de obra direta generalista com habilidades e competências fundamentais à concepção do produto final, da fase de projeto à fabricação dos produtos;
- 2) **Paradigma manufatura em Massa** – uso intensivo da mão de obra direta especializada em conjunto com máquinas dedicadas a processos específicos de fabricação, com base na padronização de componentes e verticalização do modelo de gestão da produção, com ênfase no planejamento desta;
- 3) **Paradigma manufatura enxuta** – tendência do uso intensivo da mão de obra direta generalista em conjunto com máquinas universais de fabricação, por meio da padronização e modularização de subconjuntos e conjuntos e descentralização do modelo de gestão da produção, enfatizando o planejamento da produção;

- 4) **Paradigma manufatura enxuta e ágil** – similar ao paradigma da manufatura enxuta, com foco no fluxo de produção quanto à agilidade do processo de fabricação e movimentação dos materiais com ênfase na programação da produção, especialização flexível e customização dos produtos de acordo com os princípios de *Lean Manufacturing*;
- 5) **Paradigma manufatura Responsiva** – por meio do paradigma da manufatura enxuta e ágil, este item se trata da extensão do processo de gestão para toda a cadeia de suprimentos com ênfase na programação da produção.

Contudo, Kosieradzka, Kakol e Kupra (2011) citam que muitos dos paradigmas de gestão da produção citados foram alterados com o impacto da globalização a partir da década de 1990, forçando as empresas a buscar maior agilidade em seus processos de fabricação por meio de mudanças contínuas do modelo padrão de gestão da produção específico de cada momento do processo de evolução desses paradigmas.

Entre os fatores que influenciaram tais mudanças contínuas, a dinâmica imposta pela globalização teve maior influência, o que induziu os gestores à busca de um atendimento de melhor qualidade, face às necessidades dos clientes. Isso foi, de fato, influenciado pela presença de concorrentes internacionais mais eficientes.

Trata-se, porém, do enfrentamento do desafio de atender às necessidades dos clientes em um ambiente de grande turbulência, o que aumenta ainda mais a complexidade do processo produtivo, quando somados os interesses dos *stakeholders*, demandando-se, das operações, a redução de seus custos operacionais e níveis mais elevados de eficiência (AVRAHAM, 2009).

Neste contexto, Martins (2000) considera que as empresas não podem simplesmente alterar sua política de preços para ajustar seus custos. Em função de o mercado ser mandatário neste processo, há a necessidade de este ajuste ser feito pela redução dos custos que poderá, ou não, refletir na política de preços.

Crepaldi (2011) afirma que um dos desafios dos gestores é criar oportunidades de melhorias operacionais, que proporcionem mudanças eficientes e que contribuam para o desempenho da organização, por meio da adequação do modelo-padrão de gestão da produção.

Estas mudanças podem ocorrer em pequenas melhorias nos processos, denominadas *Kaizen* (*Kai* = mudança, *Zen* = boa). Entretanto, para que os gestores consigam criar oportunidades de melhorias, precisam avaliar dados operacionais da empresa e, desta forma, analisar e identificar as necessidades de melhorias e os respectivos impactos dos benefícios gerados por meio da implementação dos projetos de melhorias a serem propostos.

Bispo (1998) afirma que a gestão de processos na manufatura deve contar com o apoio de um sistema de gestão capaz de controlar uma grande quantidade de variáveis, fato que exige suporte computacional para levantamento e controle dos dados para ambientes de produção complexos, de modo que por meio da disponibilização de informações e dados do processo analisado, o tomador de decisão possa realizar simulações de cenários.

A falta de análise sistêmica na seleção dos projetos de melhoria (*Kaizens*) pode levar a indústria a priorizar ajustes ou melhorias em atividades não agregadoras na fabricação dos produtos ou equipamentos que demonstram incapacidade na remoção ou minimização de suas restrições/gargalos sem ganhos, ou com ganhos reduzidos, quando comparados à expectativa de ganho no término da execução dos projetos de melhoria. (HAYES et al., 2005).

No entanto, Zattar et al. (2010) observam que tais recursos computacionais, como *softwares* especialistas em gestão da produção, nem sempre são acessíveis, em função do seu custo elevado, principalmente em se tratando de licenças dos *softwares* e *know-how* dos colaboradores da empresa ao estruturar modelos por meio da lógica do processo, e do uso da ferramenta computacional, fato que atinge especificamente empresas de pequeno porte.

Em uma grande parcela de empresas, durante a manufatura dos mais diversos produtos ou equipamentos, uma grande massa de dados é gerada. No entanto, essa massa de dados, sem o devido tratamento e consolidação não possui valor agregado (FORTULAN, GONÇALVES FILHO, 2005).

Considerando a afirmação de Fortulan e Gonçalves Filho (2005) de que a existência de dados em estado bruto não tem valor agregado, uma alternativa utilizada por empresas no mundo contemporâneo.

Para Charakravorty e Atwater (2006), o recurso gargalo restringe a capacidade de uma operação que garanta o resultado financeiro esperado pelos gestores e, a melhor maneira de maximizar a rentabilidade por meio do uso dos recursos de manufatura é explorá-los plenamente.

Entretanto, os autores concluem que o nível ótimo de utilização deve ser inferior a 100% e qualquer tentativa de aumentar a utilização para além do nível ótimo traz resultados desastrosos para a empresa. Por outro lado, quando o recurso gargalo se aproxima da utilização de 100%, durante um período longo de tempo, o desempenho do sistema se deteriora (CHAKRAVORTY, ATWATER, 2002).

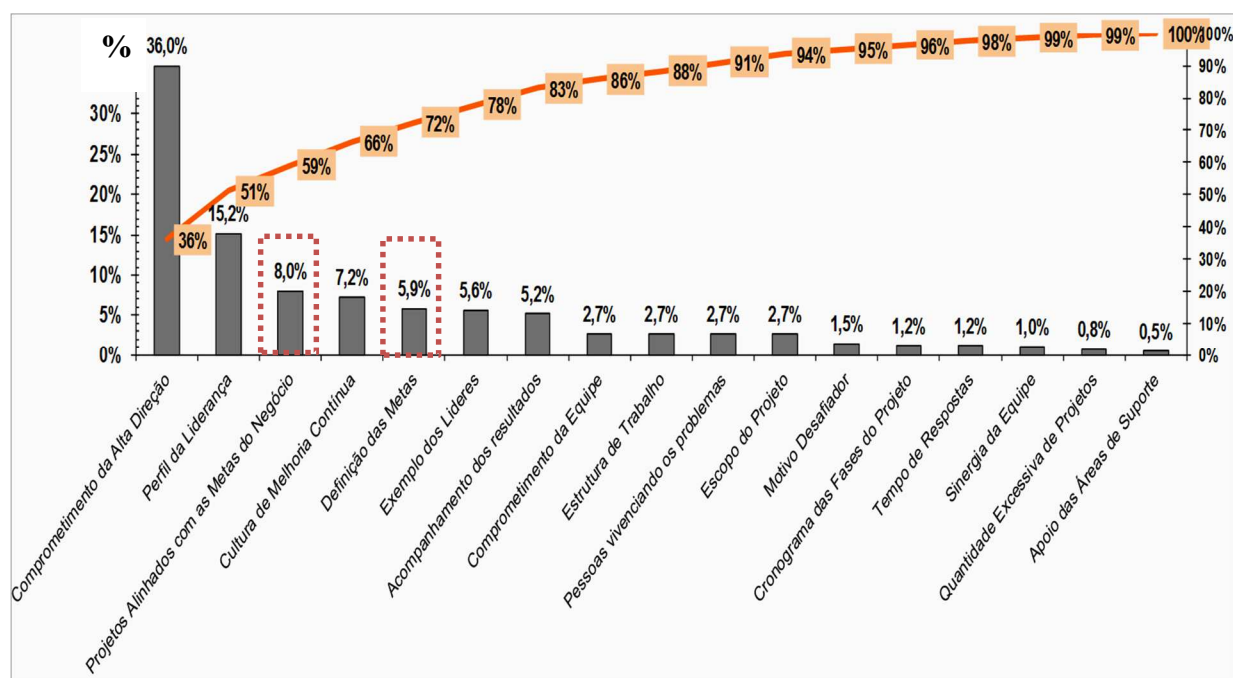
A implantação dos projetos de melhorias propostos, que têm foco na redução das restrições de processo, não garantem que o resultado final será igual ao esperado, pois Tanaka, Muniz e Faria Neto (2012), afirmam que existem fatores críticos que impedem o sucesso dos projetos (*Kaizens*).

Tanaka, Muniz e Faria Neto (2012), apresentam o resultado da pesquisa realizada sobre fatores críticos de implantação de projetos de melhoria, ao entrevistar doze líderes de projetos, que conduziram duzentos e oitenta e oito projetos de melhoria em empresas dos setores agroquímico, automotivo, usinagem e estamparia e aeroespacial, e oito consultores que conduziram cento e quatro projetos, o que totaliza um universo de trezentos e noventa e dois projetos divididos entre os setores relacionados.

Conforme a Figura 1, Tanaka, Muniz e Faria Neto (2012) consideram que os principais Fatores Críticos de Sucesso (FCS) são: o comprometimento da alta direção, o perfil da liderança, projetos alinhados com as metas do negócio, cultura de melhoria contínua, definição das metas, o exemplo dos líderes e o acompanhamento dos resultados, o que representa 83% da amostra.

Por meio dos dados apresentados na Figura 1, é possível observar que dentre os 17 FCS, dois FCS (projetos alinhados com as metas do negócio e definição de metas) totalizam 13,9% da pontuação por questão de dificuldade na seleção e definição de projetos.

Figura 1 – Fatores críticos identificados pelos líderes e consultores de projetos



Fonte: Adaptação dos autores Tanaka, Muniz e Faria Neto (2012)

O presente trabalho aborda o problema da seleção dos projetos de melhoria, alinhados à meta do negócio. Esse problema é apontado pelos autores como o terceiro principal fator crítico restritivo ao sucesso pós-implantação dos projetos de melhoria selecionados.

A escolha do terceiro fator tem como o objetivo de propor um procedimento de cálculo sistematizado e sistêmico de seleção de projetos de melhoria, a ser aplicado em indústrias de diferentes segmentos. O cálculo foi testado, inicialmente, em uma empresa fabricante de embalagens.

### **1.1 Problema de Pesquisa**

Por meio da revisão da literatura, surge a questão: Como sistematizar um procedimento de cálculo relacionando o *trade-off* desempenho operacional e ganho financeiro real da indústria por intermédio da seleção de projetos de melhorias?

### **1.2 Objetivos da Pesquisa**

Desenvolver um procedimento de cálculo que sirva de ferramenta de apoio à seleção de projetos de melhoria (*Kaizen*), com foco no balanceamento do fluxo produtivo e redução do custo operacional, com os seguintes resultados:

1. Elaborar o estudo de capacidade do sistema de produção da empresa objeto do estudo, identificando os processos gargalos, aplicando a teoria das restrições;
2. Identificar e correlacionar quais são os custos que ocorrem na árvore de perdas que compõem o processo; e
3. Simular o impacto de projetos de melhorias, demonstrando as potenciais reduções nas restrições do processo e a potencial redução de custos operacionais.

### 1.3 Justificativa

Souza et al. (1997) destacam a necessidade de mapear e avaliar os processos operacionais das empresas, a fim de melhorar o desempenho da produção, de modo que os projetos de melhoria dos processos produtivos relacionados possam ser mais assertivos na seleção das restrições a serem tratadas. Isso pode ser realizado, segundo os autores, por meio do uso dos conceitos e fundamentos da Teoria das Restrições.

Contudo, de acordo com Souza et al. (1997), é necessário, para o mapeamento das restrições, o uso de ferramentas adequadas de diagnóstico de operação dos processos produtivos. De forma que, é enfatizada, pelos autores, a importância do uso da ferramenta *Current Reality Tree* – CRT (Árvore da realidade atual ou árvore de identificação das perdas).

Os autores complementam que a Árvore de Perdas pode contribuir com o objetivo relacionado ao ganho de desempenho desejado, o que oferece um método de identificação dos processos responsáveis pela maioria dos sintomas relacionados às perdas de processo identificadas e suas causas de modo sistêmico, e não, pontualmente, de algum processo específico.

Para auxiliar a identificação dos processos gargalos e o desdobramento das ineficiências de processos, é possível utilizar o indicador OEE (*overall equipment effectieness*) como ferramenta de apontamento dos dados e informações de processo da restrição, que para Hansen (2008) o OEE é responsável por medir os índices de disponibilidade, qualidade e performance de um equipamento.

Jonsson e Lesshammar (1999) afirmam que o OEE pode ser aplicado de diferentes formas, de maneira a permitir a medição simplificada do desempenho operacional e, assim,

contribuir para alocação de projetos de melhorias e a geração de indicadores que poderão ser utilizados como balizadores para os *Kaizens*.

Kosieradzka, Kakol e Kupra (2011) afirmam que as empresas necessitam reduzir as restrições dos processos para aumentar sua capacidade de produção, e que, neste caso todos os projetos (*kaizens*) que permitam o aumento do desempenho da produção do fluxo nos processos gargalos serão selecionados.

Como pode-se observar no exposto, a principal justificativa do presente trabalho está apoiada no fato de que, segundo Abdulmalek e Rajgopal (2007), em geral, os gestores necessitam de uma ferramenta complementar que apoie técnicas específicas de mensuração das restrições do processo de fabricação. Como por exemplo, a técnica de planejamento *Value Stream Mapping* (VSM), que embora possa quantificar os ganhos durante o planejamento antecipado do processo de fabricação, ao assegurar o fluxo de materiais entre os estágios ou processos de manufatura envolvidos, trata-se de uma ferramenta estática que permite ao gestor obter uma fotografia do momento, e não o comportamento do sistema na operação de modo integrado com os demais processos. Nesse caso, uma ferramenta que pode complementar o uso do VSM entre outras, segundo o autor, é a simulação. O procedimento de cálculo proposto permite simular cenários por intermédio da fundamentação teórica e aplicada, com foco no processo de fabricação e não em uma determinada família de produtos como no caso do VSM. Ademais, o fato de o procedimento de cálculo proposto, pode ser utilizado como base para o desenvolvimento futuro de um *software* de gestão da produção com esse propósito.



## 1.4 Metodologia de Pesquisa

Gil (2002) define pesquisa como um procedimento racional e sistêmico, que proporciona respostas aos problemas de pesquisa propostos para estudo, e as razões que motivam a pesquisa, que pode ser de ordem intelectual e prática. A ordem intelectual é pela razão da própria satisfação de conhecimento, e a ordem prática é pela razão da busca da eficiência ou eficácia.

O desenvolvimento do procedimento proposto será delimitado no contexto de pesquisa aplicada, em uma indústria do setor de fabricação de embalagens localizada no estado de São Paulo, conforme o objetivo geral da dissertação.

A pesquisa é de cunho exploratório, pois conforme Gil (2002) as pesquisas exploratórias envolvem o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências com o problema e análise de exemplos, o que direciona as necessidades e objetivos para pesquisas bibliográficas e estudo de caso.

Para o caso de estudo será realizada a pesquisa da base histórica do OEE, variáveis de tempo e de coleta, por exemplo: tempo disponível considerando o calendário solar, tempo das paradas programadas, tempo disponível para produção, volume médio ponderado de produção, volume teórico de entrega considerando a eficiência do processo, volume não entregue devido à falta de eficiência do processo, volume potencial de produção, índice de saturação dos equipamentos, *gap* em horas para atender a demanda e OEE teórico para atender a demanda, além de relatórios e demais documentos da empresa em estudo, se dá de maneira transversal, com abordagem qualitativa, apoiando-se nos dados dos últimos 12 meses.

A definição das variáveis serão tratadas na seção 3.2.

## 1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho aborda, na seção dois, a revisão bibliográfica dividida em subitens, para fundamentar a Árvore de Perdas (2.1); Teoria das Restrições (2.1); e Métodos de avaliação de desempenho global de sistemas produtivos (2.3).

Na seção três são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados na pesquisa.

Na seção quatro apresenta-se a aplicação do modelo na unidade industrial pesquisada e análise dos resultados.

Na seção cinco constam as considerações finais e logo em seguida as referências bibliográficas e apêndices.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Árvore de Perdas

#### 2.1.1 Definição e Composição da Árvore de Perdas do TPM

Folador e Mattos (2007) afirmam que, durante a estruturação da implantação do TPM (*Total Productive Maintenance*), em uma unidade de produção, será necessário elaborar a Árvore de Perdas, que é uma ferramenta utilizada pelo pilar de melhoria específica, pilar este responsável pelo tratamento das ineficiências do processo produtivo. Conforme afirmam Oprime, Danadone e Monsanto (2009), o TPM foi proposto em 1971, desenvolvido pelo JIPM (*Japan Institute of Plant Maintenance*). Apresenta as seguintes características:

1. Implantar um sistema corporativo que maximize a eficiência da produção (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*);
2. Identificar as perdas do processo que impactam no OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), criar sistemas que impeçam a ocorrência nas linhas de processo, “zero acidentes, zero defeitos e zero falhas”;
3. Priorizar o produto acabado.

Freitas (2002) afirma que a Árvore de Perdas é construída por meio das grandes perdas do TPM, corroborando com a segunda característica do TPM, apresentada por Oprime, Danadone e Monsanto (2009), sendo necessário a identificação das perdas de processo que impeçam a empresa conseguir “zero acidentes, zero defeitos e zero falhas”.

Conforme ressaltam Proença e Tubino (2010), as grandes perdas do TPM, impactam diretamente no resultado da empresa e no índice de eficácia (OEE – *Overall Equipment*

*Effectiveness*), sendo elas a base de construção da Árvore de Perdas. As grandes perdas do TPM são:

1. Perdas por quebras;
2. Perdas por *setup* e ajustes;
3. Perdas por paradas menores;
4. Perdas por queda de velocidade;
5. Perdas por defeitos e retrabalho; e
6. Perdas por matéria prima defeituosa (perdas de arranque).

Aragão (2007) define que a Árvore de Perdas tem como foco os processos produtivos, de modo que dá ênfase à maximização da produção pela eliminação das perdas, tendo como consequência o aumento de produtividade, qualidade e na redução de custos de produção.

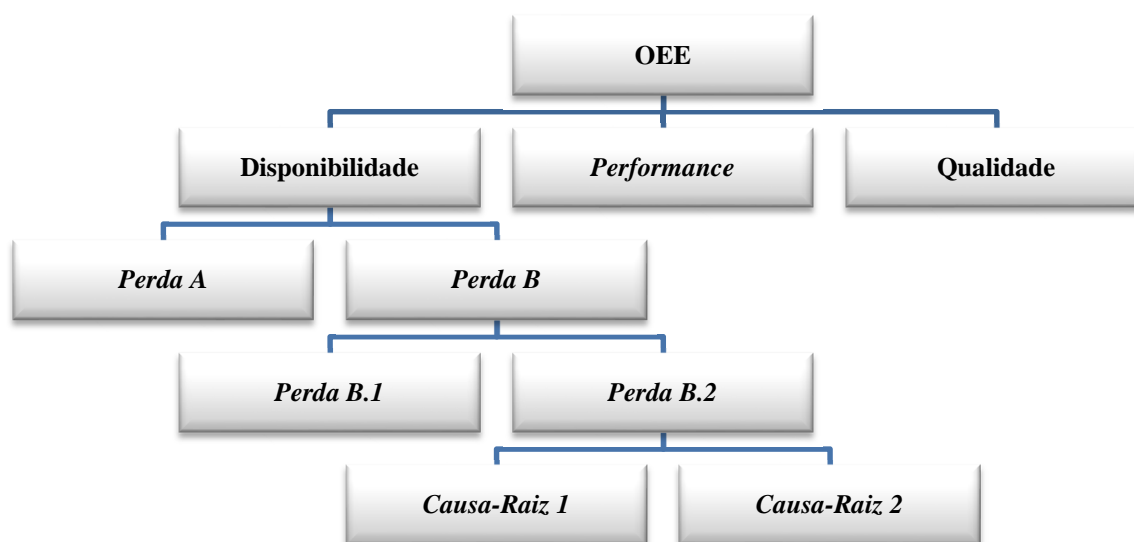
Segundo Souza et al. (1997) a Árvore de Perdas tem como objetivo apoiar o reconhecimento das causas-raízes das ineficácias de um determinado processo, permitindo também a definição de indicadores para monitoramento, dentre deles o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*).

### **2.1.2 Construção da Árvore de Perdas do TPM e seu uso no OEE**

Jonsson e Lesshammar (1999) e Hansen (2008) afirmam que o indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) pode ser usado como ferramenta para medição da eficácia do processo, e atuar como balizador para lançamento e avaliação dos resultados dos projetos (*Kaizens*),

A Figura 2 tem o objetivo de demonstrar a construção da árvore de perdas, considerando a composição do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) até o reconhecimento das causas-raízes destacados por Souza et al. (1997). De acordo com a mesma figura, a composição do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), para um mesmo produto, considera a multiplicação dos índices de disponibilidade, *performance* e qualidade, ramificando pelas respectivas perdas de processo, que serão compostas pelas 06 grandes perdas do TPM, até as causas-raiz, que serão identificadas pelos projetos de melhoria.

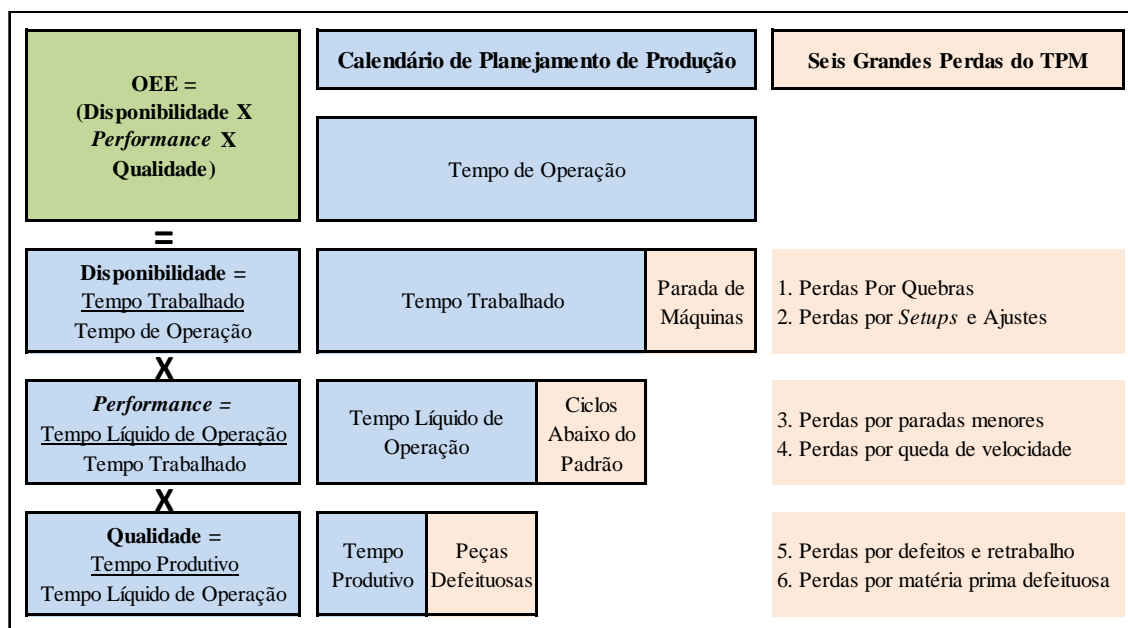
Figura 2 – Modelo genérico da Árvore de Perdas, considerando o Indicador OEE



Fonte: Próprio Autor

Com base no exposto as Figuras 2 e 3 apresentam o impacto das seis grandes perdas no OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), correlacionando cada uma delas aos índices de disponibilidade, *performance* e qualidade.

Figura 3 – Efeito das Seis Perdas no Calendário de Planejamento e o Impacto no OEE



Fonte: Adaptado dos Autores Proença e Tubino (2010).

Para obter os fatores e, conseqüentemente, o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), pode-se aplicar a sequência de equações, na qual a equação (1.0) demonstra que o OEE é o produto dos índices de disponibilidade (1.1), performance (1.2) e qualidade (1.3).

$$OEE = R_{disp} \times R_{perf} \times R_{qual} \quad (1.0)$$

$$R_{disp} = \frac{\text{tempo trabalhado}}{\text{tempo de operação}} \quad (1.1)$$

$$R_{perf} = \frac{\text{tempo líquido de operação}}{\text{tempo trabalhado}} \quad (1.2)$$

$$R_{qual} = \frac{\text{tempo produtivo}}{\text{tempo líquido de operação}} \quad (1.3)$$

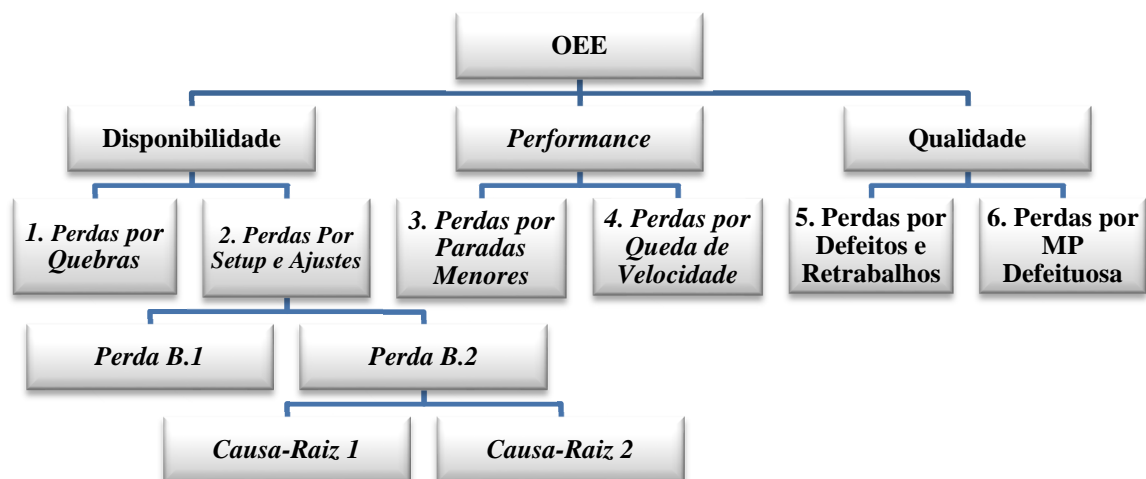
Ao avaliar as equações apresentadas para composição do OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), observa-se a necessidade do registro das paradas (tempo), volume produzido (volume e tempo correspondente) e defeitos gerados por equipamento (volume e tempo correspondente). Com os dados coletados, é possível calcular o índice do OEE e iniciar as primeiras análises, de cada perda no índice do equipamento.

A Figura 4 apresenta a distribuição das seis grandes perdas do TPM apresentadas na Figura 3 e o respectivo impacto dessas perdas no OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), em cada índice que compõe o OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Entre as perdas consideradas temos três grupos:

- 1) 1º grupo – Disponibilidade – relaciona as perdas por quebra de equipamento, tempo de *setup* e ajustes do plano de produção afim de garantir que o equipamento permaneça apto para o uso;
- 2) 2º grupo – Performance – relaciona as perdas por paradas menores na operação do equipamento e queda de velocidade no processamento;
- 3) 3º grupo – Qualidade – relaciona as perdas por defeitos e retrabalhos no processamento dos componentes ou peças e matéria prima defeituosa.

Por meio dos grupos de perdas, é calculado o índice de perda de cada um dos grupos e em seguida sobrepostos para o cálculo do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) afim de medir o desempenho do equipamento.

Figura 4 – Modelo genérico da Árvore de Perdas, considerando o Indicador OEE e as Seis Grandes Perdas do TPM



Fonte: Próprio Autor

O enfoque do presente trabalho, a exemplo na Figura 04, e mais especificamente as perdas B.1 e B.2, que foram coletadas nos processos produtivos dos sistema de produção da empresa objeto do estudo e, por sua vez, a somatória B1 e B2, totalizam, no caso específico do presente trabalho, a perda por *setup* e ajuste do plano de produção. A abertura do nível inferior às grandes perdas na Figura 4 deve compor as perdas que cada empresa identificar em seus processos. O motivo da causa-raiz de cada uma das perdas será identificado pelos projetos de melhorias.

### 2.1.3 Valoração da Árvore de Perdas

Conforme ressalta Aragão (2007), a gestão da eficiência das operações e equipamentos (OEE – *Overall Equipment Effectiveness*) contribui para a redução dos custos com material, pessoal, contratação de terceiros, materiais de aplicação, energia elétrica,



vapor, combustíveis, insumos químicos, gases e água industrial e outras utilidades. A gestão das perdas que compõem a árvore deve ser considerada como potencial de redução dos custos de fabricação. A Figura 5 apresenta, de forma genérica, o impacto nos custos variáveis quando ocorrem as seis grandes perdas do TPM, que são parte integrante da árvore de perdas.

A Figura 5 demonstra, de forma genérica, a correlação das seis grandes perdas do TPM com os custos de fabricação, no desenvolvimento do estudo de caso. A Figura 5 é detalhada com as perdas identificadas no sistema produtivo da empresa objeto do estudo. De acordo com a Figura 5, o modelo genérico da correção das seis grandes perdas do TPM nos custos de fabricação, permite indicar através de marcações (X), se um determinado tipo de perda pode apropriar-se ou não do custo de fabricação estabelecido.

Figura 5 – Modelo genérico da correlação das seis grandes perdas do TPM nos custos de fabricação

| Seis Grandes Perdas do TPM             | Custos de Fabricação |                           |                    |               |                          |                  |
|--|----------------------|---------------------------|--------------------|---------------|--------------------------|------------------|
|  | Mão de Obra Direta   | Mão de Obra da Manutenção | Pecas de Reposição | Materia Prima | Contratação de terceiros | Energia Elétrica |
| 1. Perdas Por Quebras                  | X                    | X                         | X                  | X             | X                        |                  |
| 2. Perdas por <i>Setups</i> e Ajustes  | X                    |                           |                    | X             |                          | X                |
| 3. Perdas por paradas menores          | X                    |                           |                    |               |                          | X                |
| 4. Perdas por queda de velocidade      | X                    |                           |                    |               |                          | X                |
| 5. Perdas por defeitos e retrabalho    | X                    |                           |                    | X             | X                        | X                |
| 6. Perdas por matéria prima defeituosa | X                    |                           |                    | X             |                          | X                |

Fonte: Próprio Autor

De acordo com a Figura 5, a apropriação de custos de um determinado tipo de perda torna-se mais fácil de identificar, como exposto por meio do exemplo descrito a seguir.

Exemplo de apropriação de custos a Perda por Quebra.

Apropriação de custos a Perda por Quebra:

- Mão de Obra Direta, pois enquanto ocorre a manutenção do equipamento, o operador fica sem condições de exercer sua função primária;
- Mão de Obra de Manutenção, pois os manutentores executa uma atividade corretiva;
- Custo das Peças de Reposição, pois pode ser necessária a substituição de peças e componentes, para poder reestabelecer a condição de trabalho do equipamento;
- Custo de Matéria Prima, pois pode gerar sucata ou refugo do material em processo, no momento em que o equipamento perde a função;
- Custo de Contratação de Terceiros, pois pode ser necessária uma atividade específica de manutenção, que o quadro de manutentores não está qualificado para executar a correção;
- Custo de Energia Elétrica, pois, no exemplo, o equipamento é desligado, não consumindo energia sem produzir.

## 2.2 Teoria das Restrições (TOC)

### 2.2.1 Histórico

Conforme Zagonel (2006), em meados de 1970, o físico israelense Eliyahu M. Goldratt foi convidado a auxiliar a gestão de uma empresa de fabricação de gaiolas para passarinho. Por meio da aplicação de seus conhecimentos de Física, desenvolveu um sistema de gestão da produção chamado OPT (*Optimized Production Technology*), que significa “Tecnologia da Produção Otimizada”, o que reverteu o quadro de resultado desfavorável, sem aumentar as despesas operacionais.

Reid (2007) afirma que a Teoria das Restrições (TOC) é, relativamente, uma nova filosofia gerencial, e está evoluindo desde 1980. Procura entender as relações de causa e efeito que são responsáveis pelo desempenho de uma organização. Reid (2007) afirma que Eliyahu M. Goldratt documentou a TOC e ideias por meio de vários livros e artigos.

Zagonel (2006) corrobora com a produção de Goldratt, e afirma que a TOC é a denominação como ficaram conhecidos os princípios que regem o sistema OPT. Este consiste em um sistema de MRP (*Material Requirements Planning*) com capacidade finita, caro e fechado, classificado como *caixa preta*, e que torna o cliente refém do fornecedor.

Guerreiro (1996) alega que, conforme surgia a necessidade de aperfeiçoamento do software OPT, foram estabelecidos os princípios e os parâmetros que auxiliam a medição de alcance das metas estabelecidas pela empresa.

### 2.2.2 Medidas para Alcance da Meta

Os autores Corbett (1996), Guerreiro (1996), Aguilera (2000) e Nonnemacher (2012), afirmam que pela definição de Goldratt:

- *Ganho* é o índice pelo qual o sistema gera dinheiro, por meio das vendas, ao atender a demanda de mercado. Os autores completam afirmando que o ganho é o montante financeiro que entrou na empresa, menos o montante necessário para pagar os fornecedores, pelos itens que compõem o produto vendido;
- *Inventário* é o montante investido na compra de bens que a empresa utiliza para vender, considerando matéria-prima, máquinas, equipamentos e instalações; e
- *Despesas Operacionais* são o montante que a empresa gasta para gerar inventário em ganho, considerando salários, energia, entre outras despesas incorridas.

Conforme assegura Aguilera (2000), a medição de desempenho pontual de um determinado processo pode levar a empresa a realizar ações e investimentos contrárias àquelas que não são importantes para melhorar o resultado global da empresa, ou seja, melhorar apenas um dos processos produtivos, sem avaliar a empresa como um todo. Isso não garante que o resultado desejado pela empresa. Aguilera (2000), afirma que, para definição de metas globais da empresa, é necessário que as metas locais (departamentos e ou setores) tenham as seguintes características:

1. As medidas de desempenho locais expressem o significado da meta ou propósito global da empresa;

2. As medidas permitam que os gestores de departamentos e/ou setores conheçam o impacto de sua gestão sobre o resultado global;
3. As medidas de desempenho expressem-se desde o ponto de vista financeiro, com prioridade sobre outro tipo de medidas fiscais;
4. Os gestores sejam orientados a fazer a identificação dos desvios que afetam os resultados;
5. Os desvios ocorram de duas formas, fazendo o que não deveria ser feito e não fazendo o que deveria ser realizado;
6. Qualquer que seja a situação, o gestor é o único responsável pelo desempenho do processo local.

De acordo com os autores Guerreiro (1996), Aguilera (2000), Zagonel (2006), Goldratt definiu-se um conjunto de princípios que deve ser assimilado pelos gestores para aplicar a TOC. Guerreiro (1996) e Zagonel (2006) apresentaram nove princípios, enquanto Aguilera (2000) apresentou 08, sendo que o princípio não apresentado pelo autor pode ser entendido como um desmembramento do princípio oito, que relaciona o tamanho dos Lotes.

Outro desencontro entre os autores está relacionado à sequência dos princípios, porém, deve-se destacar, que são princípios conceituais e não uma metodologia de implementação, desta forma não impactam a sequência. Os princípios apresentados pelos autores são:

1. Balancear o fluxo, e não as capacidades;
2. A utilização de um recurso não-gargalo não é determinada por sua disponibilidade, ou próprio potencial de entrega, mas sim, pela restrição do sistema (recurso-gargalo).
3. Utilização e Ativação de um recurso não são sinônimos;

4. Uma hora perdida no gargalo representa uma hora perdida no sistema inteiro;
5. Uma hora economizada no recurso não gargalo é apenas uma ilusão;
6. Os gargalos governam o ganho e o inventário;
7. O lote de transferência não pode ser, e muitas vezes não deve ser, igual ao lote de transferência; conforme citado pelos autores Guerreiro (1996) e Zagonel (2006);
8. O lote de processamento deve ser variável, e não fixo;
9. Os programas devem ser estabelecidos considerando-se todos os recursos gargalos simultaneamente.

### **2.2.3 Conceito do Sistema de Programação Tambor-Pulmão-Corda**

Gupta e Boyd (2008) definem o sistema Tambor-Pulmão-Corda (TPC): é um método de planejamento de recursos com capacidade finita, sendo que a programação resultante é a capacidade possível, determinada pelo recurso gargalo ou Recurso com Restrição de Capacidade (RRC).

De acordo com os autores, o TPC tem como finalidade controlar a capacidade do sistema, pelo desempenho de entrada e saída de cada recurso, dimensionado pelo ritmo do RRC.

Para definição do TPC, Zagonel (2006), Gupta e Boyd (2008) afirmam que o *Tambor* é o ritmo de trabalho, determinado de pelo recurso, com restrição de capacidade (RRC). O *Pulmão* é o estoque antes do RRC e a *Corda* é a forma de comunicação entre o RRC ou recurso *gargalo* com a primeira operação.

Zagonel (2006) destaca que o TPC não deve ser confundido com JIT/Kanban, pois o TPC centraliza os estoques antes dos “gargalos” e depois “empurra” para a próxima operação

(*push-pull system*). Por outro lado, o JIT/Kanban puxa a produção (*pull system*), considerando a linha final que irá puxar as demais.

#### **2.2.4 Os Cinco Passos da Teoria das Restrições (Processo de Raciocínio)**

Conforme alegam os autores Corbett (1996), Aguilera (2000), Zagonel (2006), Reid (2007) e Gupta e Boyd (2008), Goldratt definiu um processo de raciocínio simples, composto por cinco passos para aplicar a teoria das restrições, sendo elas:

1. Identificar a Restrição do Sistema:

localizar os gargalos, por meio de análise e mapeamento do processo. Em todo processo, há sempre um processo gargalo. Corbett (1996) destaca que o processo gargalo é como um elo fraco de uma corrente, e, desta forma, para fortalecer uma corrente é necessário, primeiro, identificar o elo fraco e, posteriormente, fortalecê-lo.

2. Decidir como explorar a Restrição do Sistema:

Após identificar o processo gargalo, ou elo fraco da corrente, é necessário analisar quais são as restrições existentes no processo, e definir quais ferramentas pode-se usar para reduzir a restrição ou fortalecer o ele da corrente. As restrições podem ser perdas de processo, mão de obra, entre outros.

3. Subordinar tudo mais à decisão acima:

Os demais processos não-gargalos devem trabalhar no ritmo determinado pelo processo gargalo, se não, corre-se o risco de aumentar o ritmo de gerar estoque (inventário) e se for abaixo do ritmo do gargalo, poderá gerar falta de material, potencializando o efeito do gargalo.

4. Elevar a Restrição do Sistema:

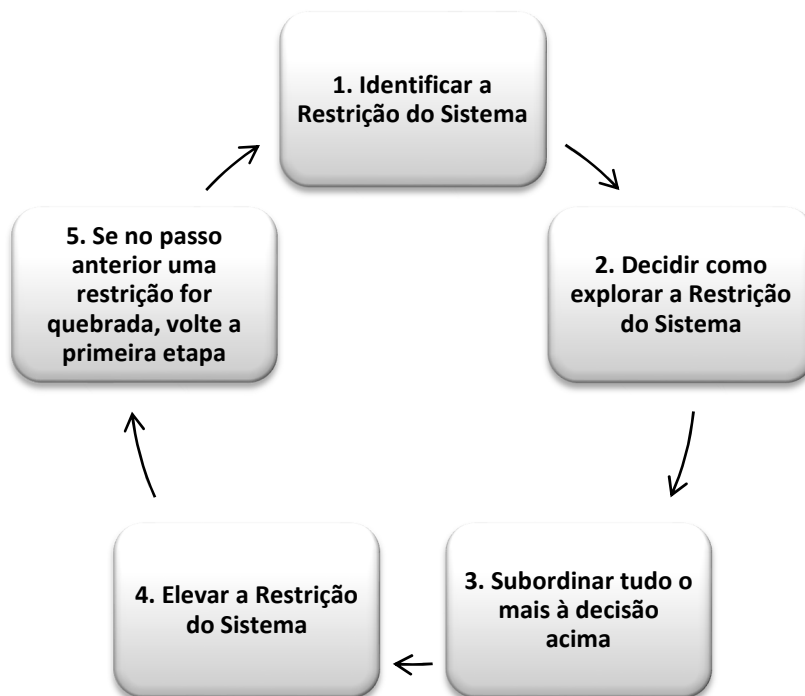
Se não for possível eliminar a restrição do processo gargalo, a alternativa é investir em novos turnos, se possível, ou até em aquisição de recurso identifi-  
cico.

5. Se no, passo anterior, uma restrição for quebrada, voltar à primeira etapa:

O processo de aplicação do raciocínio da TOC deve ser constante, sendo assim ao retornar ao primeiro passo, será identificado um novo processo gargalo para ser tratado.

Na Figura 6, é possível observar que a aplicação dos 5 passos gera um raciocínio cíclico, para busca da redução das restrições de processo.

Figura 6 – Modelo genérico da Árvore de Perdas, considerando o Indicador OEE



Fonte: Adaptação do processo de raciocínio simples de Goldratt



O foco da dissertação é integrar a TOC e a Árvore de Perdas, para selecionar projetos de melhorias, com foco na redução das restrições do sistema e, ao mesmo tempo, potencializar a redução de custos. Para isso na seção três, demonstraremos como integrar a TOC com a Árvore de perdas, o que representa operacionalizar os Passos 1-Identificar a Restrição do Problema (uso da árvore de perdas como diagnóstico) e 2-Decidir como explorar a restrição do sistema (seleção do projeto de melhoria “*kaizen*”).

### **2.3 Métodos de avaliação de desempenho global de sistemas produtivos**

Segundo Nachiappan e Anantharaman (2006), modelos e procedimentos de cálculo para seleção de projetos de melhoria em sistemas produtivos, que têm ênfase em processo de fabricação, utilizam o conceito de *Total Productive Maintenance* (TPM). Este conceito é desdobrado em uma métrica quantitativa, definida como *Overall Equipment Effectiveness* (OEE).

Por sua vez, *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é um indicador de desempenho utilizado para a medição da eficácia de um equipamento individual, em uma fábrica. O que, embora, não atenda a necessidade da visão sistêmica dos recursos de manufatura quanto a caracterização do fluxo de produção integrado, auxilia a avaliação pontual dos recursos.

Neste caso, o autor destaca que, embora o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) contribua quanto a uma avaliação prévia de desempenho de uma máquina específica, não é suficiente para suportar a fundamentação técnica de um sistema fabril. Tais como, o de classe mundial (*World Class Manufacturing* - WCM), com foco no produto ou no fluxo de produção.

Um método de avaliação de desempenho global de sistemas produtivos com essa missão, deve ser estruturado como um modelo ou sistema de seleção de projetos de melhoria

integrado. Assim, deve envolver, por exemplo, máquinas que operam em série, com a interdependência entre elas no fluxo de produção, ou a condição de precedência entre as atividades relacionadas ou executadas durante a operação.

Contudo, Nachiappan e Anantharaman (2006) ressaltam que o estabelecimento de métricas para a medição e análise da produtividade das indústrias de manufatura tem sido estudada há décadas. Elas possuem o objetivo de medir para controlar e poder fundamentar as decisões de seleção dos projetos de melhoria dos sistemas produtivos, de modo a realizar intervenções precisas e com elevado resultado do custo benefício a ser atingido.

É necessário, para identificar os problemas ou restrições operacionais, afim de melhorar e aumentar a produtividade, demonstrar onde deve ser realizada a intervenção, por intermédio de projetos de melhoria, ou por meio da função do objetivo de maximização do uso dos recursos de manufatura (*trade-off* do custo-benefício dos investimentos necessários).

Nesse caso, o cerne de um procedimento de cálculo para a avaliação do processo de escolha de projetos de melhoria, no chão de fábrica, deve conter métricas apropriadas de medição e controle, com o propósito da medição e simulação. Estas têm a identificação dos pontos de estrangulamento do sistema, e, mesmo que a intervenção seja mínima, os resultados operacionais serão muito mais significativos.

Com o propósito de construir o referencial teórico para a fundamentação conceitual do presente trabalho, pode-se identificar que praticamente a totalidade das referências bibliográficas consultadas parte dos fundamentos do *Total Productive Maintenance* (TPM).

Na década de 1980, de acordo com Nakajima (1988), o *Total Productive Maintenance* (TPM) surgiu com o propósito de fornecer uma métrica quantitativa para a medição da produtividade de equipamentos individuais, sendo que esta métrica foi definida como *Overall Equipment Effectiveness* (OEE). Segundo Johnson e Lesshammer (1999) tal

métrica pode ser considerada uma medida da eficiência interna de um equipamento individual, é uma medida precisa e real do valor adicionado à produção pelo equipamento.

Do mesmo modo, Chowdhury e Mandal (1995) enfatiza a importância do *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), ao destacar que a eficiência de uma unidade de produção (na qual o equipamento se encontra em operação) , materiais, homens e métodos devem ser relacionados. Pois, em conjunto com os equipamentos, esses elementos influenciam o desempenho do sistema como um todo, e deve ser levado em consideração, apoiado por Suzuki (1999), por meio de uma visão sistêmica e integrada dos recursos. Desta maneira, a soma do desempenho dos pares resulta no desempenho do sistema.

Segundo os autores, o aumento da eficiência do Sistema, e não de um equipamento individual, requer, contudo, que todo o processo de apontamento (medição), controle a simulação de cenários de modo integrado e sistêmico. Deve começar com os *inputs* inerentes ao processo de produção, como: equipamento, material, homem e método de trabalho, bem como a identificação e eliminação ou minimização das perdas associadas ao contexto da operação do sistema, a fim de maximizar os *outputs*, por nível de influência, no nível de desempenho da manufatura por intermédio do foco no *trade-off*.

De acordo com Nakajima (1988), o indicador de medição de desempenho *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) é um modo efetivo de analisar o desempenho de equipamentos individuais em um Sistema de manufatura.

O presente trabalho fundamentos do *Total Productive Maintenance* (TPM), e leva em conta a métrica de medição o *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), bem como o desenvolvimento de uma lógica matemática da relação entre as variáveis do processo de fabricação, que idealizamos na confecção do trabalho.

### 3 Metodologia de Pesquisa

#### 3.1 Coleta de Dados

A análise temporal do projeto é transversal, considera doze meses de coleta dos dados históricos dos tempos de paradas agrupada nas seis grandes perdas do TPM, OEE consolidado do período histórico por equipamento, bem como, custo histórico por equipamento das horas extras, peças de reposição, consumo de energia elétrica, custo da mão de obra direta e da demanda de produção. É considerada a projeção para os próximos doze meses (futuro), disponibilizado pelo setor comercial.

Foi utilizado como procedimento para elaboração do presente trabalho a pesquisa bibliográfica, base de dados históricos da empresa, pesquisa documental desta última e a aplicação de questionário em empresas de diferentes setores, com o propósito de identificar os principais procedimentos de seleção de projetos.

Os dados de paradas coletados, perda de *performance* e desvios de qualidade, compõem o indicador OEE de cada equipamento, conforme mencionado na revisão bibliográfica sobre a Árvore de Perdas. Estes elementos serão utilizados nos testes de validação do procedimento proposto. É necessário coletar, com a gerência de produção, os dados para todos os equipamentos envolvidos nos processos de extrusão, impressão, laminação e acabamento, sendo:

- Regime de trabalho (6x1, 6x2, administrativo, entre outros):
  - Disposição de dias trabalhados por semana, em que o “6x1”, significa que tanto o equipamento quanto os operadores diretos, trabalharão seis dias da semana e não trabalharão o domingo; já o esquema de trabalho “6x2” o equipamento trabalha de segunda a domingo (todos

os dias da semana), porém os operadores trabalharão seis dias e descansarão dois dias; se o regime de trabalho for ADM (Administrativo), tanto o equipamento quanto os operadores trabalharão cinco dias na semana.

- Número de turnos trabalhados por dia útil:
  - Número de turnos trabalhados com revezamento da equipe de trabalho. Geralmente as empresas trabalham em regime com no máximo três turnos de oito horas dia.
- Tripulação direta por turno (Número de Operadores e Auxiliares):
  - Somatória do número de operadores e auxiliares necessários para que o equipamento possa trabalhar.
- Número médio de manutentores que atuam por evento de manutenção corretiva;
- Número médio de manutentores que atuam quando ocorre a manutenção preventiva;
- OEE, considerando o período transversal;
- Tempo em horas das paradas programadas (finais de semana, turnos não trabalhados, feriados, limpeza programada, manutenção preventiva, entre outros);
- Volume médio ponderado de produção por hora, considerando a velocidade de cada produto e o índice do OEE;
- Demanda de produção prevista para o período de estudo;

Utilizando os dados históricos do OEE e o volume de demanda para o próximo período (futuro), será possível identificar a restrição do sistema (passo 01 da TOC), conforme revisão bibliográfica da seção dois.

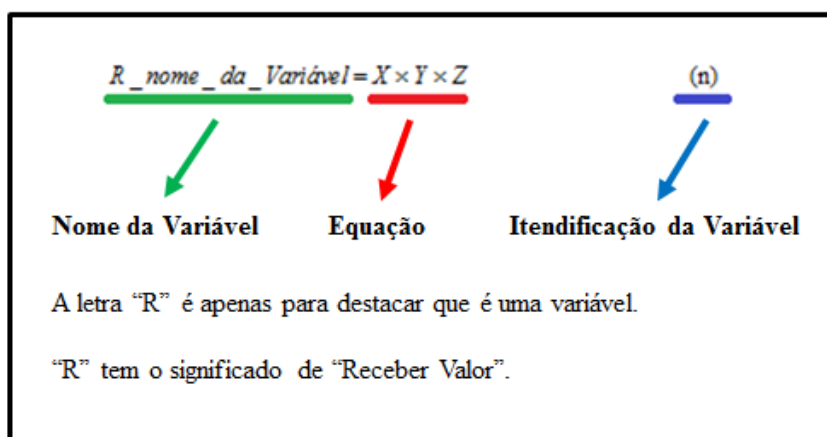
Os valores das contas de custos foram disponibilizados pelo setor de controladoria, através do plano de contas contábil.

Os custos de transformação serão apropriados da Árvore de Perdas, conforme Figura 5 na seção dois.

### 3.2 Definição das Variáveis

Nesse subitem são apresentadas as variáveis e as equações que serão aplicadas no estudo de caso. A Figura 7 apresenta o padrão para definição das variáveis.

Figura 7 - Padrão para definição das variáveis



Fonte: Próprio Autor

Considerando-se a explicação da Figura 7, a seguir são apresentadas a relação e a descrição das variáveis que serão aplicadas em cada equipamento.

## 1) Tempo Disponível Considerando o Calendário Solar

$R\_H\_Calend\_Solar$  : Representa a quantidade de horas disponíveis do equipamento, considerando quantidade de dias *corridos* de avaliação com vinte e quatro horas. Se o estudo for anual e o ano for bissexto, então, aplicam-se 366 dias.

$$R\_H\_Calend\_Solar = 365 \text{ dias} \times 24 \text{ horas} \quad (3.1)$$

## 2) Tempo de Parada Programada para Manutenção Preventiva

$R\_H\_Man\_Prev$  : Representa o total de horas de paradas planejadas no período para realizar a manutenção preventiva.

$$R\_H\_Man\_Prev = (\text{Número de Eventos de Manutenção Preventiva} \times \text{Tempo Médio em Horas para Realizar a Manutenção Preventiva}) \quad (3.2)$$

## 3) Tempo de Parada Programada por Feriados

$R\_Feriados$  : Representa o total de horas de paradas planejadas no período, por motivo de feriado.

$$R\_Feriado = (\text{Número de Feriados Previstos no Período} \times 24 \text{ horas}) \quad (3.3)$$

## 4) Tempo de Parada Programada por Finais de Semanas não Trabalhados

$R\_Finais\_Sem$  : Representa o total de horas de paradas planejadas no período por finais de semanas não trabalhados. Se o regime de trabalho do equipamento for 6x1, o número de dias não trabalhados por semana será 01 (Domingo). Se o regime de trabalho do equipamento for ADM, o número de dias não trabalhados será 02 (Sábado e Domingo) e se o regime de trabalho for 6x2, o número dias não trabalhados será 0 (zero).

O resultado do tempo de paradas programadas em horas por finais de semana depende da quantidade de semanas disponíveis no período de estudo. Por exemplo, se o estudo for abranger um ano, então, a quantidade de semanas disponíveis será de 52.

$$R\_Finais\_Sem = ((\text{Número de dias não trabalhados por semana} \times 24 \text{ horas}) \times \text{Quantidade de Semanas disponíveis no Período}) \quad (3.4)$$

5) Tempo de Parada Programada por Turnos não Trabalhados

$R\_Turnos\_Nao\_Trab$  : Representa o total de horas de paradas planejadas no período por turnos não trabalhados. Considerando que um turno médio possui 08 horas, quando um equipamento esta planejado para trabalhar apenas um turno por dia, o equipamento não trabalhará 16 horas, pois será a diferença de 24 horas por dia menos as 08 horas programadas, visto que o equipamento poderá trabalhar em até 03 turnos (no caso de estudo). Se algum equipamento for planejado para trabalhar 02 turnos, o total de horas não programadas será de 08 horas por dia. Se forem planejados os 03 turnos o total de horas não planejadas será de 0 (Zero). O total de turnos não trabalhados também terá influência do número de semanas disponíveis no período de estudo.

$$R\_Turnos\_Nao\_Trab = ((3 - \text{Número de turnos planejados para trabalho} \times 8 \text{ horas}) \times \text{Quantidade de Semanas disponíveis no Período}) \quad (3.5)$$

6) Tempo de Parada Programada por Refeição

$R\_Refeicao\_PProg$  : Representa o total de horas de paradas programadas em função das refeições dos operadores. Esta condição ocorre quando a empresa não dispõe de



mão de obra para realizar o revezamento durante a refeição. No exemplo será considerada 1h por refeição, por turno trabalhado.

$$R\_Outros\_PProg = (\text{Número de dias úteis trabalhados} \times \text{número de turnos por dia} \times \text{hora de parada por refeição}) \quad (3.6)$$

#### 7) Tempo Total das Paradas Programadas

$R\_H\_Parad\_Prog$  : Representa a quantidade de horas disponíveis do equipamento que não será utilizada para produção, e sim para demais motivos, como: manutenção preventiva, feriados, finais de semana, turnos não trabalhados, entre outros motivos.

$$R\_H\_Parad\_Prog = (R\_H\_Man\_Prev + R\_Feriados + R\_Finais\_Sem + R\_Turnos\_Nao\_Trab + R\_Refeicao\_PProg) \quad (3.7)$$

$$\text{Equação 3.7} = (\text{Equação 3.2} + \text{Equação 3.3} + \text{Equação 3.4} + \text{Equação 3.5} + \text{Equação 3.6})$$

#### 8) Tempo Disponível para Produção

$R\_H\_Disp\_Prod$  : Representa a quantidade de horas que o equipamento estará disponível para ser programado a produzir, é resultado da subtração da quantidade de horas do calendário solar e o total de paradas programadas.

$$R\_H\_Disp\_Prod = R\_H\_Calend\_Solar - R\_Parad\_Prog \quad (3.8)$$

$$\text{Equação 3.8} = (\text{Equação 3.1} - \text{Equação 3.7})$$

#### 9) Volume Médio Ponderado de Produção por Hora

$R\_Vol\_Med\_Pond$  : Representa o volume médio ponderado de produção por hora trabalhada, considerando um número infinito de produtos, em que cada um possui

uma demanda de produção e tempo de processo específico. Esta variável não considera o efeito da ineficácia do processo.

$$R\_Vol\_Med\_Pond = \left( \frac{\sum_{i=0}^n \text{demanda}}{\sum_{i=0}^n \text{tempo de processo (hora)} \times \text{demanda}} \right) \quad (3.9)$$

#### 10) Volume de Produção no Tempo Disponível para Produção

$R\_Vol\_Entrega\_Disp$  : Representa o volume real de entrega do equipamento, sendo o produto do tempo de disponível programado, o volume médio ponderado por hora e o OEE.

$$R\_Vol\_Entrega\_Disp = R\_H\_Disp\_Prod \times R\_Vol\_Med\_Pond \times OEE \quad (3.10)$$

$$\text{Equação 3.10} = (\text{Equação 3.8} \times \text{Equação 3.9} \times \text{Equação 1.0})$$

#### 11) Volume não Produzido no Tempo Disponível para Produção Devido o OEE

$R\_Vol\_Perda\_Disp$  : Representa o volume que não será produzido pelo equipamento devido a perda do OEE, durante o tempo disponível programado, sendo o produto do tempo disponível programado, o volume médio ponderado por hora e a perda do OEE.

$$R\_Vol\_Perda\_Disp = R\_H\_Disp\_Prod \times R\_Vol\_Med\_Pond \times (1 - OEE) \quad (3.11)$$

$$\text{Equação 3.11} = (\text{Equação 3.8} \times \text{Equação 3.9} \times (1 - \text{Equação 1.0}))$$

#### 12) Volume Potencial de Produção se Utilizasse o Tempo de Paradas Programadas para Produzir

$R\_Vol\_Entrega\_PP$  : Representa o volume potencial de entrega durante o período em que o equipamento não será utilizado, por motivo de paradas programadas. O

produto do tempo total das paradas programadas em horas é o volume médio ponderado por hora e o OEE.

$$R\_Vol\_Entrega\_PP = R\_H\_Parad\_Prog \times R\_Vol\_Med\_Pond \times OEE \quad (3.12)$$

$$Equação \ 3.12 = (Equação \ 3.7 \times Equação \ 3.9 \times Equação \ 1.0)$$

### 13) Volume Potencial de Perda de Volume se Utilizasse o Tempo de Paradas Programadas para Produzir, Devido o Efeito do OEE

$R\_Vol\_Perda\_PP$  : Representa o volume potencial de perda de produção durante o período de parada programada do equipamento, e a consequência da perda do OEE. Sendo o produto do tempo total das paradas programadas em horas, o volume médio ponderado por hora e a perda do OEE.

$$R\_Vol\_Perda\_PP = R\_H\_Parad\_Prog \times R\_Vol\_Med\_Pond \times (1 - OEE) \quad (3.13)$$

$$Equação \ 3.13 = (Equação \ 3.7 \times Equação \ 3.9 \times (1 - Equação \ 1.0))$$

### 14) Índice Atual de Saturação dos Equipamentos

$R\_Sat\_Equip\_Atual$  : Representa o índice de saturação atual do equipamento em estudo, considerando a capacidade de entrega de produtos no tempo disponível para produção, em relação à demanda prevista para o período. Se o índice for maior que 100%, significa que o equipamento não terá capacidade para atender a demanda (processo gargalo). Se o índice for igual entre 100% a 90%, significa que o equipamento necessitará trabalhará no limite de sua capacidade e qualquer oscilação poderá comprometer a entrega. Se for menor que 90%, significa que é possível atender à demanda com baixa probabilidade de dificuldade.

$$R_{Sat\_Equip\_Atual} = \frac{demanda}{R_{Vol\_Entrega\_Disp}} \times 100 \quad (3.14)$$

$$Equação\ 3.14 = \frac{demanda}{Equação\ 3.10} \times 100$$

15) “Gap” (Diferença) de Volume para Atender a Demanda

$R\_GAP\_Vol\_Demanda$  : Representa o *gap* (diferença) entre a capacidade de entrega em volume de produtos no tempo disponível para produção, e a demanda prevista para o equipamento para o período. Se a diferença for positiva, significa que o equipamento tem capacidade de entrega acima da demanda prevista. Se o resultado for negativo, significa que não é possível atender à demanda, e o processo é gargalo.

$$R\_GAP\_Vol\_Demanda = R_{Vol\_Entrega\_Disp} - demanda \quad (3.15)$$

$$Equação\ 3.15 = (Equação\ 3.10 - demanda)$$

16) “Gap” (Diferença) em Horas Disponíveis para Atender a Demanda

$R\_GAP\_H\_Demanda$  : Representa o “gap” (diferença) entre a capacidade de entrega em horas de produtos no tempo disponível para produção e a demanda previstas para o equipamento, com o respectivo tempo de processo. Se a diferença for positiva, significa que o equipamento tem disponibilidade acima da demanda prevista. Se o resultado for negativo, significa que não é possível atender à demanda, e o processo é gargalo.

$$R\_GAP\_H\_Demanda = R_{H\_Disp\_Prod} - \left( \sum_{i=0}^n \text{tempo de processo} \times \text{demanda} \right)$$

(3.16)

$$\text{Equação 3.16} = \text{Equação 3.8} - \left( \sum_{i=0}^n \text{tempo de processo} \times \text{demanda} \right)$$

17) OEE teórico para atender a Demanda

$R\_OEE\_Teórico$  : Representa o OEE necessário para atender à demanda prevista para o período, em relação à entrega atual.

$$R\_OEE\_Teórico = \left( \frac{OEE}{R\_Vol\_Entrega\_Disp} \right) \times \text{demanda} \quad (3.17)$$

$$\text{Equação 3.17} = \left( \frac{OEE}{\text{Equação 3.12}} \right) \times \text{demanda}$$

18) “Gap” (Diferença) Entre o OEE Atual e o OEE Teórico

$R\_GAP\_OEE$  : Representa a diferença entre o OEE atual e o OEE necessário para atender à demanda prevista para o período.

$$R\_GAP\_OEE = R\_OEE\_Teórico - OEE \quad (3.18)$$

$$\text{Equação 3.18} = (\text{Equação 3.17} - \text{Equação 1.0})$$

19) Volume Médio Ponderado de Produção por Hora com Efeito do OEE

$R\_Vol\_Med\_Pond\_OEE$  : Representa o volume médio ponderado de produção por hora trabalhada, considerando um número infinito de produtos, em que cada um possui uma demanda de produção e tempo de processos específicos, considerando o efeito do OEE.

$$R\_Vol\_Med\_Pond = \left( \frac{\sum_{i=0}^n \text{tempo de processo} \times \text{demanda}}{\sum_{i=0}^n \text{demanda}} \right) \times OEE$$

(3.19)

## **4 Estudo de Caso**

### **4.1 Contextualização da Proposta para seleção de projeto para melhoria de fluxo de produção**

Para auxiliar no desenvolvimento da proposta, esta subseção tem como finalidade demonstrar a lógica do modelo proposto, em forma de fluxograma e de atividades detalhadas em passos de trabalho, destacando as tabelas e equações necessárias para aplicação da proposta e a execução do estudo de caso, considerando a coleta de dados e as fórmulas apresentadas na subseção 3.2, conforme fluxograma existente no Apêndice P e as atividades em passos (*roud map*) do Apêndice Q.

O uso do OEE é relevante, visto as citações apresentadas na revisão bibliográfica e corroborada pelo resultado da pesquisa sobre procedimentos para seleção de projetos de melhorias (Apêndice B), aplicada em 14 empresas (31 unidades fabris) de diversos setores, observa-se que 50% utilizam o OEE como indicador e base para seleção de projetos.

### **4.2 Universo de Estudo**

A empresa, que é objeto do estudo, faz parte de um grupo multinacional americano, fundado em meados de 1860. Fabricante de máquina de costura para sacos de algodão, produtos alimentícios e grãos moídos, a empresa tem desempenha papel influente no setor de embalagens. Produz embalagens para produtos encontrados em praticamente todos os corredores de supermercado.

Atualmente, o grupo opera com setenta e oito unidades de produção em doze países, com aproximadamente vinte mil funcionários. Mais de dois terços das embalagens produzidas são para indústria de alimentos, e o saldo restante é utilizado em mercado médico,

farmacêutico, químico e agronegócio. O grupo é um dos maiores fabricantes de embalagem na América Latina, com 18 unidades divididas entre Brasil, México, Chile e Argentina.

A unidade que é objeto do estudo, denominada com nome fictício de KSSA Indústria de Embalagens, encontra-se localizada na região metropolitana São Paulo, mais precisamente no ABC. Fabrica embalagens flexíveis para os mercados de alimentos, bebidas, cosméticos, farmacêutico, higiene pessoal, limpeza doméstica, *pet food* e tabaco. Os processos da empresa KSSA Indústria de Embalagens, que serão tratados no estudo de caso, na seção quatro, são compostos por Extrusão, Impressão, Laminação e Acabamento (corte).

### 4.3 Aplicação do Estudo de Caso

A empresa KSSA Embalagens LTDA. (nome fictício) é composta por quatro processos produtivos, contendo no total oito equipamentos. A empresa possui a limitação de conduzir apenas 10 projetos de melhoria dos seus processos produtivos por ano, sendo esta uma das restrições que determinam o direcionamento para seleção de projetos de melhoria na manufatura.

A Figura 8 representa o fluxo do processo produtivo, demonstra qual processo é fornecedor e cliente, ao auxiliar a identificação do potencial processo gargalo.

Neste estudo de caso, todos os produtos passam por todos os processos durante sua produção.

Figura 8 - Fluxo do processo produtivo



Fonte: Próprio Autor

#### 4.4 Estudo da Capacidade de Entrega de Produção

A Tabela 1 apresenta as características dos processos produtivos e dos respectivos equipamentos, contém a unidade de medida do volume produzido, número de operadores e o índice do OEE.

Tabela 1 - Características dos Processos e Equipamentos da Empresa KSSA Embalagens LTDA.

| Processo Produtivo | Nome dos Equipamentos | Unidade de Medida da Produção | Número de Operadores por Turno | OEE Atual |
|--------------------|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|
| <b>Extrusão</b>    | Extrusora1            | Kg                            | 3                              | 56%       |
| <b>Laminação</b>   | Laminadora1           | Kg                            | 4                              | 62%       |
| <b>Impressão</b>   | Impressora1           | Kg                            | 4                              | 51%       |
|                    | Impressora2           | Kg                            | 4                              | 53%       |
| <b>Acabamento</b>  | Cortadeira1           | Kg                            | 1                              | 60%       |
|                    | Cortadeira2           | Kg                            | 1                              | 52%       |
|                    | Cortadeira3           | Kg                            | 1                              | 60%       |
|                    | Cortadeira4           | Kg                            | 1                              | 55%       |

Fonte: Próprio Autor

Os processos produtivos trabalham no regime “6x1”, ou seja, trabalham seis dias consecutivos (segunda-feira a sábado), divididos em três turnos de trabalho de oito horas cada, totalizando vinte e quatro horas por dia.

No presente período de estudo, serão considerados como paradas programadas dez dias, em função de feriados, totalizando 240 horas/ano.

Todas as informações e dados de pesquisa correspondem a um ano de produção.

Os Equipamentos dos processos produtivos de Extrusão, Laminação e Impressão não param por causa de refeição dos operadores, já no setor de Acabamento, todos os equipamentos param por uma hora, por turno, para refeição dos operadores.



A Tabela 2 apresenta a composição das paradas programadas por equipamento, considerando as paradas por finais de semanas (52 semanas x 1 domingo/semana x 24 horas), turnos não programados (52 semanas x 6 úteis x (3 turnos possíveis por dia – 3 turnos planejados), feriados (10 feriados previstos), refeições (52 semanas x 6 dias úteis x 3 turnos x 1 hora) e manutenção preventiva (12 eventos/ano x 12 horas por evento) dos equipamentos.

Tabela 2 – Composição das Paradas Programadas em Horas

| Identificação da Variável/Equação | (3.7)                        | (3.4)            | (3.5)                  | (3.3)   | (3.6)     | (3.2)                 |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------|------------------------|---------|-----------|-----------------------|
| Equipamentos                      | Total de Paradas Programadas | Finais de Semana | Turnos não Programados | Feridos | Refeições | Manutenção Preventiva |
| Extrusora1                        | 1.632                        | 1.248            |                        | 240     |           | 144                   |
| Laminadora1                       | 1.632                        | 1.248            |                        | 240     |           | 144                   |
| Impressora1                       | 1.632                        | 1.248            |                        | 240     |           | 144                   |
| Impressora2                       | 1.632                        | 1.248            |                        | 240     |           | 144                   |
| Cortadeira1                       | 2.568                        | 1.248            |                        | 240     | 936       | 144                   |
| Cortadeira2                       | 2.568                        | 1.248            |                        | 240     | 936       | 144                   |
| Cortadeira3                       | 2.568                        | 1.248            |                        | 240     | 936       | 144                   |
| Cortadeira4                       | 2.568                        | 1.248            |                        | 240     | 936       | 144                   |

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 3 apresenta informações que serão utilizadas para simular a carga de volume em cada equipamento, considerando a demanda para o período, volume médio ponderado por hora, por meio do efeito do OEE, tempo disponível calendário (365 dias/ano x 24 horas), tempo disponível para produção (tempo calendário ano – total de paradas programadas) e o total das paradas programadas.

A Tabela 4 apresenta informações sobre o volume de entrega de cada equipamento, considerando o volume de produção no tempo disponível para esta, volume não produzido no tempo disponível para produção devido o OEE, volume potencial de produção se

utilizasse o tempo de paradas programadas para produzir e o volume potencial de perda de volume se utilizasse o tempo de paradas programadas para produzir, com efeito do OEE.

Tabela 3 – Informações para simular o carregamento de volume em cada equipamento

| Identificação Da Variável/ Equação | (3.19)   | (Valor informado pelo S&OP)              | (3.1)   | (3.8)                                 | (3.7)                                      |
|------------------------------------|--|--|---|---------------------------------------|--|
| Equipamento                        | Volume médio ponderado por hora, considerando o efeito do OEE (Kg/h) | Demanda Prevista para o Período (Kg/ano) | Tempo Disponível Calendário do Período (hora) | Tempo Disponível para Produção (hora) | Tempo Total das Paradas Programadas (hora) |
| Extrusora1                         | 215,000  | 1.600.000                                | 8.760   | 7.128                                 | 1.632                                      |
| Laminadora1                        | 250,000  | 1.600.000                                | 8.760   | 7.128                                 | 1.632                                      |
| Impressora1                        | 130,000  | 700.000                                  | 8.760   | 7.128                                 | 1.632                                      |
| Impressora2                        | 140,000  | 900.000                                  | 8.760   | 7.128                                 | 1.632                                      |
| Cortadeira1                        | 68,000   | 500.000                                  | 8.760   | 6.192                                 | 2.568                                      |
| Cortadeira2                        | 78,000   | 450.000                                  | 8.760   | 6.192                                 | 2.568                                      |
| Cortadeira3                        | 89,000   | 350.000                                  | 8.760   | 6.192                                 | 2.568                                      |
| Cortadeira4                        | 80,000   | 300.000                                  | 8.760   | 6.192                                 | 2.568                                      |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 4 - Informações sobre o volume de entrega de cada equipamento

| Identificação Da Variável/ Equação | (3.10)   | (3.11)  | (3.12)  | (3.13)   |
|------------------------------------|--|---|---|--|
| Equipamento                        | Volume de Produção no Tempo Produtivo Disponível | Volume não Produzido no Tempo Produtivo Disponível Devido o OEE | Volume Potencial de Produção se Utilizasse o Tempo de Paradas Programadas para Produzir | Volume Potencial de Perda de Volume se Utilizasse o Tempo de Paradas Programadas para Produzir com Efeito do OEE |
| Extrusora1                         | 1.532.520  | 1.204.123   | 350.880   | 275.691  |
| Laminadora1                        | 1.782.000  | 1.092.194   | 408.000   | 250.065  |
| Impressora1                        | 926.640  | 890.301   | 212.160   | 203.840  |
| Impressora2                        | 997.920  | 884.948   | 228.480   | 202.614  |
| Cortadeira1                        | 421.056  | 280.704   | 174.624   | 116.416  |
| Cortadeira2                        | 482.976  | 445.824   | 200.304   | 184.896  |
| Cortadeira3                        | 551.088  | 367.392   | 228.552   | 152.368  |
| Cortadeira4                        | 495.360  | 405.295   | 205.440   | 168.087  |

Fonte: Próprio Autor

O volume de produção no tempo produtivo disponível, apresentado na Tabela 4, representa o montante que cada equipamento consegue produzir, considerando o tempo disponível para programação, o volume médio ponderado por hora, de acordo com o efeito do OEE.

O volume não produzido no tempo disponível para produção devido o OEE apresentado na Tabela 4, representa o montante potencial que cada equipamento possui para recuperar a entrega, reduzindo as perdas do OEE.

A Tabela 5 apresenta as informações dos equipamentos, disponibiliza os dados do volume de entrega de produto no tempo disponível para produção, em relação à demanda prevista para o respectivo equipamento. Destaca-se o índice atual de saturação dos equipamentos (antes do remanejamento de volume para outro equipamento, e/ou projeção de resultados de projetos de melhorias), *Gap* (diferença) de volume para atender a demanda e *Gap* (diferença), em horas disponíveis para atender à demanda.

Tabela 5 - Informações sobre os equipamentos, avaliando o volume de entrega de produto no tempo disponível para produção em relação à demanda prevista

| Identificação Da Variável/<br>Equação | (3.14)                                     | (3.15)  | (3.16)   | (3.17)                             | (3.18)   |
|---------------------------------------|--|---|--|------------------------------------|--|
| Equipamentos                          | Índice Atual de Saturação dos Equipamentos | <i>Gap</i> (Diferença) de Volume para Atender à Demanda | <i>Gap</i> (Diferença) em Horas Disponíveis para Atender à Demanda | OEE teórico para atender à Demanda | <i>Gap</i> (Diferença) Entre o OEE Atual e o OEE Teórico |
| <b>Extrusora1</b>                     | <b>104%</b>                                | <b>-67.480</b>  | <b>-313,86</b>   | <b>58,5%</b>                       | <b>2,5%</b>  |
| Laminadora1                           | 90%  | 182.000   | 728,00   | 55,7%                              | -6,3%  |
| Impressora1                           | 76%  | 226.640   | 1.743,38   | 38,5%                              | -12,5%   |
| Impressora2                           | 90%  | 97.920  | 699,43   | 47,8%                              | -5,2%  |
| <b>Cortadeira1</b>                    | <b>119%</b>                                | <b>-78.944</b>  | <b>-1.160,94</b>   | <b>71,2%</b>                       | <b>11,2%</b>   |
| Cortadeira2                           | 93%  | 32.976  | 422,77   | 48,4%                              | -3,6%  |
| Cortadeira3                           | 64%  | 201.088   | 2.259,42   | 38,1%                              | -21,9%   |
| Cortadeira4                           | 61%  | 195.360   | 2.442,00   | 33,3%                              | -21,7%   |

Fonte: Próprio Autor

Ao avaliar a Tabela 5, é possível observar que dois equipamentos não atendem à demanda, sendo eles a Extrusora 1 e a Cortadeira 4. A Figura 9 apresenta, em forma gráfica, o desdobramento do volume de produção, sendo a compilação das Tabelas 1, 2, 3, 4 e 5.

A Figura 9 demonstra, em forma gráfica, o impacto da demanda prevista para o período, em relação ao volume de produção no tempo produtivo disponível, o que gera os *gaps* (diferenças) em volume, horas e em pontos de OEE.

As informações da Figura 9 direcionam a seleção de projetos por critério de atendimento ao volume, ou seja: atendimento ao serviço em relação à solicitação do cliente.

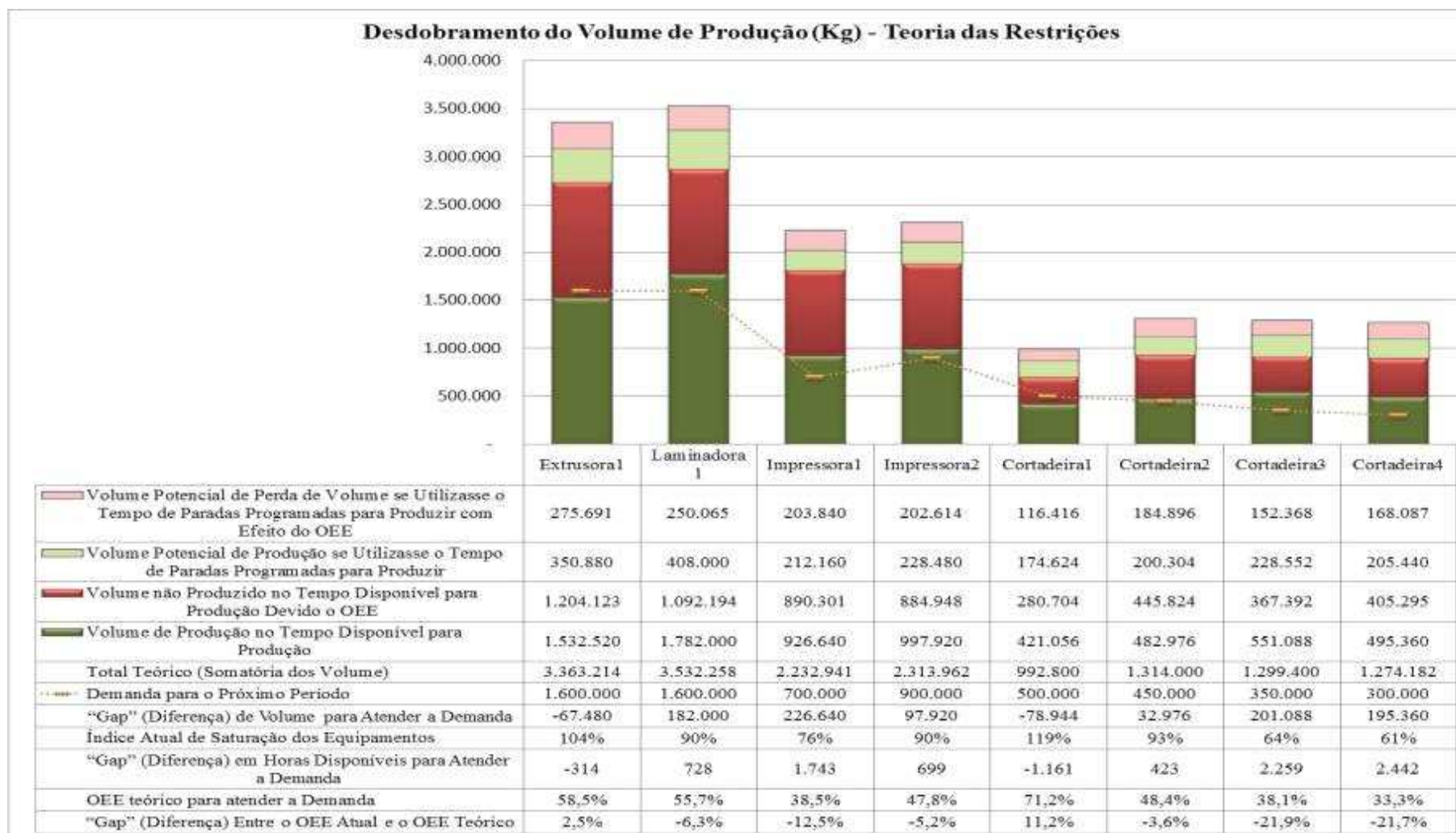
No presente estudo, avaliando-se o setor de extrusão, é possível observar que a extrusora 1, está saturada em 104% e com necessidade de OEE para atingir o 100% de saturação de 2,5% de OEE, passa de 56% para 58,2%.

Este equipamento encontra-se em condições de gargalo, pois é o primeiro equipamento do processo. Desta forma, limita a entrega para os demais processos.

Conforme a definição de Zagonel (2006), Gupta e Boyd (2008) do TPC, a extrusora 1 é o Tambor, por ser o processo gargalo. Assim, esta última dita o ritmo do processo. Já o estoque entre a extrusora ,1 e a Matéria Prima, serão o pulmão e a forma de comunicação entre a extrusora 1, e a laminadora 1 será a corda. Para sanar a necessidade, será necessário o lançamento de projetos de melhorias, com foco em redução de perdas e ganho de disponibilidade, que são apresentados no item 4.2 do estudo.

Assim sendo, no setor de acabamento é possível observar que a Cortadeira1 possui a necessidade de aumentar em 11,2% do OEE, sendo o índice atual de 60% e o necessário sem aumento de hora extra ou outro regime de trabalho 72,2%.

Figura 9 - Desdobramento do volume de produção



Fonte – Próprio autor.

Mesmo com as outras três cortadeiras insaturadas (ociosas), com disponibilidade de produção, não é possível o deslocamento do material, visto que há vínculos e características diferentes de produção. A cortadeira1 é responsável por cortes de bobinas com dimensões diferenciadas, e também com o número maior de facas do que as demais máquinas do mesmo processo.

Nesse caso, foi necessário identificar as perdas candidatas a serem tratadas pelos projetos de melhorias. Ou seja, não havendo disponibilidade de recursos para condução dos projetos necessários, outra alternativa para aumentar a disponibilidade de tempo do equipamento é introduzir o sistema de revezamento durante o período de refeições., Assim, utilizam-se os operadores de outro equipamento, que não demandem todo o tempo disponível para produção. As alternativas de melhorias para reduzir o *gap* de demanda da cortadeira 2 serão avaliadas na seção 4.2.

#### 4.5 Estudo do desdobramento da Árvore de Perdas

O desdobramento da árvore de perdas consiste em tabular os dados coletados, bem como prepará-los para elaboração dos gráficos de Pareto. A nomenclatura dos equipamentos seguirá conforme o Quadro 1, com o código e abreviaturas dos nomes dos equipamentos, para simplificar as futuras Tabelas e Gráficos.

Quadro 1 – Abreviatura dos nomes dos equipamentos do estudo de caso

| Nome do Equipamento | Abreviatura/Código dos Equipamentos |
|---------------------|-------------------------------------|
| <b>Extrusora1</b>   | Ext.1                               |
| <b>Laminadora1</b>  | Lam.1                               |
| <b>Impressora1</b>  | Imp.1                               |
| <b>Impressora2</b>  | Imp.2                               |
| <b>Cortadeira1</b>  | Cort.1                              |
| <b>Cortadeira2</b>  | Cort.2                              |
| <b>Cortadeira3</b>  | Cort.3                              |
| <b>Cortadeira4</b>  | Cort.4                              |

Fonte: Próprio Autor

O desdobramento da árvore de perda inicia-se com a tabulação do histórico das coletadas de paradas dos equipamentos, baseada nas 6 grandes perdas do TPM, conforme apresenta a Tabela 6. Porém, a empresa em estudo considerou necessário detalhar a perda de disponibilidade por falta de material. Desta forma, encontram-se no *rol* de perdas abordadas neste trabalho sete perdas em estudo, e não somente as seis originais.

A Tabela 6 mostra, durante os doze meses de coleta, as paradas por hora da extrusora 1 (ext.1), que acarreta no total de duzentas e quatro horas perdidas de produção, em função do início e fim do turno. Todos os equipamentos, com suas respectivas paradas, seguem a mesma lógica para totalizar o tempo de destas.

Tabela 6 – Total das paradas dos equipamentos em horas dos últimos 12 meses (coletada de dados transversal)

| <b>Descrição das Vozes de Ineficiência de Processos</b> | <b>Ext.1</b> | <b>Lam.1</b> | <b>Imp.1</b> | <b>Imp.2</b> | <b>Cort.1</b> | <b>Cort.2</b> | <b>Cort.3</b> | <b>Cort.4</b> |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <b>Início e Fim de Turno</b>                            | 204          | 78           | 83           | 67           | 123           | 119           | 98            | 107           |
| <i>Setup</i>  | 793          | 739          | 856          | 874          | 543           | 583           | 485           | 524           |
| <b>Manutenção Corretiva</b>                             | 734          | 646          | 582          | 549          | 445           | 693           | 432           | 571           |
| <b>Falta de Material</b>                                | 123          | 139          | 253          | 179          | 230           | 259           | 210           | 330           |
| <b>Perda de Velocidade</b>                              | 848          | 697          | 1.338        | 1.399        | 547           | 714           | 623           | 657           |
| <b>Retrabalho</b>                                       | -            | -            | -            | -            | 259           | 279           | 289           | 307           |
| <b>Qualidade Insatisfatória</b>                         | 434          | 410          | 381          | 282          | 330           | 325           | 340           | 290           |

Fonte: Próprio Autor

Para valorar o custo da matéria prima perdida no processo, foi necessária a coleta do volume de refugo gerado por equipamento, sendo esta informação de responsabilidade do setor de qualidade, e o custo do quilograma de cada material, em seu processo, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Custos do refugo gerado por equipamento, considerando o mesmo período da coleta das paradas.

| Máquinas | Custo em R\$/Kg da Matéria-Prima | Volume de MP Perdido em Kg | Total da Perda de MP em R\$ |
|----------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Ext.1    | 4,23                             | 72.629,55                  | 307.223                     |
| Lam.1    | 5,05                             | 101.496,63                 | 512.558                     |
| Imp.1    | 5,68                             | 47.836,62                  | 271.712                     |
| Imp.2    | 5,68                             | 37.957,75                  | 215.600                     |
| Cort.1   | 5,68                             | 27.160,92                  | 154.274                     |
| Cort.2   | 5,68                             | 21.013,20                  | 119.355                     |
| Cort.3   | 5,68                             | 28.644,01                  | 162.698                     |
| Cort.4   | 5,68                             | 21.061,09                  | 119.627                     |

Fonte: Próprio Autor (Compilação dos dados de qualidade e o custo do material)

O custo por quilograma da matéria-prima não considera o custo de valor agregado da mão de obra, energia e demais custos. A função da Tabela 7 é valorar o custo do refugo gerado, que será utilizado posteriormente para compor o custo da parada por qualidade insatisfatória. Neste processo não está sendo considerado o custo das perdas tecnológica, como o refile das bobinas de embalagem e também a perda de material durante o processo de ajuste e *setup* de produção.

Após receber os tempos de paradas dos equipamentos (Tabela 6) e o custo do refugo gerado por equipamento (Tabela 7), o próximo passo é solicitar ao setor de controladoria a base de custos destacadas anteriormente na Figura 5, dos últimos doze meses, mesmo período da coleta das paradas dos equipamentos, conforme a Tabela 8.

Outra informação necessária para valorar as paradas coletadas é identificar o número de operadores diretos por equipamento, informação, esta, disponibilizada pela gerência de produção. O número médio de mantenedores que atuam por evento de manutenção corretiva é informação disponibilizada pelo setor de manutenção, conforme a Tabela 9.



Tabela 8 – Custos coletados pela controladoria para valorar as paradas coletadas na Tabela 6

| Máquinas | Custo médio por hora dos operadores considerando (salário + encargos + benefícios). | Custo médio por hora dos manutentores considerando (salário + encargos + benefícios). | Custo das peças de reposição para manutenção corretiva | Custo de matéria prima perdida no processo (refugo) |
|----------|---|---|--|---|
| Ext.1    | 23,34   | 32,34   | 198.343  | 307.223   |
| Lam.1    | 22,15   | 32,34   | 212.145  | 512.558   |
| Imp.1    | 26,84   | 32,34   | 195.834  | 271.712   |
| Imp.2    | 26,84   | 32,34   | 219.823  | 215.600   |
| Cort.1   | 19,39   | 32,34   | 94.058   | 154.274   |
| Cort.2   | 19,39   | 32,34   | 93.045   | 119.355   |
| Cort.3   | 19,39   | 32,34   | 64.741   | 162.698   |
| Cort.4   | 19,39   | 32,34   | 83.874   | 119.627   |

Fonte: Próprio Autor

O Quadro 2 apresenta a correlação dos custos de produção com as 7 paradas em estudo, como base para valorar as paradas, já a Tabela 7 apresenta a valoração do refugo gerado em cada equipamento, considerando o custo por quilograma da matéria prima em cada equipamento e o volume de refugo de matéria prima gerado no mesmo período da coleta das paradas.

Tabela 9 – Número médio de operadores e manutentores que atuam no equipamento.

| Equipamento | Número de operadores por equipamento e por turno | Número médio de manutentores que atuam no equipamento, quando ocorre manutenção corretiva. |
|-------------|--|--|
| Ext. 1      | 3  | 2  |
| Lam. 1      | 4  | 2  |
| Imp. 1      | 4  | 2  |
| Imp. 2      | 4  | 2  |
| Cort. 1     | 1  | 1  |
| Cort. 2     | 1  | 1  |
| Cort. 3     | 1  | 1  |
| Cort. 4     | 1  | 1  |

Fonte: Próprio Autor

Quadro 2 – Correlação das paradas dos equipamentos com os custos de produção.

| Item | Descrição da Perda de Eficiência | Custos informados pela controladoria |                                       |                              |   |
|------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|---|
|      |                                  | Custo da Mão de Obra Operacional     | Custo Médio da Mão de Obra Manutentor | Custo das Peças de Reposição | Custo Total das Perdas de Matéria Prima |
| 1    | Início e Fim de Turno            | X                                    |                                       |                              |   |
| 2    | <i>Setup</i>                     | X                                    |                                       |                              | X                                       |
| 3    | Manutenção Corretiva             | X                                    | X                                     | X                            | X                                       |
| 4    | Falta de Material                | X                                    |                                       |                              |   |
| 5    | Perda de Velocidade              | X                                    |                                       |                              |   |
| 6    | Retrabalho                       | X                                    |                                       |                              |   |
| 7    | Qualidade Insatisfatória         | X                                    |                                       |                              | X                                       |

Fonte: Próprio Autor

A Tabela 10 apresenta a valoração das paradas do equipamento Ext.1, que na realidade é a compilação das informações das Tabelas 6, 8, 9 e o Quadro 2. As colunas de descrição e tempo da parada têm como origem a Tabela 6, os números de operadores e manutentores são da Tabela 9, já os custos de mão de obra operacional de R\$ 23,34, mão de obra manutenção de R\$ 32,34, peças de reposição de R\$ 198.343,00 e perda de material R\$ 307.223,00, encontram-se na Tabela 8. O cálculo é realizado aplicando o conceito do Quadro 2, são correlacionados as perdas e os custos.

O custo de R\$ 14.284 por perda de início e fim de turno é produto da multiplicação das duzentas e quatro horas totalizadas no período de doze meses, vezes o número de operadores no equipamento 03 e o custo hora do operador de R\$ 23,34, ou seja,  $R\$ 14.284 = 204 \times 03 \times R\$ 23,34$ .

O custo de R\$ 55.526 da perda por *setup* é produto da multiplicação das 793 horas totalizadas no período de 12 meses vezes o número de operadores no equipamento 03 e o custo hora do operador de R\$ 23,34, ou seja,  $R\$ 55.526 = 793 \times 03 \times R\$ 23,34$ .

Tabela 10 – Valoração das paradas do equipamento **Ext.1**, compilando as Tabelas 6, 8, 9 e Quadro 2.

| Descrição da Parada | Horas de Paradas         | Número de operadores por turno | Número de manutentores por evento de corretiva | Custos de:              |                        |                    |                   |                                |                |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------|--|-------------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------|----------------|
|                     |                          |                                |  | Mão de Obra Operacional | Mão de Obra Manutentor | Peças de Reposição | Perda de Material | Potencial de Redução de Custos |                |
|                     |                          |                                |  | 23,34                   | 32,34                  | 198.343,00         | 307.223,00        |                                |                |
| 1                   | Início e Fim de Turno    | 204,00                         | 3  | -                       | 14.284,08              |                    |                   |                                | <b>14.284</b>  |
| 2                   | Setup                    | 793,00                         | 3  | -                       | 55.525,86              |                    |                   |                                | <b>55.526</b>  |
| 3                   | Manutenção Corretiva     | 734,00                         | 3  | 2                       | 51.394,68              | 47.475,12          | 198.343,00        |                                | <b>297.213</b> |
| 4                   | Falta de Material        | 123,00                         | 3  | -                       | 8.612,46               |                    |                   |                                | <b>8.612</b>   |
| 5                   | Perda de Velocidade      | 848,00                         | 3  | -                       | 59.376,96              |                    |                   |                                | <b>59.377</b>  |
| 6                   | Retrabalho               | -                              | 3  | -                       | -                      |                    |                   |                                | -              |
| 7                   | Qualidade Insatisfatória | 434,00                         | 3  | -                       | 30.388,68              |                    |                   | 307.223,00                     | <b>337.612</b> |

Fonte: Próprio Autor

O custo de R\$ 297.213 da perda por manutenção corretiva é a somatória do produto da multiplicação das 734 horas totalizadas no período de 12 meses, vezes o número de operadores no equipamento 03 e o custo hora do operador de R\$ 23,34 e a soma da multiplicação das 734 horas vezes o número de manutentores por evento de manutenção no equipamento 02 e o custo hora dos manutentores de R\$ 32,34 e a soma do custo das peças de reposição no valor de R\$198.343,00, ou seja,  $R\$ 297.213 = ((734 \times 3 \times R\$ 23,34) + (734 \times 2 \times R\$ 32,34) + R\$ 198.343)$ .

O custo de R\$ 8.612 por perda de falta de material é produto da multiplicação das 123 horas totalizadas no período de 12 meses vezes o número de operadores no equipamento 03 e o custo hora do operador de R\$ 23, 34, ou seja,  $R\$8.612 = 123 \times 03 \times R\$23,34$ .

O custo de R\$ 59.377 por perda de velocidade é produto da multiplicação das 848 horas totalizadas no período de 12 meses vezes o número de operadores no equipamento 03 e o custo hora do operador de R\$ 23, 34, ou seja,  $R\$59.377 = 848 \times 03 \times R\$23,34$ . A perda por retrabalho totaliza zero, pois não foi contabilizado o tempo de parada no equipamento Ext.1 nos últimos 12 meses por este motivo.

O custo de R\$ 337.612 da perda por qualidade insatisfatória é a somatória do produto da multiplicação das 434 horas totalizadas no período de 12 meses vezes o número de operadores no equipamento 03 e o custo hora do operador de R\$ 23,34, e a soma da perda de material no valor de R\$307.223,00, ou seja,  $R\$337.612 = ((434 \times 3 \times R\$23,34) + R\$ 307.223)$ . A mesma lógica de valoração é aplicada nos demais equipamentos.

Com as tabulações das paradas em tempo e custos, é possível elaborar os gráficos de Pareto para auxiliar a definição das perdas, que deverão ser atacadas pelos projetos de melhoria (*kaizens*).

Cada conjunto de gráfico será ordenado de forma decrescente por tempo das paradas (horas) e por valoração das paradas, em reais (R\$). Os conjuntos de gráficos serão elaborados

por equipamento, total dos equipamentos, total das paradas, total dos custos e por parada x equipamento. A Tabela 11 representa como é formada a base para o gráfico de Pareto, considerando as paradas em horas por motivo do equipamento Ext.1 da Tabela 6.

Tabela 11 – Tabulação dos dados das paradas do equipamento **Ext.1** em horas, considerando os dados da Tabela 6, para formatar o gráfico de Pareto Figura 10.

| Motivo das Paradas       | Tempo em Horas/Ano | Representatividade do total das paradas | Acúmulo das Representatividades |
|--------------------------|--------------------|---|---------------------------------|
| Perda de Velocidade      | 848,00             | 27%                                     | 27%                             |
| <i>Setup</i>             | 793,00             | 25%                                     | 52%                             |
| Manutenção Corretiva     | 734,00             | 23%                                     | 76%                             |
| Qualidade Insatisfatória | 434,00             | 14%                                     | 90%                             |
| Início e Fim de Turno    | 204,00             | 7%                                      | 96%                             |
| Falta de Material        | 123,00             | 4%                                      | 100%                            |
| Retrabalho               | 0,00               | 0%                                      | 100%                            |

Fonte: Próprio Autor

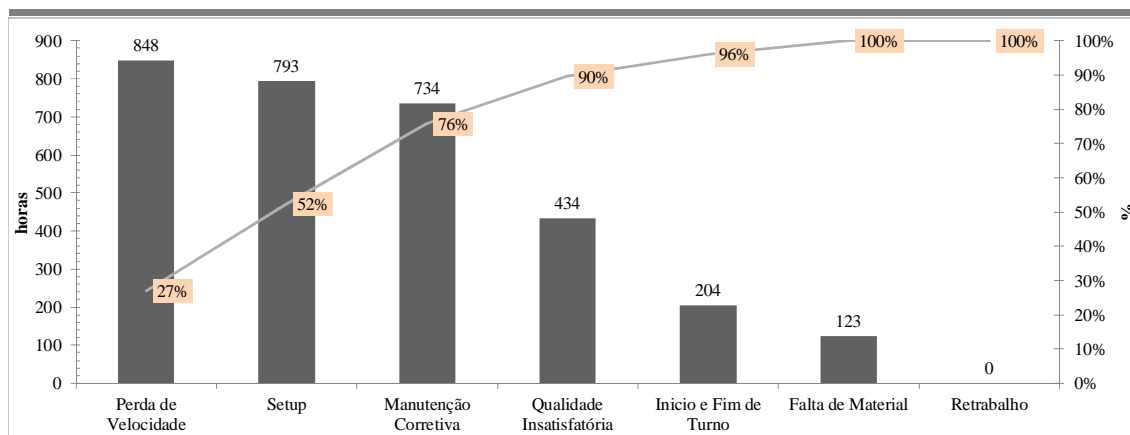
Na Tabela 11, o primeiro passo é ordenar as paradas pelo tempo em horas/ano identificado na Tabela 6, em ordem decrescente. Logo após, é necessário calcular a representatividade e o acúmulo da representatividade. A representatividade do total das paradas na Tabela 11 é calculado da seguinte forma: por exemplo, com a perda de velocidade. O total da somatória das paradas é de 3.136 horas, desta forma, os 27% da perda de velocidade são o resultado da divisão das 848 horas pelo total da somatória das paradas ou seja,  $27\% = (848 \text{ horas} / 3.136) \times 100$ .

O acúmulo das representatividades é a somatória da representatividade de cada parada, em que o último motivo da parada deverá ser 100%. Por exemplo, a representatividade da perda de velocidade é de 27%, então, por ser a maior, o acúmulo por representatividade será de 27%, já o motivo de parada por setup possui a representatividade de 25%, então a representatividade acumulada será de 52%, pois é o resultado da somatória de 27% e 25%. Segue-se a mesma lógica até o último item, que o total deverá ser 100%.

A Figura 10 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Ext.1, conforme apresentado na Tabela 11.

Figura 10 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Ext.1

Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Ext.1 = 3.136 Horas/Ano

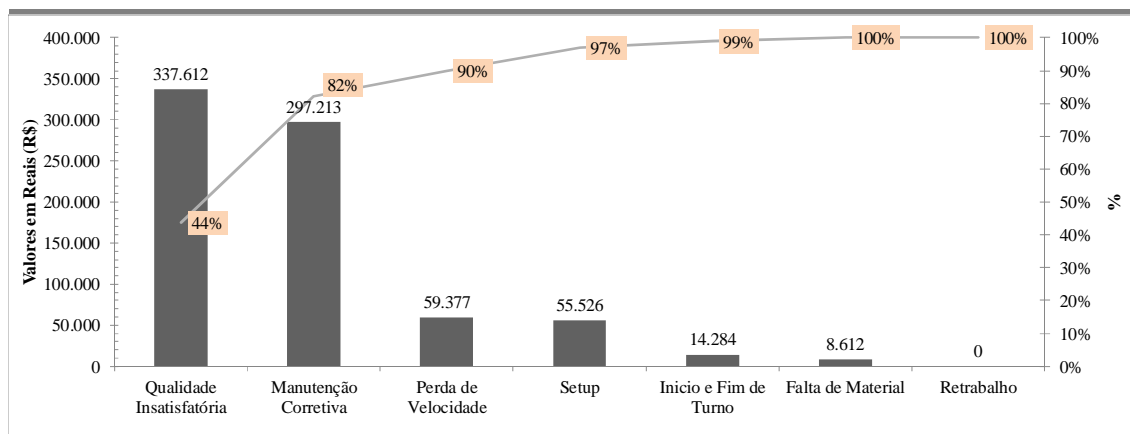


Fonte: Próprio Autor

A Figura 11 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Ext.1.

Figura 11 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Ext.1

Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Ext.1 = \$772.624/Ano

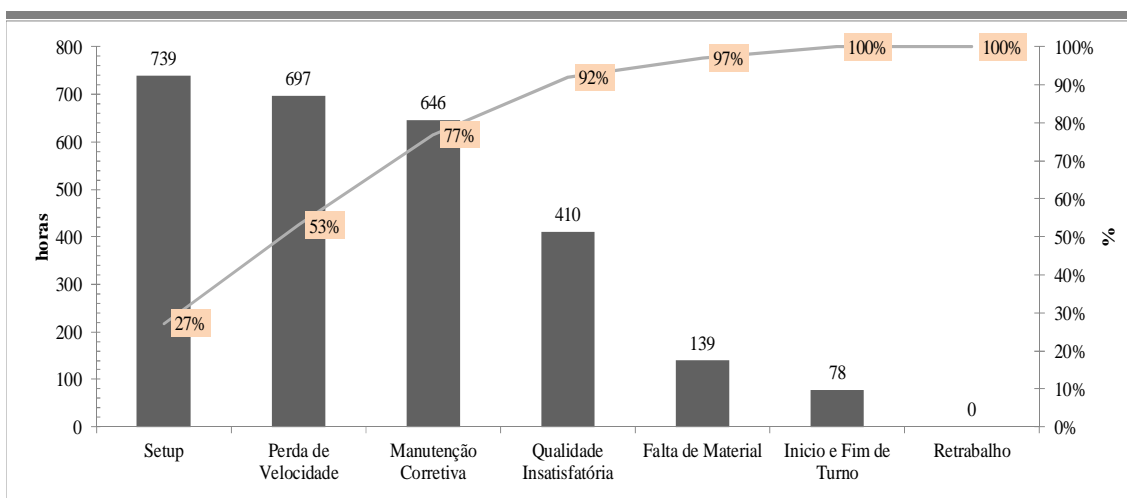


Fonte: Próprio Autor

A Figura 12 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Lam.1 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 12 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Lam.1

Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Lam.1 = 2.709 Horas/Ano

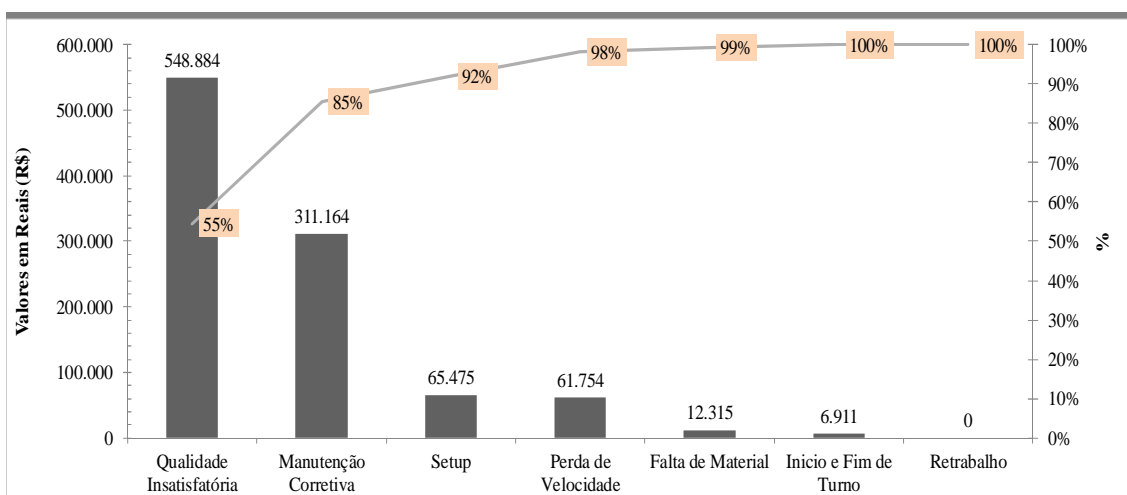


Fonte: Próprio Autor

A Figura 13 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Lam.1.

Figura 13 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Lam.1

Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Lam.1 = \$772.624/Ano



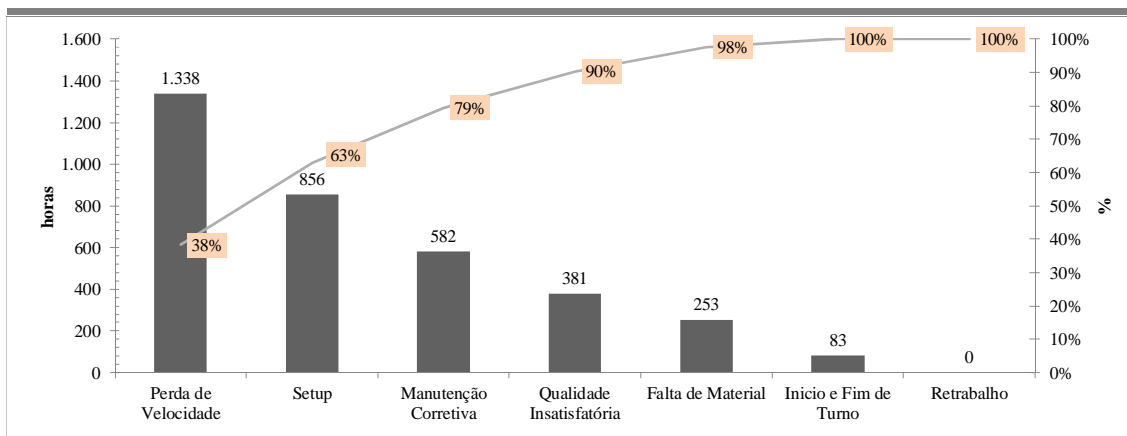
Fonte: Próprio Autor



A Figura 14 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Imp.1 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 14 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Imp.1

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Imp.1 = 3.493 Horas/Ano**

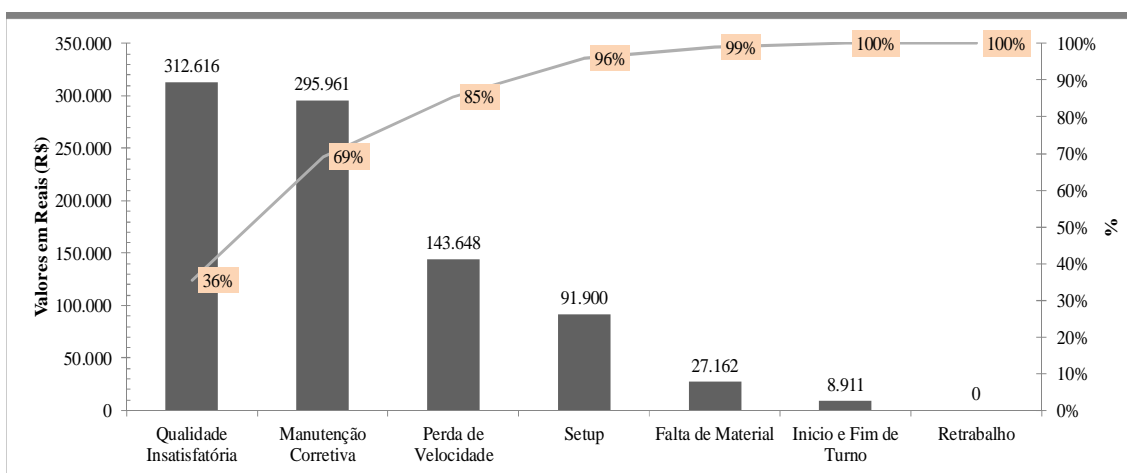


Fonte: Próprio Autor

A Figura 15 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Imp.1

Figura 15 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Imp.1

**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Imp.1 = \$772.624/Ano**

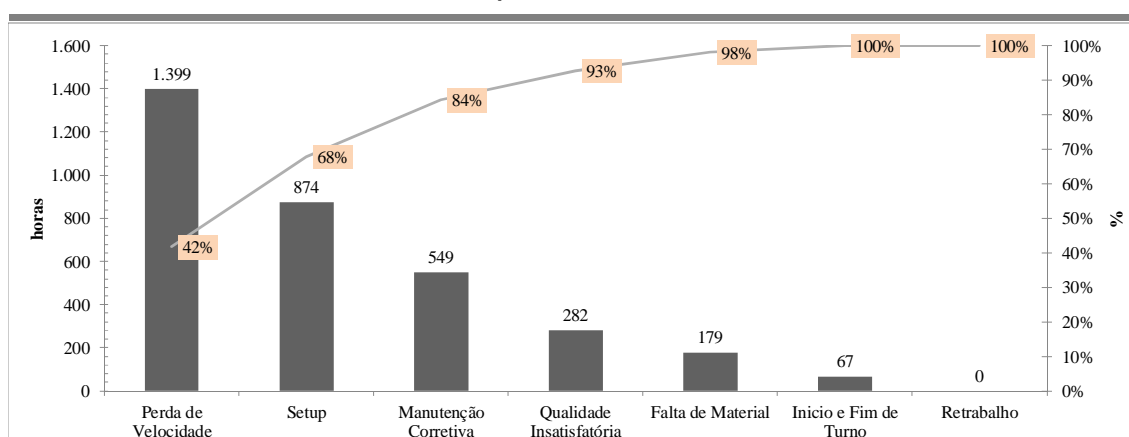


Fonte: Próprio Autor

A Figura 16 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Imp.2 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 16 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Imp.2

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Imp.2 = 3.350 Horas/Ano**

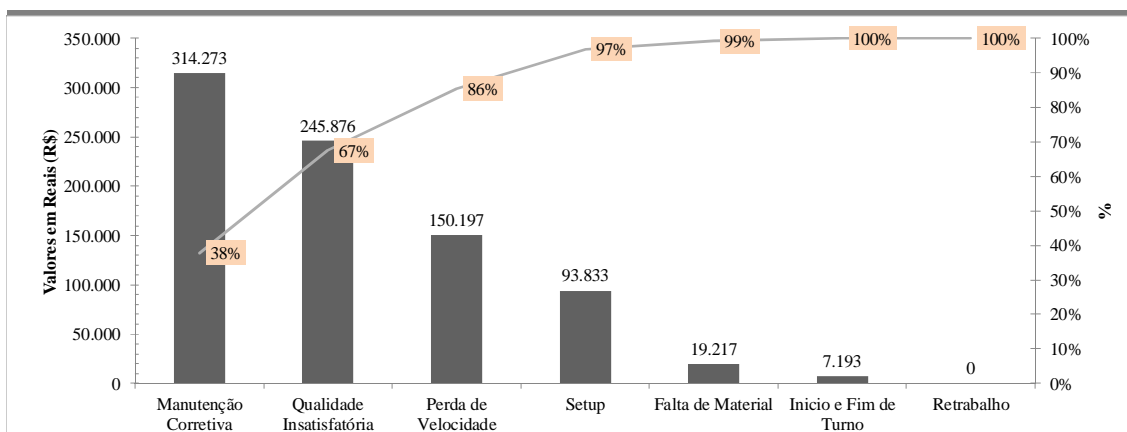


Fonte: Próprio Autor

A Figura 17 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Imp.2.

Figura 17 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Imp.2

**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Imp.2 = \$772.624/Ano**

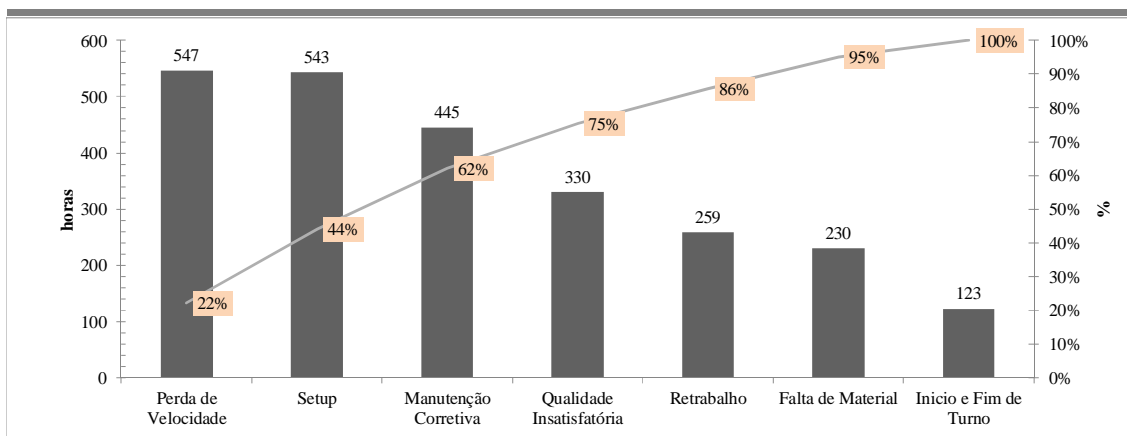


Fonte: Próprio Autor

A Figura 18 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Cort.1 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 18 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.1

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Cort.1 = 2.477 Horas/Ano**

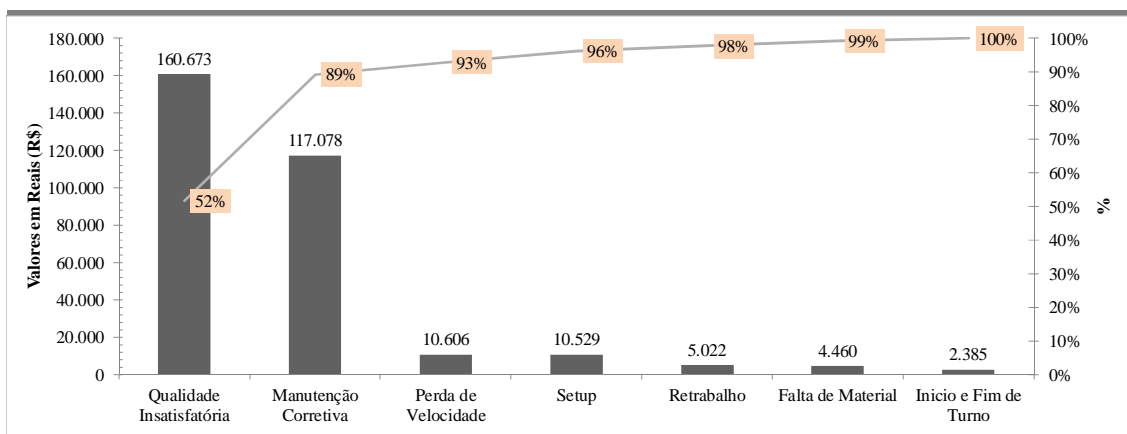


Fonte: Próprio Autor

A Figura 19 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Cort.1

Figura 19 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.1

**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Cort.1 = \$772.624/Ano**

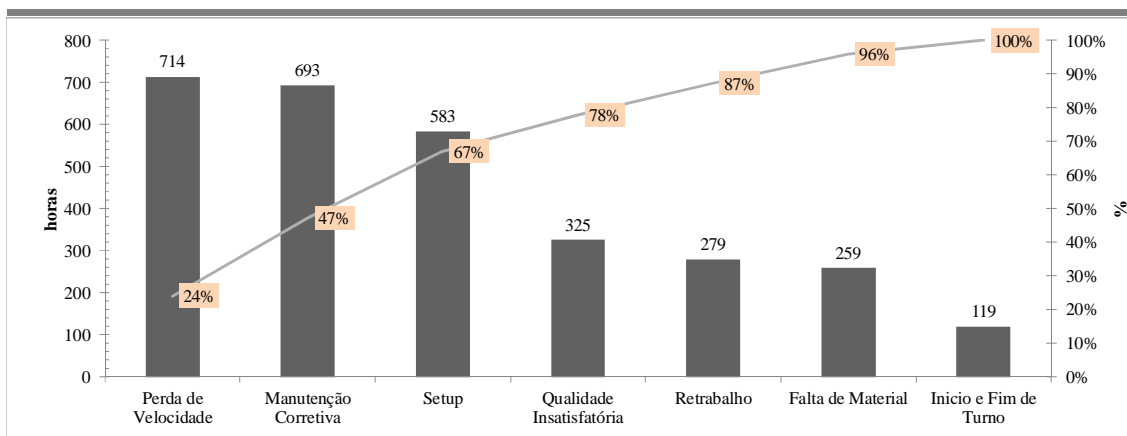


Fonte: Próprio Autor

A Figura 20 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Cort.2 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 20 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.2

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Cort.2 = 2.972 Horas/Ano**

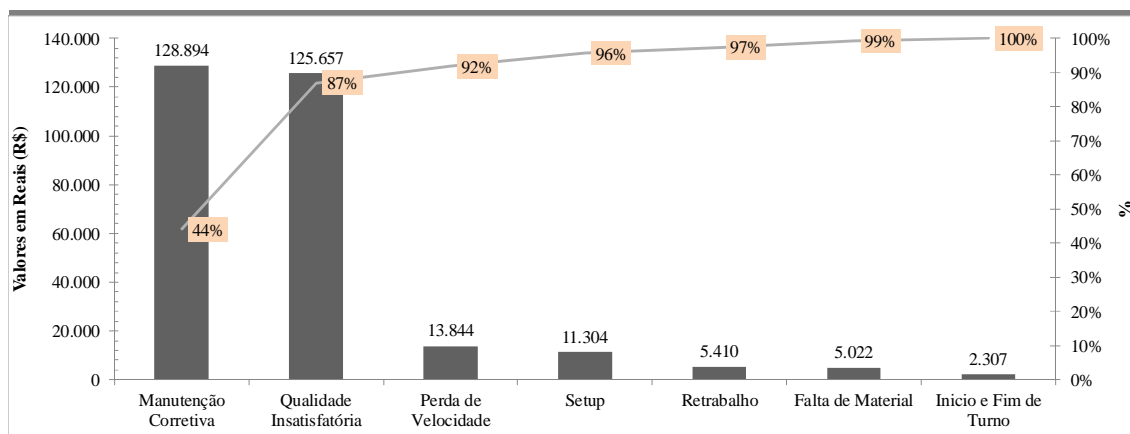


Fonte: Próprio Autor

A Figura 21 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Cort.2

Figura 21 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.2

**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Cort.2 = \$772.624/Ano**

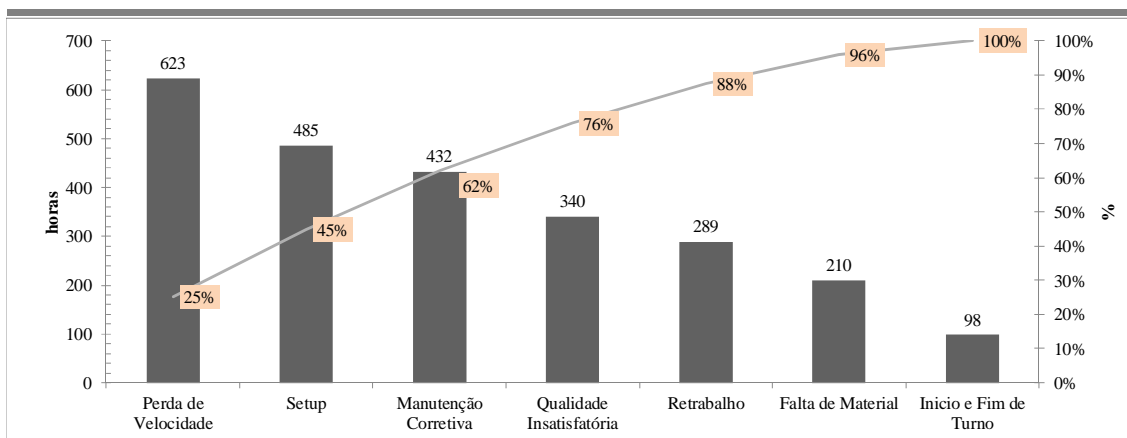


Fonte: Próprio Autor

A Figura 22 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Cort.3 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 22 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.3

Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Cort.3 = 2.477 Horas/Ano

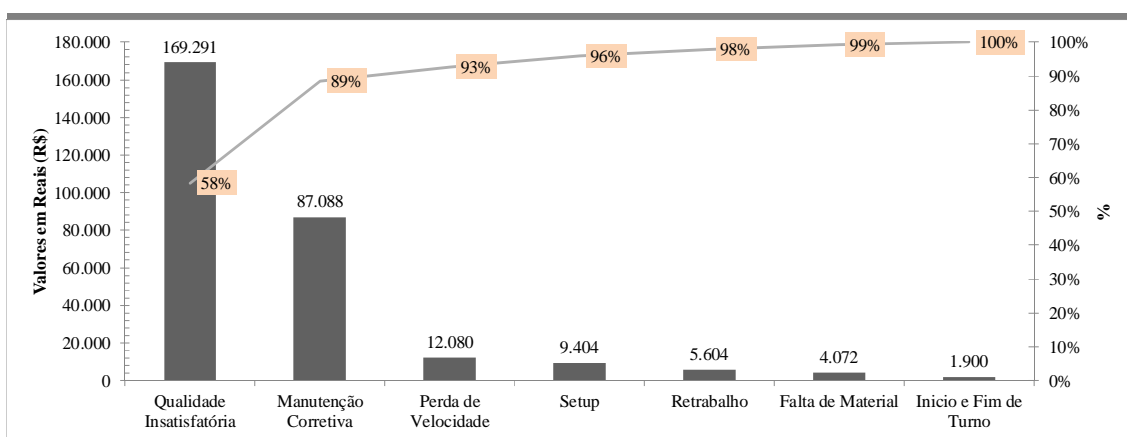


Fonte: Próprio Autor

A Figura 23 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Cort.3

Figura 23 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.3

Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Cort.3 = \$772.624/Ano

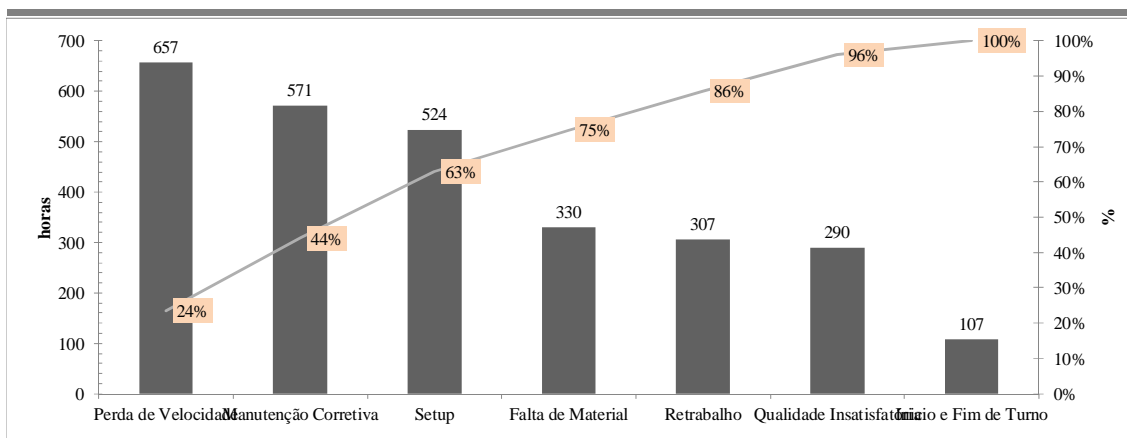


Fonte: Próprio Autor

A Figura 24 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas do equipamento Cort.4 em horas, baseado na Tabela 6.

Figura 24 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas do equipamento Cort.4

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Cort.4 = 2.786 Horas/Ano**

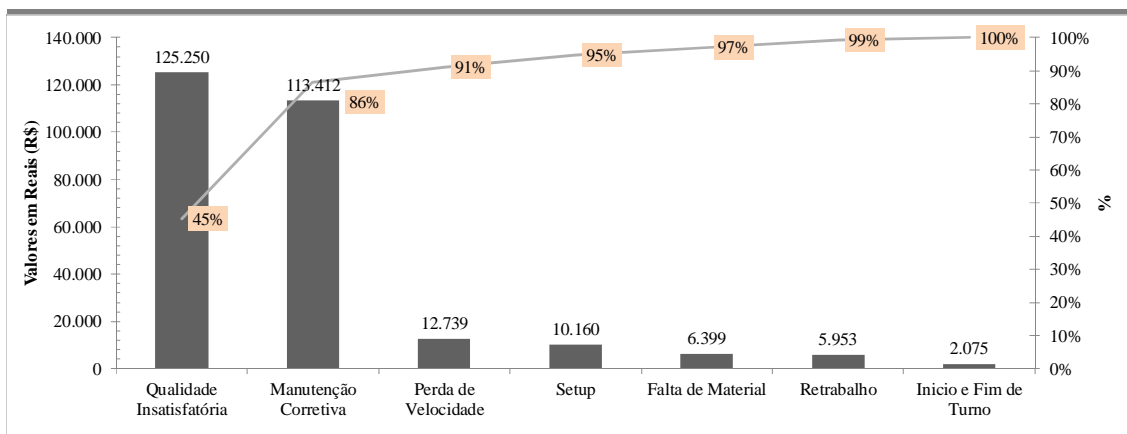


Fonte: Próprio Autor

A Figura 25 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas do equipamento Cort.4

Figura 25 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas do equipamento Cort.4

**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Cort.4 = \$772.624/Ano**



Fonte: Próprio Autor

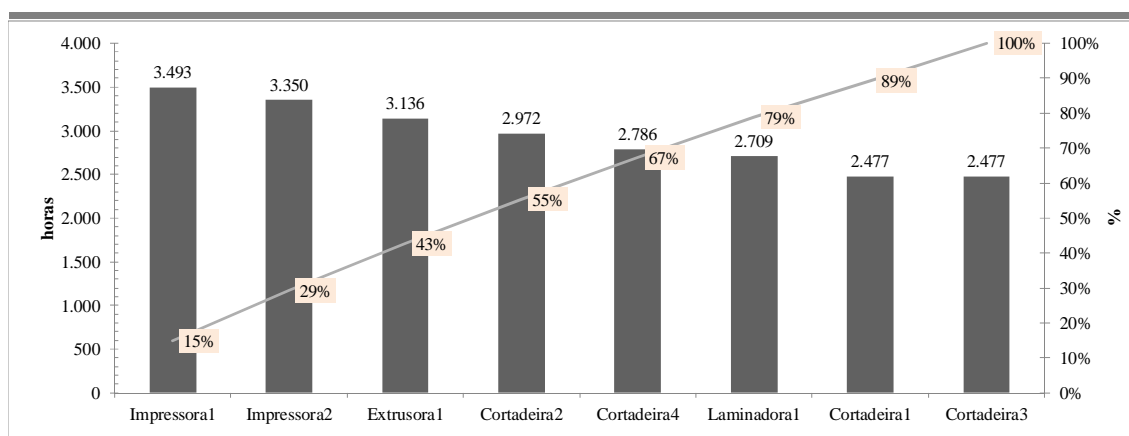
Após elaborar a base de dados para os gráficos, por equipamento, é possível totalizar e agrupar os valores, e desta forma, elaboramos os gráficos por tempo (horas) e valores (reais) dos equipamentos (Figuras 28 e 29), para identificarmos os que possuem as maiores perdas em função de parada (Figuras 30 e 31). Para identificarmos quais são os principais

motivos por equipamentos (Figuras 32 e 33). Neste caso, considerando a combinação de 7 motivos de paradas em 8 equipamentos, o que totaliza cinquenta e seis possibilidades de paradas *versus* máquinas.

A Figura 26 demonstra a representação gráfica dos motivos das paradas em horas, totalizadas de todos os equipamentos que compõem o parque fabril, baseado na Tabela 9.

Figura 26 – Gráfico de Pareto dos motivos das paradas em horas por equipamento

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Parada - Resumo por Equipamento = 23.400 Horas/Ano**



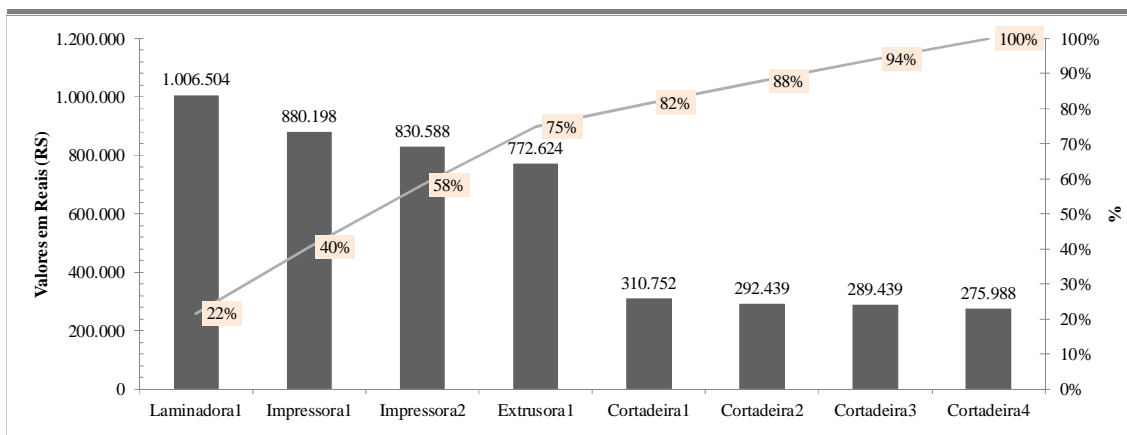
Fonte: Próprio Autor

A Figura 27 representa a demonstração gráfica da valoração das paradas totalizadas por equipamento.



Figura 27 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ dos motivos das paradas por equipamento.

**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Resumo por Equipamento = \$4.658.532/Ano**

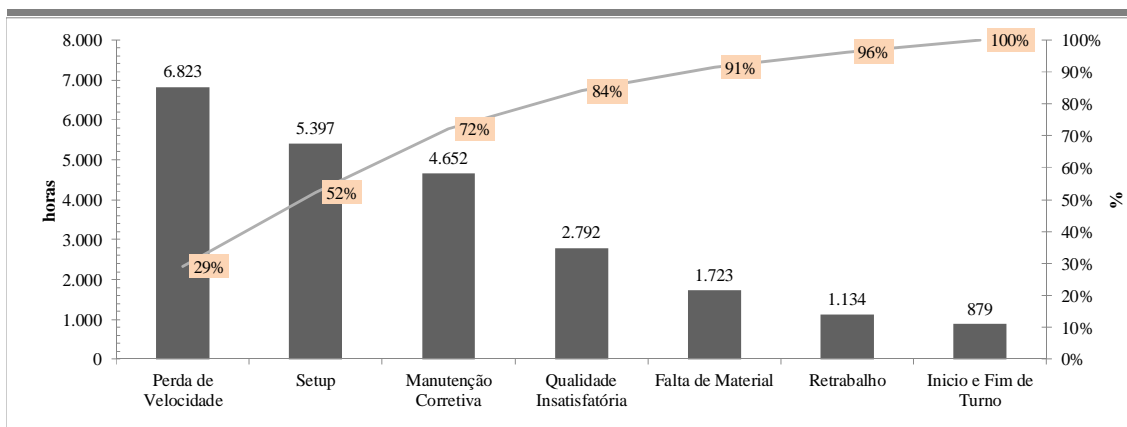


Fonte: Próprio Autor

A Figura 28 demonstra a representação gráfica do total em horas dos motivos das paradas por equipamentos, baseado na Tabela 6.

Figura 28 – Gráfico de Pareto em horas totalizados por motivos das paradas dos equipamentos

**Gráfico de Pareto dos Motivos das Paradas - Total dos Equipamentos em Estudo = 23.400 Horas/Ano**

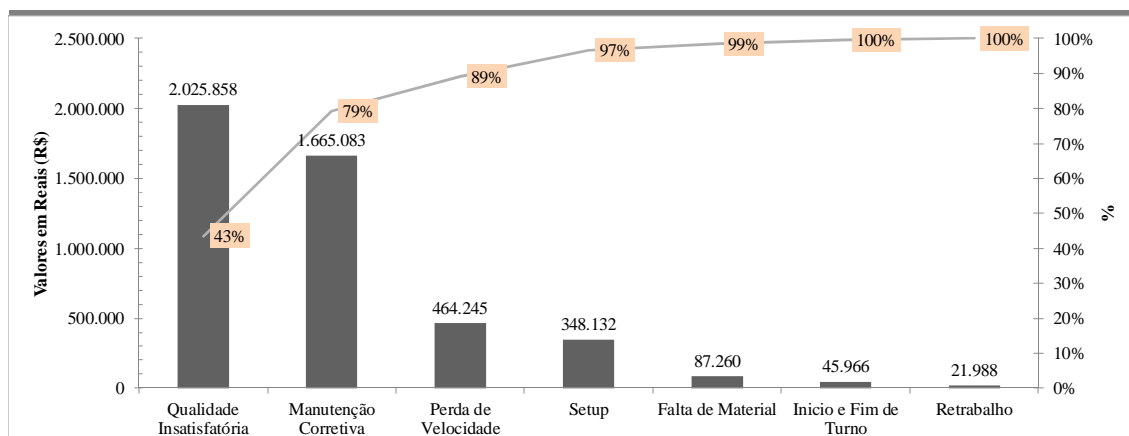


Fonte: Próprio Autor

A Figura 29 representa a demonstração gráfica da valoração do total das paradas totalizadas por equipamento.

Figura 29 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ do total dos motivos das paradas por equipamento.

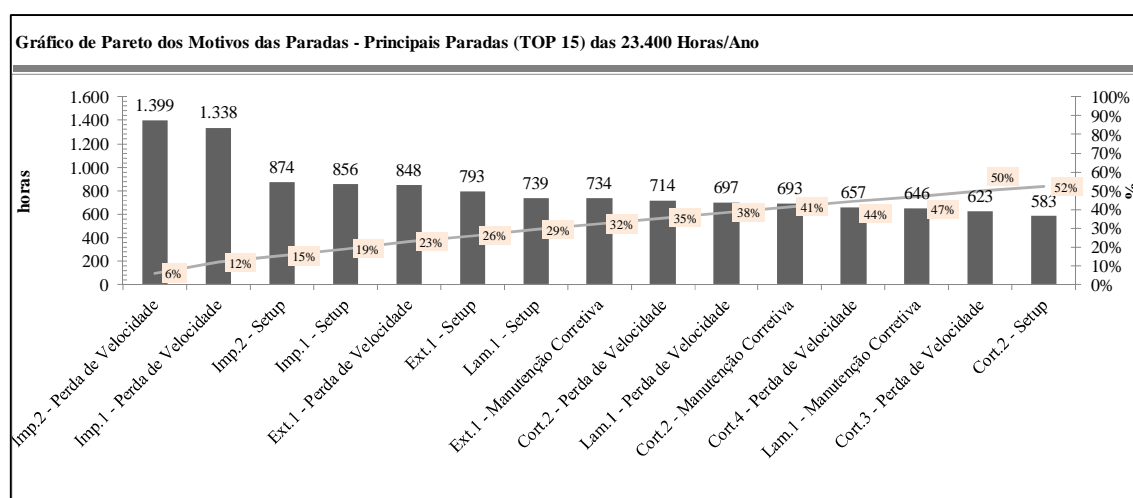
**Gráfico de Pareto da Valoração dos Motivos das Paradas - Total dos Equipamentos em Estudo=\$4.658.532/Ano**



Fonte: Próprio Autor

A Figura 30 demonstra a representação gráfica, em horas, dos principais motivos das paradas por equipamentos, agrupa os sete motivos e os oito equipamentos, baseado na Tabela 6. O gráfico apresenta os quinze principais motivos por equipamentos dos cinquenta e seis possíveis (07 motivos x 08 equipamentos), que representam 26% das possíveis combinações. Porém, totalizam 52% das paradas em horas.

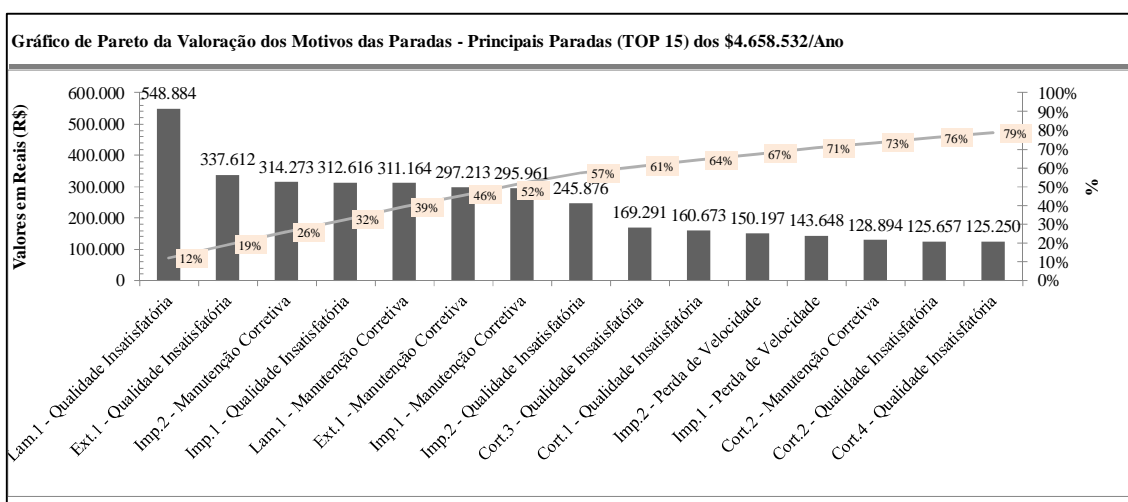
Figura 30 – Gráfico de Pareto em horas das 15 principais combinações de motivos das paradas e equipamentos



Fonte: Próprio Autor

A Figura 31 demonstra a representação gráfica da valoração dos principais motivos das paradas por equipamentos, agrupando os sete motivos e os oito equipamentos. O gráfico apresenta os quinze principais motivos por equipamentos dos 56 possíveis, que representam 26% das possíveis combinações, porém, totalizam 79% da valoração.

Figura 31 – Gráfico de Pareto da valoração em R\$ do total dos motivos das paradas por equipamento.



Fonte: Próprio Autor

#### 4.6 Análise dos processos-gargalos, com base nos gráficos de Pareto, e dos resultados obtidos com a simulação do efeito da escolha dos projetos de melhoria, por meio do procedimento de cálculo proposto

Ao considerar o resultado da análise do desdobramento do volume de produção, é possível observar, na Figura 9, que os processos gargalos são a Extrusora 1 e a Cortadeira 1.

Conforme observamos as cortadeiras, a de número 1 tem a necessidade do ganho de disponibilidade em 1.161 horas/ano, o que significaria um aumento do OEE atual de 60% para 71,2%. Supondo que as demais cortadeiras estão insaturadas, principalmente a Cortadeira 4, com 2.442 horas/ano de sobra de capacidade, é possível realizar o processo de

revezamento no horário de refeição da Cortadeira 1, utilizando a equipe de trabalho da Cortadeira 4.

De acordo com os dados apresentados na Figura 32, é possível observar o efeito do aumento da parada programada para refeição da Cortadeira 4, passando de 1 hora para 2 horas por turno para o revezamento do horário de refeição da Cortadeira 1, aumentando assim sua disponibilidade.

É possível observar, também na Figura 32, a redução da necessidade de tempo disponível para produção de 1.161 horas/ano para 225 horas/ano, mantendo o processo como gargalo, porém, menos dependente de vários projetos simultâneos. Por sua vez, a Cortadeira 4 reduz sua sobra de disponibilidade de 2.442 horas/ano para 1.509 horas/ano.

Na Tabela 12, é apresentada a simulação de lançamento de projeto de melhoria para ganho de disponibilidade, afim de atender a demanda no equipamento Extrusora 1, o que potencializa a redução de custo.

Supondo-se que a empresa tem o potencial de conduzir dez projetos por ano, foi realizada a simulação. Consideramos, na Extrusora1, a aplicação de três projetos de melhorias, com foco em ganho de disponibilidade para sanar a condição de equipamento gargalo e potencializar a redução de custos. A Tabela 12 demonstra que os três projetos selecionados potencializam a disponibilidade de 921h/ano, o que representa um acréscimo de volume de 198.058 metros e um potencial de redução de custo de R\$279.578. Apenas o projeto de redução de perda de velocidade (Figura 10) seria suficiente para gerar a disponibilidade necessária, os outros dois projetos focam em redução potencial de custos (Figuras 11 e 31).

Na Tabela 13, é apresentada a simulação de lançamento de projeto de melhoria para redução de custos da Laminadora 1, pois mesmo não sendo um processo gargalo, no Pareto de custo, é o equipamento que demonstrou a maior perda em custo (Figura 31).

A Tabela 13 demonstra que os dois projetos, selecionados na Laminadora 1, potencializam a disponibilidade de 446h/ano, o que representa um acréscimo de volume de 111.500 metros e um potencial de redução de custo de R\$320.247.

Na Tabela 14 é apresentada a simulação de lançamento de projeto de melhoria para redução de custos da Impressora 1, pois mesmo não sendo um processo gargalo, no Pareto de custo, é o equipamento que demonstrou ganho significativo (Figura 31).

A Tabela 14 demonstra que o projeto selecionado na Impressora 1 potencializa a disponibilidade de 114h/ano, o que representa um acréscimo de volume de 14.859 metros e um potencial de redução de custo de R\$93.785.

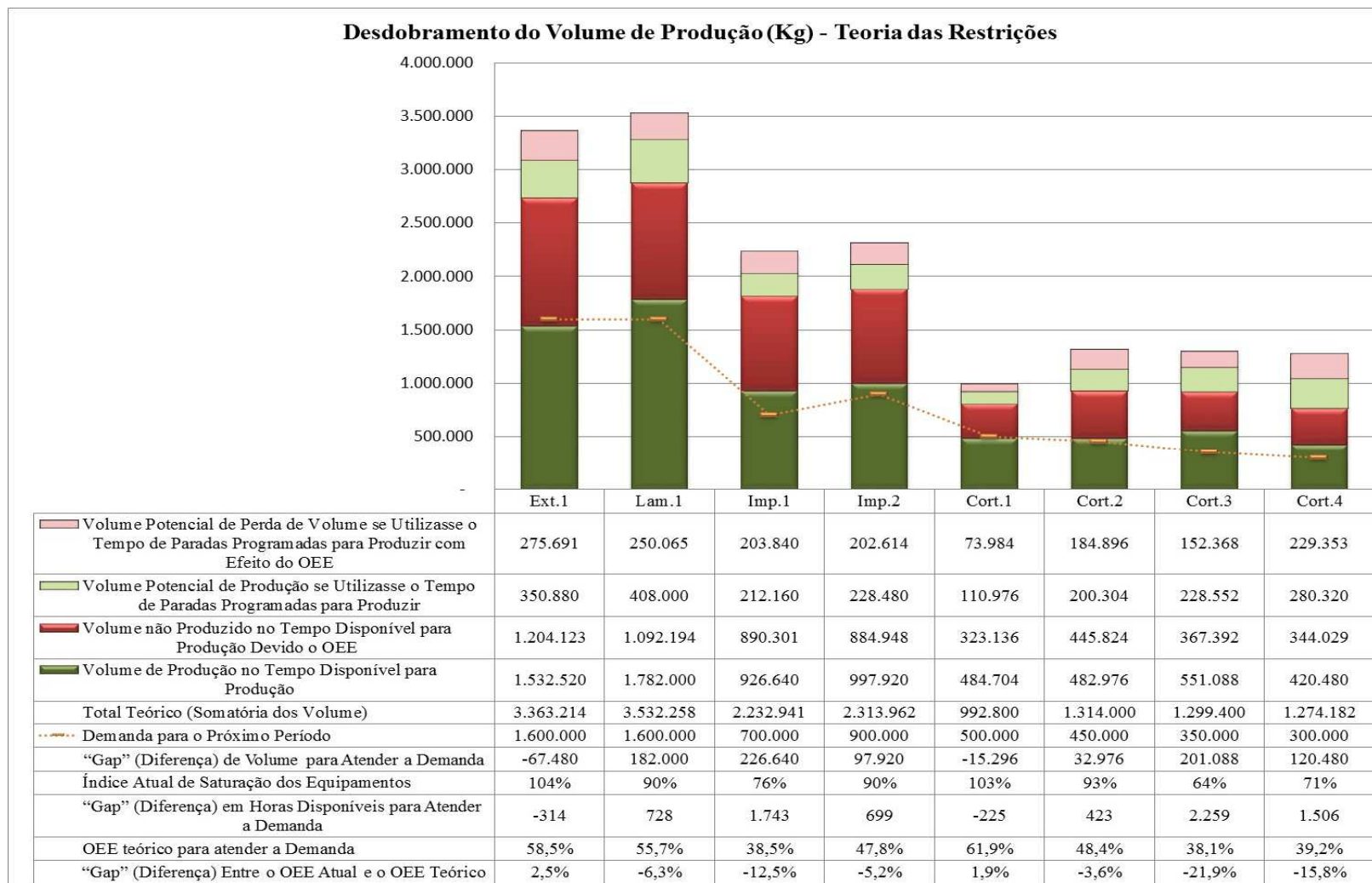
Na Tabela 15 é apresentada a simulação de lançamento de projeto de melhoria para redução de custos da Impressora 2, pois mesmo não sendo um processo gargalo, no Pareto de custo é o equipamento que demonstrou ganho significativo (Figura 31).

A Tabela 15 demonstra que o projeto selecionado na Impressora 2, potencializa a disponibilidade de 275h/ano, o que representa um acréscimo de volume de 38.430 metros e um potencial de redução de custo de R\$157.136. Na Tabela 16, é apresentada a simulação de lançamento de projeto de melhoria (ganho de disponibilidade), afim de atender a demanda no equipamento Cortadeira 1, o que potencializa a redução de custo (Figuras 19 e 31). A Tabela 16 demonstra que o projeto selecionado na Cortadeira 1 potencializa a disponibilidade de 595h/ano, o que representa um acréscimo de volume de 40.460 metros e um potencial de redução de custo de R\$112.044.

Na Tabela 17, consta a compilação dos projetos selecionados nas Tabelas 12, 13, 14, 15 e 16, apresentando a redução potencial de custos. A Tabela 17 demonstra que os projetos selecionados apresentam um custo da perda de R\$2.469.496, e o potencial de redução de R\$962.790. O efeito do ganho de disponibilidade e volume é observado na Figura 33.

A Figura 33 demonstra que, se considerarmos o impacto dos projetos nos equipamentos, é possível atender à demanda prevista para todos os equipamentos, bem como o OEE projetado de cada equipamento. Os dez projetos que a empresa tem condições de executar por ano, são suficientes para garantir as condições necessárias para atender à demanda comercial e potencializar a redução dos custos operacionais.

Figura 32 - Desdobramento do volume de produção com aumento do tempo disponível da Cortadeira 1



Fonte – Próprio autor.

Tabela 12 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento gargalo Extrusora1, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto.

| Descrição da Perda       | Meta de Redução | Nome do Projeto | Situação Atual           |                |                | Potencial de Redução das Perdas |                   |                  |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|                          |                 |                 | Total de horas de Parada | Volume Perdido | Custo da Perda | Total de horas disponíveis      | Volume Recuperado | Redução de Custo |
| Início e Fim de Turno    |                 |                 | 204                      | 43.860         | 14.284         | -                               | -                 | -                |
| <i>Setup</i>             |                 |                 | 793                      | 170.495        | 55.526         | -                               | -                 | -                |
| Manutenção Corretiva     | 50%             | P0001           | 734                      | 157.810        | 297.213        | 367                             | 78.905            | 148.606          |
| Falta de Material        |                 |                 | 123                      | 26.445         | 8.612          | -                               | -                 | -                |
| Perda de Velocidade      | 50%             | P0002           | 848                      | 182.320        | 59.377         | 424                             | 91.160            | 29.688           |
| Retrabalho               |                 |                 | -                        | -              | -              | -                               | -                 | -                |
| Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0003           | 434                      | 93.310         | 337.612        | 130                             | 27.993            | 101.284          |
| Total                    |                 |                 | 3.136                    | 674.240        | 267.058        | 921                             | 198.058           | 279.578          |

Fonte: Próprio Autor



Tabela 13 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento Laminadora1, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto.

| Descrição da Perda       | Meta de Redução | Nome do Projeto | Situação Atual           |                |                | Potencial de Redução das Perdas |                   |                  |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|                          |                 |                 | Total de horas de Parada | Volume Perdido | Custo da Perda | Total de horas disponíveis      | Volume Recuperado | Redução de Custo |
| Início e Fim de Turno    | -               | -               | 78                       | 19.500         | 6.911          | -                               | -                 | -                |
| <i>Setup</i>             | -               | -               | 739                      | 184.750        | 65.475         | -                               | -                 | -                |
| Manutenção Corretiva     | 50%             | P0004           | 646                      | 161.500        | 311.164        | 323                             | 80.750            | 155.582          |
| Falta de Material        | -               | -               | 139                      | 34.750         | 12.315         | -                               | -                 | -                |
| Perda de Velocidade      | -               | -               | 697                      | 174.250        | 61.754         | -                               | -                 | -                |
| Retrabalho               | -               | -               | -                        | -              | -              | -                               | -                 | -                |
| Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0005           | 410                      | 102.500        | 548.884        | 123                             | 30.750            | 164.665          |
| Total                    |                 |                 | 2.709                    | 677.250        | 1.006.504      | 446                             | 111.500           | 320.247          |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 14 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento Impressora1, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto.

| Descrição da Perda       | Meta de Redução | Nome do Projeto | Situação Atual           |                |                | Potencial de Redução das Perdas |                   |                  |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|                          |                 |                 | Total de horas de Parada | Volume Perdido | Custo da Perda | Total de horas disponíveis      | Volume Recuperado | Redução de Custo |
| Início e Fim de Turno    | -               | -               | 83                       | 10.790         | 8.911          | -                               | -                 | -                |
| <i>Setup</i>             | -               | -               | 856                      | 111.280        | 91.900         | -                               | -                 | -                |
| Manutenção Corretiva     | -               | -               | 582                      | 75.660         | 295.961        | -                               | -                 | -                |
| Falta de Material        | -               | -               | 253                      | 32.890         | 27.162         | -                               | -                 | -                |
| Perda de Velocidade      | -               | -               | 1.338                    | 173.940        | 143.648        | -                               | -                 | -                |
| Retrabalho               | -               | -               | -                        | -              | -              | -                               | -                 | -                |
| Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0006           | 381                      | 49.530         | 312.616        | 114                             | 14.859            | 93.785           |
| Total                    |                 |                 | 3.493                    | 454.090        | 880.198        | 114                             | 14.859            | 93.785           |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 15 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento Impressora2, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto.

| Descrição da Perda       | Meta de Redução | Nome do Projeto | Situação Atual           |                |                | Potencial de Redução das Perdas |                   |                  |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|                          |                 |                 | Total de horas de Parada | Volume Perdido | Custo da Perda | Total de horas disponíveis      | Volume Recuperado | Redução de Custo |
| Início e Fim de Turno    |                 |                 | 67                       | 9.380          | 7.193          | -                               | -                 | -                |
| <i>Setup</i>             |                 |                 | 874                      | 122.360        | 93.833         | -                               | -                 | -                |
| Manutenção Corretiva     | 50%             | P0007           | 549                      | 76.860         | 314.273        | 275                             | 38.430            | 157.136          |
| Falta de Material        |                 |                 | 179                      | 25.060         | 19.217         | -                               | -                 | -                |
| Perda de Velocidade      |                 |                 | 1.399                    | 195.860        | 150.197        | -                               | -                 | -                |
| Retrabalho               |                 |                 | -                        | -              | -              | -                               | -                 | -                |
| Qualidade Insatisfatória |                 |                 | 282                      | 39.480         | 245.876        | -                               | -                 | -                |
| Total                    |                 |                 | 3.350                    | 469.000        | 830.588        | 275                             | 38.430            | 157.136          |

Fonte: Próprio Autor

Tabela 16 – Simulação de seleção de projeto de melhoria no equipamento Cortadeira1, considerando os dados anuais dos Gráficos de Pareto.

| Descrição da Perda       | Meta de Redução | Nome do Projeto | Situação Atual           |                |                | Potencial de Redução das Perdas |                   |                  |
|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|                          |                 |                 | Total de horas de Parada | Volume Perdido | Custo da Perda | Total de horas disponíveis      | Volume Recuperado | Redução de Custo |
| Início e Fim de Turno    |                 |                 | 123                      | 8.364          | 2.385          | -                               | -                 | -                |
| <i>Setup</i>             |                 |                 | 543                      | 36.924         | 10.529         | -                               | -                 | -                |
| Manutenção Corretiva     | 50%             | P0008           | 445                      | 30.260         | 117.078        | 223                             | 15.130            | 58.539           |
| Falta de Material        |                 |                 | 230                      | 15.640         | 4.460          | -                               | -                 | -                |
| Perda de Velocidade      | 50%             | P0009           | 547                      | 37.196         | 10.606         | 274                             | 18.598            | 5.303            |
| Retrabalho               |                 |                 | 259                      | 17.612         | 5.022          | -                               | -                 | -                |
| Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0010           | 330                      | 22.440         | 160.673        | 99                              | 6.732             | 48.202           |
| Total                    |                 |                 | 2.477                    | 168.436        | 310.752        | 595                             | 40.460            | 112.044          |

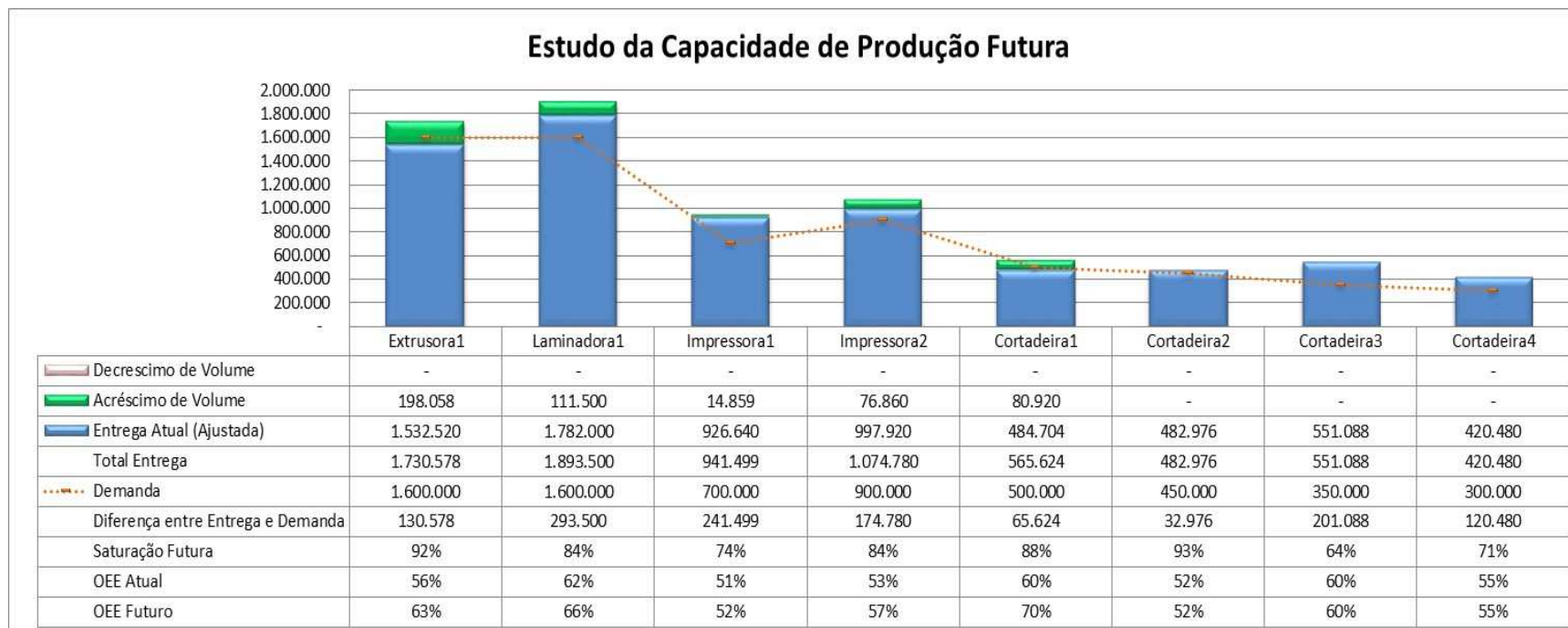
Fonte: Próprio Autor

Tabela 17 – Plano anual de lançamento dos potenciais projetos selecionados.

| Equipamento | Descrição da Perda       | Meta de Redução | Nome do Projeto | Situação Atual           |                |                | Potencial de Redução das Perdas |                   |                  |
|-------------|--------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|----------------|----------------|---------------------------------|-------------------|------------------|
|             |                          |                 |                 | Total de horas de Parada | Volume Perdido | Custo da Perda | Total de horas disponíveis      | Volume Recuperado | Redução de Custo |
| Extrusora1  | Manutenção Corretiva     | 50%             | P0001           | 734                      | 157.810        | 297.213        | 367                             | 78.905            | 148.606          |
|             | Perda de Velocidade      | 50%             | P0002           | 848                      | 182.320        | 59.377         | 424                             | 91.160            | 29.688           |
|             | Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0003           | 434                      | 93.310         | 337.612        | 130                             | 27.993            | 101.284          |
| Laminadora1 | Manutenção Corretiva     | 50%             | P0004           | 646                      | 161.500        | 311.164        | 323                             | 80.750            | 155.582          |
|             | Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0005           | 410                      | 102.500        | 548.884        | 123                             | 30.750            | 164.665          |
| Impressora1 | Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0006           | 381                      | 49.530         | 312.616        | 114                             | 14.859            | 93.785           |
| Impressora2 | Manutenção Corretiva     | 50%             | P0007           | 549                      | 76.860         | 314.273        | 275                             | 38.430            | 157.136          |
| Cortadeira1 | Manutenção Corretiva     | 50%             | P0008           | 445                      | 30.260         | 117.078        | 223                             | 15.130            | 58.539           |
|             | Perda de Velocidade      | 50%             | P0009           | 547                      | 37.196         | 10.606         | 274                             | 18.598            | 5.303            |
|             | Qualidade Insatisfatória | 30%             | P0010           | 330                      | 22.440         | 160.673        | 99                              | 6.732             | 48.202           |
| TOTAL       |                          |                 |                 |                          |                | 2.469.496      |                                 |                   | 962.790,00       |

Fonte: Próprio Autor

Figura 33 – Representação gráfica do aumento de volume por equipamento, considerando o impacto dos projetos seleccionados.



Fonte: Próprio Autor

## **5 Considerações Finais, Limitações do Trabalho e Recomendações**

### **5.1 Considerações Finais**

As evidências destacadas na literatura, constatadas a partir da revisão bibliográfica realizada, apoia o delineamento e estruturação da proposta de solução para o problema de pesquisa proposto: como sistematizar um procedimento de cálculo para apoiar o processo de seleção de projetos de melhorias para desempenho da manufatura, tanto conceitualmente como embasamento para a concepção das expressões matemáticas do cálculo dos indicadores OEE a partir das relações de interdependência das variáveis e parâmetros de processo.

Tal proposta, por sua vez, foi desdobrada no objetivo geral da pesquisa: desenvolver um procedimento de cálculo que sirva de ferramenta de apoio à seleção de projetos de melhoria (Kaizen), com foco no balanceamento do fluxo produtivo e redução do custo operacional.

Nesta direção o objetivo geral da pesquisa obteve sucesso com a aplicação dos conceitos da teoria das restrições, a fim de identificar os processos gargalos, bem como, a aplicação do conceito da árvore de perdas do TPM, ao destacar as principais perdas de processo em tempo e custo, medidas a partir dos dados de entrada da empresa estudo de caso, a fim de calibrar o procedimento.

Desta forma, foi possível integrar os dois conceitos, como demonstrado a partir da simulação com o uso do procedimento para a criação e validação de um projeto de melhoria, com foco em uma determinada perda.

Como produto final do desenvolvimento do presente trabalho é apresentado o potencial de redução das perdas de processo a partir do cálculo de desempenho realizado a

partir do uso do procedimento de cálculo proposto, sendo possível observar o impacto do processo gargalo identificador, e, por sua vez, a redução da restrição que ele representa, balanceando o processo produtivo.

Contudo, é importante destacar que após a simulação realizada com base no procedimento de cálculo proposto de cada um dos 10 (dez) projetos de melhoria inicialmente propostos por colaboradores da empresa objeto do estudo, foi possível identificar os resultados a serem alcançados como a implantação de cada um no atendimento à demanda comercial, tendo como referência também o potencial de redução do custo operacional de modo muito mais ágil e com adequado nível de precisão dos resultados operacionais a serem alcançados.

Pretende-se, portanto, que a proposta venha a ser aplicada em outras empresas de manufatura, de modo que os conceitos apresentados no Fluxo de Informação (Apêndice P) em conjunto com o sequenciamento de atividades (Apêndice Q), possam ser testados e calibrados a fim de garantir maior confiança no uso do procedimento de cálculo proposto neste trabalho.

Até o momento procedimento de cálculo demonstrou exatidão e coerência dos resultados obtidos pelo mesmo com a realidade da operação no chão de fábrica, o que o torna apto de ser utilizado como ferramenta de gestão da manufatura.

A maior contribuição do presente trabalho encontra-se no fato de que o procedimento de cálculo, produto desta dissertação de mestrado permite identificar de modo simples e rápido, quais são as perdas de processo de produção que impactam diretamente no resultado operacional das indústrias, tornando possível analisar as causas raízes e sanar as dificuldades antes que a mesma impacte em outras perdas.



## 5.2 Limitações do trabalho

O presente trabalho apresenta as seguintes limitações:

1. Não há cronograma de lançamento dos projetos, desta forma, os resultados estão caracterizados com o retorno no mesmo ano, independente de um cronograma de lançamento e o efeito de “*Year To Date*”, considerando a data de lançamento do projeto, o tempo de desenvolvimento e o tempo restante do ano para coleta de resultado. Exemplo: se um projeto for iniciado em junho e o tempo de execução for de três meses, o resultado do projeto não será o 100% da meta determinada, mas apenas a fração correspondente ao tempo restante até o final do ano. Ou seja, o projeto encerrará suas atividades em agosto e o resultado será proporcional aos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro. Desta forma, o resultado será de 1/3 (um terço) da meta estabelecida, pois o resultado será referente apenas a quatro meses e não a doze.
2. As perdas trabalhadas no exemplo são referentes apenas às seis grandes perdas do TPM, desdobradas em sete. Não foi considerado, no estudo, o efeito das paradas programadas, pois apesar de não afetarem o OEE, elas podem ser trabalhadas e devem ser valoradas para a busca de ganho em disponibilidade e redução de custos. Por exemplo: redução do tempo de limpeza de equipamento do TPM. Pois é possível gerar projetos para redução das fontes de sujeira e também redução do tempo e custo da manutenção preventiva. Assim, é possível avaliar o fluxo de execução da manutenção preventiva se algumas atividades podem ser realizadas enquanto o equipamento está trabalhando, para redução do tempo de execução, e por consequência aumento da disponibilidade. Bem como se as peças que estão

sendo trocadas poderiam aguardar um tempo maior para substituição, o que reduz o custo de peças sobressalentes.

### 5.3 Recomendações

Como sugestão para futuros trabalhos:

1. O detalhamento da árvore de perdas, considerando não apenas as perdas do OEE, mas também as paradas não programadas, bem como as perdas de outros setores, além da produção.
2. Aplicar o modelo proposto para melhorar o balanceamento e potencializar a redução dos custos de setores administrativos, ou não, como compras, contas a pagar, contas a receber, desenvolvimento de produtos e logística.
3. Considerar o efeito do cronograma de lançamento dos projetos a partir da data de início (*due date*) e término de execução e que os resultados sejam considerados apenas com a proporção do tempo restante ao término do ano, em sua meta de redução. Os projeto com término em dezembro do ano corrente, apenas apresentarão resultado no ano subsequente.
4. Elaborar um *software* considerando o modelo proposto pelo trabalho.

## Referências

- ABDULMALEK, F. A.; RAJGOPAL, J.; Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. **Int. J. Production Economics** 107 (2007) 223–236.
- AGUILERA, C.I.C. *Un Enfoque Gerencial de la Teoría de las Restricciones*, Colombia, - Universidad ICESI-Estudios Gerenciales, Octubre – Diciembre, nº 77, 2000.
- ARAGÃO, I.R., A Redução De Perdas Num Processo Produtivo Através Da Implantação Da Sistemática Da Árvore De Perdas, **Revista Produção On Line**, Universidade Federal Santa Catarina, 2007.
- AVRAHAM, Y., **Combining Lean, Six Sigma, and the Theory of Constraints to Achieve Breakthrough Performance**, Goldratt Institute, 2009.
- AVRAHAM, Y., **The Theory of Constraints and its Thinking Processes**, Goldratt Institute, 2009.
- AZZOLINI, W. J.; FERRAZ, F. J. ADQUIRINDO CONTROLE: **Gestão da Capacidade e Prioridade**. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.
- BISPO, C.A.F. **Uma Análise da nova Geração de sistemas de Apoio à Decisão**, São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.
- CHAKRAVORTY, S.S ; ATWATER, J.B., **Bottleneck Management: Theory and Practice, Production Planning & Control: The Management Of Operations**, 2006.
- CHAKRAVORTY, S.S.; ATWATER, J.B., **A Study of utilisation of capacity constrained resources in drum: buffer-rope systems**, Prod. Op. Manage, 2002.
- CHOWDHURY, C. e MANDAL, T.K., “Equipment effectiveness and six big losses”, **Productivity**, Vol. 36 No. 1, pp. 110-7. 1995.

CORBETT NETO, T., **Uma Comparação entre ‘Activity-Based Costing’ e Teoria das Restrições, no Contexto da Contabilidade Gerencia**, São Paulo, FGV, 1996.

CREPALDI, S.A., **Contabilidade Gerencial, Teoria e Prática**, São Paulo: Editora Atlas, 2011.

FOLADOR, A. J.; MATTOS, S.M.M, A Importância Da Gestão De Perdas Para Fortalecer a Competitividade e Melhorar a Produtividade Das Empresas No Século XXI, **Revista Capital Científico**, V. 5, nº 1, 2007.

FORTULAN, M.R. ; GONÇALVES F.E.V. Uma proposta de aplicação de Business Intelligence no Chão de Fábrica, **Revista Gestão e Produção**, V. 12, p55-66, 2005.

FREITAS, M.A.S. **Implantação da Metodologia TPM (Total Productive Maintenance) um estudo de caso**, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Minas Gerais, 2002.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**, São Paulo, Editora Atlas, 2002.

GUERREIRO, R., Os Princípios da Teoria das Restrições Sob a Ótica da Mensuração Econômica, São Paulo, **Cadernos de Estudos número 13**, FIPECAFI, 1996.

GUPTA M.C., BOYD L.H., Theory Of Constraints: A Theory for Operations Management, University Of Louisville, Kentuck USA, **Internation Journal of Operations & Production Management**, Vol. 28, No.10, 2008.

HANSEN, R.C., **Eficiência Global dos Equipamentos**, Porto Alegre: Editora Bookman, 2008.

HAYES, R.; PISANO, G.; UPTON, D.; WHEELWRIGHT, S., **Produção, Estratégia e Tecnologia em Busca da Vantagem Competitiva**, Porto Alegre: Editora Bookman, 2005.

JONSSON, P. & LESSHAMMAR, M, Evaluation and improvement of manufacturing performance measurement systems - The role of OEE. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 19, nº 1, pp-55-78, 1999.

KOSIERADZKA, A, KAKOL, U e KRUPA, A, **The Development of Production Management Concepts**, Polônia, - Warsaw University Technology, Warsaw Foundation of Managemen, Vol 3, nº 2, 2011

MARTINS, E., **Contabilidade de Custos**, São Paulo: Editora Atlas, 2000

NACHIAPPAN, R. M.; ANANTHARAMAN, N.; Evaluation of overall line effectiveness (OLE) in a continuous product line manufacturing system. **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 17 No. 7, 2006. pp. 987-1008.

NAKAJIMA, S., **Introduction to TPM**, Productivity Press, Cambridge, MA. 1988.

NONNEMACHER, G., **Investigando o Processo Decisório de Implantação de Sistemas de Administração da Produção em Pequenas Empresas: Um Estudo de Caso no Segmento Têxtil**, IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, 2012.

OPRIME, P.C., DONADONE, J.C., MONSANTO, R.R., **Estudo da Operacionalização do Processo de Melhoria Contínua na Abordagem do TPM: Um Estudo de Campo das Empresas Brasileiras**, XXIX ENEGEP, Salvador, Bahia, 2009.

PROENÇA, E.T., TUBINO, D.F., **Monitoramento Automático e em Tempo Real da Eficácia Global dos Equipamentos (OEE) como Prática de Apoio à Manufatura Enxuta: Um Estudo de Caso**, XXX ENEGEP, São Carlos, São Paulo, 2010.

REID, R.A., Applying the TOC five-step focusing process in the service sector – A banking subsystem, University of New Mexico, Albuquerque, USA, **Managing Service Quality**, Vol. 17 No.2, 2007.

SOUZA, Fernando B.; RENTES, Antônio F.; FRANCISCO, Miguel. **Proposta de um método de utilização da ferramenta árvore da realidade atual da teoria das restrições no processo de diagnóstico estratégico de empresas**, 1997.

SUZUKI, T., **TPM in Process Industries**, Productivity Press, Portland, OR. 1999.

TANAKA, W.Y.; MUNIZ, J.J; FARIA NETO, A., Fatores Críticos Para Implantação De Projetos De Melhoria Contínua Segundo Líderes e Consultores Industriais, **Sistemas & Gestão Revista Eletrônica**, 2012.

ZAGONEL, E., **Implantação do Fluxo unitário de peças numa Célula de Usinagem:** Estudo de Caso por Meio de Simulação, Curitiba/PR, Universidade Federal do Paraná, 2006.

ZATTAR, I.C; RUDEK, S.; TURQUINO, G.S., **O Uso Do Indicador OEE Como Ferramenta Na Tomada De Decisões Em Uma Indústria Gráfica – um caso prático**, 2010.

**Apêndice A – Questionário para Entrevista sobre qual procedimento é utilizado para definir projetos de melhorias**

| <b>Questionário para Entrevista sobre qual procedimento é utilizado para definir projetos de melhorias</b>  |                   |             |
|---|-------------------|-------------|
| Empresa:  |                   |             |
| Local:  | Setor Industrial: | Data:       |
| Entrevistado:   |                   | Função:     |
|   |                   |             |
| Questões:   |                   | Sim ou Não? |
| Utiliza a TOC?  |                   |             |
| Utiliza a árvore de perdas valorada por custo standard?   |                   |             |
| Utiliza a árvore de perdas valorada apropriando o devido custo aos motivos das paradas?   |                   |             |
| Utiliza o VSM value stream mapping?   |                   |             |
| Combinada a TOC com a árvore de perdas por custo standard?  |                   |             |
| Combinada a TOC com a árvore de perdas com custo apropriado aos motivos das paradas?  |                   |             |
| Simulam o resultado no fluxo completo de produção, não apenas nos equipamentos que aplicam os projetos?   |                   |             |
|   |                   |             |
| Descreva o procedimento para selecionar os projetos de melhorias:   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
|   |                   |             |
| <b>Por questão de sigilo e confiabilidade das informações, os nomes da empresa e do entrevistado não serão divulgados, ou mesmo anexado o questionário no estudo de caso.</b> |                   |             |

## Apêndice B – Resultado do questionário aplicado para entrevista sobre qual procedimento é utilizado para definir projetos de melhorias

Para identificar os modelos e procedimentos para seleção, foi realizada entrevista com doze empresas que totalizam trinta e uma unidades fabris dos setores de automotivas, bebidas, embalagens, madeireira, máquinas e equipamentos, papel & celulose, siderurgia e telecomunicações, conforme Apêndice A. A entrevista tem como finalidade identificar os procedimentos que as empresas utilizam para selecionar projetos de melhorias, e se utilizam a teoria das restrições e ou a árvore de perdas de forma isolada e ou combinada.

A Tabela 18 apresenta o resultado da entrevista, avaliando a proporção das empresas que utilizam a TOC, árvore de perdas valorada por custo *standard*, árvore de perdas valorada apropriando o devido custo aos motivos das paradas, VSM *value stream mapping*, se aplicam de forma combinada a TOC com a árvore de perdas por custo *standard*, ou com a árvore de perdas com custo apropriado aos motivos das paradas e se simulam o resultado no fluxo completo de produção.

Tabela 18 – Tabulação do resultado da entrevista aplicada com formulário do Apêndice A

| Questão   | Número de Empresas | Representatividade entre as 12 empresas entrevistadas |
|---|--------------------|---|
| Utiliza a TOC?  | 1                  | 8%  |
| Utiliza a árvore de perdas valorada por custo <i>standard</i> ?   | 3                  | 25%   |
| Utiliza a árvore de perdas valorada apropriando o devido custo aos motivos das paradas?                 | 0                  | 0%  |
| Utiliza o VSM <i>value stream mapping</i> ?   | 3                  | 25%   |
| Combinada a TOC com a árvore de perdas por custo <i>standard</i> ?                                      | 1                  | 8%  |
| Combinada a TOC com a árvore de perdas com custo apropriado aos motivos das paradas?                    | 0                  | 0%  |
| Simulam o resultado no fluxo completo de produção, não apenas nos equipamentos que aplicam os projetos? | 0                  | 0%  |

Fonte: Entrevista conforme Apêndice A



Conforme a Tabela 18, é possível observar que não há aplicação do modelo proposto, integrando a teoria das restrições combinada com a árvore de perdas valorada pela apropriação de custos específicos por motivo de parada, bem como a simulação do resultado dos projetos no fluxo produtivo geral e não apenas no equipamento que o projeto será desenvolvido.

Na Tabela 19 apresenta o procedimento que as empresas entrevistadas utilizam para selecionar os projetos de melhorias.

Tabela 19 – Procedimentos utilizados pelas empresas entrevistadas

| Procedimentos utilizados para selecionar projetos de melhorias   | Número de empresas | Representatividade entre as 12 empresas entrevistadas |
|--|--------------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Classificam as máquinas considerando a classificação ABC do TPM</li> <li>- Atuam nas maiores perdas do Pareto do OEE aplicando ferramentas de soluções de problemas, baseadas no PDCA</li> </ul>  | 3                  | 25%   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizam Brainstorming com a Direção e gerencia e por percepção selecionam os projetos</li> </ul>   | 6                  | 50%   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cada setor identifica quais são as máquinas com maior índice de perdas de OEE</li> <li>- Valoram as perdas de OEE, aplicam no tempo de para uma taxa de custo hora padrão por equipamento, considerando todo o custo do equipamento menos a depreciação dividido pelas horas trabalhadas.</li> <li>- Aplicam a priorização dos projetos avaliando o custo total da perda, potencial de recuperação e a facilidade da execução do projeto</li> <li>- Aplicam o VSM para identificar as 07 perdas <i>lean</i></li> </ul>  | 2                  | 17%   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- O setor de Engenharia de Processo avalia quais são os processos Gargalos, considerando a TOC</li> <li>- Elaboram o Pareto das perdas de OEE das máquinas gargalos em horas</li> <li>- Valoram as perdas de OEE, aplicam no tempo de para uma taxa de custo hora padrão por equipamento, considerando todo o custo do equipamento menos a depreciação dividido pelas horas trabalhadas.</li> <li>- Selecionam atuam nas primeiras vozes das perdas do Pareto, aplicando o conceito do PDCA</li> <li>- Aplicam o VSM para identificar as 07 perdas <i>lean</i></li> </ul> | 1                  | 8%  |

Fonte: Entrevista conforme Apêndice A

Na realidade, é possível observar que dos 04 procedimentos distintos que as 12 empresas aplicam, é composto pela combinação de 05 ferramentas e ou métodos, sendo elas, a classificação ABC do TPM (seção 2.3.1), gráfico de Pareto de perdas do OEE, VSM para identificar as 07 perdas *lean* (seção 2.3.2), *Brainstorming* (seção 2.3.3) e a árvore de perdas valorada, mas por taxa hora *standard* e não apropriando os custos em cada perda, conforme a nossa proposta.

As três empresas que utilizam o VSM têm como foco mapear o *lead time* do fluxo produtivo e atuar principalmente na redução dos custos de inventário, reduzindo as perdas por superprodução, transporte, processamento excessivo, movimentação, espera, defeitos e estoques.

As três empresas que utilizam a árvore de perdas valorada por uma taxa de custo *standard* têm, como finalidade, apenas atribuir valor financeiro às perdas identificadas em horas por OEE. Pois, nesta condição, ao multiplicar a taxa do custo do equipamento, o Pareto em Reais (R\$) terá o mesmo comportamento do que o em tempo.

















### Apêndice J – Tabela de apoio para coleta dos custos de produção

| Máquinas | Custo médio por hora dos operadores considerando (salário + encargos + benefícios). | Custo médio por hora dos manutentores considerando (salário + encargos + benefícios). | Custo das peças de reposição para manutenção corretiva | Custo de matéria prima perdida no processo (refugo) |
|----------|---|---|--|---|
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |
|          |   |   |  |   |

Apêndice K – Tabela de apoio para coleta do número de operadores e manutentores que atuam por evento de corretiva por equipamento

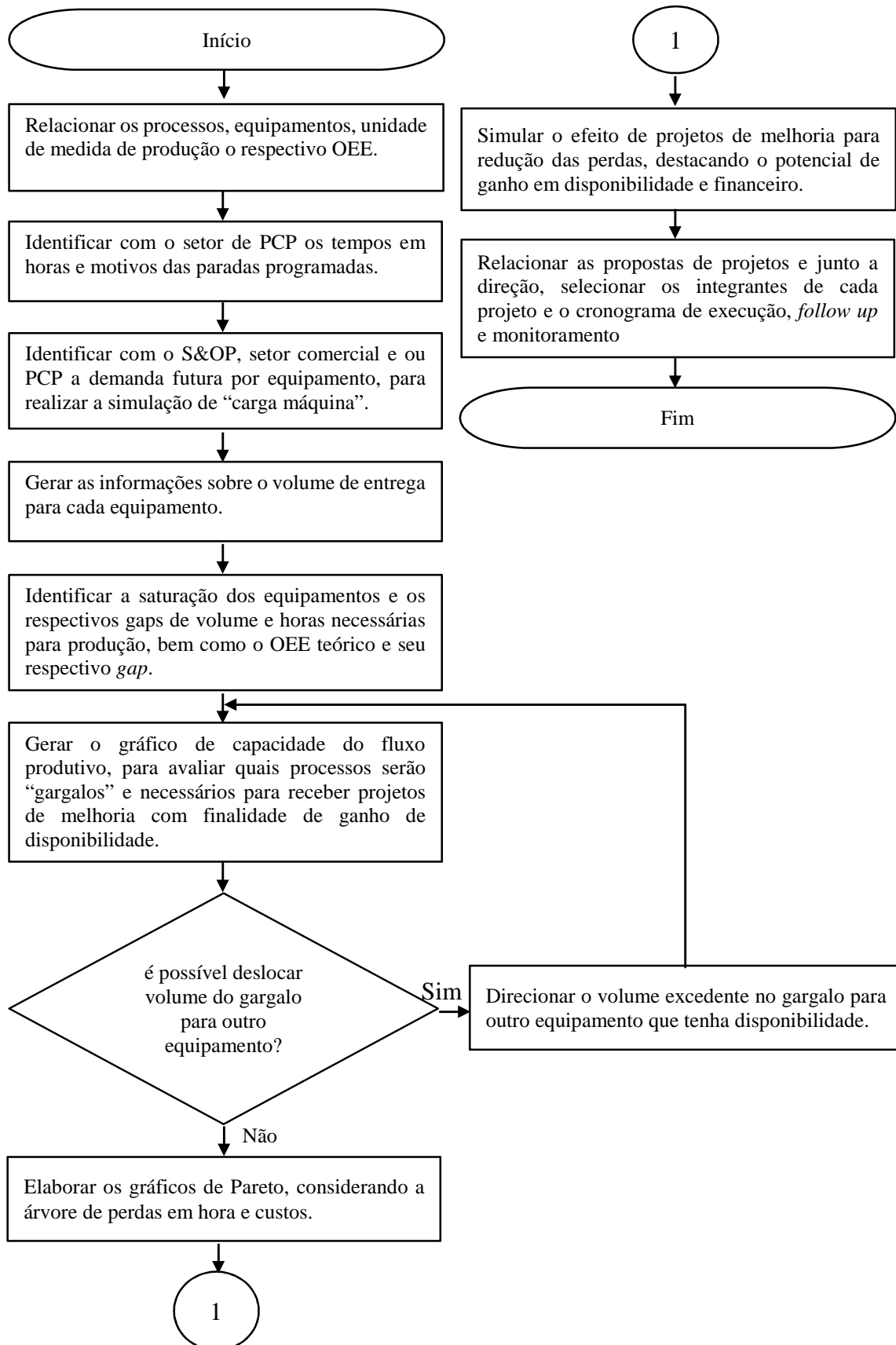








## Apêndice P – Fluxo para aplicação dos passos do procedimento proposto pelo trabalho



## Apêndice Q – Passos para aplicação do procedimento proposto pelo trabalho.

| Passo | Item | Descrição   | Tabela de Apoio | Equações                      |
|-------|------|---|-----------------|-------------------------------|
| 1     | 0    | <b>Identificar os gargalos do fluxo produtivo</b>   | -               | -                             |
|       | 1    | Relacionar os processos, equipamentos, unidade de medida de produção ao respectivo OEE.   | APÊNDICE C      | -                             |
|       | 2    | Identificar, com o setor de PCP, os tempos em horas e motivos das paradas programadas   | APÊNDICE D      | 3.7, 3.4, 3.5, 3.3, 3.6 e 3.2 |
|       | 3    | Identificar, com o S&OP, setor comercial e ou PCP, a demanda futura por equipamento, para realizar a simulação de “carga máquina”.  | APÊNDICE E      | 3.19, 3.1, 3.8 e 3.7          |
|       | 4    | Gerar as informações sobre o volume de entrega para cada equipamento  | APÊNDICE F      | 3.10, 3.11, 3.12 e 3.13       |
|       | 5    | Identificar a saturação dos equipamentos e os respectivos <i>gaps</i> de volume, e horas necessárias para produção, bem como o OEE teórico e seu respectivo <i>gap</i> .                            | APÊNDICE G      | 3.14, 3.15, 3.17 e 3.18       |
|       | 6    | Gerar o gráfico de capacidade do fluxo produtivo, para avaliar quais processos serão “gargalos” e necessários para receber projetos de melhoria com finalidade de ganho de disponibilidade.         | -               | -                             |
| 2     | 0    | <b>Desdobramento da árvore de perdas</b>  |                 |                               |
|       | 1    | Coletar o motivo de parada, e o respectivo tempo por equipamento.   | APÊNDICE H      | -                             |
|       | 2    | Coletar o volume perdido de MP com setor de qualidade e o custo desta perda com a controladoria.  | APÊNDICE I      | -                             |
|       | 3    | Coletar, com a setor de controladoria, os custos envolvidos por equipamento e processo.   | APÊNDICE J      | -                             |
|       | 4    | Coletar, com a gerencia de produção, o número de operadores (mão de obra direta), por equipamento, e com o setor de manutenção, o número médio de manutenedores por evento de manutenção corretiva. | APÊNDICE K      | -                             |
|       | 5    | Apropriar, com a controladoria, os custos operacionais por equipamento em cada motivo de perda do processo.   | APÊNDICE L      | -                             |
|       | 6    | Valorar a árvore de perdas por equipamento.   | APÊNDICE M      | -                             |
| 3     | 0    | <b>4.3 Análise dos processos gargalos, gráficos de Pareto e simulação do efeito da escolha dos projetos de melhoria.</b>  |                 |                               |
|       | 1    | Avaliar a possibilidade de deslocar volume de um equipamento gargalo para outro equipamento, que possa produzir o mesmo produto.  | -               | -                             |
|       | 2    | Simular o efeito de projetos de melhoria para redução das perdas, destacando o potencial de ganho em disponibilidade e financeiro.  | APÊNDICE N      | -                             |
| 4     | 0    | <b>Selecionar os projetos de melhoria</b>   |                 |                               |
|       |      | Relacionar as propostas de projetos e, junto à direção, selecionar os integrantes de cada projeto e o cronograma de execução, <i>follow up</i> e monitoramento                                      | APÊNDICE O      | -                             |