

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS**

ANDERSON IDACIR DOS SANTOS

***FRAMEWORK LEAN-GREEN PARA PROMOVER A MELHORIA DA EFICIÊNCIA
EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAPÉIS TISSUE RECICLADOS***

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2018

ANDERSON IDACIR DOS SANTOS

***FRAMEWORK LEAN-GREEN PARA PROMOVER A MELHORIA DA EFICIÊNCIA
EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAPÉIS TISSUE RECICLADOS***

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira

PATO BRANCO

2018

S237f Santos, Anderson Idacir dos.
Framework lean-green para promover a melhoria da eficiência em processo de produção de papéis *Tissue* reciclados / Anderson Idacir dos Santos. – 2018.
136 f : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Pato Branco, PR, 2018.
Bibliografia: f. 118 - 125.

1. Produção de enxuta. 2. Produtos novos. 3. Eficiência industrial. 4. Papel - Indústria. I. Oliveira, Gilson Adamczuk, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. III. Título.

CDD 22.ed. 670.42

Ficha Catalográfica elaborada por
Suélem Belmudes Cardoso CRB9/1630
Biblioteca da UTFPR Campus Pato Branco



TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº46

A Dissertação de Mestrado intitulada **“*Framework lean-green para promover a melhoria da eficiência em processo de produção de papéis tissue reciclados*”**, defendida em sessão pública pelo candidato **Anderson Idacir dos Santos**, no dia 06 de dezembro de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, área de concentração Gestão dos Sistemas Produtivos, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Gilson AdamczukOliveira - Presidente - UTFPR

Prof^aDr^a Simone Sehnem - UNOESC

Prof. Dr. Dalmarino Setti – UTFPR

Prof. Dr. José Donizetti de Lima - UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Pato Branco, 24 de janeiro de 2019.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa.

“A vitória está reservada para aqueles que estão dispostos a pagar o preço”.

(Sun Tzu – A arte da Guerra)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ser o motivo que provém minha fé, que permite transpor os obstáculos de minha jornada e não me deixar esmaecer nos momentos de dificuldade.

Gratidão eterna aos meus pais, Darci dos Santos e Zilza Lourdes dos Santos e meu irmão, Adoniran dos Santos, pelo incentivo diário, por sempre acreditarem em mim e torcerem pelo meu sucesso.

À minha noiva Analice Dors Dembinski, pelo exemplo de amor, fé, carinho e perseverança. Pelo apoio incondicional que tem me dado, independente de qualquer adversidade.

Ao meu orientador Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira, pela paciência e por acreditar em meu potencial, sempre cobrando, incentivando e tentando extrair o melhor possível da minha pesquisa.

À Prof. Dra. Simone Sehnem, por aceitar participar da banca examinadora como membro externo e contribuir para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos Prof. Drs. Dalmarino Setti e José Donizetti de Lima, pelo aceite ao convite de participação da banca examinadora, além de participação crucial no desenvolvimento da pesquisa.

À secretária do PPGEPS, Adriani Michelin, pelas orientações e cordialidade em todos os momentos em que busquei auxílio.

SANTOS, Anderson I.; **FRAMEWORK LEAN-GREEN PARA PROMOVER A MELHORIA DA EFICIÊNCIA EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE PAPÉIS TISSUE RECICLADOS**. 2018. 136 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi a realização de um estudo para aumentar a eficiência produtiva e energética de um processo de fabricação de papel *tissue* reciclado, em uma indústria de papéis do estado do Rio Grande do Sul, seguindo as premissas de práticas *Lean* e *Green Manufacturing*. Realizou-se uma revisão sistemática da literatura, cobrindo os últimos dez anos de pesquisa nas áreas relacionadas ao tema de interesse. Assim, propôs-se a realização de dois projetos, um utilizando a metodologia *DMAIC* (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*), com foco na melhoria de qualidade e eficiência produtiva e outro objetivando maximizar a eficiência dos recursos energéticos, culminando com a proposta de um *framework* para a realização do estudo, relacionando as esferas *Lean* e *Green*. Na etapa “Analisar” do *DMAIC* foi proposta a utilização da Metodologia Multi-Índice Ampliada (MMIA), com abordagens determinística e estocástica, como forma de avaliar Projetos de Investimento (PI), tanto para melhorar a eficiência de processo quanto energética, não sendo encontrados na revisão de literatura trabalhos com essa característica. Os resultados obtidos com a realização da presente pesquisa denotam a assertividade na escolha das técnicas. Os PI propostos foram realizados e, na fase “Melhorar” do *DMAIC*, o fluxo de caixa que era de R\$ 75,8 mil foi superado por um retorno de R\$ 96,3 mil no primeiro mês após a instalação do equipamento. Mesmo com as variabilidades aplicadas, o projeto apresentou um VPL de R\$ 381 mil com 95% de intervalo de confiança para recursos próprios. A contribuição para o meio ambiente pode ser destacada pela poupança de até 1.033 MWh/ano de energia elétrica, na planta produtiva. Os resultados obtidos respaldaram o *framework* criado e seguido como norteador da realização do trabalho, tornando ainda a pesquisa inédita devido à combinação das ferramentas *DMAIC*, MMIA e Análise Multicritério *Fuzzy-TOPSIS*. Ainda, outra contribuição da pesquisa é a possibilidade de replicação do modelo em diferentes organizações com problemas de ineficiências energética e de processo.

Palavras-chave: *Lean Manufacturing*, *Green Manufacturing*, Eficiência, Melhoria, Indústria de papel.

SANTOS, Anderson I.; **FRAMEWORK LEAN-GREEN TO PROMOTE THE IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF RECYCLED TISSUE PAPERS**. 2018. 136 p. Dissertation (Master's Degree in Production Engineering and Systems) – Federal Technology University of Paraná. Pato Branco.

ABSTRACT

This study aims to increase productivity and energy efficiency of a process of manufacturing recycled tissue paper in a paper plant in the state of Rio Grande do Sul, following the premises of Lean and Green Manufacturing practices. A systematic review of the literature was carried out, contemplating the last ten years of research in the areas related to the topic of interest. Thus, two projects are proposed, one using the DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) methodology, focusing on improving quality and productive efficiency, and another aiming to maximize the effectiveness of energy resources, culminating with the proposal for the elaboration of an indicator to relate the two spheres. In the "Analyze" stage of the DMAIC, it was proposed to use the Expanded Multi-Indexed Methodology (MMIA), with deterministic and stochastic approaches, as a way of evaluating investment projects both to improve process and energy efficiency, not being found in the review works with this characteristic. The results obtained with the accomplishment of the present research denote the assertiveness in the choice of the techniques. The proposed investment projects were carried out, and in the "Improve" phase of the DMAIC, the cash flow of R\$ 75.8 thousand was surpassed by a return of R\$ 96.3 thousand in the first month after the installation of the equipment. Even with the variabilities applied, the project had a VPL of R\$ 381 thousand with a 95% confidence interval for own resources. Also, we highlight the contribution to the environment by the saving of up to 1.033 MWh/year of electric energy in the production plant. The results obtained supported the framework created and followed as the guiding principle of the work, making the research unprecedented due to the combination of DMAIC, MMIA and Fuzzy-TOPSIS Multicriteria Analysis. Another contribution of the research is the possibility of replication of the model in different organizations with problems of energy and process inefficiencies.

Keywords: Lean Manufacturing, Green Manufacturing, Efficiency, Improvement, Paper Industry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura geral da dissertação	22
Figura 2 - Relação entre PDCA e <i>DMAIC</i>	27
Figura 3 - <i>Overlap</i> dos focos das metodologias <i>Lean</i> e <i>Green</i>	33
Figura 4 - Etapas do processo de fabricação de papel	38
Figura 5 – Procedimento ProKnow-C resumido para obtenção do portfólio bibliográfico	42
Figura 6 – Tratamento dos paradigmas <i>Lean</i> e <i>Green</i>	44
Figura 7 – <i>Framework</i> do trabalho	46
Figura 8 – Diagrama de <i>Ishikawa</i>	52
Figura 9 – Diagrama conceitual de processo de planejamento energético	60
Figura 10 – Transdutor de fluxo de ar comprimido.....	61
Figura 11 – Gráfico de refugo geral conversão 2017	64
Figura 12 – Análise de redução de custo	65
Figura 13 – Gráfico de <i>GRIP</i> aplicado na fase Definir.....	66
Figura 14 – Árvore de <i>CTQ</i> a partir do <i>VOC</i>	66
Figura 15 – <i>SIPOC</i> do projeto	67
Figura 16 – Eficiência <i>OEE</i> da MP Reciclado em 2017	68
Figura 17 – Tempo de paradas MP Reciclado em 2017	68
Figura 18 – Eficiência <i>OEE</i> da Máquina A em 2017	70
Figura 19 – Pareto de paradas da Máquina A em 2017	70
Figura 20 – Gráfico de refugo geral da Máquina A em 2017.....	71
Figura 21 – Eficiência <i>OEE</i> da Máquina B em 2017	71
Figura 22 – Gráfico de refugo geral da Máquina B em 2017.....	72
Figura 23 – Eficiência <i>OEE</i> da Máquina C em 2017	72
Figura 24 – Gráfico de refugo geral da Máquina C em 2017	73
Figura 25 – Diagrama de <i>Ishikawa</i>	74
Figura 26 – Processo <i>Fuzzy-TOPSIS</i> para definir prioridade em ações de melhorias	75
Figura 27 – Novo Hidrapulper	84
Figura 28 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Rec. Próprios (<i>DMAIC</i>)	88
Figura 29 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Financiamento (<i>DMAIC</i>).....	89
Figura 30 – Fardos de aparas de papel	90

Figura 31 – Gráfico de <i>GRIP</i> aplicado na fase Controlar	95
Figura 32 – Gráfico de refugo geral conversão 2018	95
Figura 33 – Eficiência <i>OEE</i> da Máquina A em 2018	96
Figura 34 – Gráfico de refugo geral da Máquina A em 2018.....	97
Figura 35 – Pareto de paradas da Máquina A em 2018.....	97
Figura 36 – Eficiência <i>OEE</i> da Máquina B em 2018	98
Figura 37 – Gráfico de refugo da Máquina B em 2018.....	98
Figura 38 – Eficiência <i>OEE</i> da Máquina C em 2018	99
Figura 39 – Gráfico de refugo da Máquina C em 2018	99
Figura 40 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Rec. Próprios (Iluminação e motores).....	110
Figura 41 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Financiamento (Iluminação e motores).....	110
Figura 42 – Gráfico de taxa de consumo energético (KWh/kg).....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Termos linguísticos de avaliação dos critérios	77
Tabela 2 – Faixas de valores para correlação dos termos linguísticos	78
Tabela 3 – Termos linguísticos de avaliação das alternativas	78
Tabela 4 – Avaliação dos critérios por parte dos decisores	79
Tabela 5 – Avaliação das alternativas em relação a cada critério	79
Tabela 6 – Resultados obtidos acerca da Formulação A	80
Tabela 7 – Resultados obtidos acerca da Formulação B	81
Tabela 8 – Fluxo de caixa do projeto de investimento DMAIC	85
Tabela 9 – Indicadores de análise determinística projeto DMAIC	86
Tabela 10 – Economia com separação de aparas	91
Tabela 11 – Comparativo de resultados antes e depois do <i>DMAIC</i>	100
Tabela 12 – Iluminação antes da realização do projeto	102
Tabela 13 – Custos de vazamentos de ar comprimido	103
Tabela 14 – Orçamento de iluminação e novos motores	105
Tabela 15 – Fluxo de caixa recursos próprios - projeto Iluminação e Motores.....	106
Tabela 16 – Indicadores de análise determinística projeto iluminação e motores...	108
Tabela 17 – Orçamento substituição de componentes defeituosos	111
Tabela 18 – Custos de ar comprimido após a realização de ações	112
Tabela 19 – Projeção de redução de consumo energético anual por segmento.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Ferramentas por fase do ciclo DMAIC	29
Quadro 2 – Ferramentas utilizadas na execução da pesquisa.....	49
Quadro 3 – Definições dos índices conforme dimensões de retorno e risco.....	58

LISTA DE SIGLAS

DMAIC	- <i>Define-Measure-Analyze-Improve-Control</i>
ETE	- Estação de Tratamento de Efluentes
KPI	- <i>Key Performance Indicator</i>
MMIA	- Metodologia Multi-índice
MMIA	- Metodologia Multi-índice Ampliada
MA	- Máquina A
MB	- Máquina B
MC	- Máquina C
MD	- Máquina D
ME	- Máquina E
MP	- Máquina de Papel
OEE	- <i>Overall Equipment Efficiency</i>
PDCA	- <i>Plan-Do-Check-Act</i>
Proknow-C	- <i>Knowledge Development Process-Constructivist</i>
SIPOC	- <i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers</i>
SMC	- Simulação de Monte Carlo
VOC	- <i>Voice Of the Customer</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO.....	16
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	18
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	18
1.3.1 Objetivo Geral.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	23
2 REFERENCIAL TEÓRICO	25
2.1 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	25
2.2.1 Ciclo <i>PDCA</i> e <i>DMAIC</i>	27
2.3 SUSTENTABILIDADE E <i>GREEN MANUFACTURING</i>	29
2.4 SINERGIA ENTRE PRÁTICAS <i>LEAN</i> E <i>GREEN</i>	31
2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES.....	34
2.6 FABRICAÇÃO DE PAPEL	36
2.6.1 Fabricação de papel de fibra virgem.....	36
2.6.2 Fabricação de papel reciclado	38
2.6.3 Papel <i>tissue</i> no Brasil	39
3 METODOLOGIA	40
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	40
3.2 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL-TEÓRICA.....	41
3.3 <i>FRAMEWORK</i> PROPOSTO PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA	44
3.3.1 Seleção da unidade de análise	47
3.3.2 Escolha dos meios de coleta e análise de dados	47
3.4 FERRAMENTAS PARA EXECUÇÃO DO TRABALHO	49
3.4.1 Definir	49
3.4.2 Medir.....	51
3.4.3 Analisar.....	51
3.4.4 Melhorar.....	57
3.4.5 Controlar	59
3.5 MAPEAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E AÇÕES DE MELHORIA.....	60

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
4.1 ETAPA DEFINIR.....	63
4.2 ETAPA MEDIR.....	67
4.3 ETAPA ANALISAR	73
4.3.1 Aplicação do <i>Fuzzy-TOPSIS</i>	75
4.4 ETAPA MELHORAR.....	82
4.4.1 Variação de gramatura e emendas.....	82
4.4.2 Falta de dispositivo de controle operacional	89
4.4.3 Aparas com muito plástico	90
4.4.4 Pouca consistência de massa.....	91
4.4.5 Removedor de plástico ineficiente	92
4.4.6 Circuito de processo não é seguido.....	92
4.4.7 Manípulos da caixa de entrada desregulados	93
4.4.8 Oscilação no sistema de vácuo	93
4.4.9 Variação no crepe.....	94
4.5 ETAPA CONTROLAR.....	94
4.6 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	101
4.6.1 Aplicação da MMIA para iluminação e motores.....	104
4.7 ANÁLISE DA RELAÇÃO <i>DMAIC</i> E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	113
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
REFERÊNCIAS	118

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresentam-se os seguintes tópicos: (i) contextualização do tema de pesquisa; (ii) problema de pesquisa; (iii) objetivo geral e objetivos específicos; (iv) justificativa da pesquisa; (v) aspectos metodológicos; e (vi) delimitação da pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A indústria de papel e celulose passou por diferentes períodos de oscilação desde o início do século XIX, contemplando crescimento, maturação e queda em diferentes segmentos, tecnologias e utilização de matérias-primas, com seu desenvolvimento tendo sido relativamente incremental e previsível. Ainda que inovações de fundamental importância, como o início da produção mecânica de papel ou a introdução da fibra da madeira na qualidade de matéria-prima tenham criado oportunidades revolucionárias de negócios, décadas se passaram até que essas inovações fossem totalmente implementadas. Assim, os primeiros países a passarem pela industrialização, como a Grã-Bretanha, a França e a Alemanha, dominaram essa atividade econômica logo no início da produção mecanizada (OJALA *et al.*, 2013).

Os países produtores de papel podem ser divididos em pioneiros e tardios. Os países pioneiros incluem Alemanha, Finlândia, Noruega, Suécia, França e a Grã-Bretanha. A Rússia, a África do Sul, os EUA e o Canadá também podem ser incluídos neste grupo pioneiro com indústria de papel emergente em estágios iniciais de alta turbulência antes da Primeira Guerra Mundial. Os tardios contemplam países que passaram pela fase de pico populacional após a primeira guerra mundial, tais como Itália, Países Baixos, Japão, China, Brasil, Portugal e Espanha. Sendo os últimos três, países que atingiram a fase de maturidade somente após a década de 1970 (OJALA; VOUTILAINEN; LAMBERG, 2012). A indústria de produção de papel esteve entre os negócios fundamentais para o desenvolvimento econômico e social durante o período de industrialização. A produção mundial de papel cresceu de cerca de 50 milhões de toneladas em 1950 para 398 milhões em 2013. Até 2030, esse volume deverá se aproximar de 482 milhões de toneladas (FARINHA E SILVA; MENDES BUENO; NEVES, 2016; PESENDORFER, 2003).

O ciclo de evolução da indústria, em diferentes países, também é determinado pelo desenvolvimento institucional, o qual inclui políticas governamentais e regulamentação ambiental. Nos países em que a indústria de papel e celulose era uma linha de negócio dominante, dado seu elevado poder de barganha, atribuía-se importância à criação de um ambiente regulamentar favorável aos interesses das empresas. Isso, porque um ambiente desfavorável poderia constituir um obstáculo para o desenvolvimento da indústria (TURUNEN; HEINONEN; BANECKI, 2011).

A legislação ambiental ganhou força nas últimas décadas do segundo milênio, afetando as oportunidades de exploração descontrolada de recursos naturais e favorecendo o início da ideia de sustentabilidade ambiental. Segundo Lima-Toivanen (2012), em países de indústria de papel e celulose emergente, particularmente na América do Sul, se tem prestado uma atenção crescente à regulamentação ambiental, o que se torna um diferencial, entre outros aspectos.

No início do novo milênio, o domínio do mercado de papel se deslocou lentamente para a China e América do Sul, regiões com o mais alto potencial de mercado em termos de volume populacional e celeridade no crescimento econômico. Da mesma forma, semelhanças entre regiões que perdem a sua vantagem competitiva se caracterizam por saturação da demanda, debilitando em função disso os incentivos para investir em capacidade de produção. Além disso, a América do Sul apresenta ambientes em que a principal vantagem competitiva é a disponibilidade de florestas adequadas para plantio, colheita e uso da matéria-prima na produção industrial de papel e celulose (OJALA *et al.*, 2013).

Devido a maior área territorial da América Latina e geografia favorável, o Brasil apresentava as condições ideais para desenvolvimento da indústria de papel e celulose após a metade do século XX. O crescimento da indústria ocorreu simultaneamente com o estabelecimento de instituições tecnológicas e de ensino, frequentemente com a participação de empresas papeleiras nos conselhos dessas instituições, adotando a tecnologia como o elemento propulsor para o crescimento, além da adoção do eucalipto como matéria-prima, o qual foi crucial para esse desenvolvimento (LIMA-TOIVANEN, 2013).

Atualmente, o Brasil ocupa o quarto lugar na produção mundial de celulose, enquanto que, no que tange à representatividade na produção de papel, o país ocupa a sétima colocação global (FAO, 2017). Por tipo de celulose, o Brasil é o maior

produtor e exportador mundial de fibra curta (fibra de celulose proveniente do eucalipto, a fibra longa é proveniente da árvore de tipo *pinus*) com 85% de sua produção dedicada a este tipo de fibra, visto que o clima do país favorece seu plantio. Os outros 15% da produção brasileira de celulose são provenientes do *pinus*, que por características climáticas, tem maior produção concentrada em países nórdicos. A fibra curta tem maior capacidade absorvente, destina-se aos produtos menos rígidos, como papéis de imprimir, escrever e *tissue*, este último utilizado para fins sanitários (papel higiênico, toalhas de papel e guardanapos) (IBÁ, 2017).

A participação do segmento de celulose e papel nas exportações brasileiras foi de 3,9% em 2017, ante 4,2% em 2016. A receita bruta dessa indústria totalizou R\$ 69 bilhões em 2015, representando 6% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional à época (FRANÇA, 2018). Desta forma, com a indústria de papel e celulose tendo expressiva importância na matriz econômica brasileira, é necessária a devida atenção às questões referentes à eficiência dos recursos, principalmente os naturais, provedores da sustentabilidade. Por exemplo, conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), a indústria da fabricação de papel e celulose é um dos segmentos que mais demanda energia elétrica, sendo o segundo maior consumidor deste recurso no meio industrial, tanto na esfera nacional quanto mundial.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

De que forma é possível promover a melhoria da eficiência no processo de produção de papéis *tissue* reciclados, via integração de premissas *Lean* e *Green Manufacturing*?

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Nessa subseção, apresentam-se o objetivo geral e os objetivos específicos que serão trabalhados no decorrer da pesquisa.

1.3.1 Objetivo Geral

Apresentar um modelo para promover a melhoria da eficiência no processo de fabricação de papéis *tissue* reciclados, via integração de premissas *Lean* e *Green Manufacturing*.

1.3.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja alcançado, o trabalho será desenvolvido em algumas etapas:

1. Descrever as etapas e procedimentos adotados no processo de produção de papéis *tissue* reciclados, mensurando os custos da ineficiência dos processos;
2. Identificar oportunidades de melhoria da eficiência no processo de produção de papéis *tissue* reciclados a partir das premissas *Lean* e *Green Manufacturing*;
3. Avaliar as contribuições das práticas *Lean* e *Green* para a melhoria da eficiência do processo de produção de papéis *tissue* reciclados e otimização produtiva via metodologia *DMAIC* (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*);
4. Mapear ferramentas e procedimentos que sejam úteis à melhoria da eficiência do processo de produção de papéis *tissue* reciclados, sinalizando o impacto econômico gerado para a cadeia produtiva;
5. Validar as melhorias da eficiência dos processos de produção de papéis *tissue* reciclados e otimização produtiva via *DMAIC*, em uma organização focal, avaliando o desempenho ambiental e econômico do projeto.

1.4 JUSTIFICATIVA

A indústria da fabricação de papel e celulose é um dos segmentos que mais demanda energia elétrica a nível mundial. Além do alto custo, existem também impactantes efeitos ambientais, resultados pelo consumo de energia (YILDIRIM; MOUZON, 2012). Para se produzir 1 kWh de eletricidade no Brasil, aproximadamente em média 0,9 kg de dióxido de carbono (CO₂) é liberado na atmosfera, contribuindo assim para o aquecimento global (MCTI, 2018). Tal fato denota a importância da atenção que deve ser destinada às ações que prevejam um melhor gerenciamento dos recursos, buscando cada vez mais por ações de mitigação de perdas e que

permitam além da colaboração na consciência ambiental, a otimização dos custos industriais no que tange à demanda energética e refugos gerados.

A pesquisa justifica-se pela relevância no contexto industrial, apresentando contribuições teóricas e práticas. A contribuição acadêmica está relacionada ao estudo das práticas *Lean e Green Manufacturing* no contexto da produção de papel, dando embasamento necessário e provendo o surgimento de alternativas à realização do projeto de otimização de eficiência energética, de qualidade e do processo de fabricação de papel. A associação dos paradigmas *Lean e Green*, bem como suas limitações e pontos fortes, são tratadas com maiores detalhes no Capítulo 2.

Em um estudo de caso único pode existir uma limitação no grau de generalização (validação externa), uma vez que existe o risco de um julgamento inadequado em função de ser um evento único (SOUZA, 2005). Pensando nisso, a contribuição prática da pesquisa se destaca pela realização do trabalho em uma planta de fabricação e conversão de papéis *tissue*, o que, visto a similaridade dos processos industriais de fabricação de papel, pode ser replicada, com devidos ajustes, em qualquer indústria do ramo que apresente problemas parecidos.

A presente pesquisa se mostra original no campo da Engenharia de Produção para a indústria de papel, no que diz respeito ao tratamento das ineficiências dos sistemas produtivos, perdas e utilização de energia. De Mast Lokkerbol (2012), fizeram uma ampla revisão de literatura a respeito da utilização do *DMAIC* como método de constatação, análise e resolução de problemas, avaliando seus pontos fortes e fracos em diferentes casos de aplicação em Gestão de Operações e Engenharia Industrial, contemplando diferentes tipos de indústrias.

A fim de enriquecer este método e beneficiar a tomada de decisões quanto ao tratamento de problemas, na execução desta pesquisa são propostas as utilizações das ferramentas Análise Multicritério *Fuzzy-TOPSIS*, na fase *Analyze* do *DMAIC* e Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA) para análise estocástica via Simulação de Monte Carlo (SMC), conforme Lima *et al.* (2017), de projeto de investimento na fase *Improve*. Via revisão de literatura, a qual apresentou muitas aplicações de *PDCA* (*Plan-Do-Check-Act*) e *DMAIC* em trabalhos relacionados aos paradigmas *Lean e Green*, com a utilização de palavras-chave relacionadas, obteve-se um banco bruto de 4.877 artigos, o qual após aplicados filtros chegou-se a um portfólio de 82 artigos,

conforme pode ser verificado no item 3.2 da presente pesquisa. Nesse portfólio final, não se observou a utilização da MMIA associada ao *DMAIC*.

Gentili, Aggogeri e Mazzola (2006) aplicaram o procedimento *DMAIC* para um fluxo de processo de fabricação mecânica de facas. Sahay, Ghosh e Bheemarthi (2011) trouxeram a abordagem *DMAIC* em uso para analisar as linhas de fabricação de uma indústria de alavancas de freios em Connecticut, nos EUA. O *DMAIC* foi combinado a algumas técnicas de produção *Lean* para realizar melhorias de processos em desenho e extrusão de latão (AGGOGERI; MAZZOLA, 2008). Além disso, a aplicação do *DMAIC* é vista em vários trabalhos como: redução de defeitos no processo de fabricação de luvas de borracha (JIRASUKPRASERT *et al.*, 2014), melhoria da qualidade da produção do chão de fábrica, substituindo aparelhos de tratamento térmico (KUMAR; SOSNOSKI, 2009), redução de custos por má qualidade na produção de encaixes de ventiladores de refrigeração (PRASHAR, 2014a) e melhoria da qualidade da fundição (GHOSH; MAITI, 2014). Ainda, o método experimental de *Taguchi* é combinado com *DMAIC* para melhorar o processo de fundição de areia verde e reduzir as variações de processo (KUMAR; SATSANGI; PRAJAPATI, 2013).

A viabilidade da presente pesquisa ocorre a medida que a empresa estudada contribui para o seu desenvolvimento, possibilitando a coleta de dados, disponibilizando informações econômico-financeiras e contribuindo com a realização do projeto, a fim de otimizar seus processos, promover a sustentabilidade e possibilitar a replicação dessa abordagem em outras indústrias com problemas similares.

1.5 ESTRUTURA GERAL DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em seis capítulos. O Capítulo 1, apresenta a introdução da pesquisa e seus elementos pré-textuais. Por sua vez, o Capítulo 2 apresenta uma revisão sobre os principais tópicos da pesquisa (*lean*, *green*, eficiência energética, indústria de papel e processo de fabricação). No Capítulo 3 é apresentada a metodologia geral da pesquisa. O Capítulo 4 contempla o estudo de caso e os resultados obtidos frente à literatura. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões da pesquisa e propostas para trabalhos futuros. A Figura 1 apresenta a estrutura geral da dissertação.

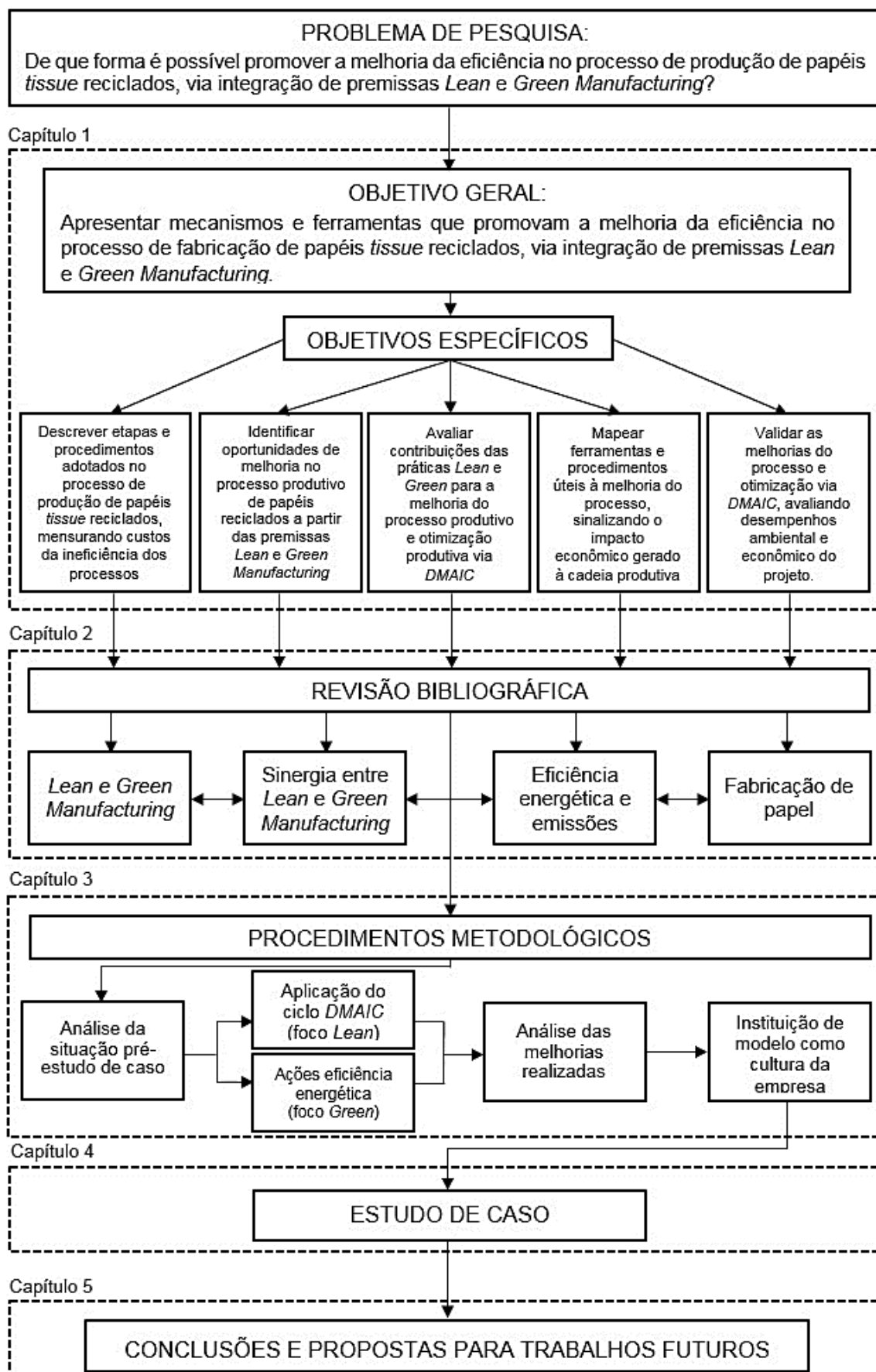


Figura 1 - Estrutura geral da dissertação

Fonte: Elaborado pelo autor

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Conforme Cauchick (2012), a utilização de variáveis que são mensuradas no decorrer da pesquisa implica em sua definição como quantitativa, visto que serão observados e coletados dados para análise, utilização via aplicação de método e obtenção de resultados. Como o trabalho é realizado dentro de uma determinada organização, define-se também a pesquisa como estudo de caso, o que lhe engloba também no viés qualitativo, visto que obtém-se informações sobre a percepção dos indivíduos, além de interpretação do ambiente em que a problemática se desenvolve.

O método de estudo de caso é relevante quando as questões exigem ampla e profunda descrição de alguns fenômenos. E quanto mais as questões de investigação tentarem explicar como e por que os fenômenos funcionam, mais o método de estudo de caso será relevante. Portanto, a justificativa para a adoção do estudo de caso surge da necessidade de compreender fenômenos complexos (YIN, 2010). Além disso, o estudo de caso adota como premissa a realização de entrevistas em profundidade e, preferencialmente, a existência de múltiplos dados. Além disso, a pesquisa qualitativa considera o fato de que existe interdependência mútua entre as etapas separadas do processo de pesquisa, nas quais a prioridade é dada aos dados e ao campo de estudo com base nas suposições teóricas (FLICK, 2009).

Para realização do presente trabalho, primeiramente é feita a delimitação inicial da pesquisa, a qual parte da definição da realização do trabalho como estudo de caso. Isso ocorre visto que o trabalho foi desenvolvido dentro de uma indústria de papéis, na região norte do estado do Rio Grande do Sul, apresentando diversos problemas de perdas processuais e variabilidades na fabricação de papel higiênico reciclado.

A segunda delimitação parte da necessidade de tratar as perdas do processo com a utilização de ferramentas das práticas *Lean*. Mesmo a empresa não tendo este sistema implantado, possui amplo mapeamento do processo, com dados processuais variados como eficiência, percentuais de perdas, custos de fabricação, entre outros.

A terceira delimitação é precedida pela importância da eficiência na utilização de recursos naturais, visto que o processo de fabricação de papel trabalha com ampla utilização de energia elétrica e produtos químicos. Assim, o termo *Green* surge como

um dos pilares da pesquisa, já que o excesso de perdas, ineficiência e variabilidade no caso em questão, pode prover impacto relevante ao meio ambiente.

A quarta delimitação leva ao estudo bibliográfico com palavras-chave relacionadas diretamente ao tema definido, em diferentes bases de pesquisa, utilizando-se como guia a metodologia ProKnow-C, *Knowledge Development Process Constructivist* (ENSSLIN *et al.*, 2010). No Capítulo 2, que diz respeito ao referencial teórico, bem como algumas informações da seção de metodologia, foram construídos a partir da pesquisa via metodologia ProKnow-C.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentada a base conceitual que dá suporte ao entendimento do trabalho, discorrendo sobre os assuntos relativos ao contexto da pesquisa.

2.1 LEAN MANUFACTURING

A fabricação do século XXI é caracterizada pela produção de customizados, devido ao crescimento exponencial do nível de exigência do consumidor no decorrer dos anos. Isso levou a complexos sistemas de planejamento e controle de produção, tornando desafiadora a produção em massa de bens de consumo. Muitas organizações lutam pela conquista de novos mercados competitivos, buscando ferramentas e métodos para continuar emergindo no cenário de mercados em contínuas mudanças. Embora algumas organizações continuem crescendo com base na constância econômica, outras lutam por causa da falta de compreensão das mudanças na mentalidade do cliente e nas práticas de custo. Para superar esta situação e tornarem-se mais rentáveis, muitos fabricantes se voltaram para as práticas *Lean Manufacturing* (LM) (BHAMU; SANGWAN, 2014).

O conceito *Lean* originou-se no Japão após a segunda guerra mundial, quando os fabricantes japoneses perceberam que não podiam pagar os investimentos elevados necessários para reconstruir instalações devastadas. A Toyota produziu automóveis com menor inventário, esforço humano, investimento e defeitos e introduziu uma maior e sempre crescente variedade de produtos. Em suma, o objetivo do LM é ser altamente responsivo à demanda dos clientes, reduzindo os desperdícios, custos e mantendo a qualidade, permitindo às empresas melhorar seus resultados e competitividade. Vários autores documentaram os benefícios quantitativos da implementação das práticas LM, como a melhoria nos prazos de produção, tempo de processamento, tempo de ciclo, tempo de instalação, inventário, defeitos e refugo, bem como a eficiência geral dos equipamentos (BHAMU; SANGWAN, 2014; MARTÍNEZ-JURADO; MOYANO-FUENTES, 2014).

A fabricação em ambiente *Lean* é considerada por um relevante número de autores como um sistema sócio técnico integrado, o qual compreende um pacote de

práticas de gerenciamento que podem ser aplicadas para eliminar o desperdício e reduzir a variabilidade de fornecedores, clientes, recursos e processos internos (ANVARI et al., 2011; SHAH; CHANDRASEKARAN; LINDERMAN, 2008). O conceito *Lean* tem sido amplamente aceito nas indústrias de serviço e fabricação, com numerosa literatura revisando seus benefícios e aplicações (MOSTAFA; DUMRAK; SOLTAN, 2013). O primeiro autor a cunhar o termo *Lean* foi Krafcik (1988). Posteriormente, Womack, Jones e Roos (1990) usaram o termo produção *Lean* para descrever o Sistema Toyota de Produção (STP).

Dües, Tan e Lim (2013) realizaram uma ampla revisão de literatura com o objetivo de obter uma visão geral mais detalhada sobre a exploração da sinergia entre as práticas *Lean* e *Green Manufacturing*, considerando que muitas vezes uma acaba atuando como um catalisador para a implantação das práticas e sucesso de outra. Devido ao compromisso com a produção *Lean*, a maioria das empresas tem a tendência natural de se engajar em práticas *Green*, ou vice e versa, dependendo da prioridade. De modo geral, a maioria dos trabalhos que abordam a conexão de *Lean* e *Green*, trata sobre o uso eficiente de energia (e recursos), bem como a redução de resíduos e poluição (CARVALHO; AZEVEDO; CRUZ-MACHADO, 2010; LINTON; KLASSEN; JAYARAMAN, 2007; MOLLENKOPF et al., 2010; TSENG; DIVINAGRACIA; DIVINAGRACIA, 2009; YANG; HONG; MODI, 2011).

A utilização de práticas *Lean*, mesmo que por muitas vezes com o sistema não totalmente implantado dentro de uma organização, acaba levando à utilização de ferramentas que permitam a identificação, análise e proposição de soluções de problemas, na busca pela melhoria contínua. As organizações se valem de diferentes metodologias e abordagens para implementar um gerenciamento de qualidade e programas para melhoria contínua de processos e produtos. O programa provavelmente terá um nome ou rótulo diferente, como TQM (*Total Quality Management*), Six Sigma, BPR (*Business Process Reengineering*), entre outros (SOKOVIC; PAVLETIC; PIPAN, 2010). A seguir apresenta-se algumas das ferramentas mais utilizadas para a realização de trabalhos de melhoria contínua de produtos e processos, inseridas no contexto do ciclo de melhoria *DMAIC*.

2.2.1 Ciclo PDCA e DMAIC

O ciclo *DMAIC*, como outras metodologias, pode ser considerado como uma expansão do ciclo de melhoria de Deming, ou seja, o *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) e que se divide em cinco etapas, sendo (i) Definir (*Define*); (ii) Medir (*Measure*); (iii) Analisar (*Analyze*); (iv) Melhorar (*Improve*) e; (v) Controlar (*Control*) (SRINIVASAN *et al.*, 2014). A Figura 2 representa a relação entre os ciclos PDCA e *DMAIC*.

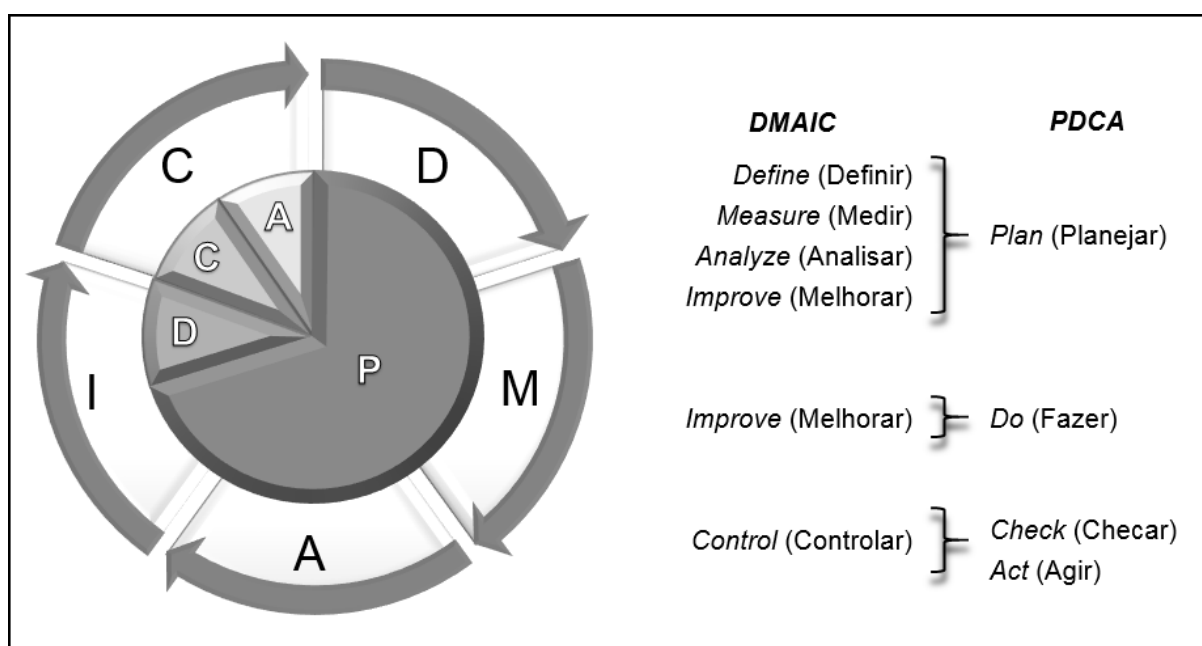


Figura 2 - Relação entre PDCA e *DMAIC*

Fonte: Adaptado de Werkema (2004)

O *DMAIC* pode ser denominado como sendo um processo de *loop* fechado, que permite identificar e eliminar as etapas produtivas e os parâmetros que afetam a eficiência de um determinado processo, priorizando frequentemente novas medições e aplicando tecnologia para a melhoria contínua (KWAK; ANBARI, 2006; SRINIVASAN *et al.*, 2014). A seguir detalham-se as fases do *DMAIC*.

A fase “Definir” corresponde à detecção do principal problema, quando são estabelecidos os objetivos iniciais, tendo como base dados históricos da empresa aliados à perspectiva do cliente, identificando por fim os processos essenciais associados e a estrutura da equipe que trabalhará na resolução do problema apresentado (TENERA; PINTO, 2014). Conforme Ismail *et al.* (2014), a etapa de definição consiste na identificação das metas e dos objetivos do projeto, bem como o estabelecimento das responsabilidades e tarefas da equipe, incluindo o cliente, além

da definição dos limites do projeto, incluindo os produtos e processos a serem analisados.

Durante a fase “Medir” deve acontecer o refinamento e a focalização do problema, a necessidade passa por medir a variabilidade do sistema que pode criar desperdício, desenvolvendo o levantamento dos dados históricos e análise do sistema de medição das variáveis de saída (BUNCE; WANG; BIDANDA, 2008; MATOS, 2003; WERKEMA, 2013). Para Cheng e Chang (2012), o objetivo desta etapa consiste em compreender e documentar o estado atual dos processos que necessitam melhorias. A avaliação do panorama antecessor surge da obtenção de dados com o intuito de validar e quantificar o problema em si (ISMAIL *et al.*, 2014).

Em “Analisar” é realizada a identificação das variáveis que afetam o processo, sendo necessário encontrar as causas do problema para que se aprofunde nos detalhes, identificando a(s) atividade(s) críticas do mesmo (LIN *et al.*, 2013). Barjaktarovic e Jecmenica (2011) definem que a etapa Analisar consiste na identificação, validação e quantificação do problema em que algumas categorias de causas-raiz de problemas passam por métodos, materiais, equipamentos, medidas entre outros.

As causas-raiz da fase de análise devem ser tratadas em “Melhorar” e, portanto, essa fase é engajada na identificação de potenciais soluções e também como as priorizar por meio do uso de diferentes ferramentas (TENERA; PINTO, 2014). Ainda, inclui a identificação e teste das soluções propostas, contrapondo os custos e possíveis benefícios da implementação de cada uma das soluções, de modo a estabelecer assim a melhor opção (BARJAKTAROVIC; JECMENICA, 2011).

A última fase (“Controlar”) compreende a implementação de uma abordagem e ferramentas de controle, a fim de se obter resultados sistemáticos de melhoria, de modo contínuo (TENERA; PINTO, 2014). Nesta etapa, é confirmada a implantação da melhoria, a resolução do problema, a validação dos benefícios alcançados, as alterações necessárias aos procedimentos e instruções de trabalho, a implementação de ferramentas de controle e, por fim, a auditoria do processo e o monitoramento do desempenho, de modo a disseminar as técnicas e conquistas, garantindo maior apoio à gestão em implementações futuras (MATOS, 2003).

A caixa de ferramentas do ciclo *DMAIC* dispõe de diferentes alternativas para aplicação de seu sistema, ficando a cargo dos envolvidos nos projetos, utilizar aquelas

que mais convém ao problema que se apresenta e que possam colaborar com a organização, levando em consideração suas limitações. Incluir as etapas do ciclo *DMAIC* em um determinado projeto, é o mesmo que colaborar para que os gestores de projeto se tornem não só mais eficazes, mas para que também alcancem resultados inovadores (REVER, 2010). O Quadro 1 apresenta algumas ferramentas utilizadas por fase do ciclo *DMAIC*, bem como autores que as utilizam.

DEFINIR (DEFINE)	MEDIR (MEASURE)	ANALISAR (ANALYZE)	MELHORAR (IMPROVE)	CONTROLAR (CONTROL)
<i>Project Charter</i> ¹	Avaliação de sistemas de medição ¹	Fluxograma ¹	<i>Brainstorming</i> ¹	SIPOC ¹
Escopo ¹	Plano de recolhimento de dados ¹	Mapa do processo ¹	Diagrama de <i>Ishikawa</i> ¹	Índices de capacidade ¹
Análise Econômica ²	Fluxograma do processo ¹	Mapa do produto ¹	<i>5W2H</i> ¹	<i>KPI</i> ¹
Análise GRIP ¹	Redefinição de metas e ganhos ¹	Análise de prioridades ³	Matriz de prioridades ¹	<i>Poka-Yoke</i> ¹
Voz do Cliente (VOC) ¹	<i>Brainstorming</i> ¹	5 Porquês ¹	Análise de Stakeholders ¹	Folha de verificação ¹
<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers</i> (SIPOC) ¹	Diagrama de <i>Ishikawa</i> ¹	Estratificação ¹	Análise de Projeto de Investimento ²	Procedimento Operacional Padrão (POP) ¹
	Amostragem; ¹	<i>Brainstorming</i> ¹	Diagrama de Gantt ¹	Reuniões ¹
	<i>KPI</i> ¹	Diagrama de <i>Ishikawa</i> ¹	Procedimento Operacional Padrão (POP) ¹	

(AGGOGERI; MAZZOLA, 2008¹; BOUYSSOU et al., 2000¹; CHEN, 2008¹; LIMA et al., 2017²; DE MAST; LOKKERBOL, 2012¹; GENTILI; AGGOGERI; MAZZOLA, 2006¹; GHOSH; MAITI, 2014¹; GOMES; GOMES, 2012³; HARRY, M., SCHROEDER, 2006¹; HELTON; DAVIS, 2003²; ISMAIL et al., 2014¹; JIRASUKPRASERT et al., 2014¹; KUMAR; SATSANGI; PRAJAPATI, 2013¹; KUMAR; SOSNOSKI, 2009¹; KWAK; ANBARI, 2006¹; PALADINI, 2008¹; PEREIRA; REQUEIJO, 2012¹; PRASHAR, 2014b¹; REYES, 2000¹; SAHAY; GHOSH; BHEEMARTHI, 2011¹; SOUZA; HARZER; DUCLÓS, 2013²; TAGHIZADEGAN, 2006¹; TCHEMRA, 2009³; TENERA; PINTO, 2014¹; WERKEMA, 2004, 2012¹).

Quadro 1 - Ferramentas por fase do ciclo DMAIC

Fonte: Elaborado pelo autor

2.3 SUSTENTABILIDADE E *GREEN MANUFACTURING*

Com a taxa atual de uso, levando em consideração os aumentos da população e o maior consumo de energia pelos países em desenvolvimento, os recursos de

petróleo, gás natural e urânio serão esgotados em algumas décadas (OMER, 2008). O progresso tecnológico vem promovendo mudanças a nível mundial de várias maneiras. Contudo, também levou ao desenvolvimento de graves problemas ambientais. O acúmulo de dióxido de carbono e outros Gases do Efeito Estufa (GEEs) está levando ao aquecimento global com consequências imprevisíveis e potencialmente catastróficas ao planeta. Os processos críticos do sistema climático, que se alteram em decorrência do aquecimento, incluem a transferência de calor por ventos e marés, o ciclo hidrológico envolvendo evaporação, precipitação, e escoamento de águas subterrâneas, bem como a formação de nuvens, neve e gelo, que apresentam uma elevada variabilidade natural (OMER, 2008).

Desta forma, se as oportunidades para reduzir futuras emissões forem tomadas em tempo hábil, os danos devem ser menos onerosos. Uma abordagem tão flexível permitiria à sociedade e indústrias, ter em conta a evolução do conhecimento científico e tecnológico, adquirindo experiência na concepção de políticas de sustentabilidade, a fim de enfrentar as alterações climáticas e ambientais que vem ocorrendo ao longo dos últimos períodos (IPCC, 2001; OMER, 2008).

Sustentabilidade compreende o atendimento das necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades (BRUNDTLAND, 1987). Com esta definição, todas as abordagens ecológicas, metodologias e pesquisas para preservar as condições e recursos ambientais por meio da redução de resíduos, prevenção ou reciclagem podem ser categorizadas sob a ótica da sustentabilidade (DEIF, 2011).

Recentemente, no que toca à sustentabilidade de processos de fabricação o termo *Green Manufacturing*, também conhecido como fabricação ambientalmente adequada, tem adquirido elevada notoriedade. Ele dá uma consideração abrangente das influências ambientais e eficiência dos recursos, provendo a esperança que o impacto na utilização dos recursos naturais seja minimizado o máximo possível. Desta forma, por meio destes esforços, as empresas podem se beneficiar economicamente e socialmente se destinarem devida atenção ao tema (LI et al., 2016). A implementação de estratégias ambientais é uma necessidade para as organizações. É no processo produtivo e execução de atividades de prestação de serviços que são gerados os resíduos e emissões atmosféricas, corroborando para que as maiores

oportunidades de melhoria sejam identificadas nestes cenários (SEHNEM; OLIVEIRA, 2017).

O *Green Manufacturing* é também uma abordagem sustentável para as atividades de engenharia envolvidas no desenvolvimento de produtos e/ou operação do sistema para minimizar o impacto ambiental. Em geral, trata de manter os objetivos ambientais, econômicos e sociais da sustentabilidade, no domínio da fabricação. Reduzir consumo de energia, consumo de material e emissões de gases poluentes são os três principais exemplos de atividades sustentáveis de *Green Manufacturing*. O tempo, a energia e os consumíveis são dispêndios de recursos financeiros das organizações. Fazer o mesmo produto usando menos recursos e/ou energia é uma boa estratégia para maximizar lucros, via redução de custos. Em outras palavras, ser eficiente por meio da prevenção de resíduos é eficiência eco e monetária (DEIF, 2011; PAMPANELLI; FOUND; BERNARDES, 2014).

2.4 SINERGIA ENTRE PRÁTICAS *LEAN* E *GREEN*

Em uma sinergia, todos os parceiros têm que se influenciar de forma positiva, aumentando os benefícios do relacionamento. Uma sinergia é muitas vezes descrita simbolicamente com a soma $1 + 1 = 3$, o que significa que as práticas combinadas geram resultados maiores do que a soma dos desempenhos separados. Assim, em uma sinergia de práticas *Lean* e *Green Manufacturing*, *Lean* tem que estar avançando e aprimorando as práticas *Green*, enquanto ao mesmo tempo *Green* tem que ser sinérgico para *Lean* (CARVALHO; DUARTE; MACHADO, 2011; DÜES; TAN; LIM, 2013).

A principal sinergia entre *Lean* e *Green* pode ser encontrada no objetivo de eliminação de resíduos de ambas as práticas, mostrando que o conceito de eficiência pode estar envolvido em ambas as visões. Embora o desperdício seja definido de maneira diferente por cada vertente, em geral, ambos visam a eliminação de resíduos excessivos em sua forma mais ampla. *Lean* considera as sete perdas de fabricação, ou seja, todas as atividades que não geram valor agregado (MOLLENKOPF *et al.*, 2010; VONDEREMBSE *et al.*, 2006). Enquanto o *Green* almeja eliminar os resíduos ambientais sob a forma de uso ineficiente de recursos ou produção de sucata (CARVALHO; DUARTE; MACHADO, 2011; MOLLENKOPF *et al.*, 2010).

Para Dües, Tan e Lim (2013), embora os dois paradigmas tenham objetivos distintos para a eliminação de resíduos, eles visam os mesmos tipos de perdas. O inventário, o transporte, a produção de subprodutos ou a produção não produtiva, por exemplo, são resíduos que dizem respeito tanto às práticas *Lean* quanto ao *Green*. As técnicas de redução de resíduos de ambos são muitas vezes semelhantes, com foco nas práticas comerciais e de processos de produção. Ainda, para empregar as práticas e ferramentas, tanto *Lean* como *Green* exigem um alto nível de envolvimento dos funcionários, com poucos níveis hierárquicos e responsabilidades destinadas aos colaboradores das organizações (BERGMILLER; MCCRIGHT, 2009; MOLLENKOPF et al., 2010; VONDEREMBSE et al., 2006).

Muitos dos resíduos de processo de manufatura *Green*, podem ficar escondidos atrás dos resíduos *Lean*. Por exemplo, alguns resíduos de *Green* que podem ser considerados são lixo, uso excessivo de recursos, uso excessivo de energia, emissões diretas para o ar, solo ou água e falta de saúde e segurança. A utilização excessiva de energia, por exemplo, é a perda *Green* que mais impacta em um processo, porque é potencialmente afetado por todas as perdas *Lean*, reforçando a sinergia entre ambos. Ainda, é fundamental dentro de uma organização, o papel importante das pessoas e as preocupações sociais, enfatizando que saúde e segurança precárias podem influenciar diretamente na perda de potencial de colaboradores (VERRIER; ROSE; CAILLAUD, 2016).

Apesar da importância do relacionamento sinérgico das práticas *Lean* e *Green*, existem áreas nas quais os dois paradigmas não podem ser combinados. A única diferença real entre *Lean* e *Green* reside nas diferentes visões que essas práticas têm da natureza e do meio ambiente. Considerando que as práticas *Green* consideram o meio ambiente como um recurso valioso, as práticas *Lean* consideram o meio ambiente como um constrangimento para projetar e produzir produtos e serviços. Isso mostra a existência de um potencial conflito entre princípios *Lean* e os objetivos de práticas ambientalmente amigáveis (FATEMI; FRANCHETTI, 2016).

Dirigido pelas discussões atuais sobre mudanças climáticas, muitas empresas se veem confrontadas com uma maior pressão dos clientes para fazer negócios de forma ambientalmente responsável (SIMONS; MASON, 2003). Por exemplo, o fabricante japonês de impressoras Kyocera cria impressoras que custam menos e têm menos peças para substituir, a Boeing reduz a quantidade de papelão protetor e

embalagem de bolha usada para armazenamento e manuseio de materiais de suas asas 747, a Compaq projeta sua sede em Houston, Texas com claraboias para reduzir o uso de eletricidade, a Sony Corporation recicla o lodo para fazer cimento e a fabricante Walkers UK coloca uma política em que a empresa se dedica a reutilizar e a reciclar refugos para que, em última instância, o desperdício seja enviado para o aterro sanitário (FRANCHETTI et al., 2009; GORDON, 2001).

Esses casos são apenas alguns exemplos de iniciativas *Green* em todo o mundo. A hesitação para a implementação dessas práticas é alimentada pelo fato de que há confusão sobre o que *Green* é realmente e que existem apenas poucos modelos, regulamentos ou melhores práticas independentes em vigor, que apoiem a implementação (BERGMILLER; MCCRIGHT, 2009). A Figura 3 mostra a sobreposição entre as metodologias *Lean* e *Green*, denotando os focos de cada metodologia e onde são sinérgicos.

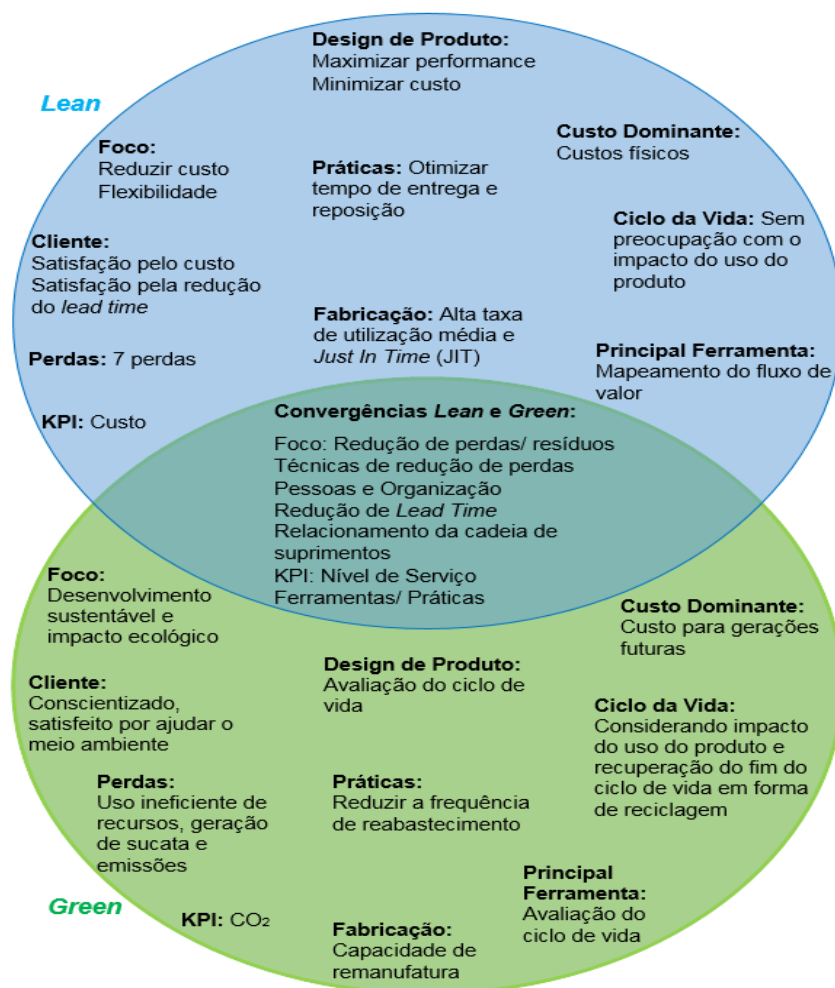


Figura 3 - *Overlap* dos focos das metodologias *Lean* e *Green*

Fonte: Dües, Tan e Lim (2013)

Entre os dois paradigmas, algumas ferramentas são compartilhadas. Simons e Mason (2003) introduzem o mapeamento de fluxo de valor sustentável (SVSM) como uma extensão do VSM tradicional, usado para mapear todos processos de uma cadeia de suprimentos. Com tal abordagem, as emissões de CO₂ como fonte adicional de resíduos podem ser adicionadas. A análise de Dües, Tan e Lim (2013), aponta que práticas *Lean* servem como um catalisador para *Green*, o que significa facilitar a transformação de uma empresa rumo à sustentabilidade. Implementar atividades *Green* adicionais para práticas de *Lean* existentes é um passo relativamente fácil, sem exigir investimento elevado de tempo ou recursos financeiros.

Percebe-se, conforme a Figura 2, que as técnicas de redução de resíduos de ambos os paradigmas são muitas vezes semelhantes, com foco nas práticas comerciais e de processos de produção (BERGMILLER; MCCRIGHT, 2009). Tanto o paradigma *Lean* quanto o *Green* analisam como integrar o redesenho do produto e do processo para prolongar o uso do produto, ou permitir a reciclagem fácil de produtos, bem como tornar os processos mais eficientes, ou seja, com menos desperdício (BERGMILLER; MCCRIGHT, 2009; SARKIS, 2003).

Dentro da ótica de eficiência, a utilização dos recursos energéticos abrange ambos os paradigmas, visto que impacta tanto no custo dos processos quanto nos recursos ambientais. Desta forma, uma das missões das organizações é maximizar a produtividade de bens de consumo com as menores taxas possíveis de utilização de recursos naturais, promovendo a eficiência energética e por consequência, a sustentabilidade.

2.5 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES

Há uma crescente preocupação global, em conjunto com a acentuada pressão sobre os decisores políticos e indústrias, a respeito do consumo global de energia, no qual a maioria da energia fornecida continua a ser de fontes de carbono. O consumo de energia aumentou mais de 25% nos últimos 20 anos e, além disso, ainda é previsto aumento de 15% a 35% até 2030 (IEA, 2014). Além disso, o setor manufatureiro responde por um terço do consumo global de energia primária, sendo mais de 38% das emissões diretas e indiretas de CO₂, reforçando ainda mais a necessidade de alternativas sustentáveis para a manufatura (IEA, 2013; MAY *et al.*, 2017).

O uso de energia representa 83% das emissões de GEE na indústria. Embora a produção em grande escala domine as indústrias com uso intensivo de energia, as empresas de pequena e média dimensão a nível mundial têm partes significativas em muitos países em desenvolvimento, com instalações antigas e ineficientes, o que cria desafios e oportunidades para a melhoria na utilização de recursos energéticos. Assim, há uma enorme demanda de transferência de tecnologia e conhecimento para esses países, a fim de alcançar eficiência energética e, conseqüentemente, reduzir emissões. A intensidade energética da maioria dos processos industriais é pelo menos 50% maior do que o mínimo teórico determinado pelas leis da termodinâmica, o que proporciona uma oportunidade ímpar para reduzir o uso de energia e suas emissões de CO₂ (IEA, 2005; WORRELL *et al.*, 2009).

O Brasil está entre os 10 maiores consumidores de eletricidade do mundo. Em comparação entre 20 países, por serem grandes economias, observou-se que o Brasil era o 15º no posto de eficiência energética em 2014. Em 2018, na mesma avaliação, o Brasil caiu para 20º no ranking geral, mesmo que aumentando seu *score*, acabou crescendo em menor taxa na comparação com outras nações (ALVAREZ *et al.*, 2018; YOUNG *et al.*, 2014). Apesar de esforços do governo, eficiência energética na indústria brasileira não se desenvolveu. A eficiência energética não está na agenda das indústrias brasileiras e essas organizações não são bem apoiadas por políticas que desenvolvam esse tema (PORTELA; LAFAY, 2015).

A eficiência energética em certos processos de fabricação, como a produção de papel e celulose, é considerada um elemento chave no desenvolvimento sustentável. Isso contribui particularmente para reduzir as taxas de depleção de recursos energéticos e mitigar as emissões de gases de efeito estufa. É considerada como uma alternativa central de redução de gases de efeito estufa com custos específicos baixos, enquanto também melhora a competitividade das empresas (IEA, 2008; FLEITER *et al.*, 2012).

A indústria da fabricação de papel e celulose é um dos segmentos que mais demanda energia elétrica a nível mundial. Assim como os países Europeus, o Brasil, que possui grande extensão territorial, tem como segundo maior consumidor de energia elétrica, no que tange ao meio industrial, a produção de papel e celulose (EPE, 2014; IEA, 2015). Esse fato denota a importância da atenção que deve ser destinada às ações que prevejam um melhor gerenciamento dos recursos neste tipo de indústria.

O aumento dos preços das matérias-primas, dos custos de eliminação de resíduos e a ampliação da legislação são os principais impulsionadores do aumento das tecnologias sustentáveis. Produtores ao redor do mundo são forçados a avaliar seus processos de produção e a procurar tecnologias alternativas com menor impacto ambiental. Um mapeamento abrangente de tecnologias pode ajudar os produtores a comparar tecnologias sustentáveis e selecionar alternativas econômica e ambientalmente viáveis. Com a crescente pressão regulatória e a crescente demanda do mercado por melhores produtos, a indústria de celulose e fabricação de papel enfrenta muitos desafios e deve encontrar novas formas de melhorar o desempenho ambiental, de processos e reduzir os custos operacionais (BAJPAI, 2016).

2.6 FABRICAÇÃO DE PAPEL

A produção de papel é um processo de transformação, no qual as fibras de celulose (matéria-prima básica) juntamente com aditivo, que dão as características desejadas ao papel, formam uma suspensão. Esta suspensão entra na máquina de papel, na qual por meio de um desaguamento contínuo e progressivo ocorre a formação da folha, que após passar por prensas desaguadoras e um sistema de aquecimento, se transforma no papel semi-acabado. Para a fabricação do papel, são utilizadas como matérias-primas fibras celulósicas virgens ou recicladas (DRUMMOND, 2008).

Conforme Smook (2002), define-se como fibra reciclada qualquer material fibroso que passou pelo processo de fabricação e será reutilizada como matéria-prima para a produção de um novo papel. A qualidade de um papel de fibras virgens é muito maior do que o papel de fibras recicladas, mas com um tratamento adequado o papel de fibras recicladas pode gerar um produto de qualidade consideravelmente boa.

2.6.1 Fabricação de papel de fibra virgem

A fabricação do papel inicia-se no desagregador, um liquidificador gigante semelhante aos domésticos, mas com proporções industriais (entre 500 a 20.000 litros), no qual a celulose (fibra virgem) é desagregada, transformando-se em uma suspensão diluída. Após a desagregação a polpa celulósica é direcionada à refinação

na qual a fibra sofre um tratamento de fibrilação, aumentando sua área superficial. Após, a suspensão de fibra é direcionada ao tanque de mistura, no qual é realizada a adição de outros componentes químicos que constituem o papel. Do tanque de mistura, a massa é direcionada ao sistema de depuração ou limpeza fina, composto de limpadores centrífugos e depuradores pressurizados, os quais eliminam possíveis impurezas da massa por força centrífuga e por peneiras, respectivamente. Seguindo, a massa é bombeada para a caixa de entrada (DRUMMOND, 2008; GALLO, 2001).

Da caixa de entrada a massa é direcionada em forma de jato para uma tela, responsável pela formação do papel. Ao desaguar sobre a tela, as fibras ficam retidas na superfície e a água passa através da tela, caindo em calhas apropriadas. Esta água, rica em partículas de fibras, é recirculada para diluir a massa e realimentar a máquina. Após a tela de formação, a suspensão já em forma de folha úmida entra no setor de prensagem que pode conter 2, 3 ou 4 prensas dependendo do tipo de máquina de papel presente (CAMPOS, 2012; DRUMMOND, 2008).

Existem diversas configurações de prensas, porém são compostas basicamente de rolo inferior, rolo superior e um feltro para absorção de grande parte da água que é extraída do papel. Na saída da última prensa, a umidade da folha estará entre 55% e 60%, seguindo então para o sistema de secagem. Na secagem final do papel utilizam-se cilindros secadores de aço, aquecidos a vapor com diferentes pressões, dependendo da velocidade da máquina e gramatura requerida para o papel. Os cilindros aquecem o papel e então a água evaporada é extraída por exaustores especiais acoplados em uma capota de secagem (ALEXANDRE, 2012; KOGA, 1988).

A umidade do papel, na saída da secagem, varia entre 5% e 8% (teor normal de umidade), dependendo do tipo de papel em fabricação. Algumas máquinas de papel, como por exemplo, as de papéis *tissue* (utilizados em fins sanitários), possuem somente um cilindro secador, denominado de secador Yankee (BAJPAI, 2015; KOGA, 1988). Por fim, o papel é enrolado em um eixo denominado tubete, que por sua vez é acoplado a outro eixo metálico denominado estanga, finalizando o processo de fabricação da bobina e liberando a mesma para envio ao cliente ou processo subsequente (ANDRIONI, 2006).

2.6.2 Fabricação de papel reciclado

Para Benitez *et al.* (2014), o papel apresenta entre outras, a grande vantagem de poder ser reciclado diversas vezes, reduzindo perdas. A produção de papel a partir de reciclados envolve significativa economia de energia e água, comparado com o processo que utiliza somente fibras celulósicas virgens. Cada tonelada de papel reciclado evita aproximadamente o corte de 15 a 20 árvores. Além disso, a reciclagem do papel produz 74% menos de poluição atmosférica, além de criar novos empregos.

A principal diferença entre a fabricação de papel a partir de fibras virgens e papel reciclado, é que antes da etapa de refinação existem alguns equipamentos de limpeza, o restante do processo é similar. Antes da primeira operação do processo de reciclagem é necessária uma classificação do papel recuperado, que geralmente é realizada nas cooperativas de aparas de papel, que fornecem esse produto aos fabricantes de papel. A importância desta separação está no fato de que se o papel usado for enviado para reciclagem com certos contaminantes, a reciclagem é dificultada (ALEXANDRE, 2012).

Os principais papéis que não podem ser reciclados devido a fins sanitários e problemas no processo são: papel químico, etiquetas adesivas, papel térmico, envelopes com janela (embora se possa retirar a janela e reciclar o resto do envelope), toalhas, lenços, guardanapos de papel, pratos, copos de papel e demais papéis impermeabilizados (ANTUNES, 2001). A Figura 4 apresenta as etapas genéricas resumidas da fabricação de papel, a definição de cada etapa pode ser verificada no Apêndice A.



Figura 4 - Etapas do processo de fabricação de papel

Fonte: Elaborado pelo autor

2.6.3 Papel *tissue* no Brasil

Na presente pesquisa, o papel *tissue* é o foco, visto que a empresa em que o trabalho foi realizado trabalha com a fabricação desse tipo de produto. Basicamente, o papel *tissue* é utilizado para fins de higiene, engloba itens como papel higiênico proveniente de celulose virgem ou fibras recicladas, toalhas de papel, guardanapos, toalhas de cozinha, lenço e lençol hospitalar (BRACELPA, 2011). Entre 1962 e 2015, enquanto o resto do mundo cresceu a uma taxa de 4,58% ao ano na produção de papel *tissue*, o Brasil registrou crescimento de 7,48% ao ano no mesmo período (AYRES; BACHA, 2017; IBÁ, 2017).

Mesmo com números impressionantes em crescimento produtivo, o Brasil se igualou à média per capita anual de consumo mundial de papel *tissue* apenas em 2014, com 5,5 kg de consumo anual por pessoa. Em contrapartida, continua atrás da média de consumo de vários países como Estados Unidos, Reino Unido, Alemanha e Japão, que tem um consumo de 23 kg, 10,2 kg, 8,2 kg e 6,4 kg por pessoa, respectivamente. Na América Latina, o Chile tem um consumo de 8,1 kg por pessoa e o consumo da Argentina chega a 5,6 kg, sendo um indicativo de quanto o segmento ainda tem potencial de crescimento no Brasil (AYRES; BACHA, 2017; IBÁ, 2017).

Muito dessa diferença de consumo pode ser relacionada com as grandes diferenças sociais brasileiras. Mesmo que o poder aquisitivo geral do cidadão tenha aumentado, a discrepância entre os extremos da sociedade é expressiva. Enquanto países desenvolvidos tem venda maciça de papel proveniente de celulose virgem, países latino-americanos podem se beneficiar da venda nas diferentes esferas, desde o papel reciclado até o mais nobre, justamente pelas diferenças no poder de compra. Dessa forma, a atenção deve ser focalizada para todos os tipos de produção de papel *tissue*, buscando a qualidade e eficiência dos recursos, tanto processuais quanto ambientais.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a caracterização e a estratégia adotada para a realização da pesquisa, bem como a delimitação e etapas para desenvolver o trabalho e alcançar o objetivo. A pesquisa científica busca a compreensão da forma como se processam os fenômenos, descrevendo sua estrutura e funcionamento e tentando explicá-los. O acúmulo de fatos não é a finalidade principal, mas sim, a compreensão às respostas obtidas, por meio de questões formuladas por hipóteses precisas (CRUZ, CARLA; RIBEIRO, 2003). Gil (2002) define a pesquisa como um procedimento racional e sistemático que visa proporcionar respostas aos problemas propostos e, defende ainda, que a pesquisa é utilizada quando não se dispõe de informações suficientes para responder um problema.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa é definida como aplicada em alguns aspectos, visto que serão observados e coletados dados para análise, utilização por meio de aplicação de método e obtenção de resultados. Em relação à sua natureza se caracteriza como exploratória, visto que tem o objetivo de levantar dados para posterior aplicação dos métodos e obtenção de resultados. Já o estudo de caso é caracterizado pelo fato do trabalho ser executado dentro de uma indústria de papéis da região Sul do Brasil. Ainda, a abordagem pode ser também classificada como qualitativa com uso de indicadores quantitativos em alguns aspectos, visto que se obtém informações sobre a percepção dos indivíduos, além de interpretação do ambiente em que a problemática é desenvolvida (CAUCHICK, 2012; YIN, 2010).

Na parte exploratória da pesquisa, realizou-se um levantamento bibliográfico em bases de pesquisa nacionais e internacionais. O instrumento utilizado foi uma adaptação da metodologia *ProKnow-C* (ENSSLIN *et al.*, 2010), complementada pela técnica *Snowballing* (WOHLIN, 2014), levando à obtenção do portfólio bibliográfico utilizado para elaboração do referencial teórico e definição da metodologia a ser adotada neste trabalho, com maiores detalhes no item 3.2. A definição da utilização das ferramentas e técnicas apresentadas no decorrer do trabalho tem base desta pesquisa, bem como a verificação de inexistência de trabalhos que tratem a

Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA) sob a abordagem estocástica de (LIMA et al., 2017) da mesma forma como se apresenta neste documento.

3.2 DEFINIÇÃO DA ESTRUTURA CONCEITUAL-TEÓRICA

Para Pereira, Silva e Carbonari (2011), o método pode ser definido como um conjunto de procedimentos, regras e técnicas adotados na realização de uma pesquisa científica. Cauchick (2012), defende que o início de pesquisas científicas em Engenharia de Produção tende a ser precedido pela escolha de documentos reconhecidos, a fim de compor uma fundamentação teórica consistente. Com a elevada quantidade de artigos científicos disponíveis nas bases de dados, uma das principais dificuldades do pesquisador é selecionar os documentos de maior relevância para o tema de pesquisa estabelecido (VILELA, 2012).

No presente trabalho, com a necessidade da justificativa das escolhas na construção do conhecimento a respeito do tema estabelecido para pesquisa e, a fim de tornar o processo de seleção de um Portfólio Bibliográfico (PB) estruturado, eficiente e provedor de bons resultados, utilizou-se a aplicação de metodologia semelhante ao *ProKnow-C* de Ensslin et al. (2010). Ainda, alguns documentos foram incluídos no referencial conforme a identificação relevância científica, selecionados nas próprias referências dos artigos do PB, via técnica *Snowballing*, de Wohlin (2014).

As palavras-chave para a primeira pesquisa foram definidas conforme os eixos: (i) *Lean* (*Lean, Lean Manufacturing, PDCA, DMAIC, Waste Reduction e Quality Process*); (ii) *Green* (*Green, Green Manufacturing, Sustainability e Energy Efficiency*); (iii) Indústria de Papel (*Paper Machine, Papermaking, Tissue Paper e Paper Manufacturing*). A combinação das palavras-chave resultou em 96 expressões, permitindo retorno de 4.877 artigos nas bases *Scopus, ISI Web of Science, Science Direct e Emerald*, com delimitação de data entre 2007 e 2017. O uso destas bases é justificado pelo fato de gerarem o *Scientific Journal Rankings* (SJR) e o *Journal Citation Reports* (JCR) dos periódicos, além de serem as que mais retornaram artigos para as palavras-chave utilizadas nesta pesquisa. A seguir, a Figura 5 mostra o modelo utilizado na nesta pesquisa.

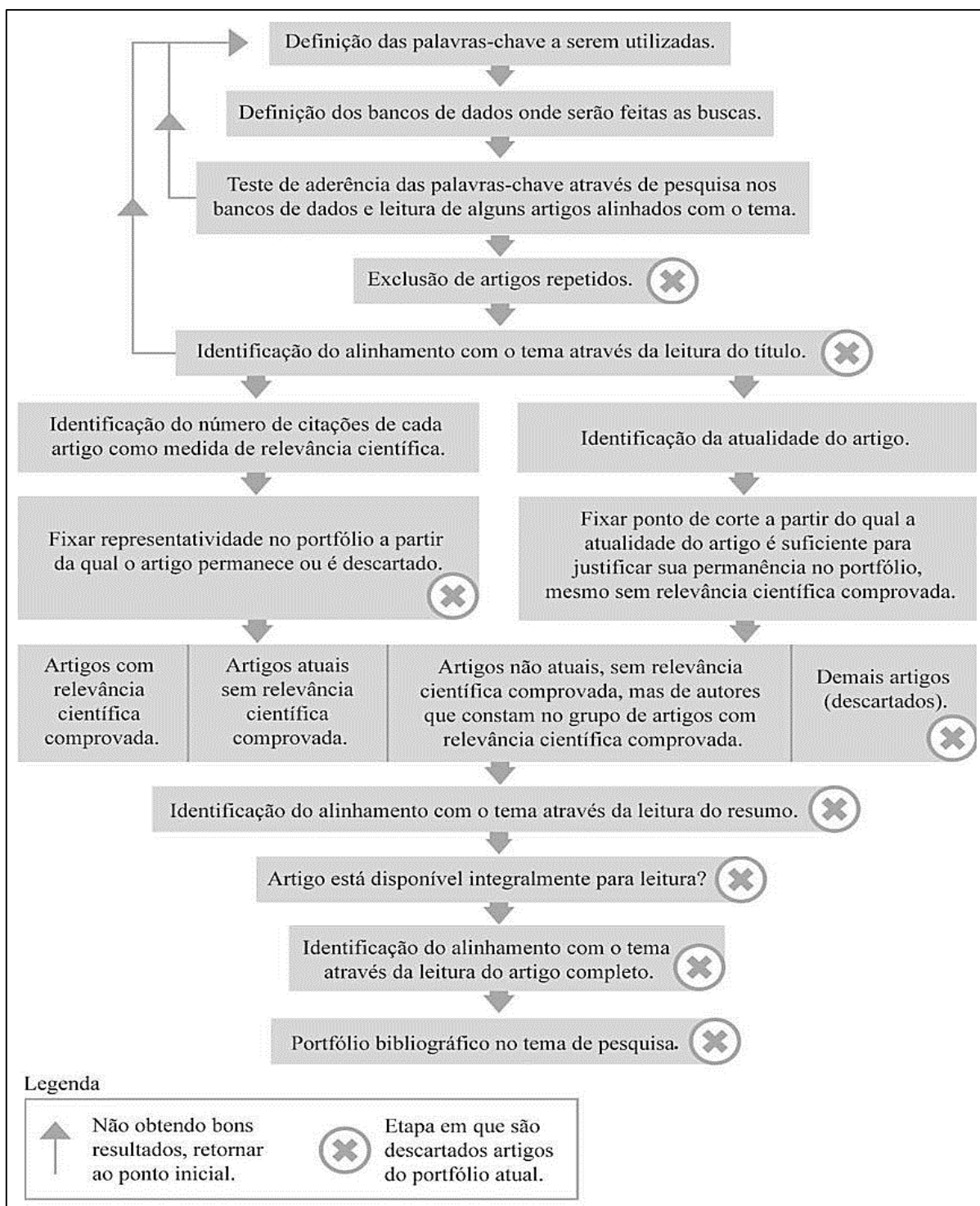


Figura 5 – Procedimento ProKnow-C resumido para obtenção do portfólio bibliográfico

Fonte: Ensslin *et al.* (2010)

Os artigos obtidos na pesquisa inicial foram todos exportados para a ferramenta de gerenciamento bibliográfico Mendeley®. Após realizado o download de todos os artigos (título, palavras-chave e resumo) para o software de gerenciamento, os artigos duplicados foram excluídos, permanecendo 1.986 trabalhos, dos restantes

apenas 328 artigos possuíam título relacionado ao contexto da pesquisa. Realizada a análise do número de citações pelo Google Scholar, aplicando a regra de Pareto, restaram 67 artigos.

Os artigos selecionados a partir da avaliação no Google Scholar são em sua maioria provenientes de periódicos com Qualis Sucupira A1, A2, B1 e B2 na área de Engenharia III, salvo em poucas situações em que o documento tenha elevado reconhecimento científico (grande número de citações), mas não se enquadre nessa classificação. A Sucupira, entre outras funcionalidades, é uma plataforma de classificação de periódicos nacionais e internacionais, contemplando produções acadêmicas brasileiras em todas as áreas do conhecimento. Os periódicos são classificados conforme seus estratos indicativos da qualidade, sendo que a escala varia respectivamente do mais ao menos qualificado, ou seja, de A1 a C (SUCUPIRA, 2016).

Por sua vez, a área de Engenharias III contempla as Engenharias: aeroespacial, aeronáutica, automotiva e automobilística, energia e planejamento energético, gestão, mecânica, naval, oceânica, pesquisa operacional, petróleo e produção (SUCUPIRA, 2016). Quando os periódicos obtidos, do portfólio bibliográfico, não são avaliados pela plataforma Sucupira, ou seja, ainda nenhum autor brasileiro publicou em um determinado periódico internacional, sua avaliação quanto à qualidade pode ser feita pelas escalas de fator de impacto JCR e SJR.

Com a leitura dos resumos dos 67 documentos, permaneceram 46 artigos na seleção. Lidos, 27 arquivos disponíveis na íntegra foram considerados relacionados ao tema e estão entre as referências citadas no referencial teórico da presente pesquisa. Ainda, outras 55 referências, entre artigos, livros e instituições de credibilidade nos assuntos relativos à pesquisa, foram incluídas no portfólio bibliográfico a partir da aplicação da técnica *Snowballing* nos 27 artigos obtidos a partir do *Proknow-C*. A técnica *Snowballing* prevê que a partir de uma pesquisa inicial nas bases de dados seja provido um conjunto inicial de artigos relacionados ao tema de pesquisa, para que em seguida, nas referências deste conjunto inicial, sejam analisados possíveis títulos, autores e arquivos com potencial de qualidade e relevância científica, relacionados ao tema que está sendo pesquisado, a fim de se obter o Portfólio Bibliográfico (PB) para formar o referencial teórico (WOHLIN, 2014).

Desta forma, objetivando a maximização da qualidade e quantidade de referências do PB, realizou-se a aplicação da *Snowballing* nas referências dos próprios 27 artigos definidos via Proknow-C, visto que um material de qualidade não se restringe somente aos primeiros arquivos obtidos, mesmo eles possuindo elevada importância. O procedimento contemplou a análise das referências de cada artigo do PB inicial, constatando primeiramente o alinhamento do título com o tema proposto e posteriormente as ponderações a respeito de ano de publicação, a verificação do número de citações no Google Scholar, menção por autores com elevada influência científica e área do conhecimento em que o autor principal normalmente publica, para em seguida fosse realizada a leitura do arquivo e agregação do mesmo ao PB, totalizando 82 títulos para o desenvolver o referencial teórico.

3.3 FRAMEWORK PROPOSTO PARA A REALIZAÇÃO DA PESQUISA

A Figura 3, apresentada anteriormente, trata das convergências entre os paradigmas *Lean-Green*. Para a presente pesquisa, as atenções são voltadas ao foco na redução de perdas e/ou resíduos, bem como as técnicas, ferramentas e práticas utilizadas para atingir este foco, além da criação de *KPI* específico que relacione as melhorias de eficiência energética com melhorias de processo, a fim de exprimir a relação entre os paradigmas estudados. A Figura 6 explicita o tratamento resumido dos paradigmas a partir de seu foco, além da relação de convergência.



Figura 6 – Tratamento dos paradigmas *Lean* e *Green*

Fonte: Elaborado pelo autor

Para facilitar o processo de pesquisa e estabelecer um processo genérico na busca da resolução de problemas da natureza abordada neste trabalho, foi elaborado um *framework*, desenvolvido com base na proposta de conteúdo e sequência para a condução de um estudo de caso, sugerido por Cauchick (2007). Ainda, dentro da proposta do estudo de caso, foi inserido o *DMAIC*, dada a percepção, via leitura do portfólio bibliográfico selecionado, de que pela sequência com que a metodologia deve ser aplicada, existe uma ampla similaridade com o modo que um estudo de caso deve ser conduzido.

O framework é dividido em três diferentes etapas, elaborado com pensamento de generalizar sua aplicação a qualquer tipo de processo que conte com necessidades parecidas no que tange a redução de desperdícios. A etapa 1 contempla a fase de definição da estrutura conceitual teórica, explicitada na seção anterior. Em sequência, a etapa 2 diz respeito ao planejamento do estudo de caso, enquanto a etapa 3 é relacionada a redação de relatório de resultados e propostas para futuras pesquisas. A seleção da unidade de análise e definição da coleta de dados podem ser verificadas respectivamente nos itens 3.3.1 e 3.3.2, onde o estudo é direcionado à indústria de papéis *tissue*. No restante da etapa 3 os caminhos têm dois diferentes delineamentos, que voltam a se unir ao final da execução dos projetos, na ocorrência das convergências entre *Lean* e *Green*. A Figura 7 apresenta o modelo proposto.

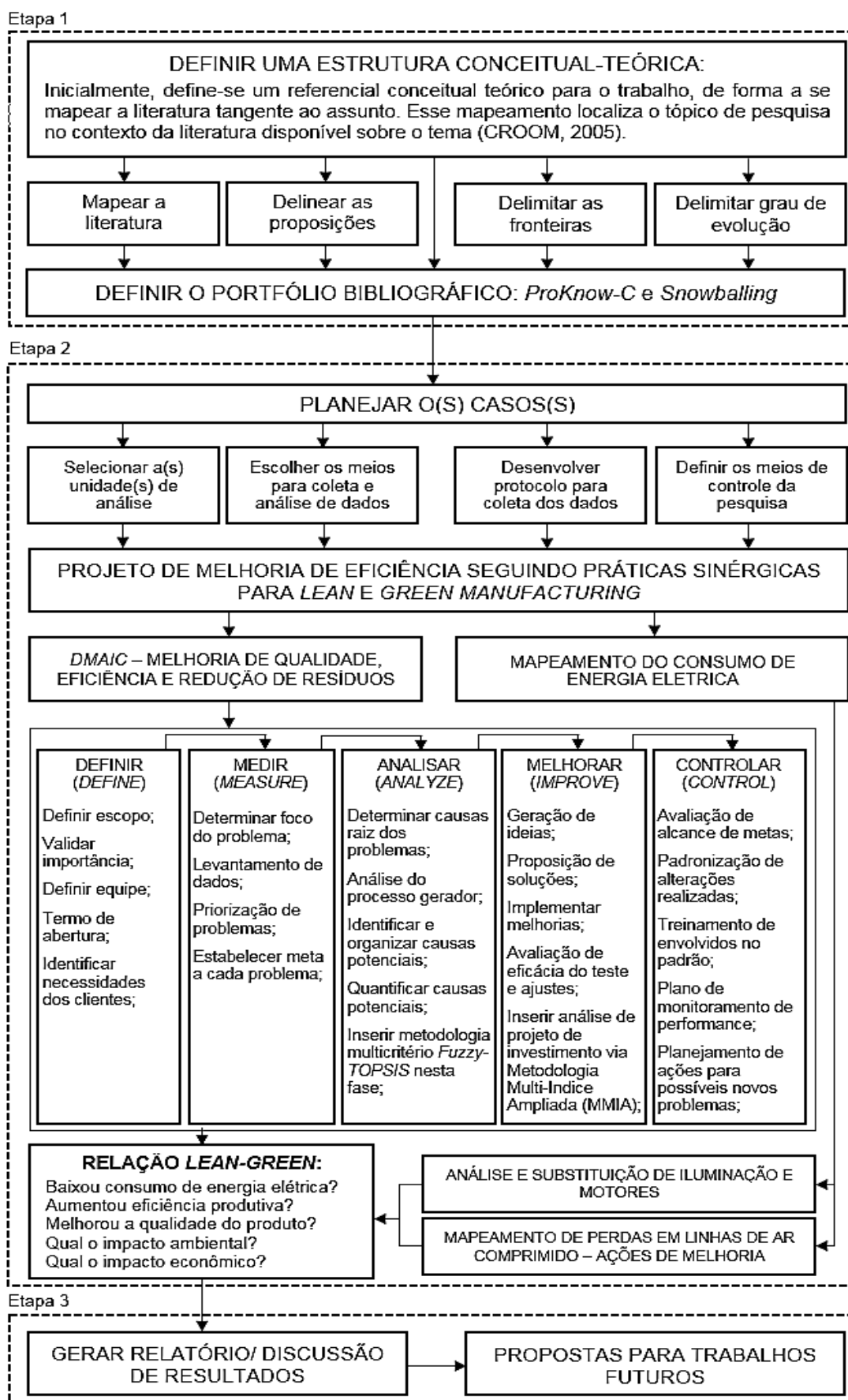


Figura 7 – Framework do trabalho

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.1 Seleção da unidade de análise

A indústria responsável pela fabricação e comercialização de papéis higiênicos, na qual foi realizada a pesquisa, se situa no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. A indústria possui capacidade produtiva mensal de aproximadamente 3 milhões de quilogramas de papel, sendo 65% desta quantidade proveniente de celulose pura, enquanto 35% da produção é feita a partir de material reciclado. Em contrapartida, a capacidade instalada para conversão dessa quantidade bruta, em papel higiênico, é de mais de 1,3 milhões de quilogramas mensais, o restante é comercializado para outras indústrias que apenas processam papel.

A fabricação ocorre todos os dias da semana com 24 horas produtivas, já os setores de conversão operam de segunda a sexta-feira com toda a capacidade, 23 horas por dia e aos finais de semana com 50% dos recursos. Tendo em vista alguns problemas com a fabricação do papel reciclado, relativos à qualidade do produto e eficiência da máquina que o fabrica, bem como impacto nas máquinas de conversão de papel, foi realizado um estudo de caso, aplicando o ciclo *DMAIC* nos processos de fabricação e conversão de papéis reciclados.

3.3.2 Escolha dos meios de coleta e análise de dados

Após sua fabricação, o papel reciclado pode ter dois diferentes destinos, a venda da bobina jumbo diretamente aos clientes que terceirizam a fabricação de papel ou o processamento, agregando valor ao produto, na própria unidade fabril. No processo chamado de conversão, é realizada a transformação das bobinas Jumbo em diferentes produtos da linha de papéis sanitários, em uma das diferentes máquinas dos postos de trabalho, conforme demanda.

No processo de conversão do papel existe, assim como na máquina de fabricação, a Gestão dos Postos de Trabalho (GPT), que trabalha com diferentes indicadores (*KPIs - Key Performance Indicators*), sendo eles de Eficiência *OEE (Overall Equipment Efficiency)* (DAL; TUGWELL; GREATBANKS, 2000), Pareto de paradas, Quantidades Produzidas e Percentual de Refugo. Com análise destes indicadores foi constatado que o papel reciclado gerava uma série de problemas na conversão, além de impactar nas vendas do produto, dado o alto índice de refugo

gerado (com taxas variando entre 9% e 17%, sendo que o parâmetro aceitável pela empresa é no máximo de 8%) e alta taxa de ineficiência *OEE* das máquinas, visto que a má qualidade do produto ocasiona em diversas paradas de processo, bem como dificuldades de trabalhar com o equipamento em sua velocidade específica por tipo de produto. Ainda, ressalta-se a ineficiente utilização de recursos como energia elétrica e ar comprimido, visto que o equipamento consome estes em grande quantidade mesmo que produzindo em velocidade baixa ou em modo *stand-by*.

Desta forma, como destacado anteriormente, nas práticas em que *Lean* e *Green* podem ser sinérgicos, o foco na redução de perdas/ resíduos é o item crucial em relação à presente pesquisa, visto que as perdas envolvidas impactam em ineficiência de processo produtivo, má utilização de recursos naturais e aumento de custos financeiros. Corroborando com isso, é possível a realização de ações que possam além de melhorar o processo de fabricação e conversão, otimizar a utilização dos recursos, via por exemplo de mapeamento de vazamentos em linhas de ar comprimido, identificação de filtros de ar saturados ou danificados, entre outras ações, benéficas tanto para as organizações quanto para o meio ambiente.

Vazamentos de ar e filtros de ar saturados chamam a atenção somente quando as perdas de ar e pressão interferem na operação normal da planta. No entanto, prestar atenção aos sistemas de ar comprimido e praticar medidas simples de conservação pode economizar energia e custos consideráveis. Cada fuga de ar com diâmetro de 1 mm em uma linha de ar comprimido corresponde a aproximadamente 0,4 KiloWatt (KW) de potência consumida por um compressor, em uma linha operando à carga de 7 bar. O custo da energia elétrica operando um compressor de ar continuamente por um ano é geralmente maior que o preço inicial do equipamento. Dessa forma, quaisquer esforços para reduzir o consumo de energia se pagam imediatamente e geram economias contínuas (COPCO, 2015; KAYA et al., 2002; SAIDUR; RAHIM; HASANUZZAMAN, 2010).

Nessa perspectiva, é proposta a utilização de algumas ferramentas que fazem parte da caixa de ferramentas do ciclo *DMAIC*. Além destas, apresentadas a seguir também estão a metodologia de análise multicritério *Fuzzy-TOPSIS* e Análise de Projeto de Investimento utilizando a Metodologia Multi-Índice Ampliada (MMIA), esta segunda ainda não utilizada em conjunto com o *DMAIC*, mas que, dada sua elevada confiabilidade como ferramenta de suporte à tomada de decisão, pode contribuir e

enriquecer a realização da pesquisa, além das ações em conjunto para a otimização da eficiência energética dos postos de trabalho, principalmente com esforços concentrados nas linhas de ar comprimido e iluminação.

3.4 FERRAMENTAS PARA EXECUÇÃO DO TRABALHO

A seguir são relacionadas, no Quadro 2, as ferramentas que foram utilizadas para a execução do projeto de melhorias na unidade de análise. Posteriormente, são apresentados alguns conceitos acerca das ferramentas escolhidas.

DEFINIR (DEFINE)	MEDIR (MEASURE)	ANALISAR (ANALYZE)	MELHORAR (IMPROVE)	CONTROLAR (CONTROL)
<i>Project Charter</i>	Plano de recolhimento de dados	Fluxograma	<i>Brainstorming</i>	Análise GRIP
Escopo	Fluxograma do processo	Estratificação	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	<i>Key Performance Indicators (KPI)</i>
Análise de redução de custos	Definição de metas e ganhos	<i>Brainstorming</i>	5W2H	Procedimento Operacional Padrão (POP)
Análise GRIP	<i>Key Performance Indicators (KPI)</i>	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	Análise de Projeto de Investimento (MMIA)	Reuniões
Voz do Cliente (VOC)	<i>Brainstorming</i>	Análise Multicritério Fuzzy-TOPSIS	<i>Key Performance Indicators (KPI)</i>	
<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs and Customers (SIPOC)</i>	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	<i>Key Performance Indicators (KPI)</i>		
<i>Key Performance Indicators (KPI)</i>	Diagrama de <i>Ishikawa</i>			

Quadro 2 – Ferramentas utilizadas na execução da pesquisa

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4.1 Definir

Na etapa “Definir (*Define*)”, inicialmente foi elaborado o *Project Charter*, contendo as informações relativas aos participantes do projeto, objetivos, metas e demais informações pertinentes ao projeto. Após, foi feita análise econômica da redução de custos possível com a realização do projeto, considerando-se diferentes cenários. As outras duas ferramentas utilizadas foram a VOC, a fim de identificar as necessidades e expectativas do cliente em relação à qualidade do produto e o

diagrama *SIPOC*, com objetivo de compreender todas as fases do processo gerador do problema.

O *Project Charter* é um documento que representa um acordo entre a equipe responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa. Este tem como objetivos apresentar claramente o que é esperado em relação à equipe, alinhar objetivos prioritários entre a empresa e equipe, formalizar a transição do projeto das mãos do coordenador para a equipe e manter a equipe dentro do escopo definido para o projeto. A ferramenta deve conter informações relativas à descrição do problema, à definição da(s) meta(s) a atingir, avaliação histórica do problema, estrutura da equipe de trabalho e um cronograma preliminar do projeto (WERKEMA, 2004).

Por sua vez, o *VOC* consiste no conjunto de dados que representam as necessidades e expectativas dos clientes (ou processos seguintes) e suas percepções quanto aos produtos fabricados. Os dados podem ser provenientes de reclamações, comentários, resultados de reuniões, respostas a pesquisas e levantamento de dados, sendo usados para a identificação das características críticas para a qualidade dos produtos da empresa ou processo, bem como suas respectivas especificações (WERKEMA, 2004).

A ferramenta *Critical-To-Quality Tree* permite transformar as necessidades do cliente, identificadas na ferramenta *VOC*, em métricas que representam impactos relevantes sobre os requisitos do cliente, o desempenho e a qualidade. Estas métricas, chamadas características da qualidade, são essenciais para o desenvolvimento do projeto, pois serão sobre estas que as ações de melhoria devem atuar, de modo a se verificar uma considerável melhoria quando da comparação dessas mesmas métricas entre o início e o final do projeto (GIJO; RAO, 2005).

O *SIPOC* é uma técnica útil para a definição de um projeto de melhoria de um processo. Consiste em um esquema, no qual são discriminados todos os elementos relevantes de um processo, antes de ser alvo de ações de melhoria – fornecedores, entradas, descrição do processo, saídas e clientes. Possibilita distinguir os limites do processo e determinar possíveis fontes de dados, facilitando a identificação de oportunidades de melhoria (TAGHIZADEGAN, 2006).

Miles (2006) infere que, para a melhoria de um processo, é essencial a compreensão de todas as suas partes e de como elas se relacionam, assegurado ainda que todos os membros da equipe do projeto vejam o processo da mesma forma.

Ainda, Werkema (2004) define a ferramenta *SIPOC* como um diagrama que permite atingir o objetivo de definir o principal processo envolvido no projeto, facilitando a visualização do esboço do trabalho, mas sem ser detalhado.

3.4.2 Medir

Na fase “Medir (*Measure*)” foi planejado o recolhimento dos dados relativos ao problema, estratificação dos mesmos e definição dos indicadores a se utilizar durante a realização do projeto. Considerou-se uma amostragem dos produtos com problemas de qualidade para verificação de quais os fatores são medidos em cada bobina fabricada, a fim de definir, via análise multicritério (utilizada na fase Analisar), qual fator influencia mais na qualidade do produto, de modo a estabelecer a priorização dos problemas para etapa seguinte. Além disso, ainda estabeleceu-se a utilização dos *KPI* já utilizados diariamente pela empresa em sua Gestão dos Postos de Trabalho (GPT).

As empresas costumam, normalmente, comparar os seus processos com os das outras empresas, baseando-se em parâmetros como a satisfação do cliente, qualidade do produto, velocidade de produção, produtividade, entre outros (CORDERO *et al.*, 2005). A função principal da medição de desempenho consiste na avaliação das atividades inerentes a um processo, assim como os seus respectivos *outputs*, estão a atingir objetivos específicos. Isto envolve a comparação de resultados atuais com um objetivo predeterminado, bem como a avaliação da extensão dos eventuais desvios verificados. A organização deve escolher uma apropriada variedade de indicadores de desempenho, os *KPIs*, devendo estes indicadores serem balanceados, de modo que um indicador não avalie parâmetros idênticos a outro. O conjunto de indicadores de desempenho escolhido deve diferir caso a caso, dependendo dos objetivos delineados por cada projeto ou organização (CHEN, 2008).

3.4.3 Analisar

Na etapa de análise (*Analyze*) foram estabelecidos fluxograma, mapa de produto e mapa do processo, além da análise do tempo de ciclo de fabricação do produto (de modo a verificar a eficiência produtiva). Ainda, foi realizada uma sessão

de *Brainstorming* para produção de ideias e percepções a respeito do problema, bem como utilização do diagrama de *Ishikawa* a fim de se analisar as operações e situações típicas do processo. Também foi inserida a utilização da análise multicritério *Fuzzy-TOPSIS* para definir a priorização de ações, visto a incerteza gerada na avaliação dos parâmetros que mais podem impactar na qualidade final do produto.

Para Werkema (2004), o *brainstorming* constitui uma ferramenta importante para a produção de um número elevado de ideias sobre um tópico de interesse, em um curto período de tempo. A mesma autora ainda refere 5 regras gerais para a condução de uma sessão de brainstorming: (i) Deve ser escolhido um líder para coordenar as atividades de grupo; (ii) Todos os participantes do grupo devem dar a sua opinião sobre as possíveis causas do problema analisado; (iii) Nenhuma ideia deve ser criticada; (iv) Todas as ideias devem ser registradas em um quadro; e (v) A tendência de culpar pessoas deve ser evitada.

Para Paladini (2008), utiliza-se o diagrama de *Ishikawa*, a fim de se analisar as operações e situações típicas do processo produtivo. Seu aspecto é semelhante a uma espinha de peixe. Aplica-se para identificar causas que influenciam os desvios dos processos, em projetos. Werkema (2012) elenca as seis causas gerais que levam à geração do efeito ou problema: material, método, medida, meio ambiente, mão de obra e máquina. A Figura 8 mostra um exemplo do diagrama.

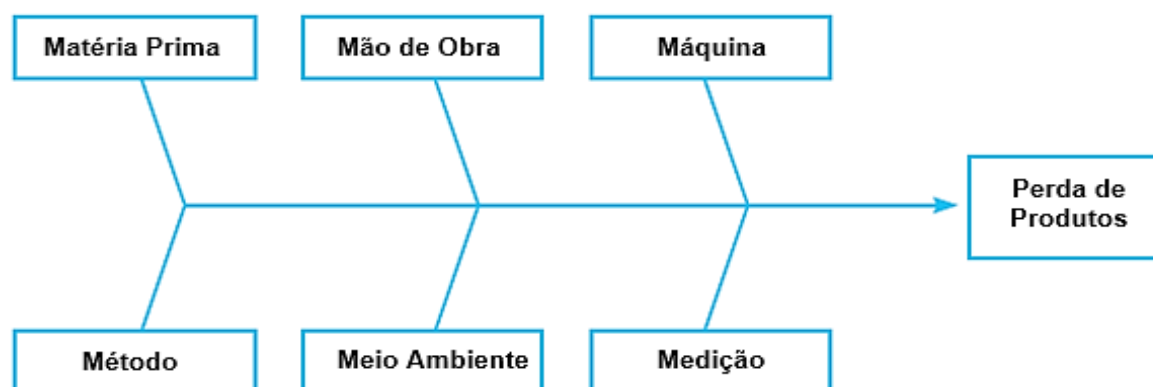


Figura 8 – Diagrama de *Ishikawa*

Fonte: Paladini (2018).

A partir do diagrama de Ishikawa é elaborado o *5W2H*, uma ferramenta para disposição das informações em um plano de ação, a fim de organizar o planejamento de informações ou resultados. Considera todas as tarefas a serem executadas durante a realização do projeto, de forma simples e objetiva, assegurando, sua

implementação de forma organizada, devendo responder às perguntas: (i) *What* (o quê?); (ii) *Who* (quem?); (iii) *When* (quando?); (iv) *Where* (onde?); (v) *Why* (por quê?); (vi) *How* (como?); e (vii) *How much* (quanto custa)? (REYES, 2000).

A fim de priorizar a realização de ações de melhorias de maneira qualificada, adotou-se a utilização da metodologia Multicritério *Fuzzy-TOPSIS*. Os métodos multicritérios podem ser diferenciados pela capacidade de considerar tanto critérios quantitativos como qualitativos, além disso, permitem a análise da decisão e ainda testam sua confiabilidade. O número de técnicas e métodos de apoio à decisão é diversificado e varia de ferramentas mais sofisticadas, indo de argumentação lógica e conjuntos ordenados a ferramentas mais simples (TCHEMRA, 2009; BOUYSSOU *et al.*, 2000). A análise multicritério pode ser definida como base da teoria da decisão, um conjunto de procedimentos e métodos de análise que objetiva garantir a coerência e a eficiência das decisões, tomadas em função das informações disponíveis, prevendo e antecipando os resultados (GOMES, 2012).

Geralmente, problemas de tomada de decisão multicritério são caracterizados por um número finito de alternativas e por múltiplos critérios, muitas vezes conflitantes, e por um vetor de pesos indicando a importância de cada critério. Nos últimos anos muitos esforços e avanços foram feitos para o desenvolvimento de várias metodologias para solucionar diversos problemas de tomada de decisão multicritério (KROHLING; SOUZA, 2012).

Dentre os métodos multicritérios existentes, o método *Fuzzy-TOPSIS* criado por Chen (2000), é uma versão do método *TOPSIS*, a utilizar-se quando se faz necessário o uso de valores linguísticos nas escalas de mensuração. Uma variável linguística é aquela cujos valores são sentenças definidas em linguagem natural ou artificial, permitindo distinguir qualificações por meio de faixas de gradações (ZADEH, 1973). O uso de variáveis linguísticas requer a definição de um conjunto de termos linguísticos, a fim de mensurar seus valores de forma adequada. De forma sucinta, o valor da variável linguística “comunicação com o fornecedor” é medido por meio dos termos linguísticos “ruim”, “boa” e “ótima”, por exemplo (LIMA JUNIOR; CARPINETTI, 2015). A utilização da análise multicritério *Fuzzy-TOPSIS* surgiu da necessidade de avaliar qual dos parâmetros interfere mais na qualidade do produto final, possibilitando priorizar as ações de melhorias determinadas na fase seguinte do *DMAIC*.

Nesse trabalho adotou-se a versão de Chen, Lin e Huang (2006) para o desenvolvimento do método *Fuzzy-TOPSIS*, que se baseia na escolha das melhores alternativas em relação a sua aproximação com a solução ideal positiva (*PIS*) e maior distanciamento da solução ideal negativa (*NIS*). O primeiro passo consiste na estruturação do problema de decisão. Nesse passo também ocorre a seleção dos especialistas, determinação dos critérios e do conjunto de alternativas. Nessa etapa se deve escolher os termos linguísticos apropriados para mensurar a importância relativa dos critérios e avaliar o desempenho das alternativas em relação a esses critérios. Os termos linguísticos são associados a números *fuzzy* trapezoidais positivos (TPFN). No segundo passo, devem ser agregados os valores linguísticos de cada um dos decisores, em relação à ponderação dos critérios j e alternativas i , associados a números *fuzzy* trapezoidais. A equação 1 mostra o início do processo:

$$\tilde{W}_j = (\tilde{W}_{j1}, \tilde{W}_{j2}, \tilde{W}_{j3}, \tilde{W}_{jk}) \quad (1)$$

No caso de existir mais de um decisor, a agregação pode ser calculada conforme a equação 2:

$$\begin{aligned} w_{j1} &= \min_k \{w_{jkl}\}, & w_{j2} &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{jk2}, \\ w_{j3} &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k w_{jk3}, & w_{j4} &= \max_k \{w_{jk4}\} \end{aligned} \quad (2)$$

As avaliações dos decisores em relação ao desempenho das alternativas (\tilde{x}_{ij}), podem ser descritas por 3:

$$\tilde{X}_{ij} = (\tilde{a}_{ij}, \tilde{b}_{ij}, \tilde{c}_{ij}, \tilde{d}_{ij},) \quad (3)$$

No caso de mais de um decisor, pode-se calcular a agregação das avaliações do conjunto de decisores da seguinte forma, conforme a equação 4:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \min_k \{a_{ijk}\}, & b_{ij} &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k b_{ijk}, \\ c_{ij} &= \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k c_{ijk}, & d_{ij} &= \max_k \{d_{ijk}\} \end{aligned} \quad (4)$$

Posteriormente, o terceiro passo é caracterizado pela construção da matriz de decisão *fuzzy*. Uma matriz de decisão *fuzzy* \tilde{D} corresponde ao desempenho do conjunto de alternativas (m), em relação ao conjunto de critérios (n) e um vetor de pesos (w), podendo ser descrita pela equação 5:

$$\tilde{D}_k = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} \dots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} \dots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} \dots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{w} = [\tilde{w}_1, \tilde{w}_2 \dots \tilde{w}_n] \quad (5)$$

Em seguida, no quarto passo deve ser obtida a matriz de decisão *fuzzy* normalizada e ponderada. A normalização da matriz *fuzzy* pode ser definida dividindo-se os valores de cada x_{ij} da matriz \tilde{D} , pelo maior valor do conjunto de critérios referente a benefícios (B), conforme a equação 6, tal que:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_{ij}}{a_j^*}, \frac{b_{ij}}{a_j^*}, \frac{c_{ij}}{a_j^*}, \frac{d_{ij}}{a_j^*} \right), \quad d_j^* = \max_i d_{ij}, \quad \tau \in B \quad (6)$$

Dividindo-se o menor valor do conjunto de critérios referente a custos (C), por cada x_{ij} da matriz \tilde{D} , como mostrado pela equação 7:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{a_j^-}{a_{ij}}, \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right), \quad a_j^- = \min_i a_{ij}, \quad j \in C \quad (7)$$

A matriz *fuzzy* ponderada (\tilde{V}) é obtida por meio da multiplicação da matriz normalizada (\tilde{R}), pela importância relativa de cada critério, conforme segue em 8:

$$\tilde{V} = \begin{bmatrix} \tilde{v}_{11} & \tilde{v}_{12} \dots & \tilde{v}_{1n} \\ \tilde{v}_{21} & \tilde{v}_{22} \dots & \tilde{v}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots \\ \tilde{v}_{m1} & \tilde{v}_{m2} \dots & \tilde{v}_{mn} \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

O quinto passo consiste da determinação das soluções ideal positiva (FPIS) e solução ideal negativa (FNIS). O FPIS (A^*) é um conjunto formado pelos valores

máximos dos critérios de benefício ou mínimos para os critérios de custo entre todas as alternativas, e pode ser descrito por (9) e (10) como:

$$A^* = \{\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*\} \quad (9)$$

Onde:

$$\tilde{v}_j^* = \max_i \{v_{ij3}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

FNIS (A-) é um conjunto formado pelos valores mínimos dos critérios de benefício ou máximos para os critérios de custo, entre todas as alternativas, e pode ser descrito por (11) como:

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \quad (11)$$

Na qual:

$$\tilde{v}_j^- = \min_i \{v_{ij1}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

No sexto passo é calculada a distância de cada alternativa em relação a FPIS e a distância de cada alternativa em relação a FNIS. As distâncias d_i^* e d_i^- podem ser calculadas conforme a equação 13:

$$\begin{aligned} d_i^* &= \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), \quad i = 1, 2, \dots, m \\ d_i^- &= \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), \quad i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (13)$$

Na qual:

$d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j)$ representa a distância entre dois números *fuzzy*, que pode ser obtida por meio do método do vértice, conforme a equação 14:

$$d(\tilde{m}, \tilde{n}) = \sqrt{\frac{1}{4} [(m_1 - n_1)^2 + (m_2 - n_2)^2 + (m_3 - n_3)^2 + (m_4 - n_4)^2]} \quad (14)$$

No sétimo passo é calculado o coeficiente de similaridade com a solução ideal (CC_i) de cada alternativa, como mostra a equação 15.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (15)$$

Por fim, são ordenadas as alternativas de forma decrescente pelo CC_i , obtendo-se sequencialmente, os fatores mais preponderantes para uma boa qualidade do produto. Desta forma, fazendo com que a fase “Melhorar” do ciclo *DMAIC* tenha uma sequência estabelecida de ações de melhoria a serem realizadas, relacionadas com o ranking das características de qualidade do produto.

3.4.4 Melhorar

Na fase de melhorias (*Improve*), realizou-se novo *Brainstorming* para verificar as possíveis ações a serem tomadas em relação ao problema, bem como *Ishikawa* para relacionar a cada causa. O *5W2H* também foi utilizado, para definir e controlar as ações de melhorias, bem como a priorização de ações, em consonância com a análise multicritério, para definir a ordem de realização de cada ação. A seguir, explicita-se a utilização da análise de projetos de investimentos (PI) com auxílio da Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA), devido à necessidade constatada da realização de investimentos para melhoria de processo.

A fim de se analisar a viabilidade econômica e financeira de um Projeto de Investimento (PI) pode ser utilizada a Metodologia Multi-índice (MMI), visto que a mesma apoia o processo decisório no que tange à aceitação ou rejeição do projeto por meio da utilização de indicadores, categorizados tanto nas dimensões de riscos quanto de retorno (SOUZA; CLEMENTE, 2008). Ainda, deve-se tomar um maior conhecimento dos riscos ligados ao empreendimento, tendo-se como uma alternativa a utilização da abordagem estocástica para análise do desempenho econômico do PI (LIMA et al., 2017). O Quadro 3 mostra o resumo das definições dos índices relativos às dimensões retorno e risco, utilizadas neste trabalho, respectivamente (CASAROTTO-FILHO; KOPITTKKE, 2010; GROPELLI; NIKBAKHT, 2002; LIMA, 2016; LIMA et al., 2015, 2016; RASOTO, 2002; SOUZA; CLEMENTE, 2008).

Dimensão	Indicador	Conceito
Retorno	VPL	O Valor Presente Líquido (VPL) é o resultado da aglomeração de todos os valores de um FC esperados, descontados para a data “zero” (presente) utilizando como taxa de desconto a TMA. Apresenta em valor monetário atual, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos do projeto.
	VPLA	O indicador VPL precisa ser ajustado para expressar a riqueza gerada pelo projeto em um horizonte de tempo mais convencional, ano ou mês, por exemplo. O VPLA demonstra ser um indicador adequado para comparação de projetos com horizontes de planejamento ou análise (N) longos ou diferentes. A vantagem do VPLA em relação ao VPL é a possibilidade do gestor conseguir avaliar melhor a magnitude do ganho.
	IBC ₁ ou IL	Também conhecido como Índice de Liquidez – IL, traduz as expectativas de ganho, por unidade de capital investido no projeto, em relação ao que seria obtido se a mesma unidade fosse aplicada à TMA. O IBC, que estima a rentabilidade, busca comparar o retorno gerado pelo projeto de investimento em estudo para cada unidade monetária investida.
	ROIA (%)	O Retorno Adicional Sobre Investimento (ROIA) demonstra a melhor avaliação de rentabilidade, já eliminado o efeito da TMA, do projeto de investimento analisado. É comparado ao percentual do Valor Econômico Agregado (<i>Economic Value Added</i>).
Riscos	TIR	Esse indicador tem o objetivo de fazer com que os FCs, tanto de entrada (receitas) como de saída (custos), sejam iguais, ou seja, possuam a mesma taxa de desconto.
	<i>Payback</i>	<i>Payback</i> descontado, ajustado ou corrigido, é o período de tempo necessário para a recuperação do investimento, utilizando-se a TMA como taxa de desconto do FC.
	<i>Payback</i> / N (%)	Compreende a razão entre o <i>Payback</i> e o horizonte de planejamento. Pode ser interpretado como o risco de não recuperação do capital investido.
	TMA/TIR (%)	Definido como a razão entre a TMA e a TIR. Pode ser interpretado como o risco financeiro.
Limites de Elasticidade	$\Delta\%$ TMA	Caso positiva, indica a variação máxima que a TMA suporta antes do PI se tornar economicamente inviável. Caso negativa, indica a variação que a TMA deve sofrer para tornar o PI economicamente viável. A variação ocorre sempre mantendo constantes os demais parâmetros.
	$\Delta\%$ FC ₀	Caso positiva, indica a variação máxima que o Investimento Inicial (FC ₀) suporta antes do PI se tornar economicamente inviável. Caso negativa, indica a variação mínima que o FC ₀ deve sofrer para tornar o PI economicamente viável. A variação ocorre sempre mantendo constantes os demais parâmetros.
	$\Delta\%$ FC _j	Caso positiva, indica a variação máxima que o Fluxo de Caixa (FC _j) suporta antes do PI se tornar economicamente inviável. Caso negativa, indica a variação mínima que o FC _j deve sofrer para tornar o PI economicamente viável. A variação ocorre sempre mantendo constantes os demais parâmetros.

Quadro 3 – Definições dos índices conforme dimensões de retorno e riscos

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Lima *et al.* (2017)

Lima *et al.* (2015) ampliaram a metodologia Multi-índice (MMI), de Souza Clemente (2008), a qual foi denominada Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA) a

fim de apoiar a tomada de decisões de investimentos em ativos reais. A MMIA possibilita a análise de sensibilidade do projeto que se deseja estudar, com índices incorporados que analisam variações máximas permitidas antes da inviabilização do PI, considerando-se variações máximas de TMA, custos estimados, receitas esperadas e utilização concomitante destes. Maiores detalhes podem ser conferidos em Lima *et al.* (2015).

A variabilidade dos diversos fatores envolvidos em um PI pode ser preponderante para torná-lo realmente realizável, ou dependendo do nível de risco, acarretando na sua inviabilização. O tomador de decisão deve ter as informações mais claras e realistas quanto possível, tornando assim interessante a utilização de técnicas que contribuam para diminuição das incertezas na realização de um PI. Uma alternativa é a utilização da Simulação de Monte Carlo (SMC) no cálculo da variabilidade de alguns fatores do PI. Esse procedimento envolve a utilização de números pseudo-aleatórios nas simulações, facilitando os cálculos do risco, com o auxílio de uma planilha eletrônica ou *software* específico, permitindo a geração automática dos resultados (BRUNI, 2013; BRUNI; SIQUEIRA, 1998).

Corroborando com isso, foi utilizada a metodologia MMIA com SMC na presente pesquisa. A questão da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para realização de cálculo do PI foi definida por meio da SELIC, que corresponde à taxa básica de juros da economia brasileira, utilizada no mercado interbancário para financiamento de operações com duração diária (CASAROTTO-FILHO; KOPITTKKE, 2010; SOUZA; CLEMENTE, 2008). Os cálculos para análise de viabilidade econômica do projeto de investimento, realizaram-se seguindo a Metodologia Multi-índice Ampliada (MMIA), via aplicativo web SAVEPI (Sistema de Análise da Viabilidade Econômica de Projetos de Investimentos). Ainda, via aplicativo, que possui módulo específico para análise estocástica, realizou-se a SMC com 100 mil simulações, a fim de observar possíveis variabilidades que o PI pudesse sofrer (DE LIMA et al., 2017).

3.4.5 Controlar

Na fase de controle (*Control*) definiram-se as diretrizes para controle das ações, indicadores definitivos para acompanhamento do futuro do processo em relação ao passado, bem como seu comportamento. Ainda, foi feita a padronização

de atividades por meio da elaboração de procedimentos, bem como a definições a serem tomadas caso ocorra o surgimento de novos problemas no setor de fabricação de papel reciclado. A constante realização de reuniões também foi empregada, de modo a analisar a situação do equipamento e ações que possam ser tomadas para otimizar ainda mais o processo.

3.5 MAPEAMENTO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E AÇÕES DE MELHORIA

Para a realização desta etapa foram seguidas as premissas da Norma ABNT NBR ISO 50001, a qual se baseia da estrutura de trabalho do *PDCA* para a realização da gestão de energia dentro das organizações. A Figura 9 mostra o diagrama conceitual que resume o processo de planejamento energético para a realização de trabalhos que contribuam para a maximização da eficiência energética.

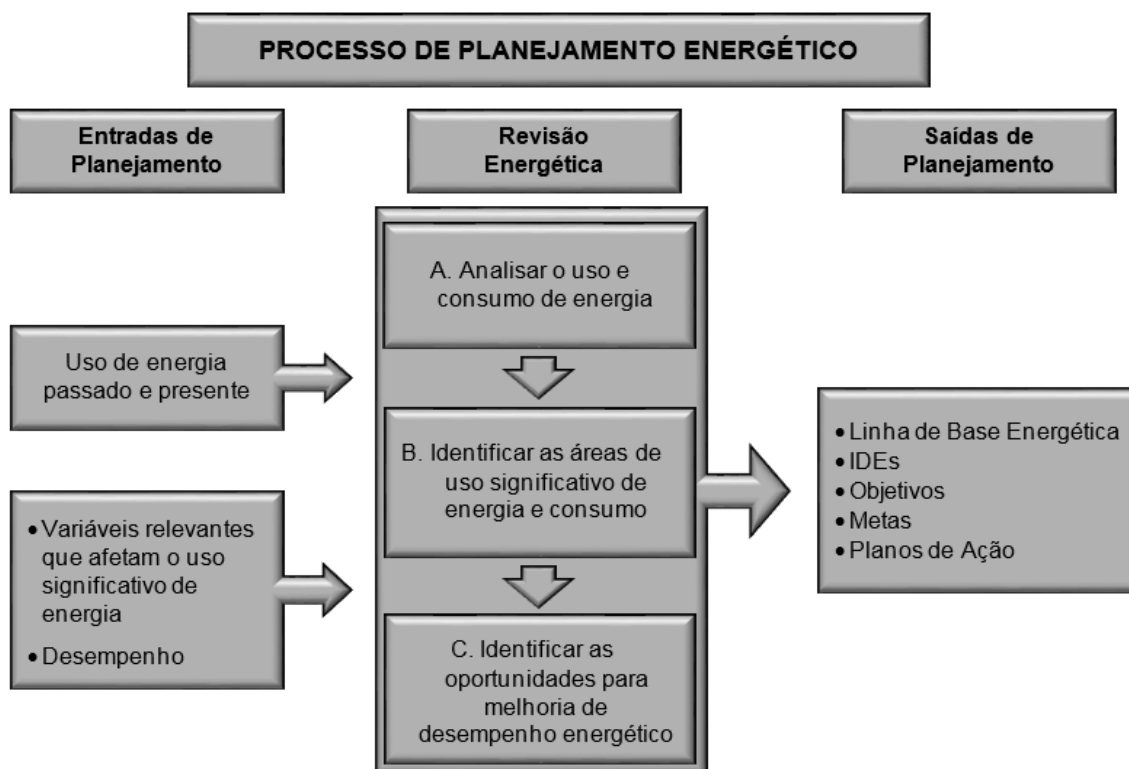


Figura 9 – Diagrama conceitual de processo de planejamento energético

Fonte: Norma NBR ISO 50001:2011 (2011).

Conforme a norma ISO 50001:2011, convém que o processo de identificação e avaliação do uso de energia leve a organização a definir áreas de uso significativo

de energia e identificar oportunidades de melhoria de desempenho energético. Para tanto, nesta etapa foram mapeados os consumos de energia elétrica com iluminação em toda a empresa e motores na Máquina de Papel Reciclado (MP Reciclado), além de vazamentos de ar comprimido no setor de transformação. Para tratar a questão de iluminação de toda a fábrica e motores da máquina de papel reciclado, foi realizado um projeto de análise do custo de energia elétrica e proposição da substituição da iluminação por lâmpadas de LED, além da substituição dos motores antigos por novos, via MMIA, sob as abordagens determinística e estocástica.

Foi realizado levantamento de toda iluminação existente no parque fabril da indústria em questão. Da mesma forma, ocorreu o mapeamento dos motores ineficientes. Constatou-se qual quantidade de lâmpadas, reatores, motores e potência de cada item, planilhando estes dados a fim de realizar as devidas análises. Feito isso, realizou-se orçamento da iluminação de LED e motores ideais para suprir as necessidades nos diferentes setores da organização, a fim de se levantar o investimento necessário para execução do Projeto de Investimento (PI).

Para a questão do ar comprimido, realizou-se o mapeamento dos pontos com vazamento e análise das perdas por meio de um transdutor de fluxo, objetivando a realização de substituição de itens com problema de fugas e investimento em alternativas que favorecessem a poupança de energia elétrica. A Figura 10 mostra o transdutor de vazão utilizado para medição dos vazamentos. O fluxo de ar é conectado com entrada e saída conforme as flechas indicativas na imagem, quando existem vazamentos na linha, o transdutor aponta na tela a medição do vazamento em litros por minuto (L/min), quando não existem vazamentos o mostrador fica zerado.



Figura 10 – Transdutor de fluxo de ar comprimido

Fonte: SMC do Brasil

Após a medição dos vazamentos foi realizado o cálculo do custo de cada uma das fugas de ar mapeadas, em R\$/ano. Para o cálculo utilizou-se a Equação 16, a qual leva em consideração o consumo específico de energia elétrica (Ces) para comprimir 1 m³ de ar comprimido em KWh/m³, bem como o custo da energia elétrica (CEE) em R\$/KWh, o valor da fuga (VF), em m³/h e o Tempo de utilização, em h/ano.

$$CF = Ces \left(\frac{KWh}{m^3} \right) \times CEE \left(\frac{R\$}{KWh} \right) \times VF \left(\frac{m^3}{h} \right) \times Tempo \left(\frac{h}{ano} \right) \quad (16)$$

Posteriormente, foram analisadas e implementadas as alternativas para diminuir ou erradicar os problemas, quando possível. Ainda, após a realização do projeto *DMAIC* para melhoria de eficiência de equipamento de produção de papel, melhoria da qualidade do produto e redução de refugos nos processos subsequentes, impactando também nas eficiências de máquinas, realizou-se a elaboração de um *KPI* para avaliação da taxa de consumo energético por cada quilograma produzido mensalmente antes e após as melhorias, além da análise do quanto CO₂ a empresa pode deixar de emitir com a poupança de energia, relacionando assim, os paradigmas *Lean e Green*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo contempla a descrição dos resultados obtidos pela aplicação de cada ferramenta do ciclo *DMAIC*, divididos por etapa de aplicação conforme estabelecido na metodologia, além das ações para melhoria da eficiência energética da unidade de análise.

4.1 ETAPA DEFINIR

O primeiro passo da etapa foi constituído pela elaboração da carta de projeto, conhecido pelo termo *Project Charter*. Este, cujas imagens do documento não são divulgadas por conter nome e endereço da empresa, dados pessoais e assinatura dos envolvidos é constituído por: Identificação do projeto (nome); Unidade Demandante (setor que solicita a realização); Nomes dos Gestores (responsáveis pelo projeto); Nome do Patrocinador (quem garante a realização e liberação de investimentos); Justificativa do Projeto; Objetivo do Projeto; Alinhamento Estratégico; Descrição de Responsabilidades e Partes Interessadas; Premissas; Riscos Iniciais; Tempo Estimado; e Assinatura dos Envolvidos. A equipe de projeto contou com onze especialistas, sendo dois de manutenção mecânica, um de manutenção elétrica, quatro operadores de máquina, um supervisor de produção, um analista de dados e dois gerentes de processo.

Seguindo, foi definido o Escopo do projeto, que contempla em uma página um documento que basicamente descreve a estrutura resumida do projeto, conforme pode ser verificado na Figura 1 do Apêndice B. O documento resume algumas informações já contidas no *Project Charter*, como nome do projeto, objetivos e metas que o projeto deseja prover, prazos de iniciação de cada fase do ciclo *DMAIC*, além da redução de custo estimada pela análise econômica.

A análise de redução de custos foi realizada baseada no histórico de produtividade e paradas de máquinas, percentual de refugos gerados, quantidades produzidas e custo de produção de papel reciclado. Desta forma, basicamente a análise feita levou em conta quantos quilogramas de papel poderiam ser produzidos a mais se, na conversão do papel, o refugo gerado baixasse seu percentual entre 1%

e 2,5%. No geral, o papel reciclado teve média mensal de refugo gerado na conversão de 11,2% no ano de 2017, como pode ser verificado no gráfico da Figura 11.

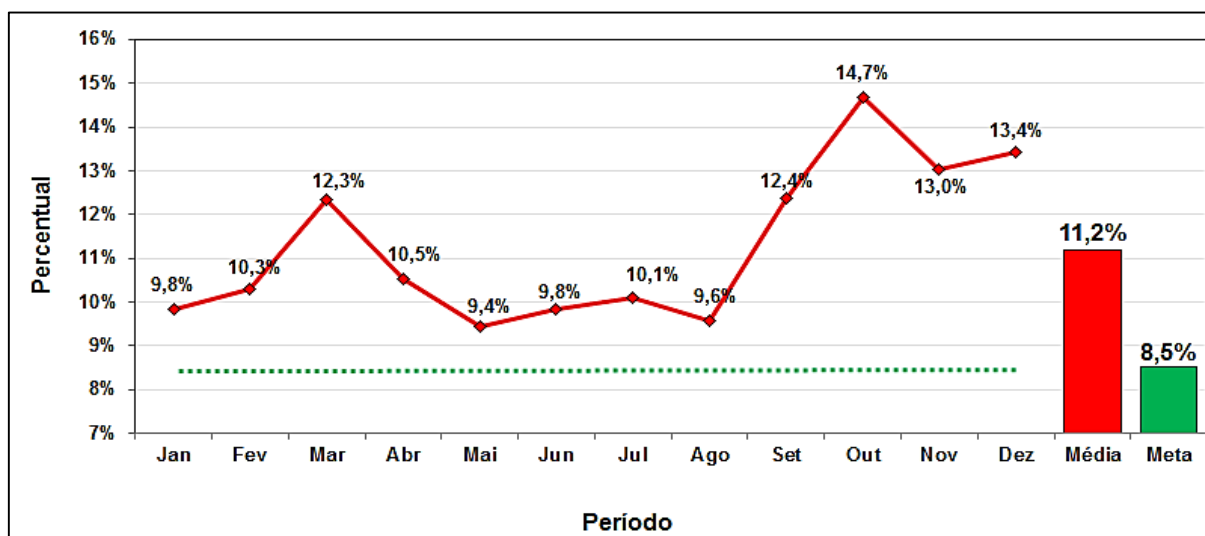


Figura 11 – Gráfico de refugo geral conversão 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

Para análise da redução possível de custo, com a obtenção de três possíveis situações após a realização do projeto, foram observados alguns fatores, são eles: o custo de fabricação para cada quilograma de papel reciclado, o custo de hora máquina das máquinas de conversão de papel, o tempo de máquina parada por problemas ocasionados pela má qualidade do papel reciclado e a eficiência de máquinas convertendo papel reciclado em comparação com papel 100% celulose.

Para obter o valor de possível redução, foi realizada análise de quantos quilogramas de papel representaria cada 1%, 2% e 2,5% de refugo gerado no processo de conversão do papel, em cada uma das máquinas responsáveis por transformar as bobinas de papel em papel higiênico. Esses valores foram multiplicados pelo custo de produção do papel reciclado e pela taxa de produção das máquinas de conversão. Ainda, o tempo de parada por motivos relacionados a má qualidade do papel (papel estourado e emendas de bobina) foi mensurado e multiplicado pelo custo de hora máquina de cada equipamento.

Na Figura 12 as situações destacadas pela dispersão em azul representam a possível redução de custos para os casos de 1%, 2% e 2,5% de redução de refugo, respectivamente, adicionadas do resultado da multiplicação do custo de hora máquina por 40% do tempo de paradas por má qualidade do papel, que representa o tempo estimado possível de se reduzir. Já os casos representados pela dispersão em

vermelho (linha superior) apresentam, além da eliminação dos percentuais de refugo citados (1% a 2,5%), o aumento da taxa produtiva das máquinas, pois quando se reduzem as paradas, eleva-se a disponibilidade e continuidade de máquina, melhorando seu desempenho.

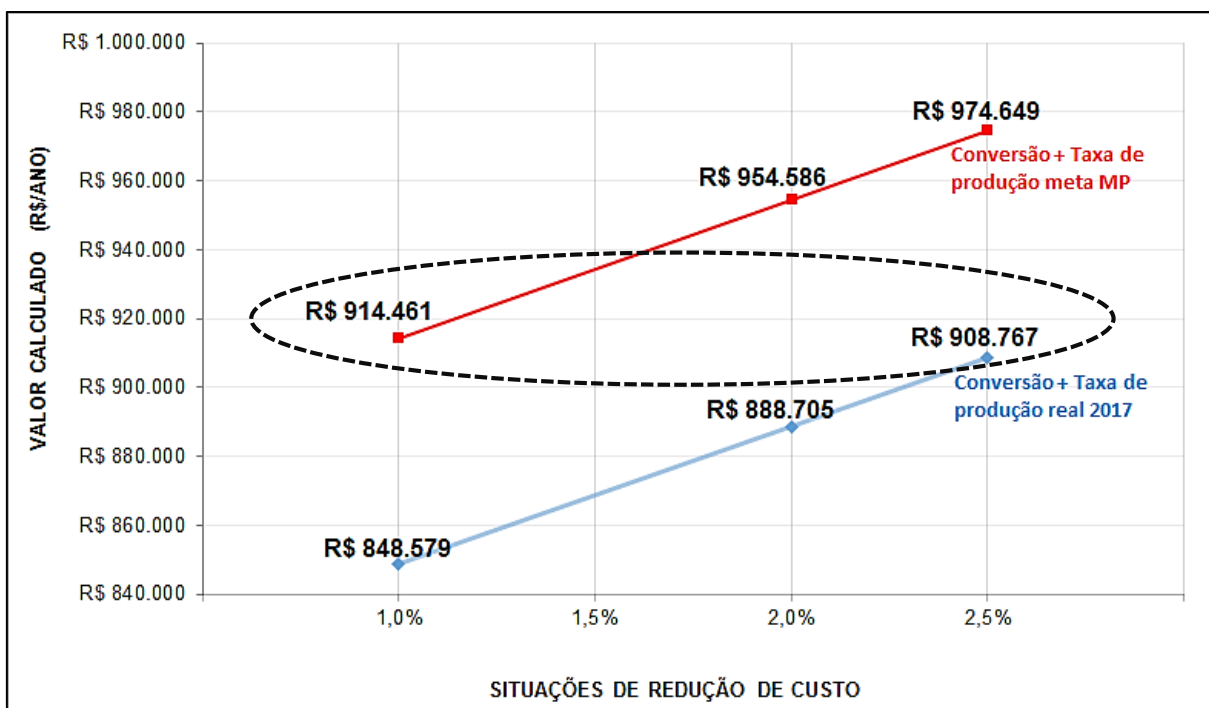


Figura 12 – Análise de redução de custo

Fonte: Elaborado pelo autor

Nas situações de 2,5% da dispersão azul (inferior) e 1% da dispersão vermelha (destacadas pelo pontilhado), pode ser observado que os valores ficaram muito próximos, mesmo que considerando diferentes possibilidades de eficiência de máquina. É seguro dizer que no prazo de um ano após a realização do projeto que aplica o ciclo *DMAIC*, seja possível essa redução de custo de mais de R\$ 900 mil, favorecendo a realização de investimento em ações de melhoria, o que corroborou com a viabilidade econômica da realização do projeto.

A próxima etapa da fase Definir foi a análise de *GRIP* (*Goals-Roles-Interpersonal-Process*). Esta análise forneceu uma visão inicial geral do entendimento dos participantes em relação a vários itens do projeto, como propósito da realização, metas e resultados a atingir, papéis e responsabilidades dos integrantes e relações interpessoais da equipe. A Figura 2 do Apêndice B mostra uma tabela com escala de 0% a 100%, em que cada integrante da equipe avaliou seu entendimento em relação a cada item. A Figura 13 mostra o gráfico gerado pela compilação dos dados.

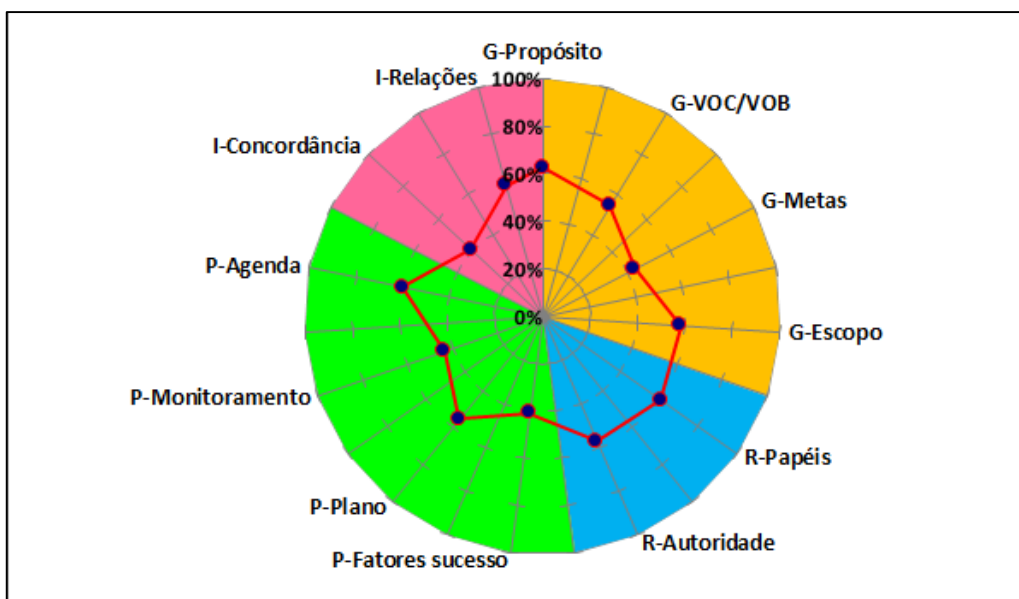


Figura 13 – Gráfico de GRIP aplicado na fase Definir

Fonte: Elaborado pelo autor

Em seguida foi realizada a etapa de VOC (*Voice Of the Customer*), que diz respeito ao conjunto de dados que representam as necessidades e expectativas dos clientes (ou processos seguintes) e suas percepções quanto aos produtos fabricados. Os dados são provenientes de reclamações, comentários e resultados de reuniões. Utilizada em conjunto com a árvore do CTQ (*Critical-To-Quality Tree*), a fim de traduzir as características requeridas do produto e colaborar para uma ampla visão do que se espera do produto com a realização do projeto, em relação à qualidade e satisfação do cliente. A Figura 14 mostra a árvore gerada pela análise do VOC.

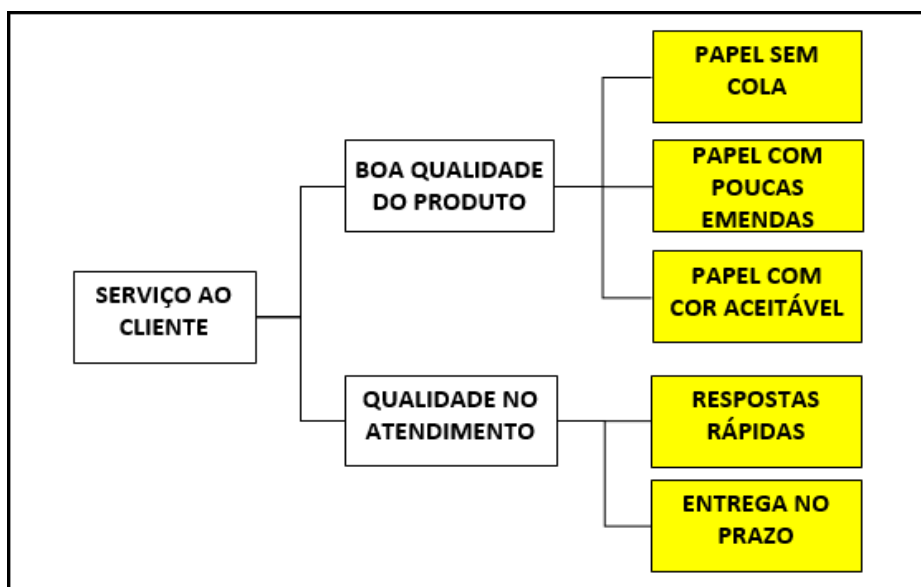


Figura 14 – Árvore de CTQ a partir do VOC

Fonte: Elaborado pelo autor

O SIPOC foi a última fase realizada na etapa Definir. Elaborou-se um esquema, no qual foram discriminados todos os elementos relevantes do processo, antes de ser alvo da etapa seguinte. Fornecedores, entradas, descrição do processo, saídas e clientes foram discriminados, conforme a Figura 15. Determinaram-se os limites do processo, facilitando a identificação de oportunidades de melhoria.

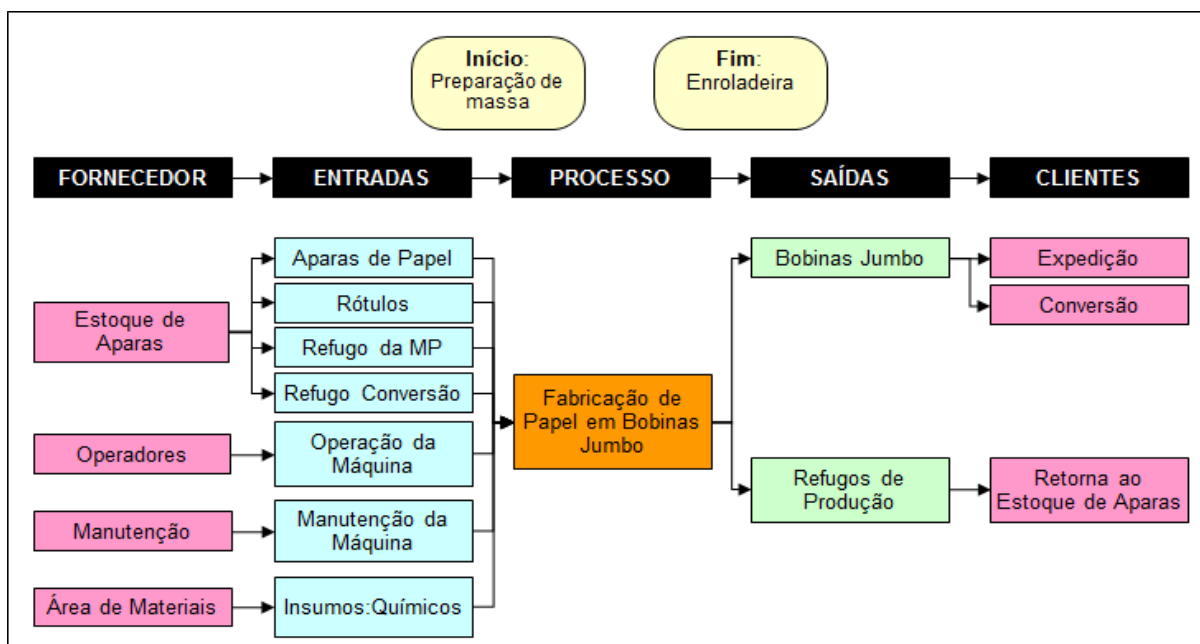


Figura 15 – SIPOC do projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

4.2 ETAPA MEDIR

Após realizada a etapa de definição, a equipe iniciou o planejamento da medição, isto é, definir o que, como e onde medir. Esta etapa é fortemente ligada com o módulo de indicador de desempenho, que contém as principais medições da qualidade e eficiência dos recursos. Além de servir como referência, serve também para estabelecimento de metas.

Foi realizado o recolhimento dos dados referentes à situação da máquina produtora de papel reciclado e seu impacto no processo subsequente, que é a conversão ou transformação, das bobinas Jumbo em papel higiênico. Primeiramente, foram recolhidas informações a respeito da Máquina de Papel (MP) reciclado. A Figura 16 mostra a eficiência *OEE* do equipamento no decorrer do ano de 2017.

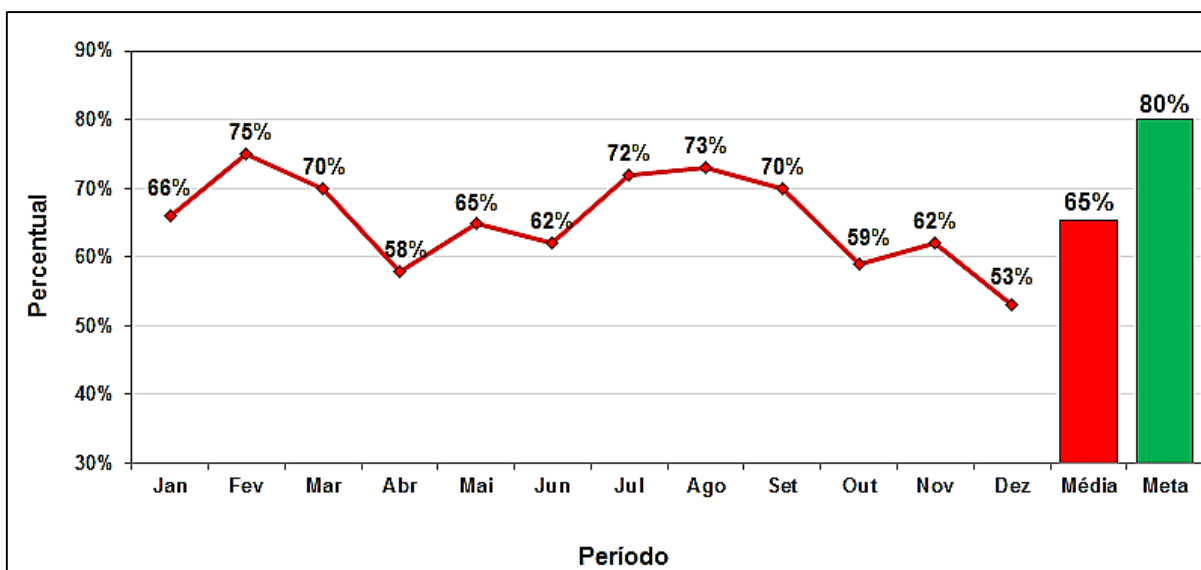


Figura 16 – Eficiência OEE da MP Reciclado em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar a oscilação na eficiência produtiva da MP Reciclado ao decorrer do ano de 2017, com uma piora acentuada nos últimos meses do ano. Muito dessa baixa eficiência é atrelada à grande quantidade de paradas que o equipamento sofria no decorrer dos meses. As paradas de máquina impactam de maneira inversamente proporcional na eficiência, visto que além do tempo decorrido na pausa, a máquina leva um período para reaquecer e atingir a velocidade ideal para a retomada da produção. A Figura 17 denota os tempos de parada no equipamento por motivo de falha mecânica e elétrica no decorrer dos meses de 2017.

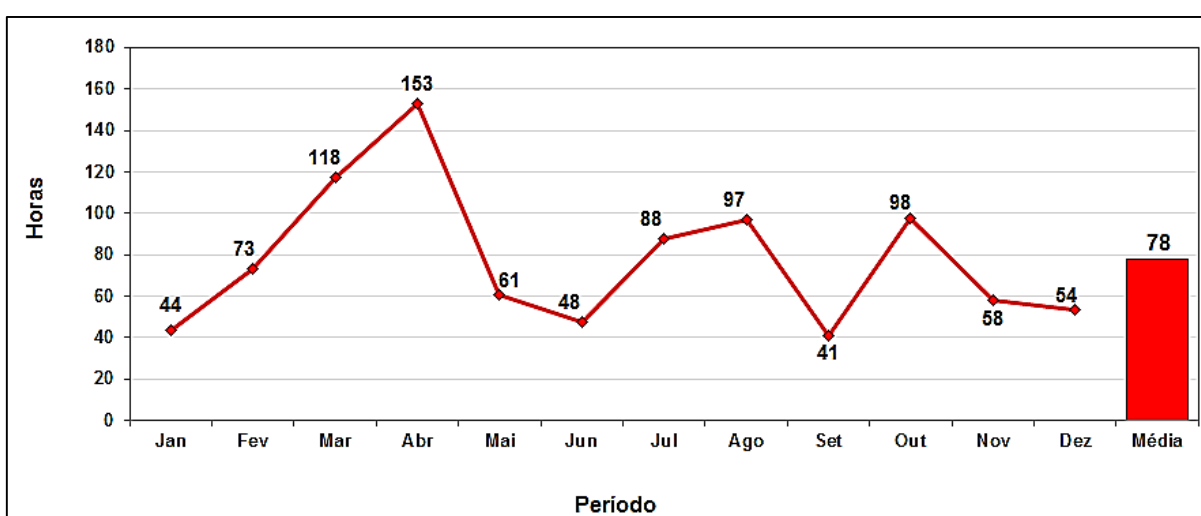


Figura 17 – Tempo de paradas MP Reciclado em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

A MP reciclado, que teve produção total de quase 5,7 milhões de quilogramas de papel em 2017, teria um incremento possível de quase 780 mil quilogramas em sua produção. Para isso, o tempo de 933 horas de paradas no ano, por motivo de manutenção corretiva, deveria ser aproveitado para produção com eficiência de 80%. Assim, é possível inferir que a representatividade desses números é muito importante, denotando grande potencial de melhorias, visto que o processo subsequente também sofria com muitas perdas de tempo e refugo, decorridas da qualidade do papel reciclado.

Grande parte dos tempos de paradas relatados, era relacionada a problemas mecânicos e elétricos. Em função da MP reciclado ter uma concepção antiga e tecnologia ultrapassada, antes do início do projeto, era gasto muito tempo na identificação dos problemas, além do tempo de reparo, elevando as paradas e tornando o processo ineficiente se, em comparação com a MP de papel 100% celulose por exemplo, que conta com um sistema de controle automatizado e responsivo, permitindo resolver problemas sem mesmo ser necessária a parada de máquina.

O processo de transformação do papel, de bobinas Jumbo para papel higiênico, também teve seus números muito afetados em função da má qualidade do papel reciclado no ano de 2017, impactando muito em três das sete linhas de produção da empresa escolhida como unidade de análise. A Figura 18 mostra a eficiência produtiva da Máquina A (MA), que é um equipamento automático, contando com trabalho manual apenas para abastecimento e retirada do produto pronto para paletização. Quando as bobinas Jumbo chegavam no equipamento com baixa resistência, excesso de cola e/ou excesso de emendas, a máquina acabava tendo muitos problemas operacionais, pois essa qualidade inferior fazia com que o papel estourasse muitas vezes no processo, demandando paradas para realimentação, reduzindo eficiência e refugando o papel estourado.

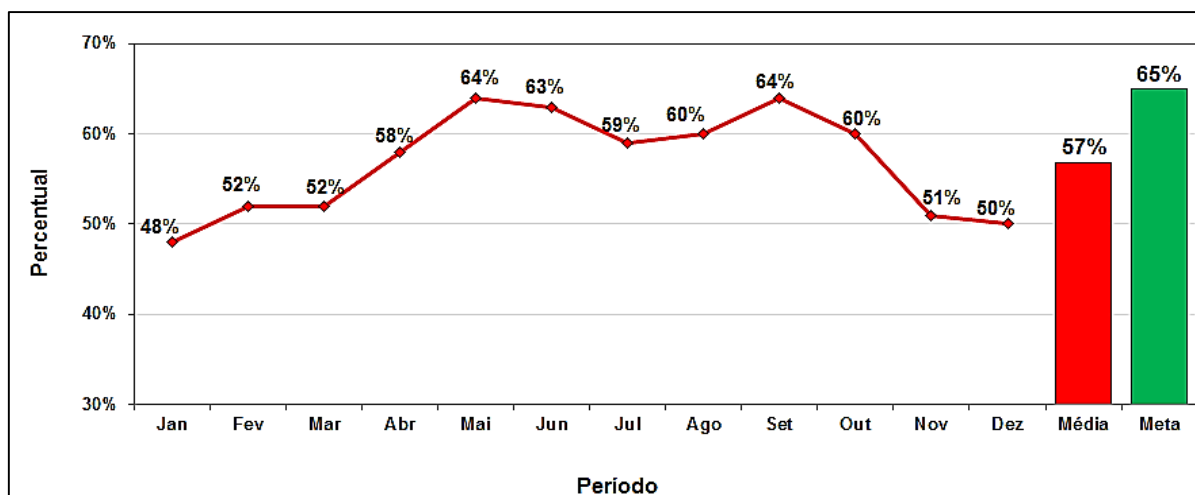


Figura 18 – Eficiência OEE da Máquina A em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

A eficiência OEE do equipamento é inversamente proporcional ao tempo de paradas de máquina. Entre as paradas com influência direta na eficiência da MA no ano de 2017, aquela que mais impactou para o equipamento foi “Emenda/ Papel Estourado”, com 447 horas, que representa 18,6 dias. Se metade desse tempo fosse utilizado para produção, com a eficiência meta de 65%, seria possível a produção de quase 75 mil quilogramas a mais de produto acabado, representando redução de custo direto para ambas as máquinas.

A Figura 19 apresenta o Pareto dos tempos acumulados de parada da MA no ano de 2017, em horas. Observa-se que a parada de “Emenda/ Papel Estourado” representa 28% do tempo, enquanto o acumulado dos quatro primeiros motivos, representa 80% do total de tempo durante todo o período, denotando a importância da atuação sobre essas causas de paradas, a fim de melhorar os índices.

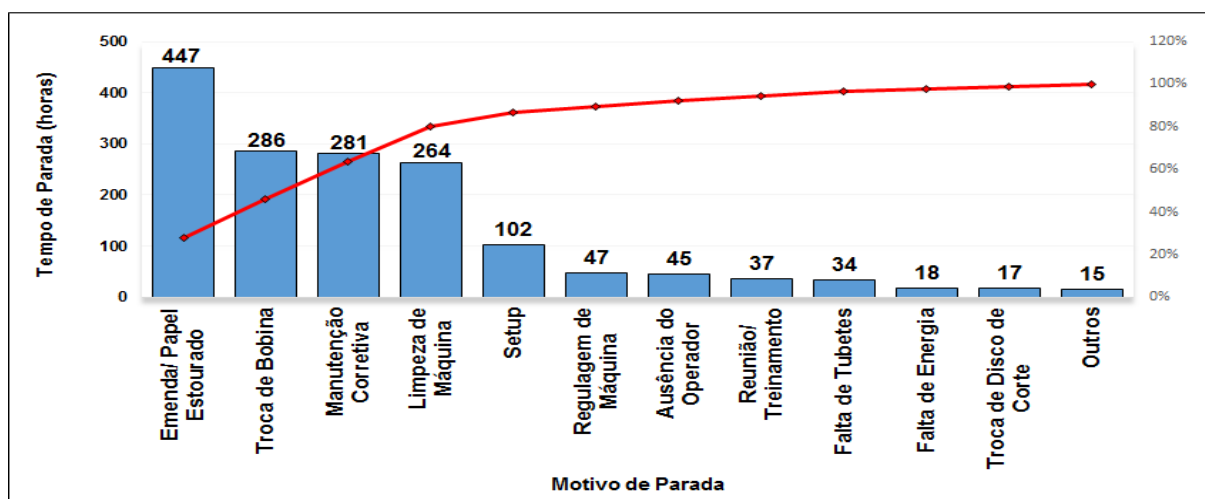


Figura 19 – Pareto de paradas da Máquina A em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

O tempo perdido com os problemas advindos da má qualidade do papel reciclado culminou em um alto índice percentual de refugo para a MA, atingindo média de 12,2% durante todo o ano de 2017, conforme mostra a Figura 20.

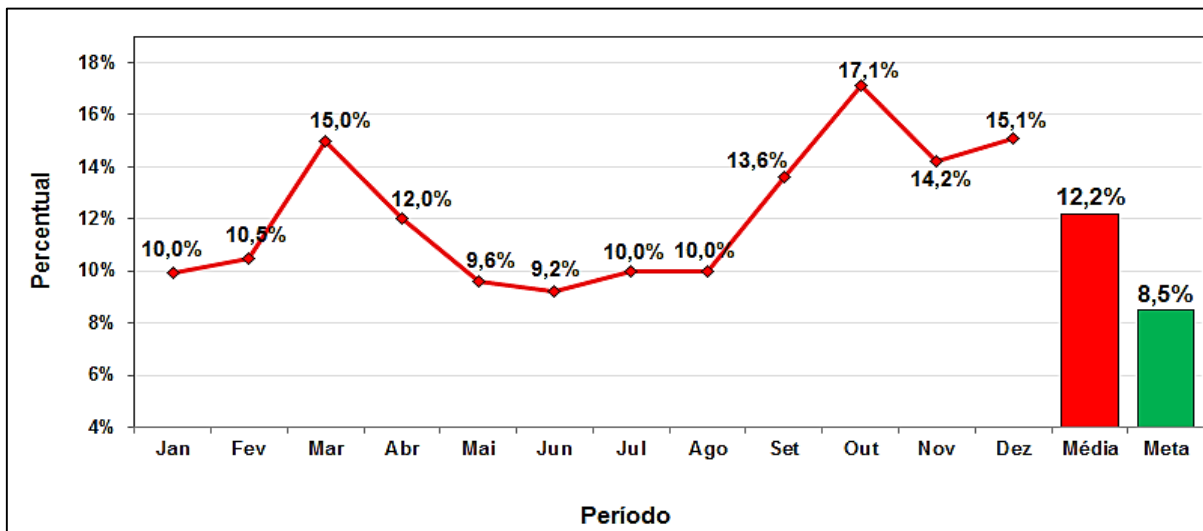


Figura 20 – Gráfico de refugo geral da Máquina A em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

Além dos ganhos possíveis, utilizando o tempo de parada para produção, sobre o percentual de refugo é possível inferir que sua redução até a meta de 8,5% renderia pelo menos 75 toneladas a mais de papel para a mesma demanda de 2017. Diferente da MA, a Máquina B (MB) é um equipamento semi-automático, com trabalho manual nas fases de alimentação, rebobinagem e paletização. Na MB o sistema de controle é inferior, com capacidade produtiva menor. A má qualidade do papel impacta mais na eficiência de máquina do que no refugo. A Figura 21 mostra a média de eficiência *OEE* em 2017.

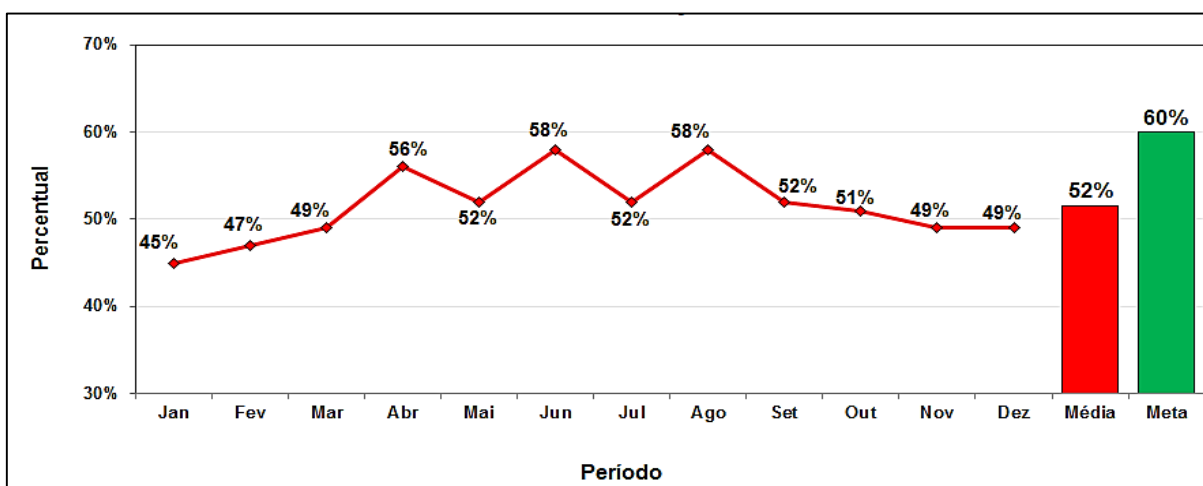


Figura 21 – Eficiência *OEE* da Máquina B em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

Como citado, esse equipamento tende a um percentual de refugo menor do que o caso da MA, visto que a distância entre a área de abastecimento de máquina e rebobinagem é menor, perdendo menos produto, o que pode ser visto na Figura 22.

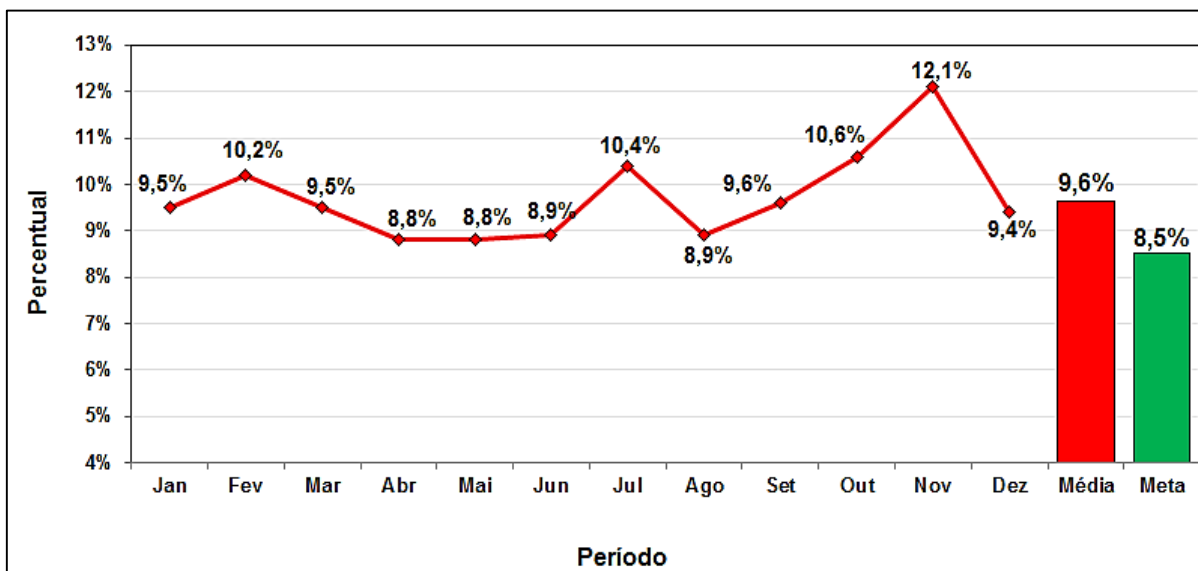


Figura 22 – Gráfico de refugo geral da Máquina B em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

A Máquina C (MC) também segue sistema parecido com a Máquina B, mas com a etapa de embalagem também sendo manual. A Figura 23 mostra a eficiência OEE da linha produtiva em 2017, que neste caso tem uma produtividade menor em função da maior dependência de trabalho manual.

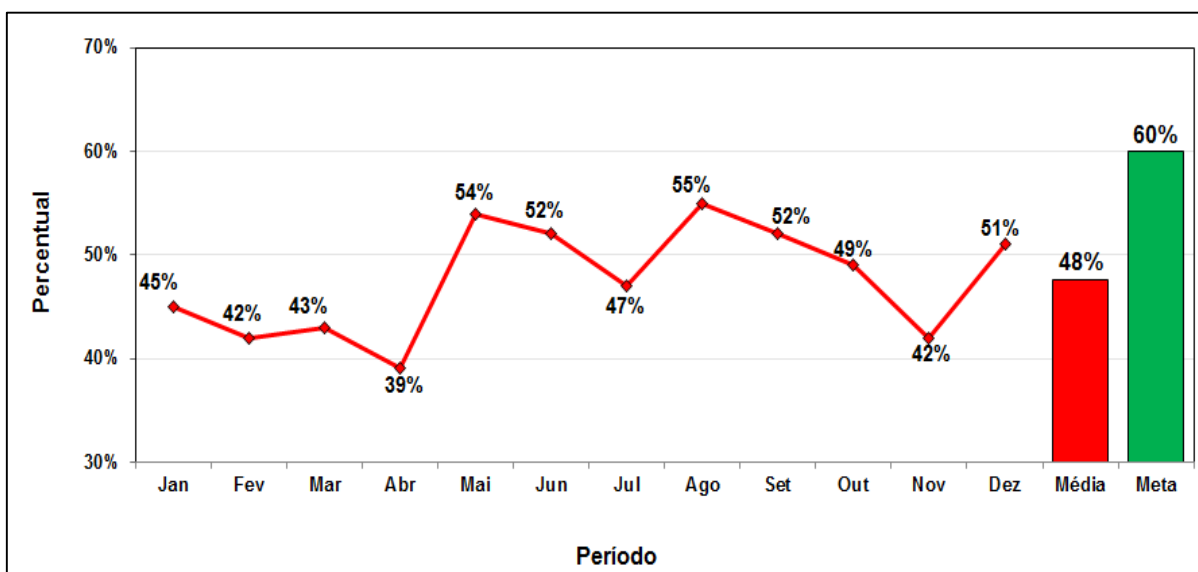


Figura 23 – Eficiência OEE da Máquina C em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a MB, a MC também trabalha com sistema de rebobinagem parecido, com menor distância até o abastecimento de máquina, tendendo a um menor percentual de refugo em relação à MA, conforme mostra a Figura 24.

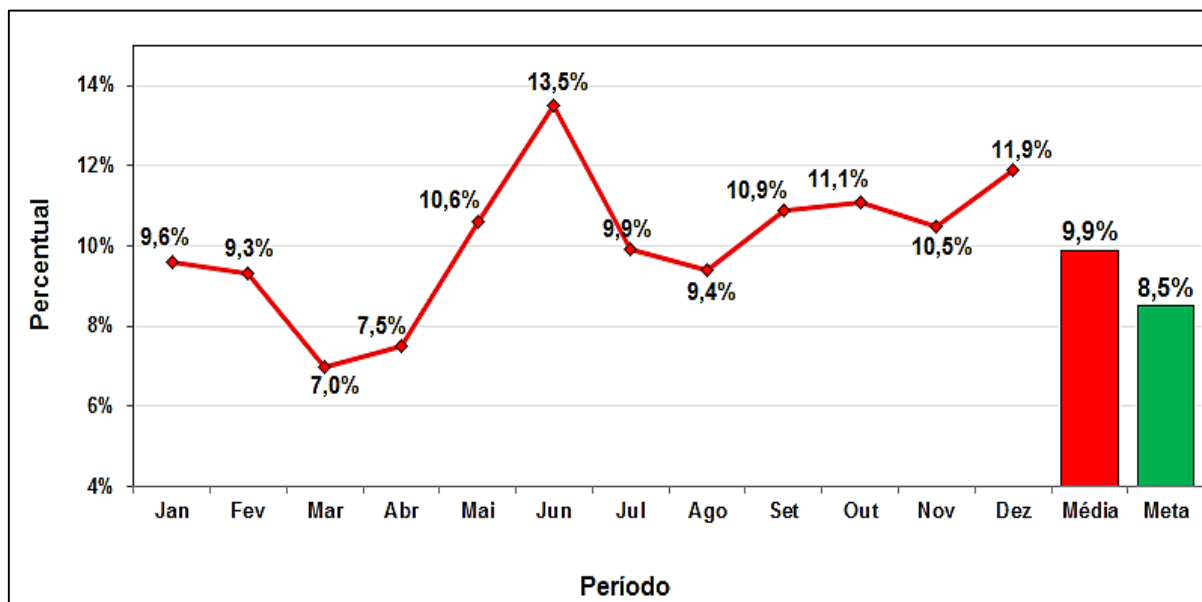


Figura 24 – Gráfico de refugo geral da Máquina C em 2017

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados encontrados na fase de medição do *DMAIC* indicam o potencial de melhoria nos índices dos equipamentos, visto que o impacto da má qualidade do papel reciclado, é facilmente perceptível no processo de transformação, denotando os possíveis retornos financeiros, ao passo que os índices possam ser otimizados.

4.3 ETAPA ANALISAR

A etapa Analisar tem como principal objetivo ir ao encontro da origem do problema e, assim, estará estruturada em alguns principais componentes, sendo eles a identificação da causa-raiz, validação e priorização das causas para execução das melhorias na etapa seguinte.

O fluxograma do processo foi ilustrado na Figura 4, com cada etapa da fabricação do papel. A Figura 15 mostrou um complemento do fluxograma, com o diagrama *SIPOC*, no qual são detalhados fornecedores, entradas e saídas do processo. Com essas ferramentas fornecendo uma visão ampla do sistema de produção, realizou-se uma reunião de *Brainstorming* com os 11 envolvidos do projeto,

a fim de se levantar possíveis causas do problema de qualidade do papel reciclado. Na Figura 25, o diagrama de Ishikawa mostra as causas de problemas levantadas.

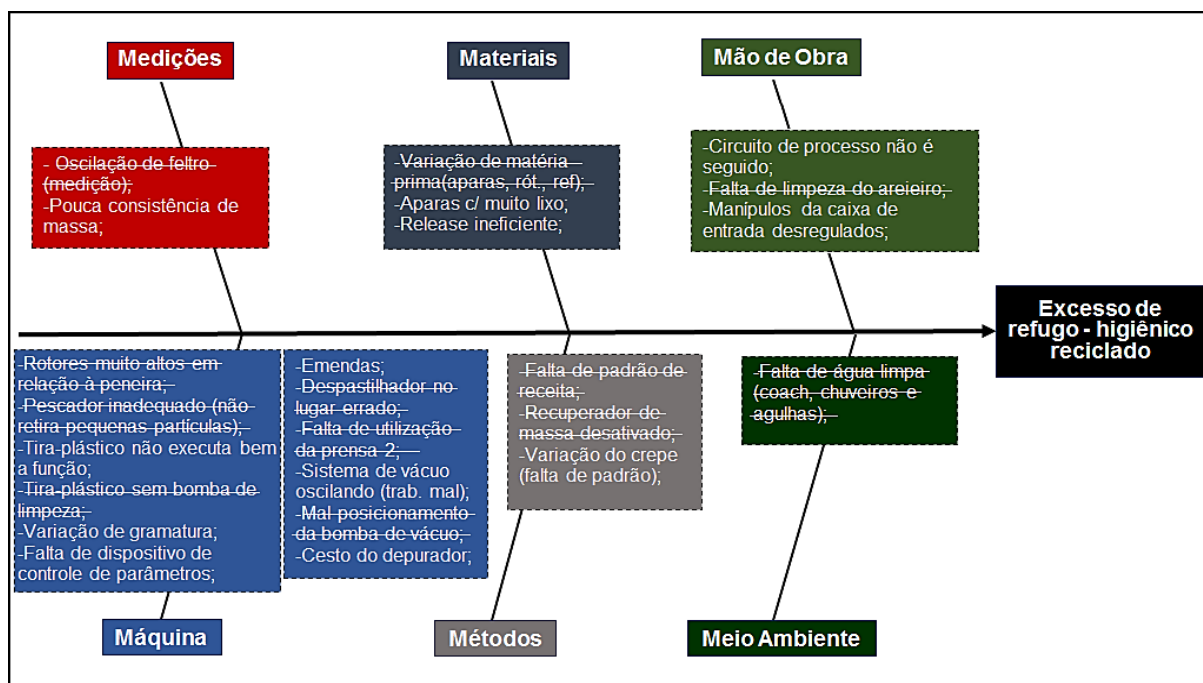


Figura 25 – Diagrama de Ishikawa

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar na Figura 25, que as maiores quantidades de possíveis causas do problema eram relacionadas ao item Máquina, o que indicou uma possível necessidade de análise para investimento em melhoria de equipamento, dada a tecnologia ultrapassada que a MP reciclado possuía. Destaca-se também a quantidade de itens relacionados à Mão de Obra, indicando a possível necessidade de treinamentos para capacitação dos operadores de máquina. A partir do levantamento das possíveis causas, foi avaliada a sua influência na qualidade do papel reciclado.

O resultado da avaliação foi a eliminação de algumas causas, riscadas no próprio diagrama, que se conclui não terem impacto direto na qualidade final do produto, foram verificadas como já realizadas antes do projeto, ou até mesmo seriam desnecessárias para as futuras mudanças do sistema da máquina. Os itens suprimidos para a sequência do projeto foram: Oscilação de feltro; Variação de matéria-prima; Falta de limpeza do areeiro; Rotores altos em relação à peneira; Pescador inadequado; Removedor de plástico sem bomba de limpeza; Despastilhador no lugar errado; Falta de utilização da prensa 2; Mal posicionamento da bomba de vácuo; Falta de padrão de receita; Recuperador de massa desativado e; Falta de água

limpa. A eliminação das causas passou por consenso de todos os envolvidos técnicos da equipe, com aprovação da direção industrial.

Para a elaboração do plano de ação (*5W2H*), o grupo teve dificuldade de definir as causas que deveriam ser priorizadas para estabelecer as ações de melhoria a serem realizadas. Como o papel tem diferentes características que podem impactar de variadas formas no resultado final do produto, o grupo decidiu que fossem priorizadas então as características do papel que mais poderiam estar relacionadas ao problema de qualidade, a fim de então decidir quais causas se relacionavam a quais propriedades. Ocorreu nova discordância, já que as opiniões variavam diante das diferentes percepções de cada um dos envolvidos. Para tanto, foi proposta a aplicação da Análise Multicritério *Fuzzy-TOPSIS*, dada a necessidade de quantificar variáveis qualitativas, captadas via percepção dos decisores acerca de quais fatores possuíam mais importância na qualidade do papel.

4.3.1 Aplicação do *Fuzzy-TOPSIS*

A Figura 26 apresenta o *framework* do processo geral estabelecido para a aplicação da metodologia *Fuzzy-TOPSIS* nesta pesquisa, seguida pelo detalhamento das ações e resultados obtidos na aplicação.

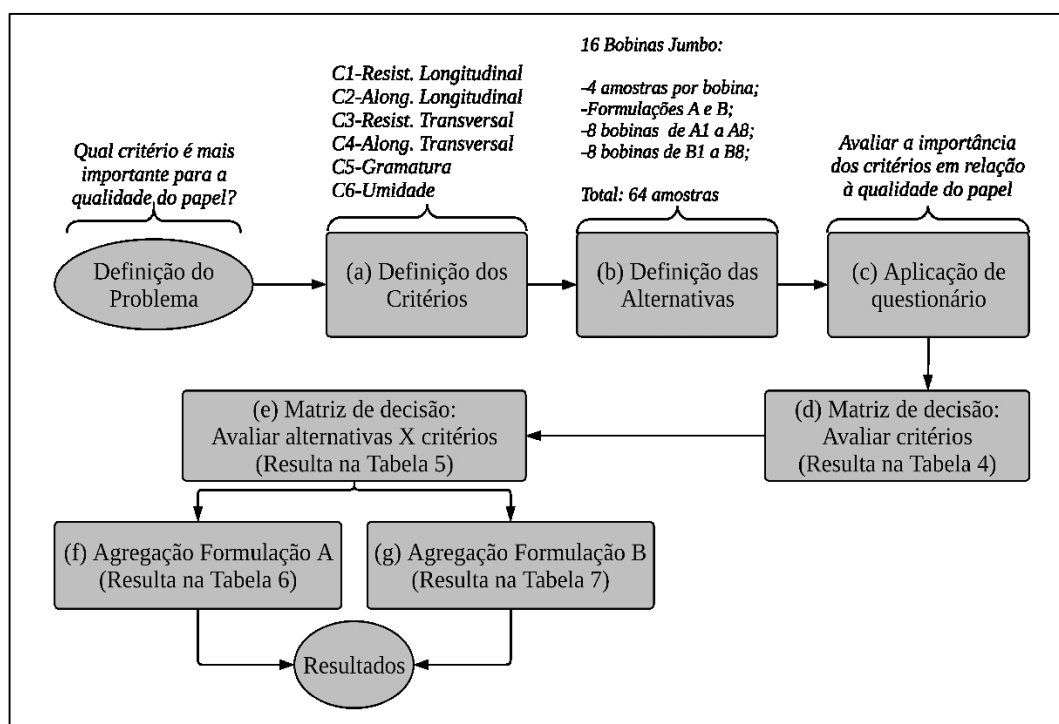


Figura 26 – Processo *Fuzzy-TOPSIS* para definir prioridade em ações de melhorias

Fonte: Elaborado pelo autor

A primeira fase (a) realizada, conforme ilustra a Figura 26 foi a identificação de um conjunto de critérios específicos utilizados no contexto da fabricação de papel, juntamente com os onze especialistas envolvidos no projeto *DMAIC*. Os critérios definidos como preponderantes à qualidade do produto final foram C1-Resistência Longitudinal (medido em Kgf); C2-Alongamento Longitudinal (medido em mm); C3-Resistência Transversal (medido em kgf); C4-Alongamento Transversal (medido em mm); C5-Gramatura (medida em g/m²); e C6-Umidade (medida em %). Na segunda fase (b), para a definição das alternativas, foi realizado recolhimento de dados, durante a conversão de bobinas Jumbo em papel higiênico, no processo subsequente. Foram coletadas informações de 16 bobinas (alternativas) de papel reciclado, em quatro diferentes pontos de cada bobina (início, meio 1, meio 2 e final), totalizando 64 amostras medidas. Essas amostras foram então analisadas em relação aos critérios C1, C2, C3, C4, C5 e C6.

A coleta das amostras foi feita em diferentes dias do mês de novembro de 2017, a fim de ser possível o levantamento de informações de diferentes lotes de produção. Essas amostras representaram aproximadamente 16 toneladas de papel reciclado. As bobinas foram divididas em Formulação A e Formulação B, devido à alteração de formulação durante o período da pesquisa, resultando em oito bobinas enumeradas de A1 a A8 para a Formulação A e outras oito bobinas de B1 a B8 para a Formulação B.

Para medição das resistências longitudinal, transversal e alongamentos longitudinal e transversal utilizou-se um dinamômetro digital da marca Mecatécnica, modelo DHM, que mede ao mesmo tempo as duas grandezas, no sentido desejado. Para mensurar a gramatura do papel eram cortadas amostras de um m² de papel, dobradas e inseridas sobre a bandeja da balança digital de precisão da marca Marte, modelo AD 1000, aferida e com capacidade de 1kg. Para a questão da umidade, foi utilizado um medidor de umidade para papéis *tissue*, marca Gehaka e modelo IV 2500, também calibrado. Ainda, a fim de se validar ao final do processo, a qualidade do resultado obtido, foi medido o percentual de refugo que cada uma das 16 bobinas gerou no processo de conversão de papel. Na medição do refugo, todo papel rejeitado, na produção de cada amostra, foi prensado em fardos e pesado em uma balança digital da marca Líder, modelo LD500 calibrada e com capacidade de 500 kg.

Os decisores do estudo foram as pessoas envolvidas com o projeto *DMAIC*. Estes conhecedores do processo, responderam ao questionário de avaliação dos critérios em relação à qualidade do produto, por meio de termos linguísticos, o qual corresponde à terceira etapa da sequência (c). A necessidade do questionário surgiu da divergência de opinião entre os especialistas, sobre qual dos critérios impactaria mais na qualidade do papel *tissue* reciclado. Na quarta etapa (d) foi realizada a correspondência, com sigla e número *fuzzy*, dos termos linguísticos definidos para a realização da avaliação, conforme ilustra a Tabela 1. Os termos foram expressos por funções de pertinência trapezoidais, para capturar a incerteza das avaliações linguísticas conforme os trabalhos de Chen *et al.* (2006) e Shiraz *et al.* (2014).

Tabela 1 – Termos linguísticos de avaliação dos critérios

Termos Linguísticos	Sigla	Número Fuzzy Trapezoidal
Nenhuma	N	(0,0; 0,0; 0,1; 0,2)
Muito Baixa	MB	(0,1; 0,2; 0,2; 0,3)
Baixa	B	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)
Moderada	M	(0,4; 0,5; 0,5; 0,6)
Alta	AL	(0,5; 0,6; 0,7; 0,8)
Muito Alta	MA	(0,7; 0,8; 0,8; 0,9)
Absoluta	AB	(0,8; 0,9; 1,0; 1,0)

Fonte: Elaborado pelo autor

Na quinta etapa (e), para avaliação de cada bobina utilizada (alternativas) na pesquisa, definiram-se faixas de valor que enquadravam cada amostra analisada, nos equipamentos metrológicos específicos, em um determinado nível. Estes níveis foram utilizados como correspondência para definição de cada termo linguístico. A Tabela 2 denota as faixas de valores utilizadas para relacionar cada amostra aos respectivos termos linguísticos.

Tabela 2 – Faixas de valores para correlação dos termos linguísticos

Critérios	Péssimo (P)	Muito Ruim (MR)	Ruim (R)	Razoável (RL)	Bom (B)	Muito Bom (MB)	Ótimo (O)
C1	0-0,44	0,45-0,59	0,6-0,74	0,75-0,89	0,9-1,04	1,05-1,29	>1,3
C2	9-10,4	10,5-11,9	12-13,4	13,5-14,9	15-16,4	16,5-17,99	>18
C3	0-0,44	0,45-0,59	0,6-0,74	0,75-0,89	0,9-1,04	1,05-1,29	>1,3
C4	0-1,49	1,5-1,99	2-2,49	2,5-2,99	3-3,49	3,5-3,99	>4
C5	<15,5;>20	15,6-16; 19,5-20	16,1-16,5; 19,1-19,5	16,6-17	18,6-19	17,1-17,5; 18,1-18,5	17,6-18
C6	<5;>10,5	5-5,4; 10-10,4	5,5-5,9; 9,5-9,9	6,5-6,9; 9-9,4	6,5-6,9; 8,6-9	7-7,5; 8,1-8,5	7,6-8

Fonte: Elaborado pelo autor

Desta forma, na sexta (f) e sétima (g) etapas, possibilitou-se a análise de cada amostra pertencente a cada alternativa, em relação aos diferentes critérios. Os termos linguísticos, bem como sua sigla e número *fuzzy*, para a avaliação das diferentes alternativas são denotados pela Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 – Termos linguísticos de avaliação das alternativas

Termos Linguísticos	Sigla	Número Fuzzy Trapezoidal
Péssimo	P	(0,0; 0,0; 0,1; 0,2)
Muito Ruim	MR	(0,1; 0,2; 0,2; 0,3)
Ruim	R	(0,2; 0,3; 0,4; 0,5)
Razoável	RL	(0,4; 0,5; 0,5; 0,6)
Bom	B	(0,5; 0,6; 0,7; 0,8)
Muito Bom	MB	(0,7; 0,8; 0,8; 0,9)
Ótimo	O	(0,8; 0,9; 1,0; 1,0)

Fonte: Elaborado pelo autor

Definidos os critérios, decisores, alternativas e termos linguísticos, o próximo passo foi construir a matriz de decisão *fuzzy*. Isso, para a análise dos critérios por parte dos decisores, a fim de atribuir peso a cada critério. Os valores linguísticos atribuídos pelos decisores para cada critério, foram associados a números *fuzzy* trapezoidais, agregados por intermédio da utilização da Equação (2), são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Avaliação dos critérios por parte dos decisores

Critérios	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	Pesos	Ranking
C1	MA	M	AL	MA	AL	M	AL	AB	AL	AB	0,187	2
C2	AL	AL	M	MA	M	M	M	AL	B	AL	0,149	5
C3	M	M	AL	MA	M	AL	M	AB	M	AL	0,179	3
C4	M	AL	M	AL	M	M	M	M	MB	AL	0,126	6
C5	AB	AB	AB	M	M	MA	AL	MA	MA	AB	0,195	1
C6	AL	M	M	M	B	MA	MA	MA	AL	AB	0,164	4

Fonte: Elaborado pelo autor

O critério C5-Gramatura apresentou maior destaque em relação aos demais, sendo avaliado como mais impactante na qualidade do produto, por parte dos decisores. Posteriormente, foram analisadas cada uma das amostras de início, primeira metade, segunda metade e final, de cada uma das alternativas. A Tabela 5, elucida a matriz gerada para cada uma das formulações (Form. A e Form. B), a partir da correspondência feita com as faixas de valores definidas pelos decisores, mostradas anteriormente na Tabela 3.

Tabela 5 – Avaliação das alternativas em relação a cada critério

								(Continua)						
Form. A	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Form. B	C1	C2	C3	C4	C5	C6	
INÍCIO	A1	MR	RL	RL	R	RL	R	B1	B	R	MB	R	B	O
	A2	MB	MR	B	B	O	MB	B2	B	MB	R	MB	RL	MB
	A3	MR	B	MR	R	RL	MB	B3	R	O	B	O	O	MB
	A4	B	MB	RL	RL	P	B	B4	MB	RL	MB	RL	O	O
	A5	RL	MR	MB	B	RL	RL	B5	MB	MB	RL	MB	B	RL
	A6	B	MR	RL	B	P	RL	B6	B	RL	B	RL	O	O
	A7	MB	RL	O	R	B	O	B7	RL	MR	O	MR	B	O
	A8	B	RL	B	R	B	O	B8	MB	MR	RL	MR	O	MB
MEIO 1	A1	RL	MB	B	R	P	R	B1	RL	RL	RL	RL	B	O
	A2	B	MB	R	B	O	MB	B2	RL	MB	RL	MB	RL	MB
	A3	MR	RL	B	B	P	MB	B3	R	MB	RL	MB	O	MB
	A4	B	B	RL	RL	B	B	B4	MB	R	B	R	RL	O
	A5	MR	MR	RL	RL	R	RL	B5	B	MB	RL	MB	B	RL
	A6	RL	MR	RL	B	O	RL	B6	RL	B	RL	B	O	O
	A7	B	MR	MB	R	P	O	B7	MR	RL	B	RL	R	O
	A8	R	R	RL	R	B	O	B8	MB	MR	R	MR	O	MB
MEIO 2	A1	R	MB	RL	MR	O	R	B1	RL	RL	RL	RL	B	O
	A2	O	MB	MB	B	RL	MB	B2	RL	B	B	B	RL	MB
	A3	R	RL	B	B	P	MB	B3	B	O	B	O	B	MB
	A4	RL	MB	RL	RL	P	B	B4	B	R	B	R	O	O
	A5	R	RL	RL	RL	R	RL	B5	MR	MB	B	MB	P	RL

							(Conclusão)									
	A6	O	RL	B	B	B	RL		B6	MR	RL	B	RL	B	O	
	A7	MB	R	MB	RL	P	O		B7	MB	MB	B	MB	R	O	
	A8	RL	P	MR	B	O	O		B8	O	RL	RL	RL	MB	MB	
FINAL	A1	P	RL	MR	MR	P	R	FINAL	B1	B	R	RL	R	B	O	
	A2	RL	MR	B	B	RL	MB		B2	MR	RL	R	RL	RL	RL	MB
	A3	RL	MB	B	RL	P	MB		B3	RL	R	B	R	B	B	MB
	A4	R	MB	MR	RL	P	B		B4	RL	R	RL	R	O	O	
	A5	MR	R	RL	MR	RL	RL		B5	RL	RL	RL	RL	B	RL	
	A6	RL	R	RL	B	O	RL		B6	R	RL	B	RL	B	O	
	A7	RL	R	B	MR	P	O		B7	MB	O	O	O	P	O	
	A8	MR	P	MR	B	O	O		B8	O	R	R	R	MB	MB	

Fonte: Elaborado pelo autor

Posteriormente, foi realizada a agregação dos valores das amostras, a fim de gerar para cada bobina das distintas formulações, apenas um valor relacionado a cada um dos seis critérios. Assim, por via das Equações (13) e (14) foi possível a determinação dos $FPIS$ e $FNIS$, das distâncias em relação às soluções ideais e, via Equação (15) determinou-se o coeficiente de proximidade (CC_i) para cada uma das alternativas. As Tabelas 6 e 7 demonstram os resultados obtidos para cada formulação, já com os percentuais de refugos de cada amostra, a fim de validar a qualidade do resultado obtido.

Tabela 6 – Resultados obtidos acerca da Formulação A

Form. A	d_i^*	d_i^-	CC_i	Ranking	Refugo
A1	5,593	0,472	0,078	8	17,3%
A2	5,340	0,698	0,116	1	9,5%
A3	5,518	0,533	0,088	6	15,7%
A4	5,500	0,547	0,091	5	16,0%
A5	5,562	0,471	0,079	7	16,2%
A6	5,451	0,592	0,098	4	12,1%
A7	5,434	0,615	0,102	2	9,9%
A8	5,411	0,609	0,101	3	9,8%

Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados denotam que a bobina denominada A2 é a que obteve maior destaque em relação às demais. Suas características são as que mais beneficiam a qualidade do produto. O percentual de refugo gerado por cada bobina foi medido no processo subsequente à fabricação, apresentando altos índices. É possível perceber

que a bobina A2 teve o menor percentual em relação às demais. Isso respalda o resultado obtido na análise do CC_i , visto que, quanto menor o percentual de refugo gerado, mais qualidade tem o produto. Ainda, para as bobinas A7 e A8, ranqueadas em 2º e 3º lugares, foi constatada a similaridade em seus valores, tanto no percentual de refugo, quanto no CC_i .

O percentual de refugo variava muito entre as bobinas. Da mesma forma como foi feita análise das bobinas da formulação A, realizou-se o processo para as bobinas da formulação B. As formulações eram diferentes em relação à dosagem da composição das matérias-primas utilizadas para a fabricação do papel. Para tanto, a fim de que os resultados da análise das bobinas de uma formulação não interferissem na outra, ambas foram separadas. Isso possibilitou um comparativo a respeito de qual formulação gerava mais problemas de qualidade no produto final. A Tabela 7 mostra os resultados obtidos para a formulação B.

Tabela 7 – Resultados obtidos acerca da Formulação B

Form. B	d_i^*	d_i^-	CC_i	Ranking	Refugo
B1	5,390	0,628	0,104	6	15,6%
B2	5,419	0,612	0,101	7	16,0%
B3	5,336	0,701	0,116	1	11,0%
B4	5,352	0,674	0,112	4	15,1%
B5	5,447	0,598	0,099	8	17,2%
B6	5,353	0,675	0,112	3	14,9%
B7	5,382	0,683	0,113	2	13,1%
B8	5,376	0,645	0,107	5	15,8%

Fonte: Elaborado pelo autor

É possível observar que, a bobina da formulação B que obteve melhor resultado no ranking foi a B3. Contudo, essa mesma bobina gera um percentual de refugo maior do que o melhor resultado da formulação A. No caso da formulação B, o problema é mais acentuado, mas a proximidade dos CC_i obtidos é ainda maior entre os seus três primeiros valores, em relação ao caso da formulação A. Assim, é possível observar a maior incerteza para B.

Os decisores validaram os resultados encontrados e comprovaram a importância do modelo, que concebeu informações estratégicas para gestão e sequência do projeto. Desta forma, a partir das análises realizadas, é possível traçar

o perfil ideal de parâmetros que devem ser buscados na fabricação. Corroborando, a partir dos pesos atribuídos para cada critério, priorizaram-se a realização de ações de melhorias relativas a cada critério elencado como mais importante.

Ainda, as bobinas classificadas como melhor desempenho em relação à qualidade, obtiveram também o menor índice de refugo em ambos os casos, o que respalda as indicações dos decisores. Assim, no caso de dúvida para a priorização de realização de ações de melhorias, foi definida a preferência às ações que relacionavam-se à melhoria do parâmetro C5-Gramatura do papel, como pode ser observado anteriormente na Tabela 4.

4.4 ETAPA MELHORAR

Esta etapa iniciou-se com a apresentação da priorização das causas-raiz, obtida da aplicação do *fuzzy-TOPSIS* na etapa anterior, aos componentes do grupo de projeto. Isso, a fim de facilitar o *brainstorming* seguinte para identificação de soluções de melhoria, elaboração e execução do plano de ação, que seguiu a lógica da ferramenta *5W2H*. O planejamento das ações ficou dividido em nove itens, conforme o Quadro 1 do Apêndice B, priorizando as ações relativas a problemas que causavam mais impacto na gramatura do papel. Na sequência, são descritas as nove ações realizadas durante a fase de melhoria, bem como os resultados percebidos.

4.4.1 Variação de gramatura e emendas

As emendas são causadas no processo de bobinamento do papel, na saída da máquina, em virtude da descontinuidade de saída de produto no cilindro Yankee. Esse problema é causado por variações na parte anterior do processo da máquina, como entupimento de bombas ou bicos da caixa de entrada, que é responsável por distribuir a massa na tela formadora. O entupimento é causado em virtude de partículas provenientes do início do processo, ou seja, a preparação de massa. A preparação de massa da MP Reciclado, assim como toda constituição do equipamento, era de concepção antiga e tecnologia ultrapassada, toda mecânica.

O *Hidrapulper* de “Baixa Consistência”, onde ocorria a mistura de aparas de papel com água, seria uma boa alternativa para desagregação de celulose, mas

ineficiente para o trabalho com aparas, principalmente se elas contêm uma alta carga de contaminantes. Isso, porque o tipo de rotor desse equipamento picava o papel durante a mistura, funcionando como uma espécie de liquidificador e, desta forma, facilitando a passagem de plástico picado pelos orifícios das peneiras, que contavam com diâmetro de 6 mm em seus furos. Então, por mais que a massa de papel ainda passasse por outros processos de limpeza e separação, acabava por chegar ao final do processo com impureza e constituindo o produto final.

O plástico que avançava em grande quantidade e chegava ao final do processo, por ser um produto inerte, se derretia durante a secagem do papel na passagem pelo cilindro *Yankee* e, quando ocorria o bobinamento, acabava se grudando ao papel, resultando no problema denominado como “cola”. No processo seguinte, ou já no cliente, ocorria durante o desbobinamento, de o papel ficar grudado nele mesmo e se rasgar, causando a parada de máquina, conforme constatado na etapa “Medir”.

Como este problema era diretamente ligado à variação de gramatura do papel e sua raiz fazia parte do início do processo, corroborando ainda com a falta de tecnologia do equipamento, decidiu-se pela análise de viabilidade econômica de um projeto de investimento para *Upgrade* da estação de preparo de massa. Como o possível retorno financeiro com a realização do projeto já havia sido calculado, considerou-se então o valor estimado de retorno de R\$ 910 mil por ano, para o caso de diminuição de percentual de refugo nas máquinas de conversão de papel, além da melhoria de eficiência da MP Reciclado. Considerando o retorno como fluxo de caixa, o valor mensal ficou em torno de R\$ 75.830,00 mensais.

Com as alternativas consultadas para atender a necessidade da empresa escolhida como unidade de análise, por decisão técnica entre os especializados no processo, definiu-se a necessidade de aquisição de um *Hidrapulper* de alta consistência, que utilizasse menos água e com formato de rotor diferente. Ao contrário do *Hidrapulper* anterior, que trabalhava com baixa consistência de massa, essa nova constituição não picaria mais o plástico, a desagregação das aparas aconteceria apenas pela agitação e os orifícios das peneiras teriam um diâmetro muito menor que o sistema anterior, com apenas 1,8 mm. Além disso, o equipamento contaria com um dispositivo extra, denominado pêra, responsável por mais um processo de filtragem que separa as fibras boas das impurezas. Este novo preparo de massa seria

responsável por diminuir em mais de 70% o envio de plástico para a sequência do processo, diminuindo paradas da MP Reciclado por problemas de entupimento, o que acarretava manutenção, além das paradas de máquina por problema de qualidade no processo subsequente e, conseqüentemente, diminuição dos índices de refugo e aumento de produtividade em todos os processos.

O orçamento realizado ficou no valor de R\$ 2.025.000,00, contemplando além do novo preparo de massa, as obras civis e um sistema de controle moderno e automatizado, com sensores nas partes cruciais da MP Reciclado, permitindo identificação e resolução de muitos problemas sem mesmo parar o equipamento, como era feito anteriormente, além de controle mais eficaz da gramatura do papel. A Figura 27 representa o novo *Hidrapulper* e a constituição do formato do rotor para alta consistência.

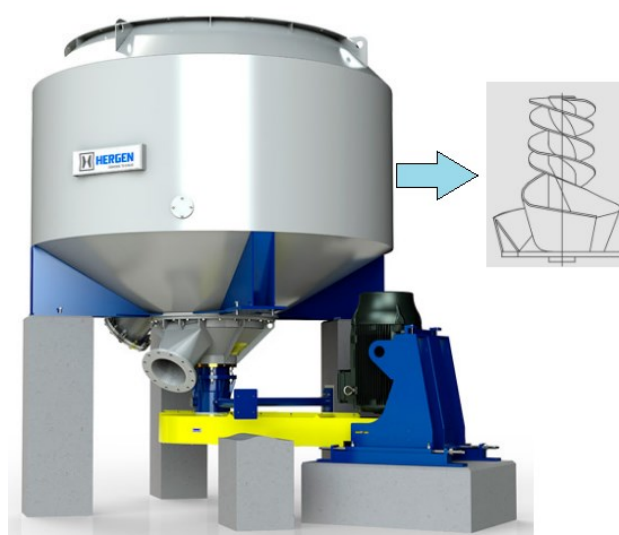


Figura 27 – Novo Hidrapulper
Fonte: Catálogo Hergen (2018)

A questão da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para realização de cálculo do Projeto de Investimento (PI) foi definida pelo valor da SELIC de janeiro de 2018 (quando foi realizada a análise), a qual corresponde à taxa básica de juros da economia brasileira, utilizada no mercado interbancário para financiamento de operações com duração diária. Os cálculos para análise de viabilidade econômica do projeto de investimento, realizaram-se seguindo a MMIA, via aplicativo *web \$AVEPI*. Ainda, via aplicativo, que contempla módulo específico para análise estocástica, realizou-se a Simulação de Monte Carlo (SMC) com 100 mil simulações, a fim de observar possíveis variabilidades que o PI poderia sofrer.

No SAVEPI, utilizando-se a MMIA foram inseridos os valores de *input* no módulo de análise determinística, para demonstração dos resultados considerados mais relevantes, confrontando-se a utilização de recursos próprios com financiamento, para realização do PI. Utilizaram-se os valores de 0,7414% para TMA, relativo à taxa SELIC. Ainda, adotou-se a taxa de 24% ao mês para impostos, horizonte de planejamento de 40 meses, afim de se ter um prazo de análise de projeto, valor do investimento inicial (FC_0) de R\$ 2.025.000,00 e fluxo de caixa (FC_j) igual a R\$ 75.830,00 relativo à economia mensal projetada, com depreciação constante em prazo de 40 meses, no sistema SAC de amortização. A Tabela 8 apresenta o fluxo de caixa do projeto para recursos próprios.

Tabela 8 – Fluxo de caixa do projeto de investimento DMAIC

(Continua)

j	FC_j	DL_j	Base IR	IR_j	$FC2_j$	FCD_j	$FCDA_j$	min j
0	-2.025.000	-	-	-	-2.025.000	-2.025.000	-2.025.000,00	-
1	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	69.267,25	-1.955.732,75	NP
2	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	68.757,48	-1.886.975,26	NP
3	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	68.251,47	-1.818.723,79	NP
4	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	67.749,18	-1.750.974,62	NP
5	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	67.250,58	-1.683.724,04	NP
6	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	66.755,65	-1.616.968,39	NP
7	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	66.264,37	-1.550.704,02	NP
8	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	65.776,70	-1.484.927,31	NP
9	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	65.292,62	-1.419.634,69	NP
10	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	64.812,10	-1.354.822,59	NP
11	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	64.335,12	-1.290.487,46	NP
12	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	63.861,65	-1.226.625,81	NP
13	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	63.391,67	-1.163.234,14	NP
14	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	62.925,14	-1.100.309,00	NP
15	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	62.462,05	-1.037.846,95	NP
16	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	62.002,36	-975.844,59	NP
17	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	61.546,06	-914.298,53	NP
18	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	61.093,11	-853.205,42	NP
19	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	60.643,50	-792.561,91	NP
20	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	60.197,20	-732.364,71	NP
21	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	59.754,18	-672.610,53	NP
22	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	59.314,43	-613.296,10	NP
23	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	58.877,91	-554.418,19	NP
24	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	58.444,60	-495.973,60	NP
25	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	58.014,48	-437.959,12	NP
26	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	57.587,52	-380.371,59	NP
27	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	57.163,71	-323.207,88	NP
28	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	56.743,02	-266.464,86	NP
29	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	56.325,42	-210.139,43	NP
30	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	55.910,90	-154.228,53	NP
31	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	55.499,43	-98.729,11	NP

								(Conclusão)
32	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	55.090,98	-43.638,12	NP
33	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	54.685,54	11.047,42	33
34	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	54.283,09	65.330,51	34
35	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	53.883,60	119.214,11	35
36	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	53.487,04	172.701,15	36
37	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	53.093,41	225.794,56	37
38	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	52.702,67	278.497,23	38
39	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	52.314,81	330.812,04	39
40	75.830,00	50.625,00	25.205,00	6.049,20	69.780,80	51.929,80	382.741,84	40

Legenda: Período (j); Fluxo de Caixa (FCj); Depreciação Linear (DLj); Base do Imposto de Renda (Base IR); Imposto de Renda (IRj); Fluxo de caixa após IR (FC2j); Fluxo de caixa descapitalizado para a data zero (FCDj); Acumulado (FCDAj); Payback (min j); Não Pago (NP).

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do SAVEPI

Quanto aos *inputs* do financiamento, utilizou-se um percentual financiável de 90%, em prazo de 40 meses e taxa de juros de 1,0979% ao mês, sendo taxas relativas ao financiamento direto com o fabricante, naquele momento a menor do mercado. Ademais, para essa linha de financiamento considerou-se a carência de 1 mês após instalação do equipamento. Na Tabela 9 são apresentados os resultados dos indicadores econômicos considerados mais relevantes, sendo eles: de retorno (VPL, IBC e ROIA); de risco (Payback, TIR e Payback/N); de sensibilidade (Variação da TMA, variação do FC₀ e variação do FC_j).

Tabela 9 – Indicadores da abordagem determinística projeto DMAIC

Dimensão	Indicador	Rec. Próprios	Financiamento + TMA
Retorno (a)	VPL	382.741,84	350.569,09
	VPLA	11.092,56	10.160,14
	IBC	1,1890	1,1731
	ROIA (%)	0,43	0,40
	Índice ROIA/TMA (%)	58,50	53,95
Riscos (b)	<i>Payback</i>	33	34
	TIR (%)	1,67	1,58
	Índice <i>Payback</i> /N (%)	82,50	85,00
	Índice TMA/TIR (%)	44,46	47,02
Limites de Elasticidade (c)	Δ% TMA	124,95	112,66
	Δ% FC ₀	18,9	17,31
	Δ% FC _j	15,90	14,76

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do SAVEPI

(a) Análise da Dimensão Retorno: Tem-se a expectativa de que a empresa recupere os investimentos realizados, com a implantação do PI, ou seja, aquisição de novo preparo de massa e sistema de controle. O indicador Valor Presente Líquido (VPL), mostrado na Tabela 9, representa o retorno além do que se pode obter, caso o mesmo investimento inicial (FC₀) fosse aplicado com a taxa SELIC utilizada como TMA. Nota-se que para o VPL, a utilização de “Recursos próprios” gera um maior retorno, com R\$ 382.741,84, contra R\$ 350.569,09 para utilização de financiamento na execução do PI. O Índice Benefício/Custo (IBC) apresentou os valores 1,1890 para recursos próprios, enquanto para Financiamento o retorno calculado foi de R\$ 1,1731 para cada R\$ 1,00 investido, favorecendo mais uma vez a utilização de recursos próprios, assim como em todas as demais análises discutidas para abordagem determinística. Ainda na dimensão retorno, o ROIA resultou em de 0,43% para recursos próprios e 0,40% para financiamento adicionado da TMA. Para o índice ROIA/TMA, com 58,5% para recursos próprios e 53,95% para financiamento, o enquadramento do PI ficou no nível médio, conforme Lima *et al.* (2018).

(b) Análise da Dimensão Riscos: O período de tempo necessário para recuperação do investimento, ou *Payback*, ficou em 33 meses para utilização de recursos próprios, enquanto que com a opção por Financiamento o tempo é de 34 meses. Paralelo a este, o índice *Payback/N* relaciona o *Payback* com o horizonte de planejamento (N) do projeto (LIMA *et al.*, 2015). Quanto menor o valor obtido para este índice, mais baixo o risco do projeto não recuperar o investimento inicial realizado. Para os índices *Payback/N*, foram obtidos os valores de 82,5% e 85%, para recursos próprios e Financiamento, enquanto que, a Taxa Interna de Retorno (TIR), que define um limite máximo para a variação da TMA, obteve como resultados os valores de 1,67% e 1,58%, respectivamente, denotando que a utilização de qualquer uma das duas alternativas, para realização do PI, sofrem riscos parecidos.

(c) Análise dos Limites de Elasticidade e Valores Limite: O indicador de variação da TMA mostra que, para inviabilizar economicamente o presente PI, a TMA teria que aumentar 124,95% para opção recursos próprios, enquanto que para Financiamento o aumento teria que ser de 112,66%, o que é improvável, se analisada a variação da SELIC nos últimos 20 anos. O indicador de variação do FC₀ mostra que o investimento inicial poderia ter um aumento de 18,9% para recursos próprios e 17,31% para financiamento. Já a variação máxima suportada pelo fluxo de caixa (FC_j), antes de

inviabilizar o PI, é de 15,9% para recursos próprios e 14,76% para a utilização de financiamento, considerada baixa pela escala proposta por Lima *et al.* (2018).

Devido aos resultados do confronto entre as dimensões (LIMA *et al.*, 2018), justifica-se o aprofundamento da análise na Simulação de Monte Carlo (SMC). Levando em conta possíveis variabilidades, utilizou-se no SAVEPI a SMC com 100 mil simulações. Foram estabelecidos valores limites mínimos e máximos para os fatores: TMA, FC_0 e FC_j , mantendo os mesmos valores médios utilizados na abordagem determinística, por meio de distribuição triangular, variando apenas os mínimos e máximos em 5% para cada caso. A distribuição de probabilidade do VPL para a opção de utilização de recursos próprios ficou entre R\$ 299.634,87 e R\$ 465.545,95 com 95% de certeza e uma média, valor mais provável, de R\$ 381.169,35, além de 0% de probabilidade do VPL ser menor que zero. A Figura 28 mostra a distribuição normal para recursos próprios, gerada pelo aplicativo SAVEPI, com 95% de probabilidade de ocorrência.

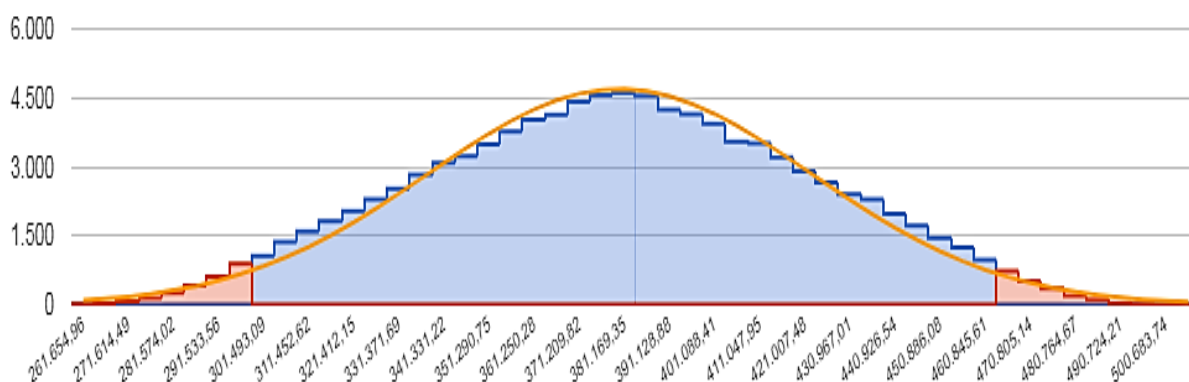


Figura 28 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Rec. Próprios (DMAIC)

Fonte: SAVEPI

A distribuição de probabilidade do VPL para a opção de utilização de Financiamento ficou entre R\$ 267.279,24 e R\$ 433.557,61 com 95% de certeza e uma média, valor mais provável, de R\$ 348.399,95, além de 0% de chance do VPL ser menor que zero. A Figura 29 mostra a distribuição normal para Financiamento com 95% de probabilidade de ocorrência.

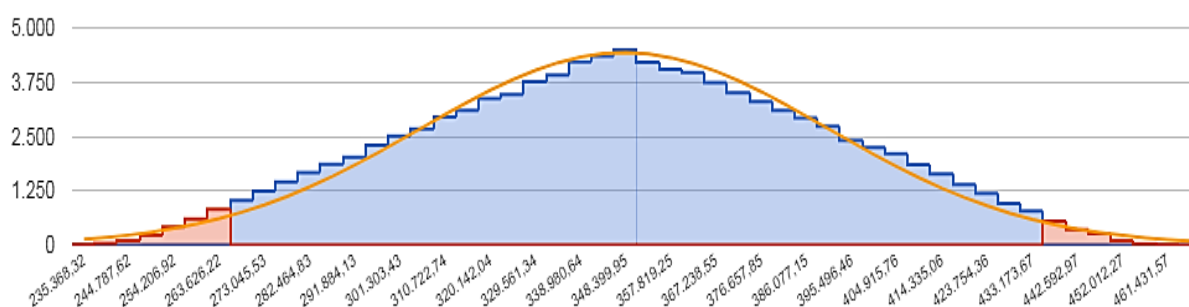


Figura 29 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Financiamento (DMAIC)

Fonte: SAVEPI

Assim, percebe-se que a utilização de recursos próprios, mesmo que com pouca diferença, se sobressai em relação à opção Financiamento. Levando-se em conta todas as análises, além da certeza de que os valores para levantamento de possíveis ganhos (Fluxo de caixa) com *Upgrade* da MP reciclada foram subestimados, a direção da empresa decidiu realizar o investimento, optando pela opção Financiamento direto com o fabricante. Mesmo que essa opção tenha perdido na análise, as diferenças de valores foram de pouca representatividade se analisada a magnitude do projeto. A instalação do novo preparo de massa ficou programada então para o mês de Agosto de 2018, sendo possível análise real de ganhos a partir do mês de setembro do mesmo ano. É importante ressaltar que o horizonte de planejamento foi estabelecido pensando apenas no objetivo de pagar o projeto, mas com planejamento de manutenção e ajustes periódicos é possível inferir que o retorno do PI se torna muito maior ao longo do tempo, visto que a máquina se manterá em funcionamento pleno ao final do projeto.

4.4.2 Falta de dispositivo de controle operacional

Muito da variação da gramatura ocorria na Máquina de Papel reciclado em função da concepção quase que toda mecânica do equipamento e falta de sistema de controle de processo simultâneo. Anteriormente, no item (i) já foi realizada a análise de viabilidade econômica da implantação de controle de processo, juntamente com o novo preparo de massa, por recomendação do fabricante, visto que a garantia de aumento significativo de qualidade e eficiência de máquina passa pela otimização do controle de parâmetros da MP Reciclado. Da mesma forma, ficou definida a

implantação do PI com instalação prevista para agosto de 2018, juntamente com o preparo de massa.

4.4.3 Aparas com muito plástico

A empresa escolhida como unidade de análise possuía quatro diferentes fornecedores de aparas de papel, que é uma das matérias-primas fundamentais para a fabricação do papel reciclado. Ocorria que os itens chegavam e eram encaminhados diretamente para a máquina, ao *Hidrapulper* para desagregação. Foi definida como ação a contratação de um funcionário somente para a seleção de aparas, responsável por retirar plásticos, materiais metálicos e demais sólidos que poderiam prejudicar os equipamentos, pesar e informar os gestores acerca das quantidades de rejeitos. Nos primeiros meses, em janeiro e fevereiro de 2018, constatou-se que um dos fornecedores entregava material com até 20% de umidade e com muitos rejeitos contidos nos fardos, este foi excluído da carta de fornecedores. As aparas são prensadas e embaladas em fardos de 400 kg, conforme ilustra a Figura 30.



Figura 30 – Fardos de aparas de papel

Fonte: Unidade de análise

É importante ressaltar que o processo de seleção consegue eliminar apenas a quantidade de plástico solto contida nas aparas, além de outros rejeitos como espirais de cadernos e papéis adesivos. O plástico grudado a papéis é encaminhado

para o *Hidrapulper*, na fase de desagregação e preparação de massa, onde o novo dispositivo de preparação de massa bloqueia essa passagem de plástico para o restante do processo, diferente do que acontecia anteriormente, quando o plástico era picado e seguia o processo.

O custo mensal com o funcionário contratado para a seleção de aparas é de R\$ 1.800,00 entre salário e encargos sociais. Considerando que as aparas do Fornecedor D continham nos meses de janeiro e fevereiro de 2018, 29% de impureza entre rejeitos e umidade, foi calculada a possível redução de custo, se para a mesma quantidade de aparas fossem atingidas as metas de percentual de rejeitos de 17% e, ainda, o custo praticado fosse o mesmo dos outros três fornecedores. Como mostra a Tabela 10, o potencial de redução de custos representou R\$ 10.846,00 nesses dois meses, mais de R\$ 5.400,00 por mês. Esse valor aponta para uma economia de mais de R\$ 3.600,00 mensais, já descontando o salário e encargos do funcionário contratado.

Tabela 10 – Economia com separação de aparas

Item	Fornecedor D	Meta
Fardo (kg)	113.425	113.425
Umidade média (%)	16%	10%
Umidade (kg)	18.148	11.343
Rejeitos (%)	13%	7%
Rejeitos (kg)	14.745	7.409
Refugado (kg)	32.893	18.752
Preço (R\$/kg)	0,82	0,86
Custo da perda (R\$)	R\$ 26.972	R\$ 16.126

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4.4 Pouca consistência de massa

Durante a realização da análise de viabilidade econômica descrita no item (i) essa ação acabou sendo descartada, visto que o fabricante do novo preparo de massa já previu a diminuição do diâmetro das novas peneiras para o sistema do *Upgrade*. A concentração de esforços da equipe de manutenção seria inútil no sentido de resolver

um problema momentâneo, que demandaria muitas horas e brevemente seria descartado. Sendo assim, optou-se pela eliminação deste item do plano de ação.

4.4.5 Removedor de plástico ineficiente

O removedor de plástico é um dispositivo que atua como um filtro para reter a maior quantidade possível de plástico na massa, antes dela seguir o caminho de processo até a bomba de mistura e caixa de entrada. Basicamente, a pressão da mistura deve estar em 6 KPa para que o dispositivo consiga efetuar a função e reter uma boa quantidade de plástico em sua peneira. A nova concepção de preparo de massa também elimina a necessidade do removedor de plástico. Em contrapartida, como o sistema ainda seria utilizado por mais seis meses até a instalação dos novos equipamentos, decidiu-se pela tentativa de melhoria deste processo. Para tanto, a equipe de manutenção reformou um removedor de plástico antigo que estava guardado em estoque, substituindo seu rotor e tela de retenção de plástico e instalando o mesmo no lugar daquele que estava em atividade e com defeito.

Ainda, constatou-se que a pressão da rede baixava muitas vezes durante o processo porque os filtros estavam sendo limpos apenas uma vez por dia, o que dificultava a ação do removedor de plástico. Assim, foi definida como padrão, a limpeza dos filtros da rede de água uma vez a cada turno, totalizando três vezes por dia, mantendo a pressão da rede de água constante a 6 Kpa. Observou-se um aumento médio do volume de retenção de plástico em quase 40%.

4.4.6 Circuito de processo não é seguido

A tubulação de passagem da massa possuía alguns pontos com *by-pass*, que serviam para utilização quando a máquina ainda trabalhava com celulose e não necessitava passar por algumas etapas de depuração. Como no caso do papel reciclado todas etapas necessitam ser seguidas, esses desvios não podem ocorrer. Foi constatado que muitas vezes os *by-pass* eram acionados para limpeza geral de tubulação e acabavam ficando abertos, para tanto, decidiu-se o bloqueio dos mesmos com cadeados a fim de eliminar essa possibilidade e, em caso de necessidade de utilização, deveria haver autorização prévia da supervisão, que ficaria com a guarda

da chave. Essa ação garantiu a passagem da massa por todos os processos de limpeza, garantindo que a mesma não diminuísse consistência e reduzindo a possibilidade de chegada de sólidos até a caixa de entrada.

4.4.7 Manípulos da caixa de entrada desregulados

Esse problema em especial, tem relação direta com a qualificação da mão de obra. Como a rotatividade de funcionários na MP Reciclado é muito grande, alguns treinamentos e procedimentos acabavam se perdendo. Para tanto, foi definido além de um treinamento de nivelamento para os funcionários atuais, a elaboração de um procedimento padrão que deveria ser passado no primeiro dia de cada funcionário novo no setor. A ação foi implantada com treinamento realizado pelo operador mais experiente e validação para a sequência do procedimento a partir do dia 20/02/2018 e colaborou para desenvolvimento da mão de obra e conseqüentemente, para a qualidade do produto, visto que os manípulos desregulados resultavam em maior variação na gramatura do papel.

4.4.8 Oscilação no sistema de vácuo

A oscilação no sistema de vácuo faz com que a secagem do papel seja prejudicada, resultando também em variações na qualidade do produto, visto que o vácuo é responsável por sugar água do papel, por meio do feltro, antes da sua entrada para secagem, no cilindro *Yankee*. Como esse problema só podia ser conferido com a medição do percentual de umidade ao final do processo, sua resolução acabava sendo por tentativa e erro, sem a noção exata do nível de funcionamento do sistema. Portanto, a maneira mais assertiva de controlar esse parâmetro seria via automação do sistema de controle, o que acaba sendo contemplado pelas análises de viabilidade econômica de projeto de investimento explicitadas nos itens (i) e (ii) do plano de ação, atendendo assim a necessidade também a partir do mês de agosto de 2018.

4.4.9 Variação no crepe

Este é outro dos problemas relativos à qualificação da mão de obra. A falta de um padrão de crepe faz com que o produto não seja uniforme, visto que o crepe é a relação de velocidade entre o cilindro secador Yankee e a enroladeira. Por exemplo, se o cilindro estiver a uma velocidade de 500 metros/min e o crepe for 10%, a velocidade da enroladeira será 10% menor que o Yankee. É um fator relativo a característica de maciez do papel, que se modificado constantemente, resulta em variação também no processo de conversão e dificuldade de parametrização das máquinas responsáveis pela transformação do papel, contribuindo também para a ineficiência do equipamento.

A fim de padronizar o parâmetro e contribuir para a formação dos colaboradores, foi contratado um treinamento junto à fabricante do preparo de massa, que acabou por fornecer o mesmo sem custo em virtude da aquisição do equipamento citado. O treinamento foi realizado no início do mês de abril de 2018.

4.5 ETAPA CONTROLAR

A etapa Controlar deve assegurar que as melhores soluções foram implementadas e encontram-se enraizadas no processo, de tal forma que as melhorias introduzidas serão sustentadas depois do projeto concluído. A melhor forma de controlar a eficácia das ações realizadas é a utilização de *KPIs* que suportam a análise de desempenho dos equipamentos, cultura que a empresa escolhida como unidade de análise já possuía e deve ser mantida. A seguir são apresentados os resultados obtidos com a implementação das ações de melhorias durante a etapa de Melhoria do ciclo.

Mais uma vez, foi realizada a aplicação da análise de GRIP para captar a visão geral do entendimento dos participantes em relação aos itens do projeto, após a realização de todas as etapas. A Figura 3 do Apêndice B mostra uma tabela com escala de 0% a 100%, em que cada integrante da equipe avaliou seu entendimento em relação a cada item. A Figura 31 mostra o gráfico que representa a evolução do entendimento do grupo de projeto em relação a cada item, se comparado com a aplicação realizada na fase “Definir”.

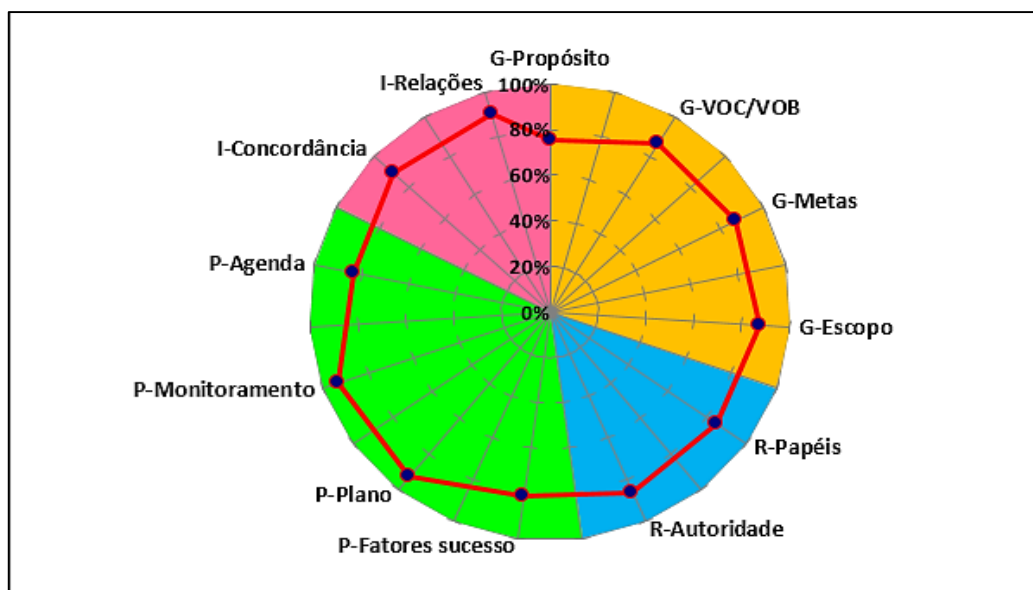


Figura 31 – Gráfico de *GRIP* aplicado na fase Controlar

Fonte: Elaborado pelo autor

Realizadas as ações do *5W2H*, parte-se então para a análise dos ganhos reais durante o ano de 2018 e principalmente, os resultados após a instalação do novo preparo de massa, realizada em agosto de 2018. No indicador de refugo geral é possível perceber o quanto caiu o percentual no processo de transformação do papel principalmente dos meses de agosto, no qual ocorreu o *Upgrade* da máquina na primeira quinzena e setembro, em que os produtos novos provenientes da MP Reciclado rodaram durante todo o mês. A Figura 32 mostra a distribuição de refugo de papel reciclado no ano de 2018.

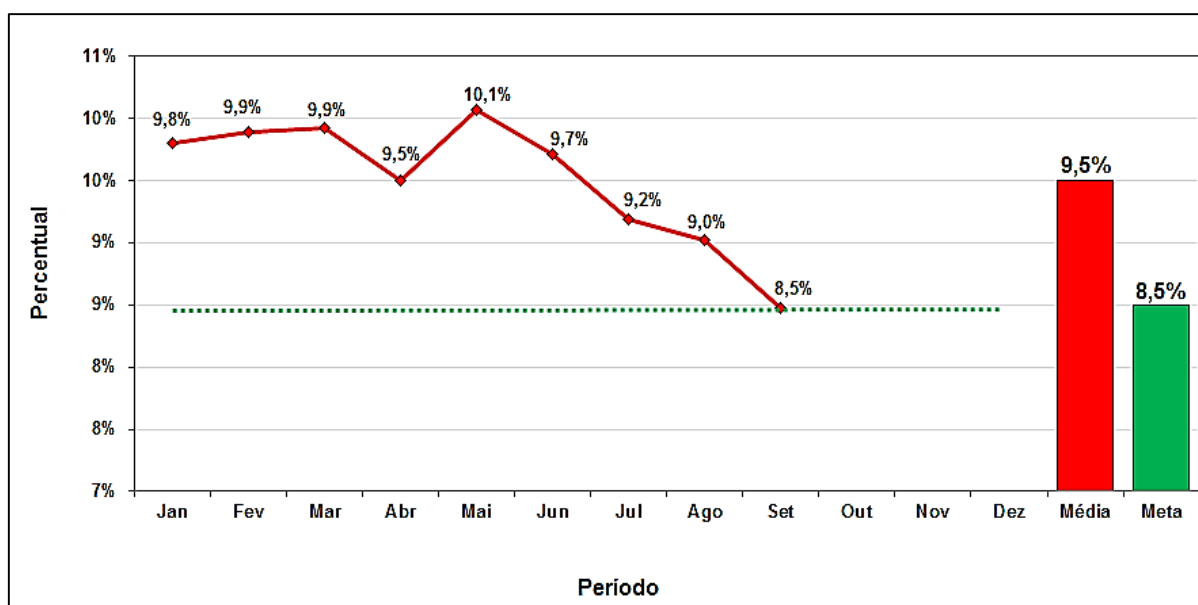


Figura 32 – Gráfico de refugo geral conversão 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

A média de refugo do papel reciclado em 2018 atingiu 9,5% até o mês de setembro, nesse mesmo mês já chegando a 8,5%. Em comparação com o ano anterior a redução de refugo geral já representa 1,7%, se mantida a tendência apresentada no primeiro mês após a instalação do preparo de massa e sistema de controle, o ano pode fechar com menos de 9,3% de média de refugo para o papel reciclado.

No que diz respeito à MP Reciclado, a mesma teve uma produção de 597.874 kg de papel no primeiro mês completo após o *Upgrade*, atingindo taxa produtiva de 16,4 kg a cada minuto, índices que somente são superados pelo mês de julho de 2017, nos últimos dois anos. No decorrer do mês de setembro ocorreram, mesmo assim, muitas paradas para ajustes e testes dos novos dispositivos instalados, totalizando 23 horas por motivo de manutenção, mas já reduzindo muito este tempo em relação a 2017, que teve média mensal de 78 horas para manutenção e ajustes. Estes resultados mostram a grande evolução da MP Reciclado, tanto em eficiência quanto em qualidade de produto, dada a percepção possível no processo subsequente, respaldando o investimento realizado. A Figura 33 mostra a eficiência produtiva da MA durante o ano de 2018, com atenção especial destinada ao mês de setembro, atingindo a maior eficiência de sua história desde a instalação.

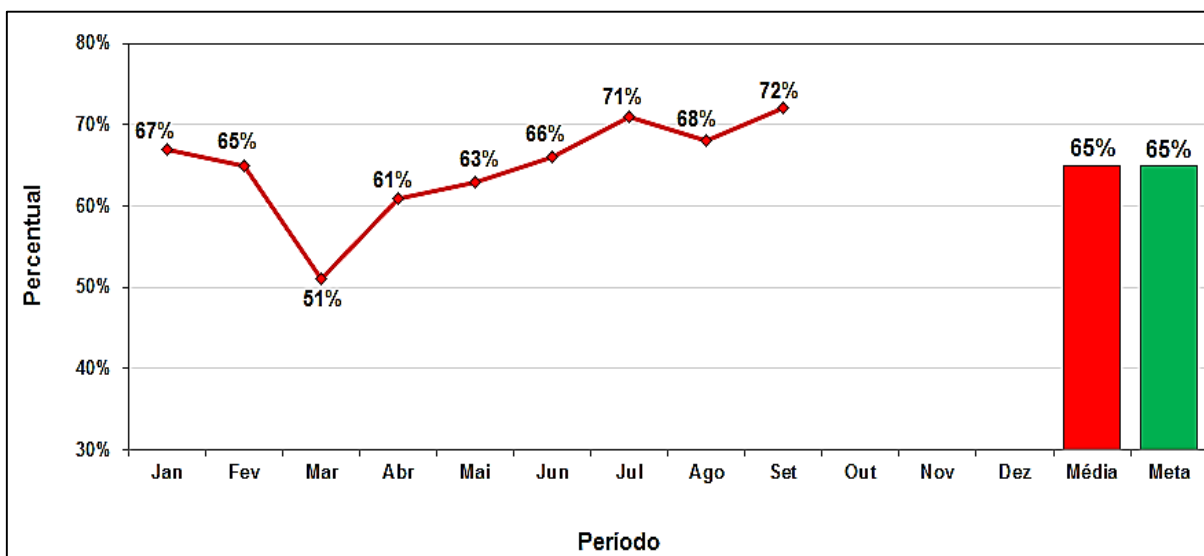


Figura 33 – Eficiência OEE da Máquina A em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

Corroborando com os resultados de eficiência da MA, também foram alcançados resultados satisfatórios no que diz respeito ao percentual de refugo. Foi atingido seu melhor índice nos últimos períodos, com 9,4% no mês, além de uma

média geral de 10%, contra os 12,2% do ano de 2017. A Figura 34 apresenta os índices de refugo até setembro de 2018.

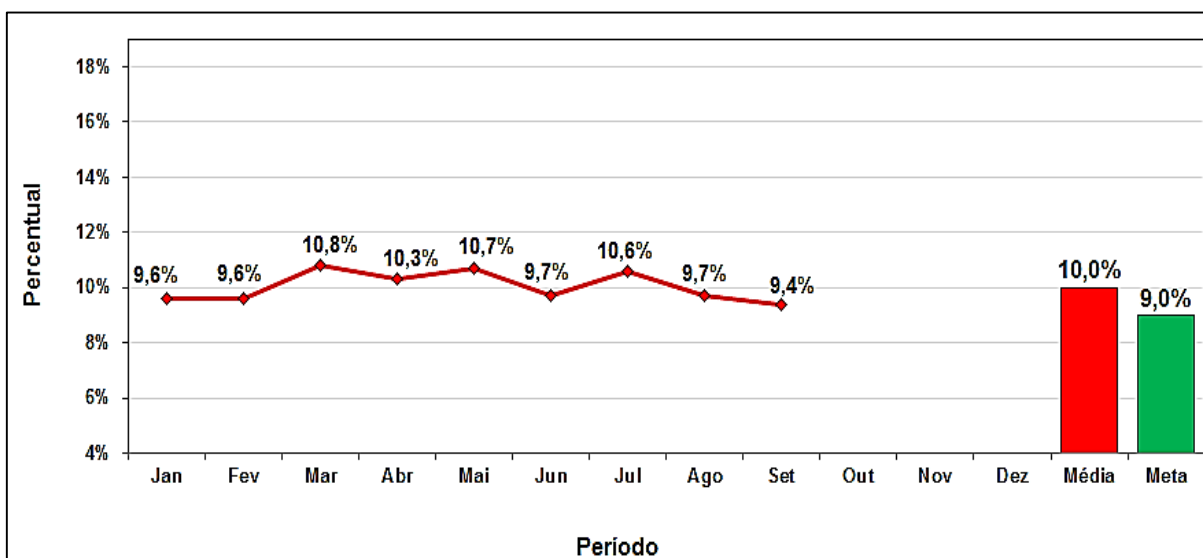


Figura 34 – Gráfico de refugo geral da Máquina A em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

Respalhando mais ainda a realização do projeto, a Figura 35 apresenta o Pareto das paradas na MA em 2018, no qual os problemas de qualidade passaram a ser a terceira causa que mais deixa a máquina parada, representando 17% do total de paradas, contra 28% do ano anterior, quando era o primeiro motivo que mais causava ineficiência do equipamento.

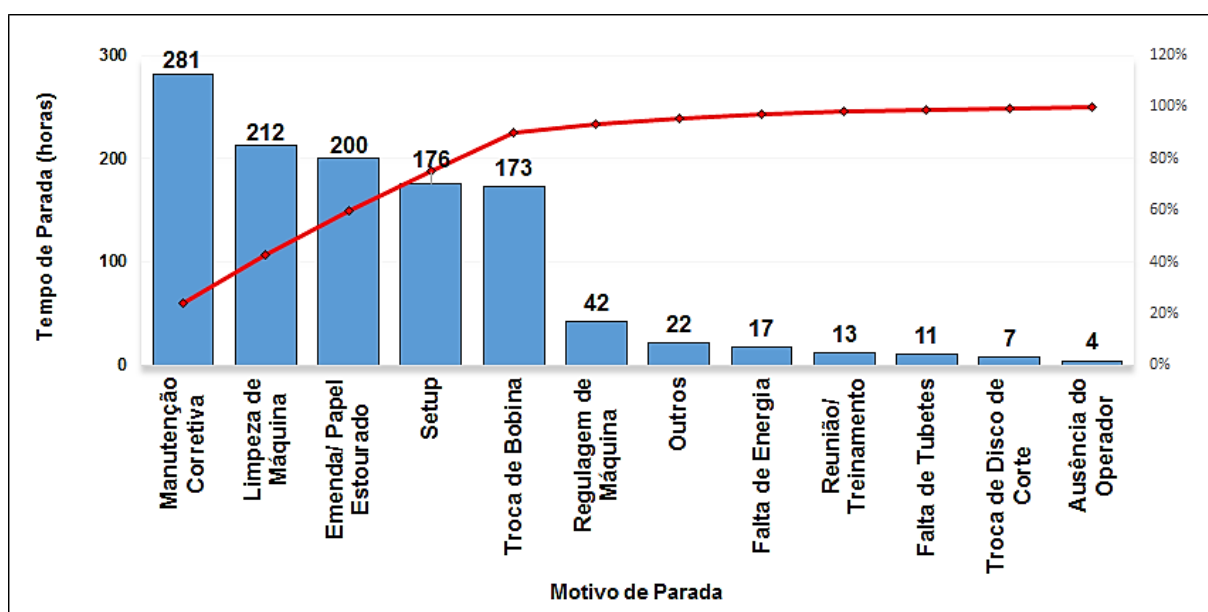


Figura 35 – Pareto de paradas da Máquina A em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

A MB também apresentou evolução durante o ano de 2018 e, da mesma forma que a máquina A, teve aumento considerável de eficiência produtiva no mês de setembro de 2018, conforme mostra a Figura 36, atestando a melhoria da qualidade do papel reciclado.

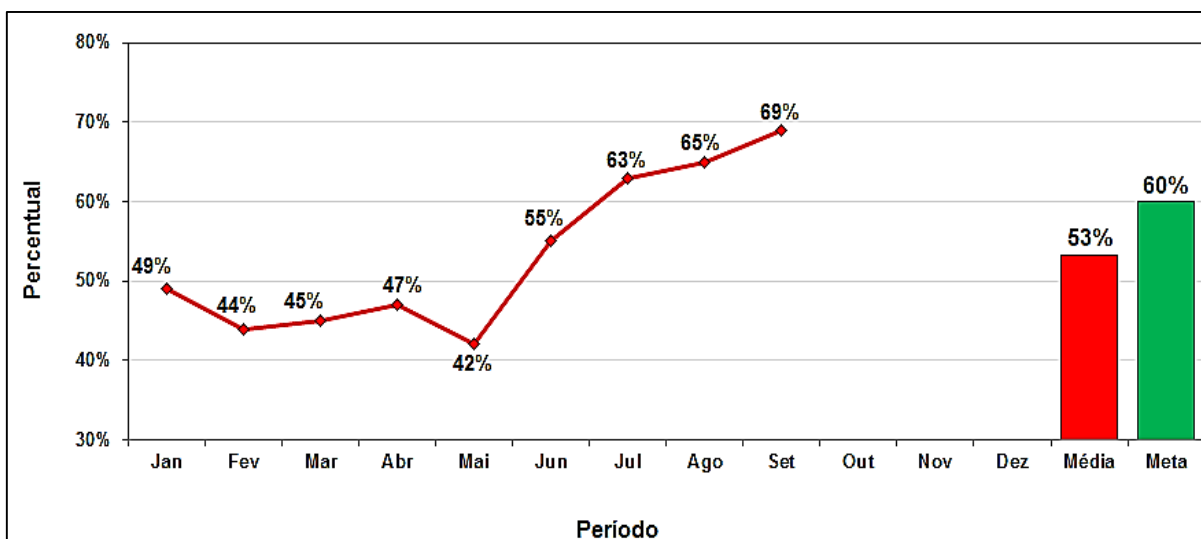


Figura 36 – Eficiência OEE da Máquina B em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

O índice de refugo da MB também atingiu um ótimo resultado em setembro de 2018, caindo de 8,5% em agosto para 7,7% em setembro, superando a média do mesmo ano em 1,3%, conforme mostra a Figura 37.

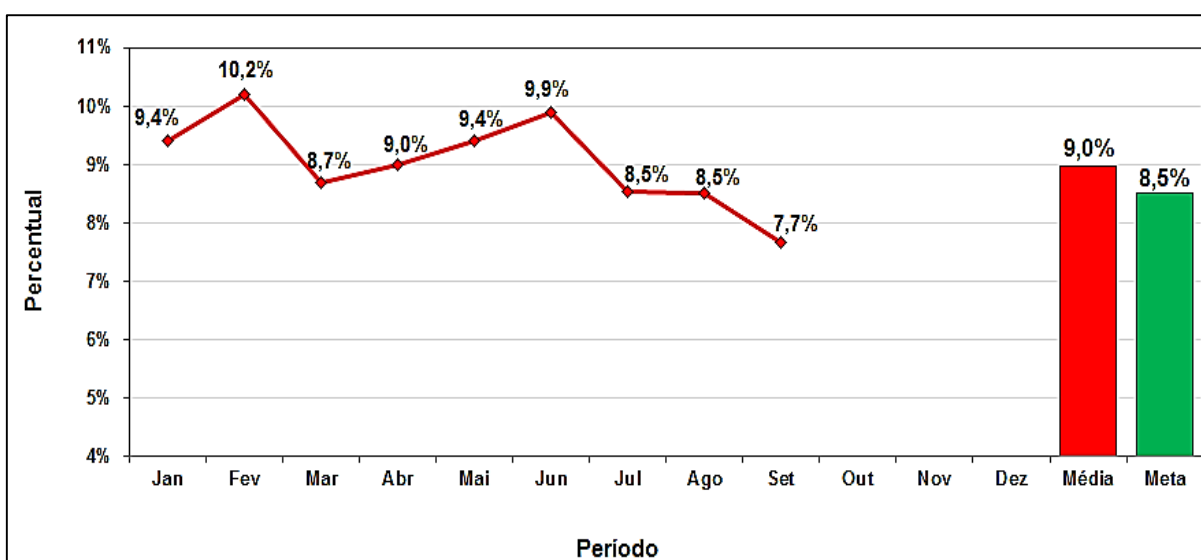


Figura 37 – Gráfico de refugo da Máquina B em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

A MC também apresentou crescimento importante até setembro de 2018 com a realização do projeto de melhoria, tendo evolução na eficiência geral, com 55% contra os 48% do ano de 2017. A Figura 38 mostra os resultados da eficiência.

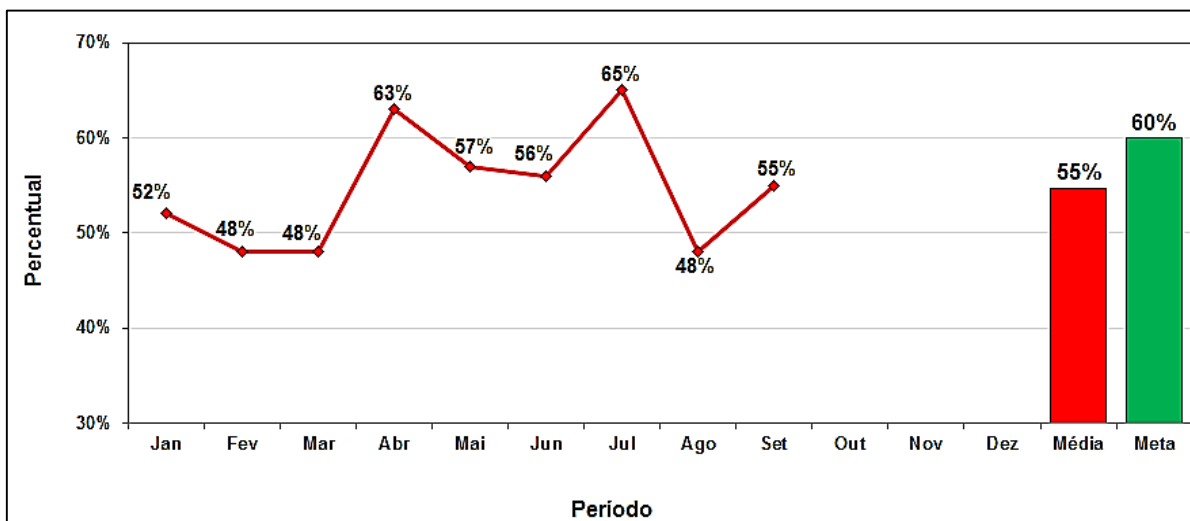


Figura 38 – Eficiência OEE da Máquina C em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

Os índices de refugo da MC mantiveram a média do ano anterior, muito em função dos primeiros meses do ano, mas o resultado de setembro também se destaca para este equipamento. O percentual atingiu 8,5%, também demonstrando a melhoria de qualidade do papel produzido pela MP Reciclado conforme a Figura 39.

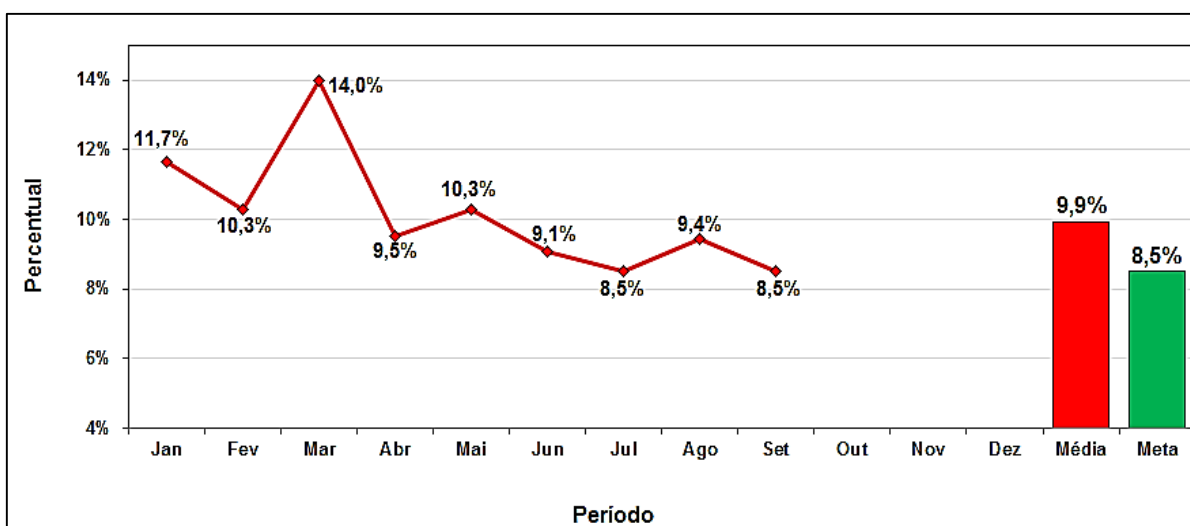


Figura 39 – Gráfico de refugo da Máquina C em 2018

Fonte: Elaborado pelo autor

Em resumo, os ganhos mensurados após a realização da fase “Melhorar” do DMAIC, mostram a assertividade na realização das ações. A expectativa por parte dos decisores é que os resultados sejam ainda melhores nos próximos períodos, visto que

no primeiro mês após a instalação do novo preparo de massa e sistema de controle, a MP Reciclado passou por alguns ajustes e paradas para solução de pequenos problemas e otimização da instalação do equipamento. A Tabela 11 mostra o resumo dos ganhos com a realização do projeto, durante o ano de 2018, além dos resultados isolados do mês de setembro em relação as médias dos resultados de 2017, tanto para a MP Reciclado quanto para as máquinas de conversão.

As informações da Tabela 11 estão dispostas de tal forma que possa ser observada a evolução do ano de 2018 entre os meses de janeiro a agosto e, separadamente, o mês de setembro de 2018 em relação às médias do ano de 2017. A importância da separação de setembro dos demais períodos é relativa à instalação do novo preparo de massa, que fez com que as bobinas provenientes deste novo processo fossem convertidas todas nesse período, sendo possível distinguir os ganhos em relação à situação anterior. Por exemplo, a média de redução de custo, somando-se os ganhos de 2018 de todas as máquinas, até agosto, ficaram em torno de R\$ 36.200,00 mensais, enquanto que em setembro, após o *Upgrade* da MP Reciclado o retorno atingiu mais de R\$ 96.300,00.

Tabela 11 – Comparativo de resultados antes e depois do *DMAIC*

Descrição	Média 2017	Média (Jan-Ago) 2018	Set. 2018
Produção MP (kg)	474.747	385.298	597.874
Produção MA (kg)	173.950	102.785	123.378
Produção MB (kg)	75.705	97.671	142.366
Produção MC (kg)	41.735	35.860	42.797
OEE MP (%)	65%	66%	72%
OEE MA (%)	57%	64%	72%
OEE MB (%)	52%	51%	69%
OEE MC (%)	48%	55%	55%
Taxa Prod. MP (kg/min)	15,5	15,3	16,4
Taxa Prod. MA (kg/min)	7,61	8,02	8,98
Taxa Prod. MB (kg/min)	9,11	9,02	9,92
Taxa Prod. MC (kg/min)	4,24	3,6	4,78
Tempo Paradas MP (min)	4680	3709	1389
Tempo Paradas MA (min)	2.237	1.352	789
Tempo Paradas MB (min)	1.243	1.118	912
Tempo Paradas MC (min)	1.186	1.172	1.084
Refugo MA (%)	12,2%	10,1%	9,4%
Refugo MB (%)	9,6%	9,1%	7,7%
Refugo MC (%)	9,9%	10,1%	8,5%

Fonte: Elaborado pelo autor

A redução de custo atingida foi calculada com base na redução dos tempos de paradas, do custo de hora máquina em cada equipamento, margem de lucro por cada quilograma de papel produzido e convertido, além de eficiência dos equipamentos. Por questão estratégica, a empresa não permitiu a divulgação de custos de máquina e margens de lucro dos produtos. Ainda, o retorno financeiro obtido após o primeiro mês de instalação dos equipamentos adquiridos, em relação aos resultados médios do ano de 2017, é maior que o fluxo de caixa considerado para a implantação do PI, que era de R\$ 75.830,00, o que reforça o sucesso do *DMAIC*.

4.6 AÇÕES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Para a realização desta etapa foram seguidas algumas premissas conforme o diagrama conceitual da Norma ABNT NBR ISO 50001, mostrado na Figura 9. Inicialmente, foram levantadas as áreas que geravam um maior consumo de energia elétrica dentro da empresa. O Foco voltou-se então para a iluminação e equipamentos mais antigos, cujos motores poderiam estar muito ultrapassados e com baixa eficiência devido ao excesso de manutenções.

Em maio de 2017, o setor de manutenção elétrica da empresa realizou o levantamento das lâmpadas e reatores em cada setor, enquanto que para análise dos motores foi contratada uma empresa especializada nesse tipo de análise e medição. Em muitos casos os motores estavam trabalhando no mesmo equipamento em regime de trabalho de 24 horas a mais de 20 anos e com vários recondiçionamentos. A iluminação da fábrica era basicamente de lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Além disso, foi realizado um mapeamento dos vazamentos nas linhas de ar comprimido e constatado também um potencial de redução de custos nesses casos.

A Tabela 12 mostra o consumo de energia anual da iluminação anterior à realização do projeto, levando em conta a potência de cada lâmpada e seus reatores, além do tempo anual em horas que cada uma delas era utilizada. O preço médio do KWh em 2017 (R\$ 0,31625) multiplicado pelo consumo, resultou em um custo anual de energia com iluminação de R\$ 61.688,00.

Tabela 12 – Iluminação antes da realização do projeto

	Materiais e equipamentos	Potência (W)	Quantidade	Consumo (KWh/ ano)
1	FT 2X110 W	220	78	103.451
2	Reatores	20	78	9.405
3	VM 250 W	250	48	40.230
4	Reatores	30	48	4.827
5	FT 2X40 W	80	36	10.455
6	Reatores	6	36	787
7	FT 1X40 W	40	9	878
8	Reatores	6	9	132
9	LFC 15 W	15	9	292
10	Reatores	1	9	19
11	FT 1X110 W	110	3	713
12	Reatores	10	3	65
13	LFC TWIST 1X23W	23	28	1.418
14	Reatores	1	28	62
15	LFC TWIST 2X23W	46	4	397
16	Reatores	2	4	17
17	LFC TWIST 1X 75W	75	15	7.110
18	Reatores	7	15	664
19	VS 250W	250	12	9.720
20	Reatores	28	12	1.089
21	VM 400W	400	1	864
22	Reatores	38	1	82
23	LFC 1X135W	135	3	1.312
24	Reatores	12	3	117
25	Mista 100W	100	1	869
26	Reatores	10	1	86
TOTAL (KWh/ ano)				195.060

Fonte: Elaborado pelo autor

A empresa contratada para verificação dos motores constatou que o setor em que as condições dos equipamentos estavam em operação precária foi exatamente na MP Reciclado, processo em que foi realizado o projeto *DMAIC*. Como os rendimentos dos motores diminuem a cada rebobinamento realizado, no passar dos anos essa condição foi se agravando. A potência média utilizada era de 1859,6 KW e, como a MP reciclado tinha um regime anual de trabalho de 7.560 horas, o valor do consumo medido ficou em 14.058.576 KWh/ano.

Para o caso dos vazamentos, com auxílio do transdutor de pressão, foi possível mensurar as fugas de ar comprimido nos diferentes pontos da Estação de

Tratamento de Efluentes (ETE), Máquina A (MA), Máquina B (MB), Máquina C (MC), Máquina D (MD) e Máquina E (ME). A Tabela 13 mostra a magnitude das medições nos diferentes pontos das máquinas, bem como o tempo de utilização dos equipamentos e o custo de cada fuga de ar comprimido.

Tabela 13 – Custos de vazamentos de ar comprimido

Máquina	Local	Vazamento (m ³ /h)	Utilização (h/ano)	Custo Total (R\$/ano)
ETE	Mangueira de agitação do tanque	90,0	6.240	R\$ 16.056
ETE	Válvula de nível do flotor	12,6	6.240	R\$ 2.248
MA	Furo mangueira - desenrolador 1	3,6	8.520	R\$ 877
MA	Furo mangueira - desenrolador 2	2,7	8.520	R\$ 658
MA	Conexão – Gofrador	3,9	8.520	R\$ 950
MA	Rebobinadeira - Ar de limpeza	52,5	355	R\$ 533
MA	Cortadeira - Ar de limpeza	52,5	355	R\$ 533
MB	Furo mangueira - Reb. 1	1,8	8.640	R\$ 445
MB	Furo mangueira - Reb. 2	18,9	8.640	R\$ 4.668
MB	Cortadeira - Ar de limpeza	55,8	240	R\$ 383
MB	Furo mangueira – Enfardadeira	14,4	8.640	R\$ 3.557
MB	Enfardadeira - Ar de limpeza	43,8	240	R\$ 301
MC	Rebobinadeira - Ar de limpeza	66,0	67	R\$ 126
MC	Furo pistão – Rebobinadeira	3,6	8.640	R\$ 889
MC	Furo mangueira - painel operação	3,3	8.640	R\$ 815
MC	Furo mangueira - pistão cortadeira	9,6	1.467	R\$ 403
MD	Furo pistão - Desenrolador 1	3,6	7.245	R\$ 746
MD	Rebobinadeira - Ar de limpeza	52,5	345	R\$ 518
MD	Limpeza sensores	12,9	8.520	R\$ 3.142
MD	Limpeza rolos	24,0	8.520	R\$ 5.846
MD	Conexão - Esteira de transporte	1,5	8.520	R\$ 365
MD	Filtro de ar – Embaladeira	17,4	8.520	R\$ 4.238
ME	Conexões - Rebobinadeira 2	10,8	8.640	R\$ 2.668
ME	Furo mangueira – embaladeira	1,2	8.640	R\$ 296
ME	Corte mangueira – Cortadeira	12,0	8.640	R\$ 2.964
ME	Furo mangueira - Serra Cortadeira	13,2	5.460	R\$ 2.060
ME	Conexão - Esteira de transporte	1,2	6.240	R\$ 214
TOTAL (R\$/ ano)				R\$ 56.498

Fonte: Elaborado pelo autor

Observa-se que a maioria dos vazamentos eram atrelados a problemas de furos em mangueiras e vazamentos em conexões, ou seja, fácil resolução e baixo custo. A perda total energética foi estimada em 178.648 KWh/ano, representando quase R\$ 56.500,00. O cálculo do custo anual foi feito a partir da Equação 16, o consumo específico era de 0,0904 KWh/m³ e o custo de 0,31625 R\$/KWh.

Analisando-se as situações de iluminação, motores e vazamentos de ar comprimido mapeados, somados os custos anuais dos três itens, o valor chegava a 14.432.284 KWh, ultrapassando R\$ 4.564.000,00 anuais. Mensalmente, o consumo energético médio de energia elétrica desses fatores era de 1.202.690 KWh. Este valor representava mais de 75% do total de consumo da fábrica, o que respaldou a importância da realização de ações de melhoria.

4.6.1 Aplicação da MMIA para iluminação e motores

Para o consumo de energia por parte de iluminação e motores foi realizada a análise de investimento via MMIA a fim de avaliar um possível investimento de substituição de iluminação e motores. O mapeamento dos motores e iluminação foi feito ainda no primeiro semestre de 2017, enquanto as análises de viabilidade econômica do projeto foram realizadas ao final do mês de novembro do mesmo ano.

Os itens orçados resultariam juntos em um consumo anual de 13.339.530 KWh, considerando o mesmo regime de trabalho dos equipamentos antigos. Comparando somente com lâmpadas e motores, desconsiderando o ar comprimido, que será tratado separado, posteriormente, a economia em relação aos mesmos itens ficaria em 914.106 KWh por ano, o que resultaria em R\$ 289.086,00 anuais, ou seja, um Fluxo de Caixa de R\$ 24.090,00 mensais para análise de viabilidade do PI. O investimento total em Lâmpadas de LED e motores ficaria em R\$ 849.393,52, além de R\$ 87.071,15 que englobariam gastos com diagnóstico energético, instalação, transporte, mão de obra frete e descarte, o que fechou o valor total do projeto em aproximadamente R\$ 936.400,00.

A questão da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para realização de cálculo do PI foi definida via SELIC. Os cálculos para análise de viabilidade econômica do projeto de investimento, realizaram-se seguindo a MMIA, por meio do aplicativo web SAVEPI. Ainda, via aplicativo, no módulo de análise estocástica, realizou-se a Simulação de Monte Carlo (SMC) com 100 mil simulações, a fim de observar possíveis variabilidades que o PI poderia sofrer. O orçamento para a nova iluminação da planta produtiva, bem como aquisição de novos motores mais eficientes e econômicos é mostrado na Tabela 14.

Tabela 14 – Orçamento de iluminação e novos motores

Materiais e equipamentos	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Custo total (R\$)
BULBOLED 9,5W - 4000K	44	R\$ 43,75	R\$ 1.925,00
CERES -65W - 4000 K	61	R\$ 506,96	R\$ 30.924,41
ASTER - 46W - 4000K	61	R\$ 175,00	R\$ 10.675,00
ASTER - 65W - 4000K	81	R\$ 367,50	R\$ 29.767,50
ACESSÓRIOS	247	R\$ 13,00	R\$ 3.211,00
MOTOR 15cv 4P 132M/L WFF2	1	R\$ 3.210,78	R\$ 3.210,78
MOTOR 15cv 4P 132M/L WFF2	1	R\$ 3.210,79	R\$ 3.210,79
MOTOR 15cv 2P 132M WFF2	1	R\$ 3.234,28	R\$ 3.234,28
MOTOR 12.5cv 6P 160M WFF2	1	R\$ 4.674,15	R\$ 4.674,15
MOTOR 15cv 6P 160M WFF2	2	R\$ 5.126,16	R\$ 10.252,32
MOTOR 25cv 4P 160L WFF2	3	R\$ 5.415,40	R\$ 16.246,19
MOTOR 20cv 6P 160L WFF2	5	R\$ 6.144,87	R\$ 30.724,33
MOTOR 20cv 4P 160M WFF2	1	R\$ 7.213,36	R\$ 7.213,36
MOTOR 30cv 4P 180M WFF2	8	R\$ 7.526,47	R\$ 60.211,74
MOTOR 50cv 4P 200L WFF2	3	R\$ 11.606,39	R\$ 34.819,16
MOTOR 60cv 4P 225S/M WFF2	1	R\$ 18.198,73	R\$ 18.198,73
MOTOR 75cv 4P 225S/M WFF2	1	R\$ 19.156,14	R\$ 19.156,14
MOTOR 75cv 4P 225S/M WFF2	1	R\$ 19.156,14	R\$ 19.156,14
MOTOR 40cv 6P 225S/M WFF2	1	R\$ 19.846,39	R\$ 19.846,39
MOTOR 60cv 2P 225S/M WFF2	1	R\$ 20.248,22	R\$ 20.248,22
MOTOR 50cv 6P 225S/M WFF2	1	R\$ 22.638,60	R\$ 22.638,60
MOTOR 100cv 4P 250S/M WFF2	2	R\$ 24.030,11	R\$ 48.060,22
MOTOR 125cv 4P 280S/M WFF2	1	R\$ 37.010,22	R\$ 37.010,22
MOTOR 150cv 4P 280S/M WFF2	2	R\$ 42.566,76	R\$ 85.133,52
MOTOR 200cv 4P 315S/M WFF2	1	R\$ 53.734,08	R\$ 53.734,08
MOTOR 200cv 6P 315S/M WFF2	1	R\$ 61.530,12	R\$ 61.530,12
MOTOR 300cv 6P 355M/L WFF2	2	R\$ 97.190,57	R\$ 194.381,15
TOTAL (R\$)			R\$ 849.393,52

Fonte: Elaborado pelo autor

No \$AVEPI, utilizando-se a MMIA foram inseridos os valores de *input* no módulo de análise determinística, para a geração dos resultados considerados mais relevantes, confrontando-se a utilização de recursos próprios com financiamento, para realização do PI. Utilizou-se o valor de 0,7414% para TMA, relativo à taxa SELIC da ocasião. Ainda, adotou-se a taxa de 24% ao mês para impostos, horizonte de planejamento de 60 meses, valor do investimento inicial (FC_0) de R\$ 936.467,67 e fluxo de caixa (FC_j) igual a R\$ 24.090,00 relativo à economia mensal calculada, com depreciação constante durante a realização do PI, no sistema SAC de amortização. A Tabela 15 apresenta o fluxo de caixa do projeto para recursos próprios.

Tabela 15 – Fluxo de caixa recursos próprios - projeto Iluminação e Motores

(Continua)

j	FC _j	DL _j	Base IR	IR _j	FC2 _j	FCD _j	FCDA _j	min j
0	-936.467,67		-	-	-936.467,67	-936.467,67	-936.467,67	-
1	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	21.891,96	-914.575,71	NP
2	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	21.730,85	-892.844,85	NP
3	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	21.570,93	-871.273,93	NP
4	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	21.412,18	-849.861,75	NP
5	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	21.254,59	-828.607,16	NP
6	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	21.098,17	-807.508,98	NP
7	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.942,90	-786.566,08	NP
8	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.788,77	-765.777,31	NP
9	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.635,78	-745.141,53	NP
10	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.483,91	-724.657,62	NP
11	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.333,16	-704.324,46	NP
12	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.183,52	-684.140,93	NP
13	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	20.034,98	-664.105,95	NP
14	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.887,54	-644.218,42	NP
15	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.741,17	-624.477,24	NP
16	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.595,89	-604.881,35	NP
17	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.451,68	-585.429,67	NP
18	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.308,52	-566.121,15	NP
19	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.166,42	-546.954,73	NP
20	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	19.025,37	-527.929,36	NP
21	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.885,35	-509.044,01	NP
22	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.746,37	-490.297,64	NP
23	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.608,40	-471.689,23	NP
24	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.471,46	-453.217,78	NP
25	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.335,52	-434.882,26	NP
26	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.200,58	-416.681,68	NP
27	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	18.066,63	-398.615,05	NP
28	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.933,67	-380.681,37	NP
29	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.801,69	-362.879,68	NP
30	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.670,68	-345.209,00	NP
31	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.540,63	-327.668,37	NP
32	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.411,54	-310.256,82	NP
33	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.283,41	-292.973,42	NP
34	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.156,21	-275.817,21	NP
35	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	17.029,95	-258.787,26	NP
36	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.904,62	-241.882,64	NP
37	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.780,21	-225.102,43	NP
38	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.656,72	-208.445,71	NP

								(Conclusão)
39	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.534,13	-191.911,58	NP
40	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.412,45	-175.499,13	NP
41	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.291,66	-159.207,46	NP
42	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.171,77	-143.035,70	NP
43	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	16.052,75	-126.982,95	NP
44	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.934,61	-111.048,33	NP
45	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.817,34	-95.230,99	NP
46	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.700,94	-79.530,05	NP
47	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.585,39	-63.944,67	NP
48	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.470,69	-48.473,98	NP
49	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.356,83	-33.117,15	NP
50	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.243,81	-17.873,33	NP
51	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.131,63	-2.741,71	NP
52	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	15.020,27	12.278,56	52
53	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.909,73	27.188,29	53
54	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.800,00	41.988,29	54
55	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.691,08	56.679,37	55
56	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.582,96	71.262,33	56
57	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.475,64	85.737,97	57
58	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.369,11	100.107,07	58
59	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.263,36	114.370,43	59
60	24.090,00	15.607,80	8.482,20	2.035,73	22.054,27	14.158,39	128.528,82	60

Legenda: Período (j); Fluxo de Caixa (FCj); Depreciação Linear (DLj); Base do Imposto de Renda (Base IR); Imposto de Renda (IRj); Fluxo de caixa após IR (FC2j); Fluxo de caixa descapitalizado para a data zero (FCDj); Acumulado (FCDAj); Payback (min j); Não Pago (NP).

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do SAVEPI

Quanto aos *inputs* do financiamento, utilizou-se um percentual financiável de 80%, em prazo de 60 meses e taxa de juros de 0,9938% ao mês, que contempla as taxas relativas ao FINAME em dezembro de 2017. Ademais, para essa linha de financiamento considerou-se a carência de 3 meses após instalação do equipamento. Na Tabela 16 são apresentados os resultados dos indicadores econômicos considerados mais relevantes, sendo eles: de retorno (VPL, VPLA, IBC, ROIA e ROIA/TMA); de risco (Payback, TIR e Payback/N); de sensibilidade (Variação da TMA, variação do FC₀ e variação do FC_j).

Tabela 16 – Indicadores da abordagem determinística projeto iluminação e motores

Dimensão	Indicador	Rec. Próprios	Financiamento + TMA
Retorno (a)	VPL	128.528,82	125.656,54
	VPLA	2.661,61	2.602,13
	IBC	1,1372	1,1342
	ROIA (%)	0,21	0,21
	Índice ROIA/TMA (%)	28,94	28,33
Riscos (b)	<i>Payback</i>	52	53
	TIR (%)	1,21	1,20
	Índice <i>Payback</i> /N (%)	86,67	88,33
	Índice TMA/TIR (%)	61,18	61,98
Limites de Elasticidade (c)	$\Delta\%$ TMA	63,45	61,35
	$\Delta\%$ FCo	13,72	13,42
	$\Delta\%$ FCj	12,07	11,83

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados do SAVEPI

(a) Análise da Dimensão Retorno: Tem-se a expectativa de que a empresa recupere os investimentos realizados, com a implantação do PI, ou seja, a substituição de lâmpadas convencionais e motores antigos, por LED e motores novos. O indicador Valor Presente Líquido (VPL), mostrado na Tabela 16, representa o retorno além do que se pode obter, caso o mesmo investimento inicial (FCo) fosse aplicado com a taxa SELIC utilizada como TMA. Nota-se que para o VPL, a utilização de “Recursos próprios” gera um maior retorno, com R\$ 128.528,82, contra R\$ 125.656,54 para utilização de financiamento na execução do PI. O Índice Benefício/Custo (IBC) apresentou os valores 1,1372 para recursos próprios, enquanto para Financiamento o retorno calculado foi de R\$ 1,1342 para cada R\$ 1,00 investido, favorecendo mais uma vez a utilização de recursos próprios, assim como em todas as demais análises discutidas para abordagem determinística, mas com os retornos muito próximos. Ainda na dimensão retorno, o ROIA resultou nos valores respectivos de 0,21% para ambos os casos. Para o índice ROIA/TMA, com 28,94% para recursos próprios e 28,33% para financiamento, o enquadramento do PI ficou no nível baixo, conforme o framework de Lima *et al.* (2018).

(b) Análise da Dimensão Riscos: O período de tempo necessário para recuperação do investimento, ou *Payback*, ficou em 52 meses para utilização de recursos próprios, enquanto que com a opção por Financiamento o tempo é de 53 meses. Paralelo a este, o índice *Payback/N* relaciona o *Payback* com o horizonte de planejamento (N) do projeto (LIMA *et al.*, 2015). Quanto menor o valor obtido para este índice, mais baixo o risco do projeto não recuperar o investimento inicial realizado. Para os índices *Payback/N*, foram obtidos os valores de 86,67% e 88,33%, para recursos próprios e Financiamento, enquanto que, a Taxa Interna de Retorno (TIR), que define um limite máximo para a variação da TMA, obteve como resultados os valores de 1,21% e 1,20%, respectivamente, denotando que a utilização de qualquer uma das duas alternativas, para realização do PI, sofrem riscos parecidos.

(c) Análise dos Limites de Elasticidade e Valores Limite: O indicador de variação da TMA mostra que para inviabilizar economicamente o presente PI, a TMA teria que aumentar 63,45% para opção recursos próprios, enquanto que para Financiamento o aumento teria que ser de 61,98%, o que é improvável, se analisada a variação da SELIC nos últimos períodos. O indicador de variação do FC_0 mostra que o investimento inicial poderia ter um aumento de 13,72% para recursos próprios e 13,42% para financiamento. Já a variação máxima suportada pelo fluxo de caixa (FC_j), antes de inviabilizar o PI, é de 12,07% para recursos próprios e 11,83% para a opção de utilização de financiamento, consideradas baixas pela escala proposta por Lima *et al.* (2018).

Devido aos resultados do confronto entre as dimensões (LIMA *et al.*, 2018), justifica-se o aprofundamento da análise na Simulação de Monte Carlo (SMC). Levando em conta possíveis variabilidades, utilizou-se no $\$AVEPI$ a SMC com 100 mil simulações. Foram estabelecidos valores limites mínimos e máximos para os fatores: TMA, FC_0 e FC_j , mantendo os mesmos valores médios utilizados na abordagem determinística, através de distribuição triangular, variando apenas os mínimos e máximos em 5% para cada caso. A distribuição de probabilidade do VPL para a opção de utilização de recursos próprios ficou entre R\$ 90.271,31 e R\$ 167.609,07 com 95% de certeza e uma média, valor mais provável, de R\$ 128.708,76, além de 0% de probabilidade do VPL ser menor que zero. A Figura 40 mostra a distribuição normal para recursos próprios, gerada pelo aplicativo SAVEPI, com 95% de probabilidade de ocorrência.

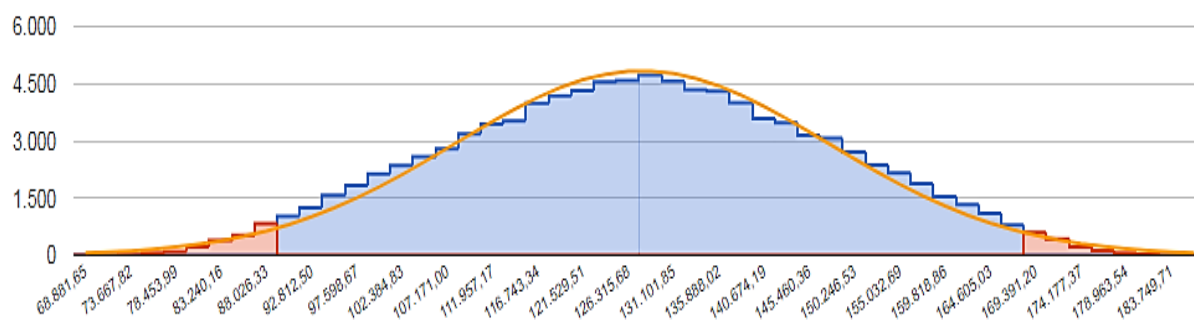


Figura 40 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Rec. Próprios (Iluminação e motores)

Fonte: SAVEPI

A distribuição de probabilidade do VPL para a opção de utilização de Financiamento ficou entre R\$ 88.220,34 e R\$ 163.902,58 com 95% de certeza e uma média, valor mais provável, de R\$ 125.065,20, além de 0% de chance do VPL ser menor que zero. A Figura 41 mostra a distribuição normal para Financiamento com 95% de probabilidade de ocorrência.

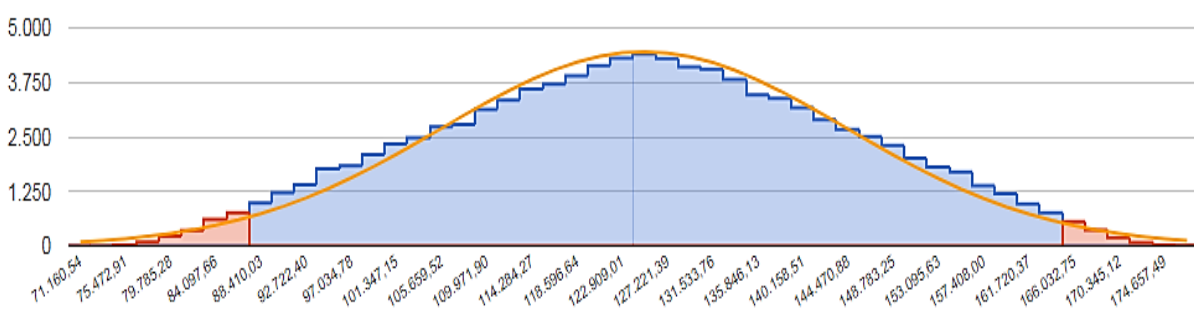


Figura 41 – Distribuição de Probabilidade do VPL – Financiamento (Iluminação e motores)

Fonte: SAVEPI

Assim, percebe-se que a utilização de recursos próprios, mesmo que com pouca diferença, se sobressai em relação à utilização de financiamento em todos os quesitos, respaldando desta forma, a decisão acerca do melhor caminho para realização ou não do PI. Isso, levando-se em conta, inclusive a variabilidade de importantes fatores preponderantes para viabilização do PI, como TMA, FC_0 e FC_j .

As análises de viabilidade econômica do projeto de investimento descrito para iluminação e motores da unidade de análise, denotam a possibilidade de realização do PI, o que foi aprovado e realizado pela empresa, com financiamento junto à concessionária de energia elétrica, amortizando as prestações via redução mensal de consumo, com base no valor de fluxo de caixa calculado. É importante ressaltar que o horizonte de planejamento foi estabelecido pensando-se na menor vida útil possível

de algumas das luminárias de LED que tem maior utilização, mas em vários casos em que as lâmpadas serão utilizadas por tempo menor, a vida útil é potencializada, assim como os motores o que faz com que o retorno do PI seja ainda maior, mesmo ao fim dos sessenta meses.

Com a empresa adotando a realização do projeto de substituição de lâmpadas e motores, a partir do mês de janeiro, até março de 2018 foi realizada a substituição dos itens. Em paralelo com isso, as ações de eliminação dos vazamentos de ar comprimido ficaram a cargo da equipe de elétrica da empresa, visto que a maioria dos componentes já faziam parte da rotina de estoque, como pistolas, mangueiras e conexões de ar comprimido. A Tabela 17 mostra os custos dos investimentos necessários para realização da substituição dos componentes com defeito, que causavam fugas de ar comprimido desnecessárias.

Tabela 17 – Orçamento substituição de componentes defeituosos

 Materiais e equipamentos	 Quantidade	 Preço Unitário (R\$)	 Custo total (R\$)
Misturador para homogeneizar tanque	1	R\$ 8.500,00	R\$ 8.500,00
Substituição de mangueiras com furos	27	R\$ 51,66	R\$ 1.394,82
Substituição de Válvula de Nível	1	R\$ 357,00	R\$ 357,00
Substituição de conexões com defeito	14	R\$ 3,21	R\$ 44,94
Bicos de direcionamento de ar	6	R\$ 40,43	R\$ 242,58
Pistolas de ar comprimido	6	R\$ 43,00	R\$ 258,00
Conserto de camisa de pistões	1	R\$ 215,00	R\$ 215,00
Filtro de ar	1	R\$ 1.850,00	R\$ 1.850,00
TOTAL			R\$ 12.862,34

Fonte: Elaborado pelo autor

Tendo em vista que o custo anual com os vazamentos de ar comprimido era de aproximadamente R\$ 54.500,00 anteriormente, decidiu-se pela substituição dos componentes conforme mostrado na Tabela 17, com custo de R\$ 12.862,34. As ações geraram uma economia anual de aproximadamente R\$ 37.700,00 em relação a mesma quantidade de horas aplicada para funcionamento de cada equipamento. A seguir, a Tabela 18 mostra a medição de consumo em cada ponto após a realização das mudanças. Alguns pontos permanecem com vazão pelo fato de ser necessária a utilização de ar comprimido em seu processo, mas eliminando o vazamento anterior.

Tabela 18 – Custos de ar comprimido após a realização de ações

Máquina	Local	Vazão de ar (m³/h)	Utilização (h/ano)	Custo Total (R\$)
ETE	Mangueira de agitação do tanque	40,9	6.240	R\$ 7.302
ETE	Válvula de nível do flotor	4,8	6.240	R\$ 856
MA	Furo mangueira - desenrolador 1	0,0	8.520	R\$ -
MA	Furo mangueira - desenrolador 2	0,0	8.520	R\$ -
MA	Conexão - Gofrador	0,0	8.520	R\$ -
MA	Rebobinadeira - Ar de limpeza	16,2	355	R\$ 164
MA	Cortadeira - Ar de limpeza	16,2	355	R\$ 164
MB	Furo mangueira - Reb. 1	0,0	8.640	R\$ -
MB	Furo mangueira - Reb. 2	0,0	8.640	R\$ -
MB	Cortadeira - Ar de limpeza	16,2	240	R\$ 111
MB	Furo mangueira - Enfardadeira	0,0	8.640	R\$ -
MB	Enfardadeira - Ar de limpeza	16,2	240	R\$ 111
MC	Rebobinadeira - Ar de limpeza	16,2	67	R\$ 31
MC	Furo pistão - Rebobinadeira	0,0	8.640	R\$ -
MC	Furo mangueira - painel operação	0,0	8.640	R\$ -
MC	Furo mangueira - pistão cortadeira	0,0	1.467	R\$ -
MD	Furo pistão - Desenrolador 1	0,0	7.245	R\$ -
MD	Rebobinadeira - Ar de limpeza	16,2	345	R\$ 160
MD	Limpeza sensores	20,4	8.520	R\$ 4.969
MD	Limpeza rolos	20,4	8.520	R\$ 4.969
MD	Conexão - Esteira de transporte	0,0	8.520	R\$ -
MD	Filtro de ar - Embaladeira	0,0	8.520	R\$ -
ME	Conexões - Rebobinadeira 2	0,0	8.640	R\$ -
ME	Furo mangueira - embaladeira	0,0	8.640	R\$ -
ME	Corte mangueira - Cortadeira	0,0	8.640	R\$ -
ME	Furo mangueira - Serra Cortadeira	0,0	5.460	R\$ -
ME	Conexão - Esteira de transporte	0,0	6.240	R\$ -
TOTAL (R\$/ ano)				R\$ 18.838

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a realização do projeto de investimento, além das ações para eliminar os vazamentos das linhas de ar comprimido, a redução projetada de consumo energético anual foi de 1.033.188 KWh/ano, o equivalente a R\$ 326.746. A Tabela 19 mostra as projeções de reduções por segmento analisado.

Tabela 19 – Projeção de redução de consumo energético anual por segmento

Segmento	Consumo anterior (KWh/ano)	Consumo pós melhorias (KWh/ano)	Redução (KWh/ano)
Motores	14.058.576	13.282.609	775.967
Iluminação	195.060	56.921	138.140
Linhas de ar comprimido	178.648	59.566	119.082
TOTAL	14.432.284	13.399.096	1.033.188

Fonte: Elaborado pelo autor

4.7 ANÁLISE DA RELAÇÃO *DMAIC* E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Todos os resultados obtidos com as melhorias via projeto *DMAIC*, substituição de motores antigos da MP Reciclado, substituição de iluminação e eliminação de vazamentos de ar comprimido, culminaram em uma melhora geral na taxa de consumo energético por quilograma de papel produzido, tornando o processo mais eficiente tanto economicamente quanto ambientalmente. A Figura 42 mostra o *KPI* das taxas de consumo em KW/kg nos anos de 2017 e 2018, criado no engajamento com a ideia de relacionar as variáveis econômicas e ambientais, bem como sua evolução a partir das melhorias realizadas.

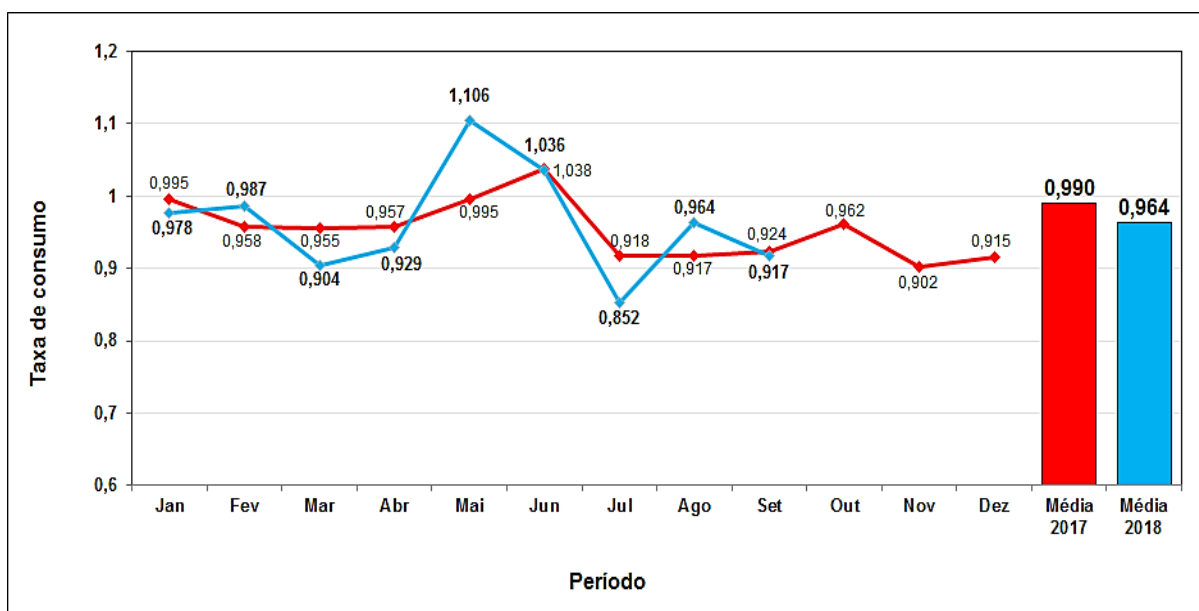


Figura 42 – Gráfico de taxa de consumo energético (KWh/kg)

Fonte: Elaborado pelo autor

No ano de 2018, a taxa de consumo foi recorde nos dois extremos, atingindo o maior valor no mês de maio, em que ocorreu um grande problema de perda de velocidade na máquina de papel 100% celulose, impactando no desempenho geral do sistema, visto que a máquina continuou trabalhando, consumindo energia, mas produzindo menos papel. Em contrapartida, em julho de 2018, foi atingido o melhor índice da história da empresa. A média leva em consideração a produção das duas máquinas de papel e, o resultado de 2018 além de ser promissor, visto que o *Upgrade* da MP Reciclado foi finalizado no mês de agosto, já atingiu média menor do que o ano anterior, tendo tendência de redução ainda maior até o final do ano de 2018.

Conforme o EPE (2017), o consumo anual de energia elétrica por pessoa no estado do Rio Grande do Sul é em média 2.603 KWh/ano. Levando em consideração que a população da cidade em que a empresa escolhida como unidade de análise é situada, possui aproximadamente 2300 habitantes, o consumo anual de energia elétrica da cidade ficaria na faixa de 5.986.900 KWh/ano, representando emissões de CO₂ de 5.388 toneladas anuais, somente no que diz respeito à energia elétrica, já que para a produção de 1 KWh de energia é emitido em média 0,9 kg de CO₂ para atmosfera.

Para efeito comparativo, se aplicada a diferença de taxa média de consumo energético entre 2017 e 2018, à produção total de mais de 19.500 toneladas de papel do ano de 2017, a economia seria de mais de 500.000 KWh anuais na empresa utilizada como unidade de análise. Essa economia representaria deixar de emitir na atmosfera mais de 450 toneladas anuais de CO₂, denotando uma grande colaboração em termos ambientais para o município em que a empresa é sediada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa surgiu da necessidade de uma empresa tornar os seus processos internos mais eficazes via redução de refugos, aumento de eficiência de máquinas e processos e melhorias nos índices de consumo energético. Para tanto, foram escolhidas como abordagens a aplicação da metodologia *DMAIC* (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*), valendo-se de diferentes ferramentas descritas no decorrer da pesquisa, além da abordagem de eficiência energética por via de diagnósticos, análises de investimentos e realização de ações de melhorias, culminando com a criação de um *KPI* específico para controle das taxas de consumo energético por quantidades produzidas de papel ao longo dos períodos.

Em linhas gerais, pode-se dizer que o objetivo geral da pesquisa foi atingido. Foi apresentado um modelo para promover a melhoria da eficiência no processo de fabricação de papéis *tissue* reciclados, via integração de premissas *Lean* e *Green Manufacturing*, visto que as eficiências energética e do processo de fabricação de papel reciclado, são diretamente ligadas à questão ambiental. A forma como foi concebido e aplicado o *framework* elucidado pela Figura 7 torna a pesquisa inédita, respaldada pelos excelentes resultados obtidos e a tornando a principal contribuição da pesquisa. Este, por sua forma de aplicabilidade se mostrou como genérico a qualquer tipo de estrutura produtiva com problemas de perdas de processo e ineficiência energética, independente do contexto inserido. O estudo de caso demonstrado pode ser definido como a forma utilizada para a confirmação das expectativas acerca do modelo proposto, o que proveu excelentes resultados e chancelou a tomada de decisão a respeito dos projetos relatados.

A aplicação do estudo de caso cimenta a eficácia do ciclo *DMAIC*, provando sua utilidade para a implementação de ações de melhoria, seja tanto no nível de qualidade de produtos quanto na eficiência dos processos. Ainda, a inclusão de ferramentas não usuais para essa prática, como a Análise Multicritério *Fuzzy-TOPSIS* e a Metodologia Multi-Índice Ampliada (MMIA) forneceram um alto nível de segurança para as tomadas de decisões no decorrer dos projetos de melhoria de processo e consumo energético, denotando a assertividade na escolha dessas abordagens e deixando claras as suas contribuições práticas e teóricas.

Quanto aos benefícios com a realização do estudo, é citado o apoio da direção da empresa para o andamento do trabalho e realização das análises e ações de melhoria. Também, destaca-se a existência de *KPIs* e análises de processos que facilitaram o levantamento de informações e comparativos entre situações passadas e projeções futuras, bem como a mensuração de ganhos. Ainda, a inserção e aceitação dos colaboradores em relação à cultura da realização de melhorias nos processos por intermédio de um projeto estruturado, é apontada como um dos pontos positivos da pesquisa.

Algumas perguntas foram propostas para a análise da relação *Lean-Green*. Respondendo aos questionamentos, pode-se dizer acerca da pesquisa que o consumo de energia elétrica baixou, conforme mostrado na Figura 42, de 0,990 KWh/kg para 0,964 KWh/kg de papel produzido e tem tendência de redução ainda maior no decorrer dos próximos períodos. Em relação à eficiência produtiva da planta, pode-se dizer que aumentou, visto que logo no primeiro período após a finalização do projeto DMAIC a Máquina de Papel Reciclado atingiu seu melhor desempenho no ano, chegando a 72% contra uma média de 65% no ano de 2017.

Quanto à qualidade do produto, a melhoria pode ser percebida na brusca queda do percentual de refugo, nas máquinas de conversão, após o término do projeto, chegando a um percentual geral de 8,5% no primeiro mês após a instalação do novo preparo de massa, contra uma média de 11,2% no ano anterior. No que tange ao impacto econômico, pode-se concluir que o retorno financeiro para o primeiro período superou o esperado, já que os ganhos de setembro de 2018 ultrapassaram R\$ 96 mil, enquanto o retorno estimado para o projeto de investimento era da ordem de R\$ 75 mil. Por fim, o retorno ambiental inicial com a substituição de lâmpadas, motores e eliminação de vazamentos prevê uma diminuição de até 1.033.000 KWh/ano no consumo de energia elétrica, variando essa possibilidade conforme as produtividades da planta produtiva.

Quanto às limitações do estudo, o principal fator que constitui a grande limitação do estudo desenvolvido consistiu na confidencialidade imposta pela empresa, relativamente à divulgação de informações estratégicas. A confidencialidade requerida para este projeto impediu a divulgação de alguns valores que revelariam por exemplo os custos de produção, imagens da concepção do projeto de máquina de papel e receitas do papel reciclado. No entanto, é inegável a

importância que o projeto teve para a organização, por meio da verificação dos retornos financeiros obtidos ou projetados.

Como sugestões para trabalhos futuros, cita-se que a empresa escolhida como unidade de análise, apesar de trabalhar com várias tecnologias avançadas, possui muitas oportunidades de melhorias. Entre as oportunidades pode-se indicar a aplicação do método *DMAIC* em outros tipos de projetos que possam trazer expressivo retorno a médio prazo, como manutenção autônoma dos equipamentos, análise e seleção de fornecedores mais conscientes ambientalmente, tratamento de água de processo para reuso em ciclo fechado, estudo para implantação de painéis fotovoltaicos, isolamento de dutos que trabalham com alta temperatura, entre outros.

REFERÊNCIAS

- AGGOGERI, F.; MAZZOLA, M. Imece2008-67275 Combining Six Sigma With Lean Production To Increase the Performance. p. 1–10, 2008.
- ALEXANDRE, G. Redução do Material Orgânico do Lodo Final na Fabricação de Papel Tissue Através de Otimização do Processo. p. 83, 2012.
- ALVAREZ, F. C. et al. **The 2018 International Energy Efficiency Scorecard**, 2018.
- ANDRIONI, J. L. **Fabricação de Papel–Formação da Folha**. 2ª ed. Curitiba: SENAI, 2006.
- ANTUNES, A. R. **Papel reciclado para um desenvolvimento sustentável**Lisboa, 2001.
- ANVARI, A. et al. A proposed dynamic model for a lean roadmap. **African Journal of Business Management**, v. 5, p. 6727–6737, 2011.
- AYRES, L.; BACHA, C. J. C. Análise da estrutura produtiva e do consumo de papéis tissue no Brasil. **Teoria e Evidência Econômica**, n. Ano 23, n. 48, p. 118–149, 2017.
- BAJPAI, P. **Chemistry and Sustainability in Pulp and Paper Industry**, 2015.
- BAJPAI, P. **Pulp and Paper Industry Energy Conservation**, 2016.
- BARJAKTAROVIC, L.; JECMENICA, D. Six Sigma Concept. **Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering**, v. 4, n. 4, 2011.
- BENITEZ, J. B.; KOGA, M. E. T.; OTERO D'ALMEIDA, M. L. Office paper recyclability: first recycling. **O Papel**, v. 75, p. 64–71, 2014.
- BERGMILLER, G.; MCCRIGHT, P. Parallel Models for Lean and Green Operations. **Industrial Engineering Research Conference**, p. 1138–1143, 2009.
- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: literature review and research issues. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 34, n. 7, p. 876–940, 2014.
- BOUYSSOU, D. et al. **Evaluation and Decision Models: A Critical Perspective**. Boston: Springer US, 2000. v. 32
- BRACELPA. **Relatórios estatísticos anuais de 1998 a 2013**. [s.l.: s.n.].
- BRUNDTLAND, G. H. Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. **United Nations Commission**, v. 4, n. 1, p. 300, 1987.
- BRUNI, A. L. **Avaliação de Investimentos. Série Finanças na Prática**. 2 ed ed. São Paulo: Atlas, 2013.
- BRUNI, A. L.; SIQUEIRA, J. O. Análise do risco na avaliação de projetos de investimento: uma aplicação do método de Monte Carlo. **Cadernos de Pesq. em Administração**, v. 1, n. 6, p. 62–74, 1998.
- BUNCE, M. M.; WANG, L.; BIDANDA, B. Leveraging Six Sigma with industrial engineering tools in crateless retort production. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 23, p. 6701–6719, 2008.
- CAMPOS, S. E. **Curso de Fabricação de papel**. [s.l.] ABTCP, 2007.

- CAMPOS, S. E. **Curso de Fabricação de Papéis Tissue**. [s.l.] ABTCP, 2012.
- CARVALHO, H.; AZEVEDO, S. G.; CRUZ-MACHADO, V. Supply chain performance management: Lean and green paradigms. **International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling**, v. 2, n. 3–4, p. 304–333, 2010.
- CARVALHO, H.; DUARTE, S.; MACHADO, V. C. Lean, agile, resilient and green: Divergencies and synergies. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 2, n. 2, p. 151–179, 2011.
- CASAROTTO-FILHO, N.; KOPITCKE, B. H. **Análise de Investimentos: Matemática Financeira, Engenharia Econômica, Tomada de Decisão, Estratégia Empresarial**. 11. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- CAUCHICK, M. P. A. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro. Brasil: Elsevier, 2012.
- CHEN, C. C. An objective-oriented and product-line-based manufacturing performance measurement. **International Journal of Production Economics**, v. 112, n. 1, p. 380–390, 2008.
- CHEN, C. T.; LIN, C. T.; HUANG, S. F. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 102, n. 2, p. 289–301, 2006.
- CHENG, C.-Y.; CHANG, P.-Y. Implementation of the Lean Six Sigma framework in non-profit organisations: A case study. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 23, n. 3–4, p. 431–447, 2012.
- COPCO, A. **Compressed air manual**. 8th. ed. Belgium: [s.n.].
- CRUZ, CARLA; RIBEIRO, U. **Metodologia científica: teoria e prática**. [s.l.] Axcel Books do Brasil, 2003.
- DAL, B.; TUGWELL, P.; GREATBANKS, R. Overall equipment effectiveness as a measure of operational improvement - A practical analysis. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 20, n. 12, p. 1488–1502, 2000.
- DE LIMA, J. D. et al. **Systematic Analysis of Economic Viability with Stochastic Approach: A Proposal for Investment**. (M. Amorim et al., Eds.) Engineering Systems and Networks. **Anais...** Cham: Springer International Publishing, 2017
- DE MAST, J.; LOKKERBOL, J. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problem solving. **International Journal of Production Economics**, v. 139, n. 2, p. 604–614, 2012.
- DEIF, A. M. A system model for green manufacturing. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 14, p. 1553–1559, 2011.
- DRUMMOND, D. M. D. **Otimização do setor de prensagem por meio de planejamento de produção em uma indústria de papel**. [s.l.] UNICAMP, 2008.
- DÜES, C. M.; TAN, K. H.; LIM, M. Green as the new Lean: how to use Lean practices as a catalyst to greening your supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 40, p. 93–100, 2013.
- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. **ProKnow-C, knowledge development process-constructivist**10, , 2010.
- EPE. **Empresa de Pesquisa Energética: Consumo de energia no Brasil, Análises**

SetoriaisRio de Janeiro, Brasil, 2014.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética: Resenha mensal do mercado de energia elétrica.**Rio de Janeiro. Brasil, 2017.

ESLAMIAN SHIRAZ, S.; ŞENGÜL, Ü.; EREN, M. Determination of extended fuzzy TOPSIS method of criteria leading to supplier selection for industries. **Asian Social Science**, v. 10, n. 4, p. 183–194, 2014.

EV, G.; S RAO, T. Six Sigma implementation—Hurdles and more hurdles. **Total Quality Management and Business Excellence**, v. 16, p. 721–725, 2005.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

FARINHA E SILVA, C. A.; MENDES BUENO, J.; NEVES, M. R. A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL NA PRIMEIRA DÉCADA DO SÉCULO XXI – ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O QUE PODERÁ AINDA ACONTECER. **Guia ABTCP**, p. 20–32, 2016.

FATEMI, S.; FRANCHETTI, M. J. An application of sustainable lean and green strategy with a Six Sigma approach on a manufacturing system. **International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage**, v. 10, n. 1, p. 62–75, 2016.

FLEITER, T. et al. Energy efficiency in the German pulp and paper industry - A model-based assessment of saving potentials. **Energy**, v. 40, n. 1, p. 84–99, 2012.

FLICK, U. **Introdução á pesquisa qualitativa**. 3.ed. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

FRANÇA, A. Indústria de papel e celulose caminha para consolidação. **DCI Diário Comércio Indústria & Serviços**, fev. 2018.

FRANCHETTI, M. et al. Lean and Green: Industrial engineering methods are natural stepping stones to green engineering. **Industrial Engineer: IE**, v. 41, p. 24–29, 2009.

GALLO, C. **Conceitos de máquinas para a fabricação de papéis tissue de alta qualidade**. 34º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel. **Anais...**São Paulo, Brasil: 2001

GENTILI, E.; AGGOGERI, F.; MAZZOLA, M. The Improvement of a Manufacturing Stream Using the DMAIC Method. **Manufacturing Engineering and Textile Engineering**, v. 2006, p. 127–133, 2006.

GHOSH, S.; MAITI, J. Data mining driven DMAIC framework for improving foundry quality – a case study. **Production Planning & Control**, v. 25, n. 6, p. 478–493, 2014.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: [s.n.]. v. 5

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GORDON, P. J. Lean and Green: profit for your workplace and the environment. p. xvii, 218 , 2001.

GROPPELLI, A.; NIKBAKHT, E. **Administração financeira**. 2 ed ed. São Paulo, Brasil: Saraiva, 2002.

HARRY, M., SCHROEDER, R. **Six Sigma: The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations**. New York: Crown Business, 2006.

- HELTON, J. C.; DAVIS, F. J. Latin hypercube sampling and the propagation of uncertainty in analyses of complex systems. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 81, n. 1, p. 23–69, 2003.
- IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**. Disponível em: <<http://iba.org/pt/>>. Acesso em: 5 dez. 2017.
- IEA. **International Energy Agency - R&D Database**, 2005.
- IEA. **International Energy Agency - Energy technology perspectives: scenarios and strategies to 2050**. Paris: [s.n.].
- IEA. **International Energy Agency - Key World Energy Statistics 2012**. [s.l: s.n.].
- IEA. **International Energy Agency - Energy efficiency outlookWorld Energy Outlook**. [s.l: s.n.].
- IEA. **International Energy Agency - IEA WS on renewable energies for manufacturing industries**. Paris, France: [s.n.].
- IPCC. **Climate change 2001**. United Nations International Panel on Climate Change. **Anais...**UK: Cambridge University Press, 2001
- ISMAIL, A. et al. Application of Lean Six Sigma Tools for Cycle Time Reduction in Manufacturing: Case Study in Biopharmaceutical Industry. **Arabian Journal for Science and Engineering**, v. 39, n. 2, p. 1449–1463, 2014.
- ISO. ABNT NBR ISO 50001:2011, Sistemas de gestão da energia - Requisitos com orientações para uso. 2011.
- JIRASUKPRASERT, P. et al. A Six Sigma and DMAIC application for the reduction of defects in a rubber gloves manufacturing process. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 5, n. 1, p. 2–21, 2014.
- KAYA, D. et al. Energy conservation in compressed-air systems. **International Journal of Energy Research**, v. 26, n. 9, p. 837–849, 2002.
- KOGA, M. E. T. **Celulose e papel: Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. 2ª ed. São Paulo, Brasil: IPT/SENAI, 1988.
- KRAFCIK, J. F. Triumph Of The Lean Production System. **MIT Sloan Management Review**, v. 30, n. 1, 1988.
- KUMAR, S.; SATSANGI, P. S.; PRAJAPATI, D. R. Improvement of Sigma level of a foundry: a case study. **The TQM Journal**, v. 25, n. 1, p. 29–43, 2013.
- KUMAR, S.; SOSNOSKI, M. Using DMAIC Six Sigma to systematically improve shopfloor production quality and costs. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 58, n. 3, p. 254–273, 2009.
- KWAK, Y. H.; ANBARI, F. T. Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. **Technovation**, v. 26, n. 5–6, p. 708–715, 2006.
- LI, K. et al. Parallel machine scheduling problems in green manufacturing industry. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 38, p. 98–106, 2016.
- LIMA-TOIVANEN, M. B. A evolução da indústria Sul-Americana de celulose e Papel. **Revista O Papel**, v. 74, n. 9, p. 51–66, 2013.
- LIMA, J. D. et al. PROPOSTA DE UM FRAMEWORK EM ATIVOS REAIS COM SUPORTE DO \$ AV € PI. 2018.

- LIMA, J. D. DE et al. A systematic approach for the analysis of the economic viability of investment projects. **Int. J. Engineering Management and Economics**, v. 5, n. 1/2, p. 19–34, 2015.
- LIMA, J. D. DE. **Manual de Análise da Viabilidade Econômica de Projetos de Investimentos (MAVEPI): abordagem determinística**. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR – Câmpus Pato Branco), 2016.
- LIMA, J. D. DE et al. Estudo de viabilidade econômica da expansão e automatização do setor de embalagem em agroindústria avícola. **Custos e @gronegócios**, v. 12, n. 1, p. 89–112, 2016.
- LIMA TOIVANEN, M. **The South American Pulp and Paper Industry: The Cases Brazil, Chile, and Uruguay**, 2012.
- LIN, C. et al. Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 29, n. 3, p. 95–103, 2013.
- LINTON, J. D.; KLASSEN, R.; JAYARAMAN, V. Sustainable supply chains: An introduction. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 6, p. 1075–1082, 2007.
- MARTÍNEZ-JURADO, P. J.; MOYANO-FUENTES, J. Lean Management, Supply Chain Management and Sustainability: A Literature Review. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 134–150, 2014.
- MATOS, L. **Implementação de um projeto de melhorias em um processo de reação química em batelada utilizando o método DMAIC**. [s.l.: s.n.].
- MAY, G. et al. Energy management in manufacturing: From literature review to a conceptual framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1464–1489, 2017.
- MCTI. **Fatores de Emissão de CO2 do Sistema Interligado Nacional do Brasil**. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_d_espacho.html>. Acesso em: 7 abr. 2018.
- MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 2007.
- MILES, E. N. Improvement in the incident reporting and investigation procedures using process excellence (DMAI2C) methodology. **Journal of Hazardous Materials**, v. 130, n. 1–2 SPEC. ISS., p. 169–181, 2006.
- MOLLENKOPF, D. et al. Green, lean, and global supply chains. **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 40, n. 1–2, p. 14–41, 2010.
- MOSTAFA, S.; DUMRAK, J.; SOLTAN, H. A framework for lean manufacturing implementation. **Production and Manufacturing Research**, v. 1, n. 1, p. 44–64, 2013.
- NISKANEN, J. Tendências na evolução das máquinas de papel. **O Papel**, 1998.
- OJALA, J. et al. A evolução da indústria de papel global. **Revista O Papel**, v. 74, n. September, p. 51–54, 2013.
- OJALA, J.; VOUTILAINEN, M.; LAMBERG, J.-A. The Evolution of the Global Paper Industry: Concluding Remarks. v. 17, p. 345–363, 2012.
- OLIVEIRA VILELA, L. Aplicação do PROKNOW-C para seleção de um portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do

- conhecimento. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, 2012.
- OMENA, R. **Fabricação de papel**. [s.l.] Kimberly Clark Company, 2008.
- OMER, A. M. Energy, environment and sustainable development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 9, p. 2265–2300, 2008.
- PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2008.
- PAMPANELLI, A. B.; FOUND, P.; BERNARDES, A. M. A Lean & Green Model for a production cell. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 19–30, 2014.
- PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. **Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente**. São Paulo: Saraiva, 2011.
- PEREIRA, Z. L. .; REQUEIJO, J. G. **Qualidade: Planejamento e Controle Estatístico de Processos (Quality: Statistical Process Control and Planning)**. Lisboa: FCT/UNL Foundation Editor, 2012.
- PESENDORFER, M. Horizontal Mergers in the Paper Industry. **RAND Journal of Economics**, v. 34, n. 3, p. 495–515, 2003.
- PORTELA, T. T.; LAFAY, J. M. S. Investment Analysis for Energy Efficiency Management Systems in Industrial Refrigeration Key words. v. 1, n. 13, p. 278–282, 2015.
- PRASHAR, A. Adoption of Six Sigma DMAIC to reduce cost of poor quality. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 63, n. 1, p. 103–126, 2014a.
- PRASHAR, A. Redesigning an assembly line through Lean-Kaizen: an Indian case. **The TQM Journal**, v. 26, n. 5, p. 475–498, 2014b.
- RASOTO, A. ET AL. **Gestão Financeira: enfoque em inovação**. 1. ed ed. Curitiba: Aymar, 2002.
- REVER, H. Six Sigma Can Help Project Managers Improve Results. **International Institute for Learning**, p. 1–5, 2010.
- REYES, A. E. L. **Implantação de um sistema de qualidade**. [s.l.] USP, 2000.
- SAHAY, C.; GHOSH, S.; BHEEMARTHI, P. K. Process improvement of brake lever production using DMAIC (+). **ASME 2011 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, IMECE 2011**, v. 3, p. 801–826, 2011.
- SAIDUR, R.; RAHIM, N. A.; HASANUZZAMAN, M. A review on compressed-air energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 4, p. 1135–1153, 2010.
- SARKIS, J. A strategic decision framework for green supply chain management. **Journal of Cleaner Production**, v. 11, n. 4, p. 397–409, 2003.
- SAVEPI - Sistema de Análise da Viabilidade Econômica de Projetos de Investimentos**. Disponível em: <<http://pb.utfpr.edu.br/savepi/index.php>>.
- SEHNEM, S.; OLIVEIRA, G. P. Analysis of the supplier and agribusiness relationship. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1335–1347, 2017.
- SHAH, R.; CHANDRASEKARAN, A.; LINDERMAN, K. In pursuit of implementation patterns: The context of Lean and Six Sigma. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 23, p. 6679–6699, 2008.

- SIMONS, D.; MASON, R. Lean and green: Doing more with less. **ECR Journal**, v. 3, p. 84–91, 2003.
- SMOOK, G. A. **Handbook for Pulp & Paper Technologists**. 3rd. ed. USA: Angus Wilde Publications Inc, 2002.
- SOKOVIC, M.; PAVLETIC, D.; PIPAN, K. Quality improvement methodologies - PDCA cycle, RADAR matrix, DMAIC and DFSS. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**, v. 43, 2010.
- SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análises de Investimentos: Conceitos, técnicas e aplicações**. 6 ed ed. São Paulo: Altas, 2008.
- SOUZA, A.; HARZER, J. H.; DUCLÓS, L. **MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADO À ANÁLISE DE PROJETO: ESTUDO DE INVESTIMENTO EM UM EMPREENDIMENTO HOTELEIRO**, 2013.
- SOUZA, R. **Case research in operations management**. EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management, 31st Jan.-4th Feb. **Anais...**Brussels, Belgium: 2005
- SRINIVASAN, K. et al. Enhancing effectiveness of shell and tube heat exchanger through six sigma DMAIC phases. **Procedia Engineering**, v. 97, p. 2064–2071, 2014.
- SUCUPIRA. **No Title**. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/>>. Acesso em: 15 set. 2017.
- TAGHIZADEGAN, S. **Essentials of Lean Six Sigma**. [s.l: s.n.].
- TCHEMRA, A. H. U. M. **Tabela De Decisão Adaptativa Na Tomada De Decisão Multicritério**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- TENERA, A.; PINTO, L. C. A Lean Six Sigma (LSS) Project Management Improvement Model. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 912–920, 2014.
- TSENG, M.-L.; DIVINAGRACIA, L.; DIVINAGRACIA, R. Evaluating firm's sustainable production indicators in uncertainty. **Computers & Industrial Engineering**, v. 57, n. 4, p. 1393–1403, 2009.
- TURUNEN, T.; HEINONEN, L.; BANECKI, R. Focus on 17 theses to increase energy efficiency on the paper production line. [17 thesen zur steigerung der energieeffizienz: Im fokus: Die papierherstellungslinie]. **Wochenblatt fuer Papierfabrikation**, v. 139, n. 3, p. 184–189, 2011.
- UENO, P. Y. **Curso sobre formação, prensagem e secagem do papel**. Minas Gerais: ABTCP, 2005.
- VERRIER, B.; ROSE, B.; CAILLAUD, E. Lean and Green strategy: the Lean and Green House and maturity deployment model. **Journal of Cleaner Production**, v. 116, p. 150–156, 2016.
- VONDEREMBSE, M. A. et al. Designing supply chains: Towards theory development. **International Journal of Production Economics**, v. 100, n. 2, p. 223–238, 2006.
- WERKEMA, C. **Criando a Cultura Seis Sigma**. Belo Horizonte: Werkema Editora, 2004.
- WERKEMA, C. **Lean seis sigma: Introdução às ferramentas do lean manufacturing**. [s.l.] Elsevier, 2012.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

WOHLIN, C. Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. **Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering - EASE '14**, p. 1–10, 2014.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS, D. The Machine that Changed the World: The Story of Lean Production. **Rawson Associates**, p. 323, 1990.

WORRELL, E. et al. Industrial energy efficiency and climate change mitigation. **Energy Efficiency**, v. 2, n. 2, p. 109–123, 2009.

YANG, M. G. (MARK); HONG, P.; MODI, S. B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: An empirical study of manufacturing firms. **International Journal of Production Economics**, v. 129, n. 2, p. 251–261, 2011.

YILDIRIM, M. B.; MOUZON, G. Single-machine sustainable production planning to minimize total energy consumption and total completion time using a multiple objective genetic algorithm. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 59, n. 4, p. 585–597, 2012.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4.ed. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YOUNG, S. et al. **The 2014 International Energy Efficiency Scorecard**. [s.l: s.n.].

APÊNDICE A – Etapas da fabricação de papel

A produção de papel reciclado inicia quando suas fibras ou aparas são enviadas ao desagregador (*Hidrapulper*), juntamente com água fresca (em torno de 20 °C) ou recuperada do processo e aditivos de desagregação, individualizando-as por meio da agitação hidráulica e mecânica. Muitas das impurezas contidas nas aparas têm dimensões maiores que a chapa perfurada de saída do desagregador. Estes contaminantes devem ser retirados continuamente do interior do desagregador. Caso isso não ocorra, os mesmos permanecem no interior do equipamento por mais de um ciclo, diminuindo o volume do desagregador e reduzindo sua capacidade, além de poderem se quebrar, diminuindo sua dimensão e ultrapassando a placa perfurada do *Hidrapulper*, contaminando os processos posteriores (ALEXANDRE, 2012). A Figura 1 apresenta um tipo de desagregador.

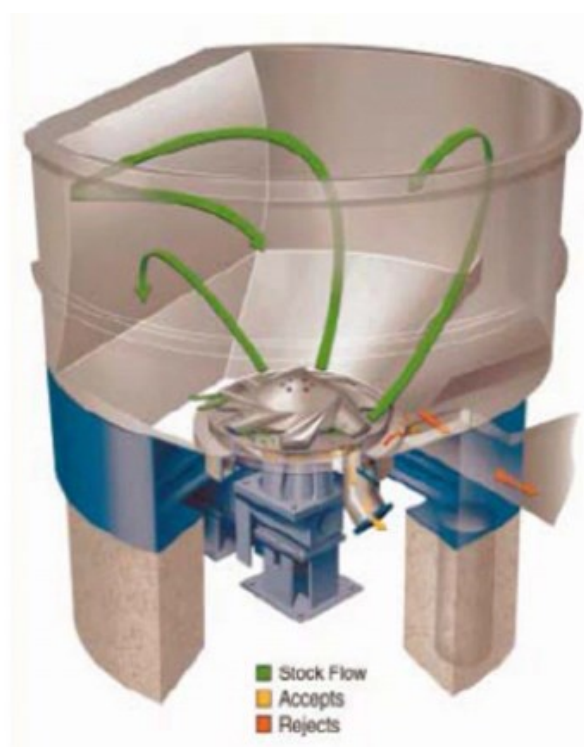


Figura 1 - Desagregador (*Hidrapulper*)

Fonte: Campos (2007).

Após o desagregador, a massa passa pelo separador de massa grossa, contendo alguns equipamentos de limpeza. O separador, por sua vez, evita com que pedras, pedaços de madeiras, estilhaços e outras sujeiras cheguem ao refinador.

Como exemplo de equipamentos de limpeza, o separador pode possuir peneiras vibratórias e peneiras cilíndricas, em forma de tambor (ANDRIONI, 2006; OMENA, 2008). Em seguida, a Figura 2 apresenta um exemplo de separador de massa.

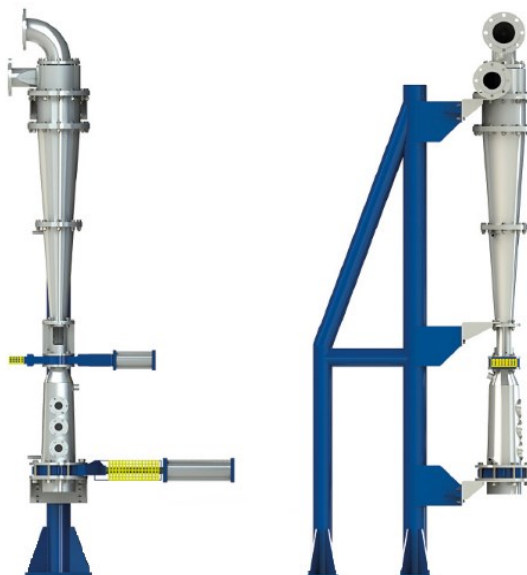


Figura 2 – Separador de massa
Fonte: Catálogo Hergen (2018).

As fibras na forma que vieram do cozimento não servem para obtenção de papéis de boa qualidade, apresentando aspecto de fita. Desta forma, as fibras passam entre os discos dos refinadores sendo atingidas pelas barras, mais corriqueiramente chamadas de “facas”, sofrendo um tratamento mecânico conhecido como refinação. É principalmente deste tratamento que dependem as características físicas do papel. É a operação mais vital da preparação de massa e também a que consome maior fração de energia (CAMPOS, 2007, 2012; SMOOK, 2002).

A finalidade da refinação é conceder ao material fibroso uma estrutura adequada, quanto às dimensões e composição da fibra, objetivando as características necessárias na massa para a qualidade do papel desejada. Após a refinação, com as fibras já hidratadas e antes de ser direcionada à caixa de nível, a massa recebe a dosagem de químicos como: carbonato de cálcio para controle de pH, amido para aumentar a resistência longitudinal do papel, alvejante para tornar o papel mais branco, entre outros aditivos químicos (ALEXANDRE, 2012; CAMPOS, 2007).

A caixa de nível tem a função de manter constante a coluna hidráulica sobre a válvula de gramatura, eliminar boa parte do ar livre contido na massa e erradicar pulsações provocadas por outros equipamentos. Por sua vez, o objetivo da válvula de gramatura é de controlar a consistência na caixa de entrada e, conseqüentemente, a

gramatura da folha. Sua operação é dirigida por computador via sinal de realimentação por uma sonda, que lê a gramatura da folha de papel (OMENA, 2008).

Seguindo o fluxo, a massa é escoada até a bomba de mistura, onde acontece a homogeneização de todos os fluxos que entram em sua região de sucção de forma hidráulicamente estável e suficiente para que a máquina de papel seja alimentada. Este papel é desempenhado por bombas centrífugas, que podem ser operadas com motores de velocidade variável ou constante. Normalmente esses controles são feitos automaticamente e via computadores. Os circuitos de aproximação podem apresentar uma ou duas bombas de mistura, denominadas de sistema simples ou de dupla diluição (CAMPOS, 2012; UENO, 2005).

Da bomba de mistura, a massa é enviada ao depurador, visto que a maioria dos processos de fabricação de papel requerem algum tipo de limpeza ou depuração da massa a ser utilizada. Em virtude das características das impurezas (materiais indesejáveis) a serem removidas da massa, os depuradores são classificados em dois tipos, sendo classificadores ou depuradores por peso (Hidrociclones) (CAMPOS, 2007; GALLO, 2001).

Os depuradores classificadores utilizam peneiras vibratórias, que consistem em uma caixa que contém uma placa perfurada, colocada na posição horizontal. Abaixo da placa existe um dispositivo, que transmite um movimento vibratório à placa, a fim de fazer com que a massa não obstrua a placa perfurada. Já os depuradores por peso (Hidrociclones), são utilizados para remoção de impurezas com base no alto peso específico das partículas. A separação acontece pelo princípio do hidrociclone em relação a sua velocidade centrífuga, removendo as impurezas da massa antes da chegada na caixa de entrada (CAMPOS, 2012).

A caixa de entrada tem a função de distribuir a massa de maneira uniforme na tela formadora. Esta distribuição se alcança por meio de uma pressão interna uniforme e constante. A eficiência da caixa de entrada está relacionada com a qualidade do jato de massa que ela proporciona à tela formadora. A variabilidade de máquinas de papel atuais no mercado, é diferenciada pelo formador que elas possuem. Por isso, existe uma classificação das máquinas pelo tipo de formador disponível, sendo elas: tela dupla, *Crescent Former*, tela inclinada com rolo formador sólido e a máquina utilizada como foco da realização da presente pesquisa, com

formador de mesa plana (OMENA, 2008). No Quadro 1, observam-se as vantagens e desvantagens dos vários tipos de formadores.

ITEM	MESA PLANA	TELA INCLINADA	TELA DUPLA	CRESCENT FORMER
Formação	Regular	Boa	Ótima	Excelente
<i>Bulk</i> (Volume específico)	Regular	Bom	Ótimo	Ótimo
Gramatura (g/m ²)	Regular	Boa	Excelente	Ótima
Resistência L/T	Regular	Ótima	Boa	Ótima
Limite de velocidade (m/min)	1000	1600	2100	2100
Tempo de troca de tela (h)	3 a 4	1	2	0,5
Custo Benefício	Ruim	Bom	Bom	Excelente

Quadro 1 – Informações por tipo de formador de papel

Fonte: Omena (2008).

Seguindo o fluxo da produção de papel, a próxima etapa é a prensagem, a qual por sua vez tem função de remover a quantidade máxima possível de água da folha de papel antes de submetê-la à secagem, pelo cilindro *Yankee*. A prensagem é feita com ação combinada de compressão mecânica e rolos de sucção que possuem alta capacidade de remoção de água, por meio da estrutura porosa do rolo inferior, escoando a água a partir do *NIP* (*NIP* é a área de contato entre dois rolos quando em produção, realizando pressão na folha de papel). Os objetivos da prensagem são, além da remoção de água da folha de papel e, a consolidação da folha por meio de aproximação das fibras (CAMPOS, 2007; NISKANEN, 1998; SMOOK, 2002).

Os cilindros *Yankee* são usados para a finalização da secagem dos papéis. Durante o processo de secagem, a folha de papel permanece grudada no cilindro, soltando-se quando o teor de umidade entrar em equilíbrio com a umidade ambiente. Sua eficiência é aumentada através do uso de capotas de ar quente, responsáveis por evaporar a água da folha e realizar a exaustão do vapor de água liberado no processo de secagem, antes da crepagem do papel (CAMPOS, 2007, 2012; NISKANEN, 1998). A Figura 3 ilustra o cilindro *Yankee*.

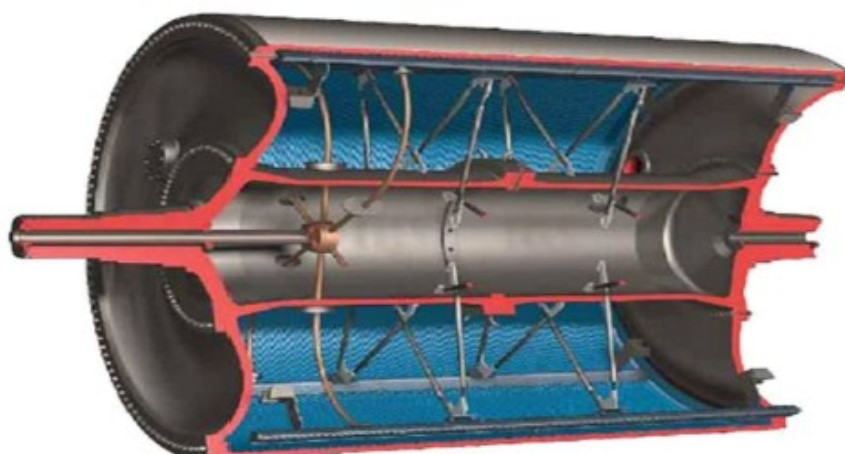


Figura 3 – Cilindro Yankee

Fonte: Campos (2012).

Na crepagem, a suavidade e elasticidade são incorporadas à folha de papel, sendo um processo de grande impacto na qualidade do produto final. Obtido por meio do controle das forças de adesão e *release* entre a folha de papel e o cilindro crepador, no qual uma película flexível e úmida é desprendida de forma contínua, utilizando os principais mecanismos de aderência e desprendimento por uma lâmina que está em contato contínuo com a superfície do secador *Yankee*, a qual é responsável por remover a folha de maneira uniforme e controlada. A crepagem ocorre quando a folha choca com a raspa (lâmina) crepadora, imediatamente antes da bobinagem do papel, que ocorre na enroladeira, na qual a folha é bobinada com diâmetro determinado.

APÊNDICE B – Extras ciclo *DMAIC*

PROJETO PRELÚDIO* - MELHORIA DE EFICIÊNCIA/ PRODUTOS MP RECICLADO			
Produto/ Serviço	Fabricação de Papel Reciclado	Oportunidade de redução de custo - (R\$/ano)	Entre R\$ 848 mil e R\$ 974 mil
Diretor Industrial	Nome	Departamento	Produção de Papel
Gerente Conversão	Nome	Setor	Máquina de Papel Reciclado
Execução do Projeto	Nome	Data inicial	16/11/2017
Execução do Projeto	Anderson I. dos Santos	Data final	19/10/2018

Informação	Explicação	Descrição	
1. Caso de negócio	Ligação do projeto com a estratégia da empresa	O projeto é apoiado pela empresa baseado no aumento da lucratividade, através da redução de refugo gerado pela fabricação do papel higiênico branco (reciclado), o que impacta em maior volume de produtividade, tanto da MP Reciclado quanto do produto final, na conversão de papel.	
2. Oportunidades	Quais são as oportunidades do projeto?	*A média geral de refugo do Papel Higiênico Reciclado na conversão foi de 11,2% durante o ano de 2017, com oportunidade de diminuir entre 1% e 3%. *Com a melhoria na fabricação, a MP Reciclado se torna mais eficiente, consumindo menores taxas de insumos e energia elétrica	
3. Meta	Quais as metas do projeto?	*Chegar em 8,5% de refugo geral de Higiênico reciclado na Conversão até o mês 10/2018. *Aumentar a eficiência produtiva e melhorar a qualidade do papel da MP Reciclado	
4. Escopo do projeto	Processos que serão afetados pelo projeto. Começo e fim do processo fundamental	O escopo é definido a partir da entrada de aparas na MP Reciclado, até a saída da bobina na enroladeira. Além disso, a medição da eficácia do projeto se dará também nas máquinas de conversão de papel.	
5. Membros da equipe	Nome e função	Nome 1 - (Supervisão Produção MP)	
		Anderson I. dos Santos - (Processos/ Melhorias Conversão)	
		Nome 3 - (Gerente de Produção Conversão)	
		Nome 4 - (Diretor Industrial)	
		Nome 5 - (Manutenção Mecânica)	
		Nome 6 - (Manutenção Mecânica)	
		Nome 7 - (Manutenção Mecânica)	
		Nome 8 - (Manutenção Elétrica)	
		Nome 9 - (Operação de Máquina)	
		Nome 10 - (Operação de Máquina)	
Nome 11 - (Operação de Máquina)			
6. Benefícios para clientes externos	Mencione os benefícios que serão percebidos	Melhoria na qualidade do produto semi-acabado, além de dar maior continuidade de máquina, que por consequência melhora seu desempenho e aumenta produtividade do equipamento/ setor.	
7. Agenda Geral	Etapas do Projeto	Início planejado	Início real
	Definir		
	Medir		
	Analisar		
	Melhorar		
	Controlar (Benefícios)		
8. Recursos requeridos	Há alguma habilidade, equipamento, sistema, etc. que seja necessário?	Disponibilidade de trabalho em horário extra, para realização de reuniões e treinamentos, com a equipe de trabalho e envolvidos em todo fluxo relacionado no escopo. Investimento em máquina.	
9. Assinatura dos responsáveis	Quem são as pessoas chaves que devem validar o projeto?	Nome 1 - Diretor Geral: _____ Nome 2 - Diretor Industrial: _____ Nome 3 - Gerente Conversão: _____	

*Prelúdio: A etapa inicial para o desenvolvimento ou para a resolução de alguma coisa. Visto que este é o projeto inicial elaborado pela equipe, visa ser o embrião para melhoria geral da fábrica no quesito refugo, o início da mudança.

Figura 1 – Escopo de Projeto

Fonte: Elaborado pelo autor

COMO ESTÁ O SEU ENTENDIMENTO EM RELAÇÃO AO PROJETO?												
Questões chaves		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
G	Propósito geral Entendemos e concordamos na nossa missão e resultados desejados ao fim do projeto				1		4		4		2	
	Cientes e requerimentos Conhecemos quem são as pessoas e processos afetadas pelo projeto, o que eles querem e porque este projeto é necessário				2	3	3				3	
	Metas e resultados Sabemos quais as metas desejadas relacionadas com os objetivos do projeto				3	4	2	1	1			
	Definição do escopo do projeto Entendemos e concordamos com as etapas estabelecidas no escopo do projeto				2	1	1	3	1	3		
R	Papéis e responsabilidades Temos definido e concordamos com nossos papéis, responsabilidades, habilidades requeridas e recursos para o projeto						5	4			2	
	Autoridade e autonomia Está claro o grau de autoridade e delegação de responsabilidades que o time tem para ter sucesso no projeto				3	2		2	1		3	
P	Fatores críticos de sucesso Conhecemos e estamos focados nos fatores chaves necessários para atingir as metas do projeto		2		3		4		2			
	Plano e atividades Temos um plano efetivo de ação a seguir que inclui as tarefas certas, claramente definidas e designadas				2	3	1	1			4	
	Monitoramento e medição Temos um processo efetivo de monitoramento e medidas específicas para medir o avanço e as metas				3	4	2	1	1			
	Agenda Temos definida a agenda do projeto e conhecemos as fases				2	1	1	3	1	1	2	
I	“Concordância operacional” do time Compartilhamos expectativas e formas de trabalho sobre como o time vai trabalhar			2	2	3	2	1	1			
	Relações interpessoais no time As relações dentro do time são as requeridas, há franqueza, confiança, participação e comportamentos desejados para um time saudável e produtivo				3	2		2	1		3	

Figura 2 – Tabela para análise GRIP da fase Definir

Fonte: Elaborado pelo autor

Plano de Ação – Melhorias MP Reciclado							
Nº	O que?	Por quê?	Como?	Quem?	Onde?	Quanto?	Quando?
1	Varição de gramatura e emendas	1. Consistência de massa variando na caixa de entrada devido aos problemas anteriores de preparação e envio de massa. 2. Mesa formadora muito antiga.	Resolvendo os problemas de processos anteriores à caixa de entrada e análise de investimento em novo preparo de massa via MMIA.	1. Manutenção Mecânica 2. Analista de processos e diretor industrial	Máquina de papel reciclado	1. Sem custo 2. R\$ 1,5 milhão	Até 20/02/18
2	Falta de dispositivo de controle operacional	Controle de processo pouco automatizado, não detecta inconsistências no processo e locais com foco de problemas mecânicos e elétricos	Análise de Investimento em dispositivo de controle e automações	Manutenção elétrica	Máquina de papel	R\$ 525 mil	Até 20/02/18
3	Aparas com muito plástico	Dificuldade de aparas melhores no mercado	Separar o máximo possível de plástico das aparas	Auxiliar de preparação de massa	Estoque de aparas	Sem custo	Iniciar em 02/01/18
4	Pouca consistência de massa	Muitas partículas de plástico seguindo adiante na preparação de massa	Analisar o processo de preparação de massa e substituição de peneiras	Manutenção mecânica	<i>Hidrapulper</i>	Análise sem custo	Até 15/01/18
5	Removedor de plástico ineficiente	Muito plástico seguindo no processo e causando cola nas bobinas	Analisar abertura da peneira do removedor e possível substituição	Manutenção mecânica	<i>Hidrapulper</i>	Análise sem custo	Até 15/01/18
6	Circuito de processo não é seguido	Tubulação com <i>by-pass</i> em vários pontos	Interdição de válvulas desnecessárias	Manutenção mecânica	Tubulação de massa até a caixa de entrada	Sem custo	Até 30/01/18
7	Manípulos da caixa de entrada desregulados	Mão de obra mal qualificada	Treinamento operacional para os funcionários recém contratados	Condutores de máquina mais experientes	Sala de treinamentos e máquina	Sem custo	Até 20/02/18
8	Oscilação no sistema de vácuo	Falta de dispositivo de controle operacional	Análise de Investimento em dispositivo de controle e automações	Manutenção elétrica	Máquina de papel	R\$ 525 mil	Até 20/03/18
9	Varição do crepe	Falta de padrão	Treinamento operacional Hergen	Consultores Hergen	Sala de treinamentos e máquina	R\$ 5 mil	Até 20/02/18

Quadro 1 – Plano de ação (5W2H)

Fonte: Elaborado pelo autor

COMO ESTÁ O SEU ENTENDIMENTO EM RELAÇÃO AO PROJETO?												
Questões chaves		0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
G	Propósito geral Entendemos e concordamos na nossa missão e resultados desejados ao fim do projeto							1	3	7		
	Clientes e requerimentos Conhecemos quem são as pessoas e processos afetadas pelo projeto, o que eles querem e porque este projeto é necessário								1	2	8	
	Metas e resultados Sabemos quais as metas desejadas relacionadas com os objetivos do projeto								1	1	9	
	Definição do escopo do projeto Entendemos e concordamos com as etapas estabelecidas no escopo do projeto									3	8	
R	Papéis e responsabilidades Temos definido e concordamos com nossos papéis, responsabilidades, habilidades requeridas e recursos para o projeto									7	3	1
	Autoridade e autonomia Está claro o grau de autoridade e delegação de responsabilidades que o time tem para ter sucesso no projeto									4	7	
P	Fatores críticos de sucesso Conhecemos e estamos focados nos fatores chaves necessários para atingir as metas do projeto								4	1	6	
	Plano e atividades Temos um plano efetivo de ação a seguir que inclui as tarefas certas, claramente definidas e designadas								1	2	1	7
	Monitoramento e medição Temos um processo efetivo de monitoramento e medidas específicas para medir o avanço e as metas									1	5	5
	Agenda Temos definida a agenda do projeto e conhecemos as fases									8	2	1
I	“Concordância operacional” do time Compartilhamos expectativas e formas de trabalho sobre como o time vai trabalhar									4	4	3
	Relações interpessoais no time As relações dentro do time são as requeridas, há franqueza, confiança, participação e comportamentos desejados para um time saudável e produtivo									2	7	2

Figura 3 – Tabela para análise GRIP da fase Controlar

Fonte: Elaborado pelo autor