

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**EVERTON DOS SANTOS FERREIRA**

**MELHORIA DE UM PROCESSO DE MANUTENÇÃO COM AUXÍLIO  
DO MÉTODO MULTICRITÉRIO EM UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E  
CELULOSE**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUARAPUAVA**

**2020**

**EVERTON DOS SANTOS FERREIRA**

**MELHORIA DE UM PROCESSO DE MANUTENÇÃO COM AUXÍLIO  
DO MÉTODO MULTICRITÉRIO EM UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E  
CELULOSE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação de Engenharia Mecânica, como  
requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel  
em Engenharia Mecânica, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ms. Luís Fernando Paulista Cotian  
Co-orientador: Prof. Ms. Ricardo Vinícius Bubna  
Biscaia

**GUARAPUAVA**

**2020**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **MELHORIA DE UM PROCESSO DE MANUTENÇÃO COM AUXÍLIO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO EM UMA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE**

**EVERTON DOS SANTOS FERREIRA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em Guarapuava, Paraná na data 30 de junho de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora e composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

**Luís Fernando Paulista Cotian**  
Prof. Orientador

---

**Álamo Alexandre da Silva Batista**  
Membro Da Banca

---

**André Luiz Soares**  
Membro Da Banca

---

**Aldo Przybysz**  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

---

**Everton dos Santos Ferreira**

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

*Com gratidão, dedico este trabalho aos meus pais, pilares da minha formação como ser humano, dos quais me apoiaram incondicionalmente em todos os momentos difíceis dessa trajetória.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a minha família. Especialmente aos meus pais, Gilson e Rosana, que juntos enfrentaram dificuldades para garantir um estudo de qualidade e que tanto me apoiaram nas horas difíceis, de desânimo e cansaço. Agradeço também à minha irmã, Ingrid: por toda atenção e carinho ao longo desses anos.

Ao meu orientador Luís Fernando, pela amizade e por todo apoio sustentado durante a elaboração deste meu projeto final, sempre me indicando a direção correta que o trabalho deveria tomar.

À empresa Santa Maria Papel e Celulose, pela oportunidade concebida de fazer estágio supervisionado e por possibilitarem a execução deste trabalho científico.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que me proporcionou a chance de expandir os meus horizontes técnicos e sociais.

A todos os meus amigos, que deram uma contribuição valiosa para a minha jornada acadêmica.

*“Nada é mais difícil e, portanto, mais  
precioso, do que poder decidir.”*

*(MAXIMS, Napoleon, 1804)*

FERREIRA, Everton dos Santos. **Melhoria de um processo de manutenção com auxílio do método multicritério em uma indústria de papel e celulose**. 2020. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Bacharel em Engenharia Mecânica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2020.

## RESUMO

O intuito deste trabalho é de sugerir uma intervenção no processo de manutenção durante as paradas programadas de uma respectiva indústria de papel e celulose, visando melhorar a segurança dos operadores durante a operação. Essa melhoria foi baseada a partir da potencialização de critérios remetentes à segurança e produção industrial sob investimentos viáveis de serem aplicados na empresa. A seleção da melhoria a ser implementada foi dada a partir da metodologia de tomada de decisão multicritério AHP-TOPSIS, na qual objetiva, neste presente trabalho, em trazer um aumento na confiabilidade de manutenção mediante prevenção das falhas de processo durante a operação de troca da tela formadora da mesa plana de uma máquina de papel específica.

**Palavras-chave:** Máquina de papel. Manutenção. Multiple Criteria Decision Making. Analytic Hierarchy Process. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.

FERREIRA, Everton dos Santos. **Improvement of a maintenance process using the multicriteria method in a paper and cellulose industry**. 2020. 95 f. Completion of coursework to obtain a bachelor's degree in Mechanical Engineering – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2020.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to suggest an intervention in the maintenance process during the scheduled stops of a respective pulp and paper industry, aiming to improve the safety of operators during the operation. This improvement was based on the enhancement of criteria referring to safety and industrial production under viable investments to be applied in the company. The selection of the improvement to be implemented was given based on the AHP-TOPSIS multicriteria decision-making methodology, which aims, in this work, to bring an increase in maintenance reliability by preventing process failures during the operation of changing the flat table forming screen of a specific paper machine.

**Keywords:** Machine paper. Maintenance. Multiple Criteria Decision Making. Analytic Hierarchy Process. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Confiabilidade humana: contribuição proporcional das diferentes espécies de erro humano para falha do sistema .....	20
<b>Figura 2</b> – Curva da Banheira.....	21
<b>Figura 3</b> - Relação de nova e velha concepção.....	21
<b>Figura 4</b> - Gráfico referente à produção brasileira de papel entre 2000 e 2015 .....	23
<b>Figura 5</b> - Gráfico referente às maiores exportações brasileiras no período de 2005 a 2015 .	24
<b>Figura 6</b> - Produção brasileira de papel por tipo entre 2000 e 2015.....	24
<b>Figura 7</b> - Processos de extração da madeira até os processos de fabricação do papel .....	25
<b>Figura 8</b> - Representação ilustrativa de uma máquina de papel generalizada.....	26
<b>Figura 9</b> - Esquema de uma máquina de papel com suas referidas seções .....	26
<b>Figura 10</b> – Etapas principais do processo de formação de papel e indicação do posicionamento da mesa plana na máquina de papel .....	28
<b>Figura 11</b> - Apresentação dos índices de teor seco (TS) posterior a algumas etapas da produção de papel.....	28
<b>Figura 12</b> - Imagem da mesa plana .....	29
<b>Figura 13</b> - Mesa plana com acessórios de sustentação .....	30
<b>Figura 14</b> - Ilustração de uma mesa plana com estrutura tipo cantilever .....	31
<b>Figura 15</b> - Esclarecimento técnico sobre a estrutura tipo cantilever .....	32
<b>Figura 16</b> - Ilustração de uma mesa plana com estrutura tipo porter bar .....	32
<b>Figura 17</b> - Esclarecimento técnico sobre a estrutura tipo porter bar .....	33
<b>Figura 18</b> - Esclarecimento técnico sobre a estrutura tipo c-bar .....	34
<b>Figura 19</b> - Modelo de hierarquia de critérios, alternativas e objetivos.....	36
<b>Figura 20</b> - Estrutura de empreendimento industrial .....	38
<b>Figura 21</b> - Aspectos preliminares para resolução de problemas de decisão .....	41
<b>Figura 22</b> - Relações entre as perspectivas para estudo de tomada de decisão .....	42
<b>Figura 23</b> - Estágios de um processo decisório .....	44
<b>Figura 24</b> - Fases de um processo MCDM.....	45
<b>Figura 25</b> - Fluxograma resumido da execução da metodologia AHP .....	49
<b>Figura 26</b> - Ilustração do mecanismo de aplicação do método TOPSIS para um caso de 2 dimensões ( $n = 2$ ) .....	50
<b>Figura 27</b> - Representação gráfica da distinção entre alternativas hipotéticas em relação às suas soluções ideais positiva e negativa .....	51
<b>Figura 28</b> - Imagem da mesa plana analisada.....	60
<b>Figura 29</b> - Imagem do posicionamento dos trilhos para suportação da mesa plana durante a manutenção .....	61
<b>Figura 30</b> - Mecanismo de desacoplamento vertical da mesa plana.....	61
<b>Figura 31</b> - Representa�o de um macaco de parafuso.....	64
<b>Figura 32</b> – Ilustra�o do mecanismo de deslocamento através de guinchos elétricos .....	66

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Aspectos táticos da manufatura .....	19
<b>Quadro 2</b> - Vantagens da manutenção voltada para confiabilidade .....	22
<b>Quadro 3</b> - Modelo generalizado de uma matriz de decisões .....	39
<b>Quadro 4</b> - Características dos paradigmas racionalista e construtivista .....	43
<b>Quadro 5</b> - A escala numérica de Saaty .....	48
<b>Quadro 6</b> - Descrição dos critérios e alternativas tratadas no trabalho .....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Índices de consistência aleatória .....	54
<b>Tabela 2</b> – Descrição dos critérios de cada alternativa do estudo de caso .....	67
<b>Tabela 3</b> - Hierarquização dos critérios.....	68
<b>Tabela 4</b> - Cálculo do autovetores a partir da hierarquização dos critérios .....	68
<b>Tabela 5</b> - Resultado da normalização da matriz de decisão perante a hierarquização dos critérios .....	70
<b>Tabela 6</b> - Cálculo da normalização da matriz de decisão a partir do vetor peso.....	70
<b>Tabela 7</b> - Cálculo do PIS e do NIS .....	71
<b>Tabela 8</b> - Valores das distâncias euclidianas do PIS e do NIS .....	71
<b>Tabela 9</b> - Ranqueamento das alternativas apresentadas .....	72
<b>Tabela 10</b> – Ranqueamento ordenado das alternativas apresentadas.....	75
<b>Tabela 11</b> - Processo de normalização do critério C3 (Equação 9) .....	91
<b>Tabela 12</b> - Processo de normalização do critério (Equação 9).....	91
<b>Tabela 13</b> - Processo de hierarquização e normalização do critério C1 (Equação 10) .....	92
<b>Tabela 14</b> - Processo de hierarquização e normalização do critério C2 (Equação 10) .....	92
<b>Tabela 15</b> - Processo de hierarquização e normalização do critério C5 (Equação 10) .....	92
<b>Tabela 16</b> - Cálculo da diferença do valor do PIS pelo critério, tomado par a par (Equação 16) .....	93
<b>Tabela 17</b> - Cálculo da diferença do valor do NIS pelo critério, tomado par a par (Equação 17).....	93
<b>Tabela 18</b> – Valores dos parâmetros para obtenção da similaridade relativa (Equação 18) ...	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
CI	Índice de coerência
CR	Índice de consistência
MCDM	<i>Multiple Criteria Decision Making</i>
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
RI	Índice randômico
PIS	<i>Positive Ideal Solution</i>
NIS	<i>Negative Ideal Solution</i>
LA	Lado de acionamento
LC	Lado de comando

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1	OBJETIVOS .....	15
1.1.1	Objetivo Geral.....	15
1.1.2	Objetivos Específicos .....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA .....	18
2.1.1	A influência da abordagem de prevenção de erros na indústria .....	18
2.1.2	Sobre a potência de mercado da indústria de papel em âmbito nacional .....	22
2.1.3	Da linha de produção do papel para a mesa plana .....	25
2.2	MESA PLANA .....	27
2.2.1	Sua relevância na indústria papeleira .....	27
2.2.2	Finalidade .....	28
2.3	TIPOS DE ESTRUTURAS DE SUSTENÇÃO .....	30
2.3.1	Estrutura tipo cantilever.....	31
2.3.2	Estrutura tipo porter bar.....	32
2.3.3	Estrutura tipo c-bar.....	33
2.4	MÉTODOS MULTICRITÉRIO NA INDÚSTRIA.....	34
2.5	ESCLARECIMENTOS SOBRE A METODOLOGIA MCDM .....	36
2.5.1	Uma abordagem contextual .....	38
2.5.2	A influência do decisor nas tomadas de decisões .....	40
2.5.3	Os tipos existentes de abordagem para uma tomada de decisão .....	41
2.5.4	Planejamento de aplicação de MCDM .....	43
2.5.5	Distinção dos tipos de critérios .....	46
2.6	SOBRE O MÉTODO MCDM APLICADO .....	46
2.6.1	MÉTODO AHP.....	47
2.6.2	TOPSIS .....	50
<b>3</b>	<b>ASPECTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>52</b>
3.1	MÉTODO AHP.....	52
3.1.1	Construção da matriz de preferências/comparações dos critérios .....	52
3.1.2	Cálculo do índice de coerência (CR).....	53
3.1.3	Cálculo do vetor peso .....	54
3.2	TOPSIS .....	55
3.2.1	Geração da matriz de julgamento/decisão .....	55
3.2.2	Aplicação dos autovetores normalizados na matriz de julgamento/decisão .....	56
3.2.3	Proporcionar a matriz de julgamentos a partir da aplicação dos pesos .....	57
3.2.4	Cálculo do ponto ideal positivo (PIS) e negativo (NIS).....	58
3.2.5	Cálculo da distância Euclidiana entre o PIS e o NIS .....	58
3.2.6	Cálculo da similaridade relativa do PIS (ranking) .....	59
<b>4</b>	<b>CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO</b> .....	<b>60</b>
4.1	DECLARAÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	63
4.2	ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS .....	63
4.2.1	A1: Implementação de macacos hidráulicos para deslocamento vertical .....	64
4.2.2	A2: Implementação de atuadores lineares para deslocamento vertical .....	64
4.2.3	A3: Substituição do mecanismo atual pelo cantilever/porter bar/c-bar .....	65
4.2.4	A4: Implementação de macacos hidráulicos e guinchos elétricos .....	65

4.2.5	A5: Implementação de atuadores lineares e guinchos elétricos.....	66
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>67</b>
5.1	RESULTADOS DA METODOLOGIA AHP.....	67
5.1.1	Hierarquização dos critérios .....	68
5.1.2	Geração do vetor peso .....	68
5.2	RESULTADOS DA METODOLOGIA TOPSIS.....	69
5.2.1	Geração da matriz de decisão .....	69
5.2.2	Cálculo da matriz normalizada pelo peso .....	70
5.2.3	Cálculo do PIS e do NIS.....	71
5.2.4	Cálculo das distâncias euclidianas do PIS e do NIS .....	71
5.2.5	Cálculo da similaridade relativa (ranking) .....	72
5.3	DISCUSSÃO .....	72
5.3.1	Comparação entre as alternativas.....	72
5.3.2	Quanto a viabilidade de implementação de alguma alternativa.....	73
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
5.4.1	Análise dos objetivos.....	74
5.4.2	Implicações teóricas da metodologia .....	76
5.4.3	Implicações práticas do estudo .....	77
5.4.4	Limitações do trabalho .....	77
5.4.5	Sugestão para trabalhos futuros .....	78
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>81</b>
	<b>APÊNDICE A – Normalização dos critérios de custo.....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE B – Normalização dos critérios qualitativos.....</b>	<b>92</b>
	<b>APÊNDICE C – Cálculo auxiliar das distâncias euclidianas do pis e nis .....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE D – Cálculo auxiliar das similaridades relativas das alternativas.....</b>	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os desempenhos competitivos entre empresas estão condicionados por um vasto conjunto de fatores. A expansão dos mercados, os custos cada vez maiores de investimentos e as progressivas escalas mínimas de produção industrial (entende-se que as escalas mínimas de produção são, de acordo com Juvenal [2002], definidas como economias geradas com base em alguma modificação da produção a partir do aumento da mesma, de maneira que esse respectivo aumento resulte em uma queda considerável no custo médio do seu produto final manufaturado) exigem, cada vez mais uma capacidade crescente de mobilização e de recursos da indústria para que seja possível de se acompanhar o desenvolvimento requisitado no mercado.

Essas escalas mínimas de produção devem ser cada vez mais elevadas para que seus crescentes custos unitários de investimento passem a justificar a implantação de novos projetos de melhoria para a empresa. Mediante a isso, diversos desenvolvimentos tecnológicos auxiliaram as organizações a lidarem com a necessidade de se tornarem cada vez mais competitivas perante outras, com o intuito de fornecer produtos de custos reduzidos de mesma ou maior qualidade (SANTOS, ALBERTO, LIMA, 2018).

Para isso, empresas no geral recorrem costumeiramente a estratégias que buscam por modificações técnicas de seus processos industriais através de soluções baseadas na motivação e criatividade de seus respectivos colaboradores. Isso trás um diferencial em seu desfecho de se obter melhoria nos processos correspondentes à fabricação de seu produto ofertado para o mercado, pois é a partir da elaboração de soluções direcionadas tanto para o desenvolvimento de processo quanto para conservação/mantenabilidade da linha de produção industrial do produto comercializado que se garante melhorias para a empresa.

No entanto, é em decorrência dessa competitividade que surge a necessidade das indústrias se adequarem a desenvolvimentos cada vez mais pertinentes e propensos à disputa de mercado, seja para sua produção quanto para a manutenção da sua produtividade. Por conta dessa imposição, inúmeros projetos de engenharia são cotidianamente analisados, revisados e aprovados, à fim de se deparar com novas descobertas que atendam essa exigência de se intensificar os lucros empresariais a partir da otimização de seus processos fabris.

Esses projetos para implementação, assim como ressaltado por Mesquita, Melissa e Alliprandini (2003), permitem que tais organizações aloquem seus esforços em aspectos mais relevantes para sua estratégia de sobrevivência; preparando, de maneira adequada, a mesma

para lidar com desafios futuros ainda desconhecidos a partir do direcionamento de suas atividades de capacitação.

É durante a decorrência das análises para aprovação dessas melhorias que se sobrevém a necessidade de consultar os protagonistas que apresentaram tal sugestão como resolução do caso, visando retratar a viabilidade da proposta defendida para aprovação. No entanto, frequentemente, tais protagonistas costumam tomar uma alternativa como sendo a mais adequada para a situação sem basear-se em uma análise acentuada e elaborada de implementação para o caso específico, se expondo ao o risco de eleger uma escolha potencialmente inferior do que a uma outra possivelmente sugerida como resolução, ou até mesmo negativa para a corporação em casos extremos.

Devido a isso, é compreensível assimilar que tomar decisões é o trabalho mais importante de qualquer executivo. É expressamente neste plano contextual que este presente Trabalho de Conclusão de Curso está sujeito a se responsabilizar: trazer uma análise acentuada de tomada de decisões no que se refere a troca de tela formadora da mesa plana de uma máquina de papel específica. A partir da escolha da alternativa proposta para a implementação, pretende-se obter uma melhoria considerável durante tal processo de manutenção no que se refere à segurança dos operadores.

## 1.1 OBJETIVOS

Segue o detalhamento dos objetivos, gerais e específicos, deste presente trabalho.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Propor uma melhoria de manutenção da tela formadora durante as paradas programadas da empresa, selecionando dessa forma o processo de manutenção ideal para troca de tela formadora da mesa plana a partir das condições reais da empresa a partir do uso do método multicritério AHP-TOPSIS.



### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os critérios de maiores relevâncias dentro do âmbito da situação-problema a partir da cultura empresarial;
- Encontrar alternativas técnicas tidas como soluções que contornem a situação destacada;
- Montar uma matriz de decisões com os critérios e alternativas técnicas;
- Aplicar o método de apoio multicritério AHP como técnica de ponderamento dos critérios;
- Aplicar o método de tomada de decisão multicritério TOPSIS sob a matriz de decisões como técnica de seleção de alternativa.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa de implementação deste procedimento de tomada de decisão multicritério neste estudo de caso se recorre pela necessidade de encontrar uma alternativa que seja economicamente possível de ser implementada e que, conjuntamente a isso, contemple com os critérios que circundam a cultura da empresa.

É através deste tema que se encontra o propósito deste Trabalho de Conclusão de Curso: encontrar uma melhoria do sistema de deslocamento parcial da mesa plana à fim de garantir que essa atividade seja executada de maneira mais segura por meio da alteração desse mecanismo que eleva, baixa e desloca parte deste componente da máquina de papel específica.

De acordo com Almeida (2003), um recurso bem visto para auxiliar estas situações seria a utilização de uma metodologia que recorresse a um raciocínio matemático desenvolvido e elaborado como suporte dessas decisões. Dessa forma, haveria a realização de uma análise mais sensata e precisa no desfecho do problema, pois: com o uso desse tipo de artifício, os retornos consequentes da escolha seriam mais claros, logo, menos subjetivos do que tomar alguma ação mediante apenas ao mero senso comum. Dessa forma, a implementação de uma ferramenta de gestão de tomada de decisão tenderia a proporcionar melhores escolhas para o estudo de caso analisado.

É por meio dessa linha de raciocínio que o procedimento de escolha do mecanismo mais propício para promover a troca da tela formadora da mesa plana de maneira mais segura será aplicado: através da metodologia de tomada de decisão multicritérios AHP-TOPSIS.

A partir desta metodologia, anseia-se garantir uma melhoria no setor de manutenção da empresa, evitando que parte desta máquina (mesa formadora da máquina de papel) venha a ocasionar eventuais consequências negativas aos estimados colaboradores da empresa; acarretando, com isto posto: em um progresso na confiabilidade de manutenção a partir da prevenção de falhas de processo durante a operação da indústria Santa Maria Papel e Celulose.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico traz consigo o embasamento necessário para o esclarecimento dos conceitos abordados neste trabalho, que subsidiarão a interpretação com olhar mais direcionado e técnico, conforme o foco da temática abordada.

### 2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Esta seção visa facilitar o entendimento do leitor sobre o tema abordado através da noção de conhecimentos amplos e significativos referentes à relevância de prevenir erros, à compreensão do setor do qual este trabalho foi desenvolvido e também ao componente específico da máquina de papel da qual foi estudada para implantação de melhoria durante sua manutenção.

#### 2.1.1 A influência da abordagem de prevenção de erros na indústria

Uma das principais dificuldades de se adquirir confiabilidade na manutenção de uma empresa que já toma demasiadas ações preventivas possíveis por prezar pela segurança dos operadores está na variável humana. Este elemento pode acarretar em erros críticos por conta de ações acidentalmente executadas e, não previstas durante a fase de planejamento. A partir disso, o resultado pretendido pode não ser atendido, o que poderia expor o funcionário vir a sofrer um possível cenário acidental durante sua dada função (CALARGE; DEVANSO, 2004).

Por isso, dentro deste contexto, este parâmetro relatado trás instabilidade ao processo, podendo ocasionar danos, perdas ou até mesmo em possíveis retrabalhos mediante a ocorrência de algum imprevisto. Dessa forma, os colaboradores da empresa podem passar a perder a confiança do procedimento exercido durante suas operações e isso, conseqüentemente, prejudicaria tanto os operadores quanto os lucros da mesma, já que essa desconfiança do processo poderia promover uma maior delonga durante a intervenção dos colabodares devido ao receio destes funcionários estarem visivelmente expostos à algum tipo risco (CONSUL, 2015).

Visando intensificar a produtividade a partir da redução do tempo de operação de um processo de manutenção, ter conhecimento de que a prevenção de erros de um sistema se torna um elemento crucial para garantir a saúde dos colaboladores e a reputação da empresa é vital.

É a partir dessa necessidade que surge o planejamento contínuo de sistemas cada vez melhores e menos propícios às falhas: com sistemas mais otimizados e, sem ter que recorrer a melhorias na supervisão da força física de trabalho, garante-se com maior convicção a qualidade de serviço: consequência essa que influencia diretamente no desenvolvimento do controle da qualidade do serviço exercido em campo (CALARGE; DEVANSO, 2004).

Devido a isso, muitas vezes o processo de manufatura de algum produto deve possuir prioridades em implementação, assim como ressaltado pelo quadro a seguir.

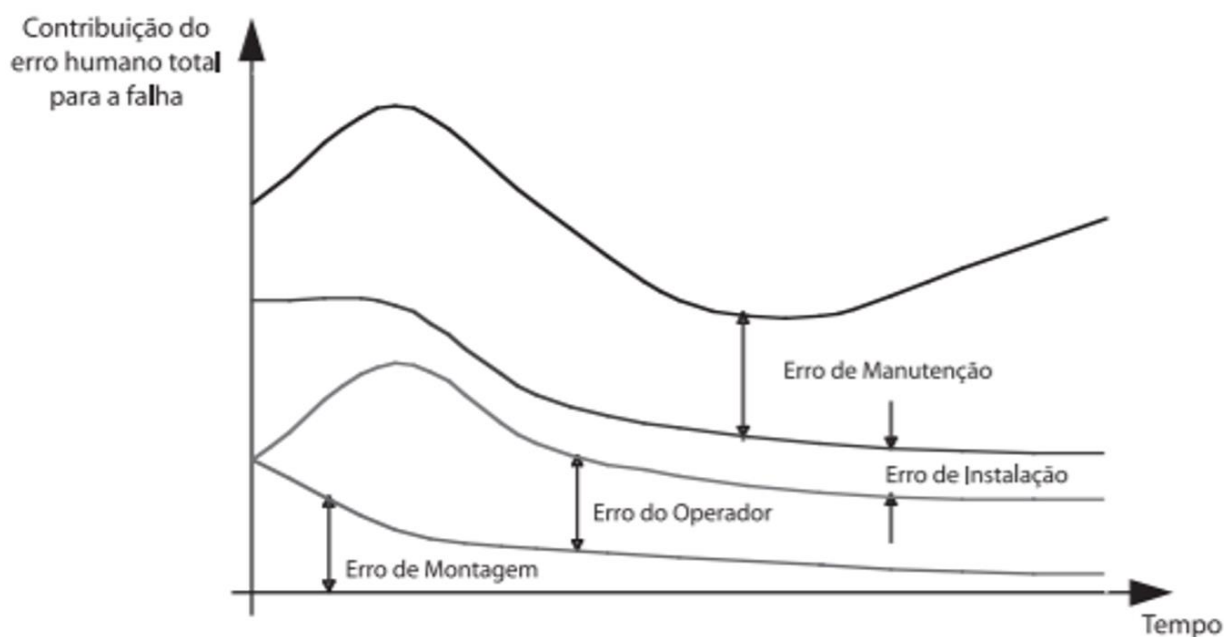
**Quadro 1** - Aspectos táticos da manufatura

Prioridade	Ênfase	Descrição
1º	Controle da Qualidade	É um aspecto absoluto nos dias atuais, onde estabelece-se cada vez mais menores índices de perdas, minimiza-se as variações e qualifica-se as vendas.
2º	Sistemas de planejamento e controle	Integração de processos são necessários nos dias atuais, contribuindo para diminuir tempos de produção e melhorar os níveis de qualidade.
3º	Supervisão da força de trabalho	Motivação e participação são essenciais para melhorias de produtividade e qualidade, buscando uma supervisão da força de trabalho que promova o desenvolvimento pessoal
4º	Política de compras	Reduzir custos de vendas do produto buscando-se competitividade, principalmente através de abordagens de equipe.
5º	Gestão de materiais	Abordagem integrada de gestão de materiais, buscando oportunidades focadas na redução de capital empregado.

**Fonte:** Adaptado de Calarge e Devanso (2004)

Um método de prevenção ideal é aquele em que, por mais que o indivíduo deseje cometer algum erro, ele não vai conseguir: assim como descrito pela metodologia Poka-Yoke. Com isso, o erro humano durante o trabalho é mais previsto e, dessa forma, obtém-se a causa dos principais defeitos (VIDOR; SAURIN, 2011).

**Figura 1** - Confiabilidade humana: contribuição proporcional das diferentes espécies de erro humano para falha do sistema



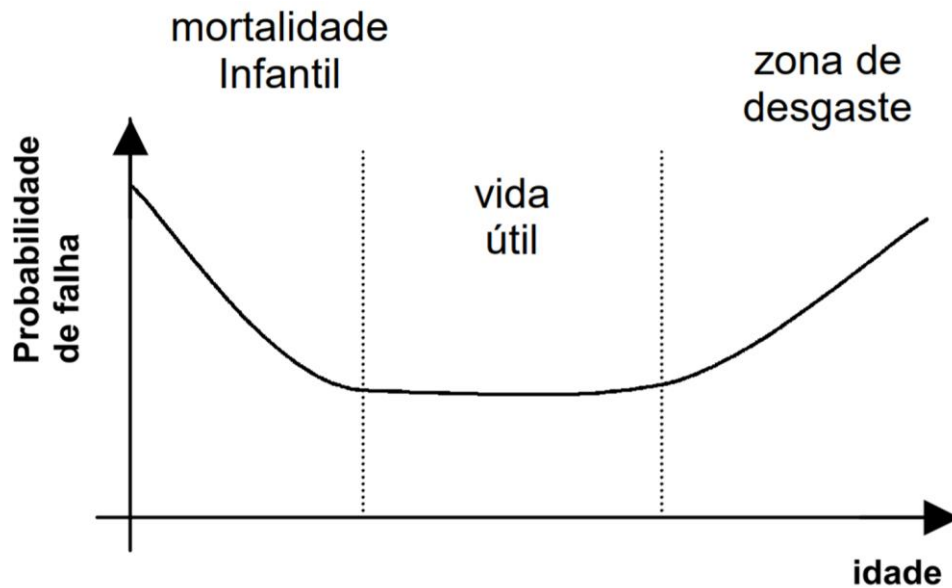
**Fonte:** Adaptado de Calarge e Devanso (2004)

Por isso, nota-se que há uma relevância em se apropriar cada vez mais de processos que especifiquem os erros a fim de reduzir danos físicos, custos e retrabalhos a partir de possíveis falhas das quais poderiam ser evitadas. É a partir desta linha de raciocínio em que este trabalho apresentará alternativas como resolução do problema: pois a necessidade do desenvolvimento de metodologias que promovam a melhoria do desempenho dos processos de manutenção é algo que deve ser tido como prioridade e que recorre, indiretamente, a ter conhecimentos sobre a confiabilidade do processo.

A pretensão de recorrer à confiabilidade para a área a manutenção está correlacionada diretamente com a necessidade de se garantir uma melhor manutenibilidade para o sistema analisado. À complemento disso, de acordo com Villanueva (2015), a importância da manutenibilidade deve ser pensada a partir de duas fases distintas do empreendimento, conhecidas por concepção e projeto.

Concepção é a fase na qual se define os procedimentos do projeto, com o propósito de determinar as predefinições e características de tal. É válido ressaltar que muitas das decisões tomadas nessa etapa resultam em maior ou menor facilidade de praticar a manutenção: o que pode aprimorar ou deteriorar a manutenibilidade do sistema que está analisado para ser otimizado. Enquanto isso, na etapa de projeto, realiza-se a definição dos materiais e do procedimento de construção (VILLANUEVA, 2015).

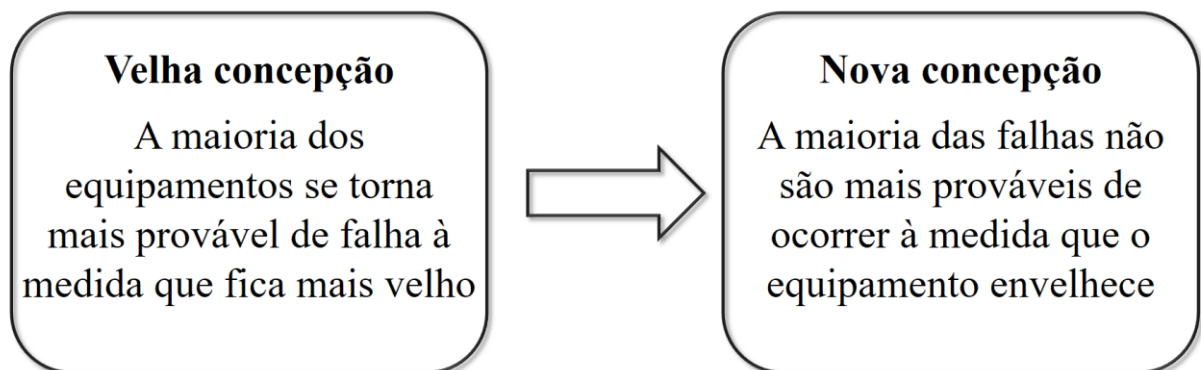
**Figura 2 – Curva da Banheira**



**Fonte:** Adaptado de Prada (2008)

É a partir da estruturação do pensamento da curva “da banheira” que se desenvolveu o novo entendimento de concepção, o qual pode ser correlacionado comparativamente como se apresenta na figura Figura 3.

**Figura 3 - Relação de nova e velha concepção**



**Fonte:** Adaptado de Alkaim (2003)

Visto isso, percebe-se que a confiabilidade pode ser uma ferramenta referenciada para subsidiar a tomada de decisão em diversos setores industriais, seja para a produção, segurança e/ou manutenção. Estes setores mencionados anteriormente são protagonistas deste trabalho: já que a melhoria deste mecanismo de deslocamento propiciará benfeitorias para todos os citados (SELLITTO, 2005).

A partir dessa reflexão, percebe-se o quão vital e expressivo se torna considerar o estudo da manutenção de um sistema em sua fase de concepção. Trata-se de uma etapa do projeto que oportuniza intervir no estado de manutenibilidade do sistema sem a necessidade de exposição aos possíveis prejuízos financeiros. Diante dessa análise primária, emergem diversas vantagens devido a potencialidade/eficácia que representa na prática, como bem representado pelo quadro a seguir, no qual trás as vantagens nítidas em se prevenir erros durante a manutenção, visando melhoria na confiabilidade da mesma.

**Quadro 2** - Vantagens da manutenção voltada para confiabilidade

VANTAGENS DA MANUTENÇÃO ESTRATÉGICA VOLTADA PARA CONFIABILIDADE VISANDO PREVENÇÃO DE ERROS
Aumento da disponibilidade e confiabilidade
Aumento da segurança pessoal e das instalações
Redução da demanda de serviços
Redução dos custos
Preservação ambiental

**Fonte:** Adaptado de Villanueva (2015)

De acordo com Villanueva (2015), é bem visto que a partir dessa aplicação executada neste trabalho com conscientização na melhoria do processo, pode-se obter resultados relevantes à prevenção de falha do sistema, evitando danos à segurança do operador a partir da relação entre manutenção e qualidade da execução do serviço a ser realizado: garantindo uma melhoria na qualidade da manutenção do sistema envolvido.

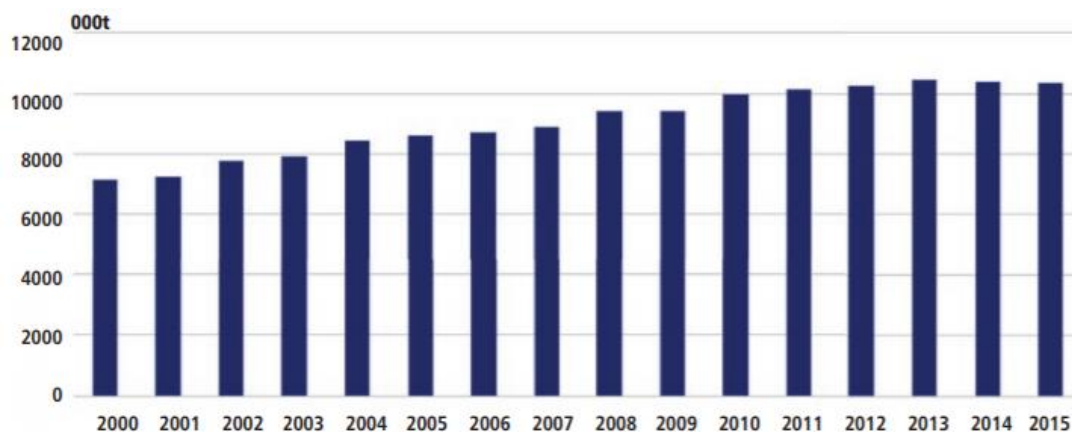
### 2.1.2 Sobre a potência de mercado da indústria de papel em âmbito nacional

A cadeia produtiva de celulose e papel é de grande importância na economia brasileira devido ao seu amplo impacto que exerce sobre inúmeras outras cadeias produtivas sociais, justamente por se tratar de uma indústria de base.

De acordo com o FIEP (2019), esta cadeia se destaca por suas fábricas modernizadas, pela qualificação de profissionais, pelas florestas altamente produtivas e por um serviço que

valoriza a ética sustentável a partir da produção e extração da madeira, fabricação da celulose e fabricação do papel. Um indício disso se encontra destacado pela figura a seguir, na qual trás a produção nacional de papel em uma escala de milhares de toneladas ao ano.

**Figura 4** - Gráfico referente à produção brasileira de papel entre 2000 e 2015



**Fonte:** Adaptado de Silva, Bueno e Neves (2017)

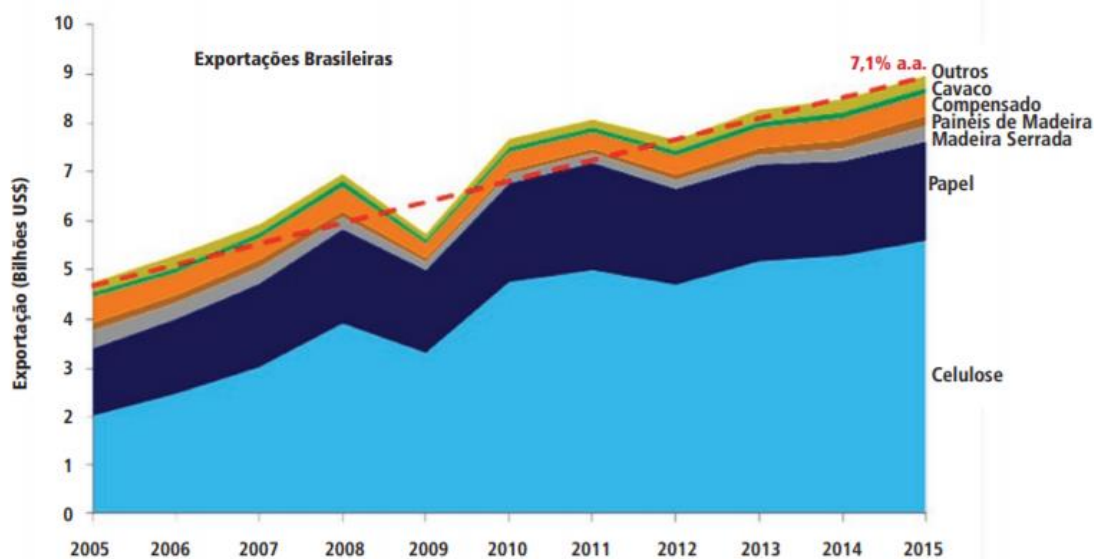
O Brasil está entre os vinte maiores produtores de celulose e papel, tendo inclusive condições de, a médio prazo, ocupar as primeiras colocações como abastecedor mundial. Isso porque, a par de excelentes condições de clima e solo para implantação de florestas homogêneas, principalmente de eucalipto e pinheiros, reúne todos os outros fatores básicos para instalação de empresas econômicas e altamente rentáveis (SCHELLER, 2010).

Porém, o setor de papel e celulose vem passando por um processo mundial de reestruturação e, conjuntamente a essa transição, se manifesta a necessidade de competir e proporcionar um retorno mais produtivo aos seus investidores. Este fator, de acordo com Juvenal (2002), tem sido o principal impulsionador do movimento de reestruturação de vários setores da economia mundial.

Como se constatado pelo gráfico contido na Figura 4, nota-se que entre 2000 e 2015 a indústria brasileira de base florestal tornou-se um negócio de classe mundial, principalmente devido à sua alta produtividade de florestas plantadas, como numericamente demonstrado pelo gráfico apresentado na figura a seguir.



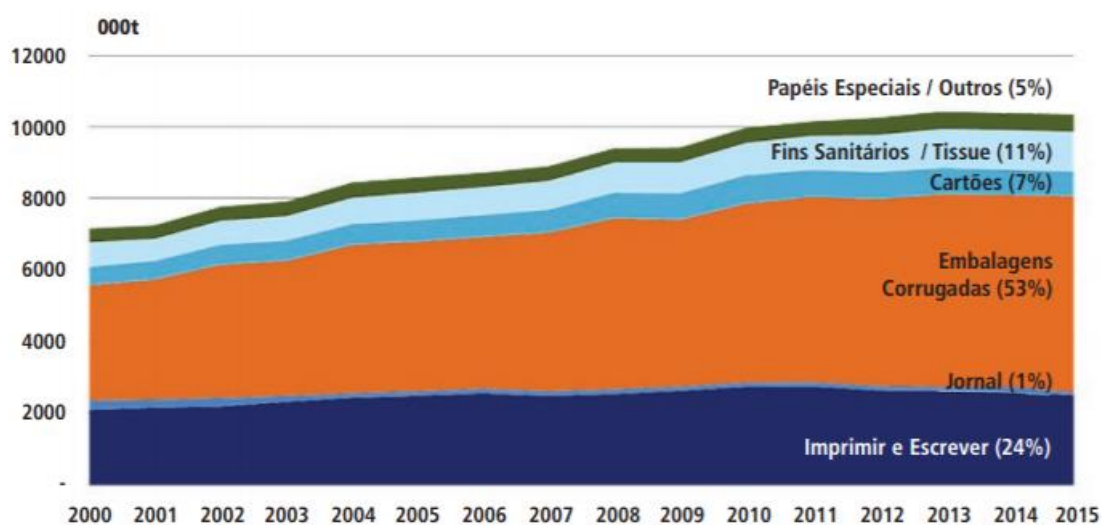
**Figura 5** - Gráfico referente às maiores exportações brasileiras no período de 2005 a 2015



Fonte: Adaptado de Silva, Bueno e Neves (2017)

Esta crescente demanda gradual por papel ocorre por conta das melhorias de condições de higiene e saúde mundiais que, conforme aumenta número de pessoas saindo das condições de pobreza absoluta, o consumo de papéis aumenta: fator este decorrente em causar um impacto positivo no crescimento do consumo de celulose em escala mundial. Isso pode ser bem visto a partir da análise do gráfico que mostra a produção brasileira de papel seccionada pelos tipos, como demonstrado pela figura abaixo.

**Figura 6** - Produção brasileira de papel por tipo entre 2000 e 2015



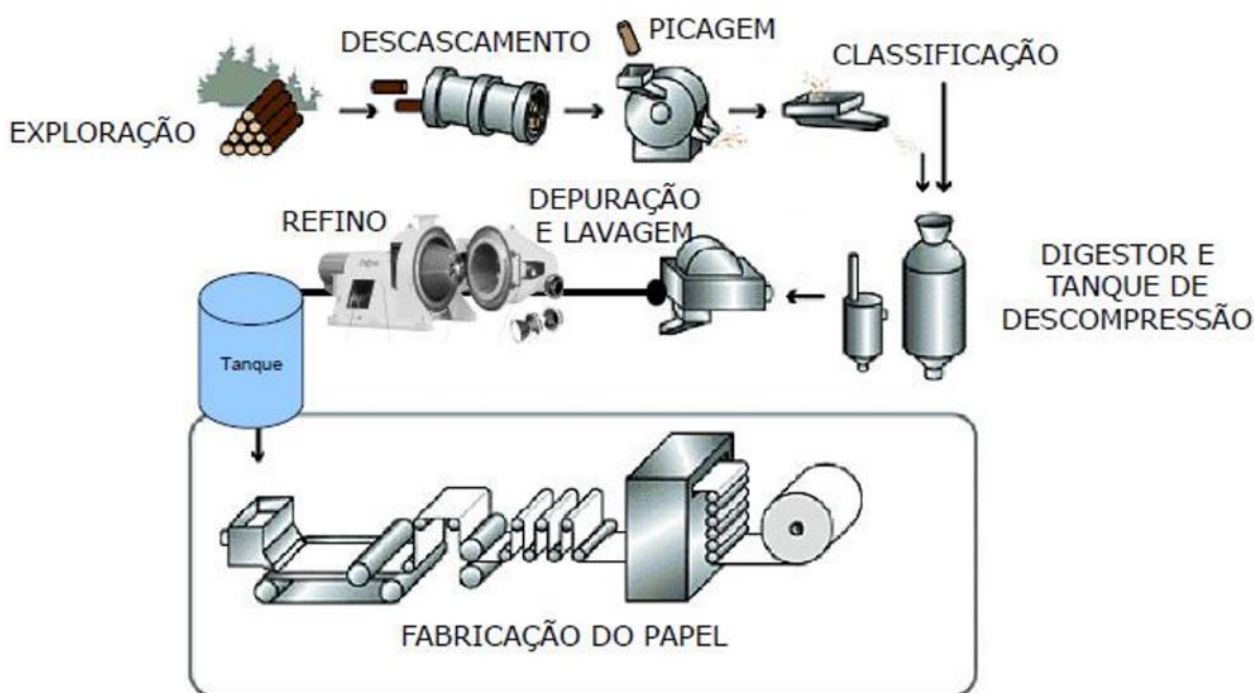
Fonte: Adaptado de Silva, Bueno e Neves (2017)

Mediante esta realidade de mercado, nota-se que há uma considerável necessidade em se buscar melhorias para este setor industrial, principalmente para processos cujo quais garantem a produção e segurança do mesmo, tal como melhoria na manutenção da sua linha de produção.

### 2.1.3 Da linha de produção do papel para a mesa plana

A caracterização técnica da cadeia de celulose e papel inicia-se partindo da extração de madeira e termina na indústria papelreira, assim como representado pelo esquema ilustrado abaixo.

**Figura 7** - Processos de extração da madeira até os processos de fabricação do papel



**Fonte:** Adaptado de Klock e Andrade (2018)

Cada tipo de madeira específico pode resultar em produtos diversos, com características distintas, tal como a celulose de fibra longa (derivada do pinus) e a celulose de fibra curta (derivada do eucalipto). Por exemplo, a celulose de fibra longa é mais resistente, enquanto que a de fibra curta possui maior capacidade absorvente (FIEP, 2019).

No entanto, o processo de fabricação de papel em si ocorre a partir de uma série de procedimentos que são gerados a partir de uma máquina que opera em série, conhecida por máquina de papel, como ilustrada abaixo pela figura a seguir.

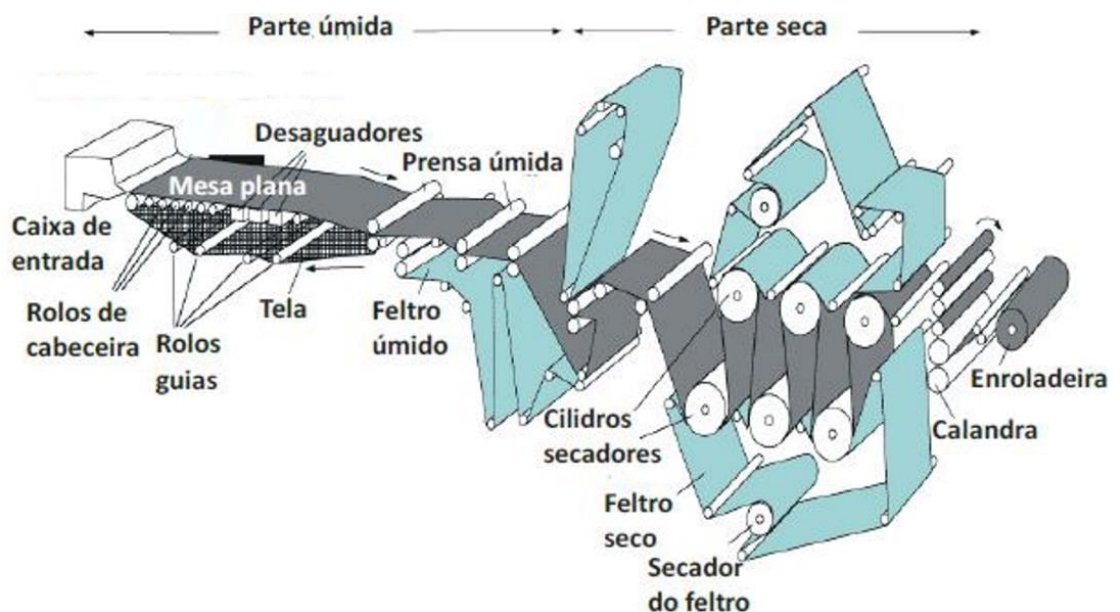
**Figura 8** - Representação ilustrativa de uma máquina de papel generalizada



Fonte: Adaptado de Primeira (2017)

A finalidade inicial da máquina de papel consta basicamente em conseguir remover parte líquida (água) encontrada nessas fibras de celulose, que são provenientes do circuito de preparação de massa na mesa plana, processo que origina o formato da folha de papel. As fábricas de papel consomem grandes quantidades de água, gerando com isso grande quantidade de efluentes (KLOCK, 2014).

**Figura 9** - Esquema de uma máquina de papel com suas referidas seções



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2017)

Esta máquina possui uma série de etapas que acoplam diversos componentes, cujo quais estão destacados pela Figura 9 acima. No entanto, a problemática deste trabalho se localiza exatamente na componente mesa plana da máquina de papel, referente ao processo de realocagem desta parte da máquina. Abaixo, no item 2.2, segue um descritivo mais específico sobre este elemento destacado.

Ainda sim, vale ressaltar que, de acordo com Klock (2014), estima-se que nas condições de operação de uma fábrica moderna de celulose branqueada com capacidade de produção de 1.000 ton/dia, produz de 50.000 a 70.000 metros cúbicos de águas residuais, equivalente ao gerado por uma cidade de cerca de 1 milhão de habitantes. Para contornar este problema, a tendência atual é reciclar a água dentro do sistema de produção.

## 2.2 MESA PLANA

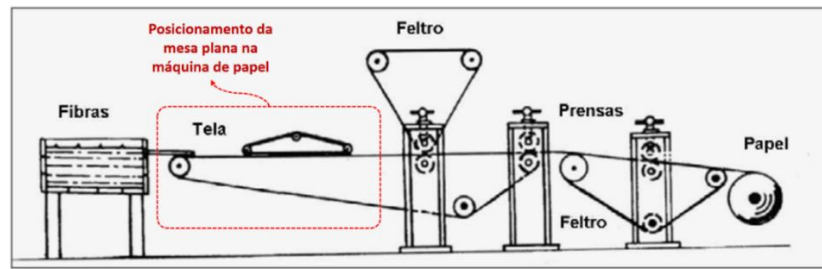
Segue neste tópico os aspectos conceituais e técnicos referente à componente mesa plana, com a intenção de trazer uma melhor compreensão de tal elemento analisado neste trabalho ao leitor.

### 2.2.1 Sua relevância na indústria papeleira

De acordo com Klock (2014), a fabricação de papel é uma das práticas mais antigas desenvolvidas pela humanidade e, junto a isso, constitui-se atualmente como sendo uma das indústrias tecnologicamente mais desenvolvidas do mundo, ocupando lugar de destaque no setor industrial de boa parte dos países desenvolvidos.

Sendo assim, as máquinas de papel Fourdrinier, das quais eram compostas parcialmente por mesa formadora e tela plana, foram classificadas como a primeira máquina de produção de papel em folha contínua que se foi desenvolvida para aplicação industrial (KLOCK, 2014), como bem representado pela figura a seguir.

**Figura 10** – Etapas principais do processo de formação de papel e indicação do posicionamento da mesa plana na máquina de papel



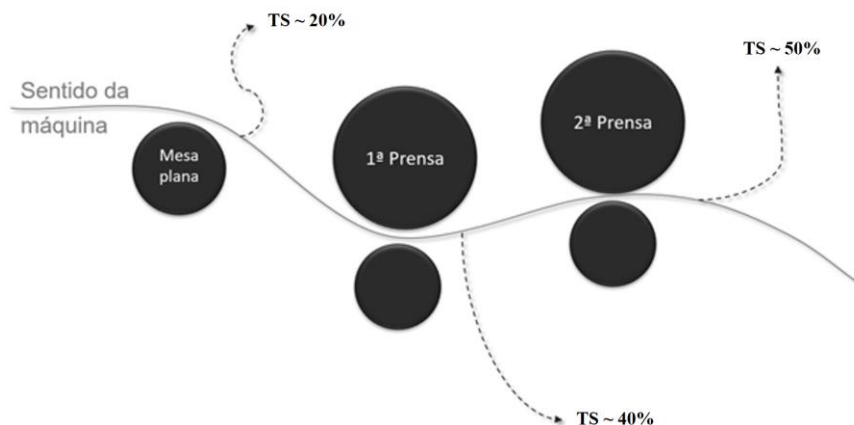
**Fonte:** Adaptado de Klock (2014)

Com essa invenção da mesa plana pelos irmãos Fourdrinier, o papel deixou de ser fabricado apenas em pequenas folhas e, com isso, pode passar a ser fabricado em grandes escalas.

### 2.2.2 Finalidade

Quando a massa de papel se encontra nesta etapa do processo, muitas características de tal produto já foram atribuídas mediante outros processos físicos e químicos que foram anteriormente realizados. Esta etapa da mesa plana tem o objetivo de drenar parte da água que é composta nessa massa, retirando parte deste líquido à fim de garantir um maior teor seco para formar a folha. Este processo de drenagem, que ocorre na mesa plana, costuma a remover cerca de 20% de água de toda esta massa de papel, como bem ilustrado pela figura abaixo (GULLO; VIEIRA; FALCÃO, 2016).

**Figura 11** - Apresentação dos índices de teor seco (TS) posterior a algumas etapas da produção de papel



**Fonte:** Autoria própria

A mesa plana faz parte do grupo de equipamentos que se referem à etapa de formação da folha, etapa cujo qual possui a finalidade de formar a folha e fazer um primeiro desaguamento, assim como visto pela **Figura 11**. Dessa forma, a mesma fornece às demais seções da máquina uma folha uniforme quanto à sua gramatura e umidade: esta etapa de formação da folha é de extrema importância para o desempenho em máquina e para a qualidade do papel final.

**Figura 12** - Imagem da mesa plana



**Fonte:** Autoria própria

Como visto, a mesa plana é um componente da máquina de papel, na qual é constituída de telas com um cilindro formador, juntamente com uma cinta de feltro e uma cinta de tela que envolvem ambas o cilindro formador. Enquanto a cinta de feltro se localiza radialmente interna e a cinta de tela se encontra radialmente externa ao cilindro, ambos formam uma fenda de entrada para receber um jato de massa com a largura da máquina ou uma folha de papel pré-desaguada (GULLO; VIEIRA; FALCÃO, 2016).

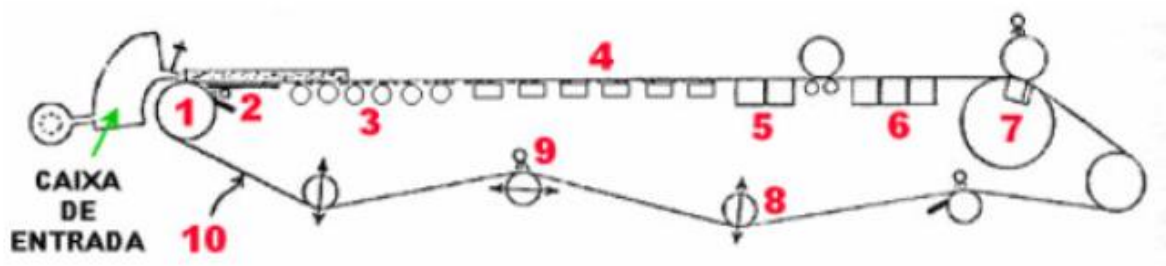
A figura a seguir trás a ilustração de uma mesa plana com seus devidos acessórios de sustentação, de maneira que cada uma das identificações apresentadas se corresponde, de acordo com Gullo, Vieira e Falcão (2016), a:

1. Rolo Cabeceira;
2. Forming board;
3. Rolos desaguadores;
4. Foils;



5. Vácuo-foils;
6. Caixa de vácuo;
7. Rolo couch;
8. Rolos guia;
9. Chuveiros da tela;
10. Tela formadora.

**Figura 13** - Mesa plana com acessórios de sustentação



**Fonte:** Adaptado de Gullo, Vieira e Falcão (2016)

A Figura 13 representa a composição de uma mesa plana, com os diversos elementos que comumente a compõe e, a seguir no item 2.3, encontram-se os possíveis tipos de estruturas desenvolvidas propriamente para a manutenção da troca de tela formada que costumam sustentar todo este componente.

### 2.3 TIPOS DE ESTRUTURAS DE SUSTENÇÃO

A estrutura de sustentação é um tópico crítico para a manutenção de mesa plana, principalmente ao considerar o momento da troca de tela formadora. Há divergências práticas nos modos de execução da desmontagem parcial para operação manutentiva, mesmo que partam de um mesmo referencial teórico. De acordo com Danielski (2020), existem basicamente três tipos de estruturas de sustentação que providenciam um mecanismo de desacoplamento parcial em mesas planas, os quais são conhecidos por: cantilever, porter bar e c-bar.

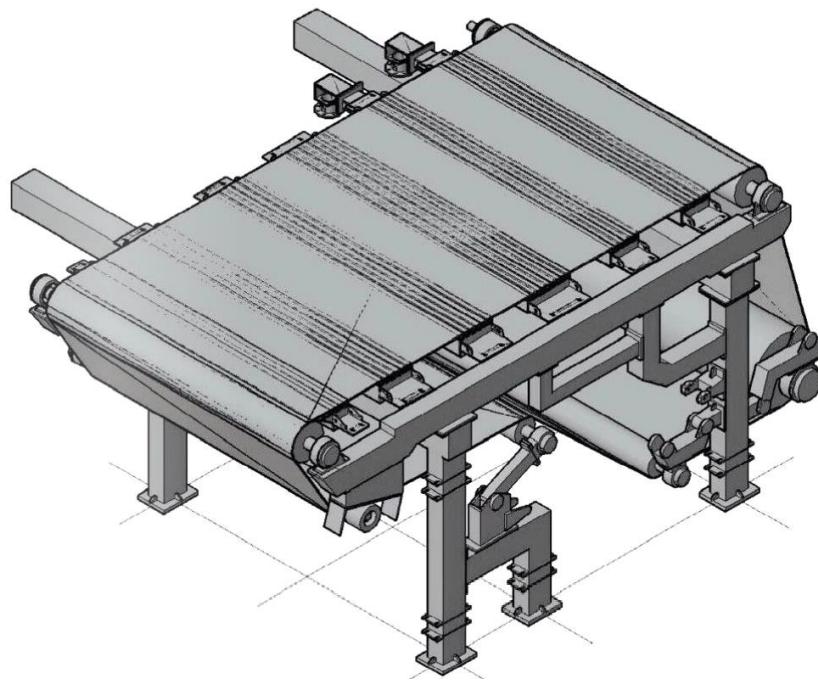
Para compreender melhor esta seção, é preferível que o leitor tenha conhecimento da definição das expressões “lado de comando” (L.C) e “lado de acionamento” (L.A) da máquina: basicamente são termos comumente utilizados na indústria e que se refere, respectivamente, ao lado onde o operador exerce suas atividades (comando) e o lado onde se encontram os

motores dos componentes (acionamento). Em via de regra, os lados de acionamentos costumam se encontrar voltados às paredes, com a intenção de aproveitar melhor o espaço de confinamento das máquinas.

### 2.3.1 Estrutura tipo cantilever

O cantilever é uma estrutura que exige um considerável investimento em engenharia civil no lado de acionamento da máquina de papel, pois o mesmo é composto por uma viga transversal da qual sustenta as outras longitudinais das quais constituem parte da mesa plana da máquina de papel, como bem representado pela figura a seguir (PERUSSOLO, 2019).

**Figura 14** - Ilustração de uma mesa plana com estrutura tipo cantilever



**Fonte:** Adaptado de Micro Fab Industries (2020)

Esta viga transversal avança para o lado de acionamento da máquina geralmente cerca de 1,5m, na qual é engastada ao chão, deixando a mesa plana ficar sustentada apenas pelo lado de acionamento a partir do engastamento de tal. A seguir, encontra-se as um desenho explicativo sobre esta estrutura (DANIELSKI, 2020).



**Figura 15** - Esclarecimento técnico sobre a estrutura tipo cantilever



**Fonte:** Adaptado de Danielski (2020)

De acordo com Perussolo (2019), uma das vantagens com este sistema é que a tela formadora é montada sobre a mesa, envolvendo-a e, portanto, não havendo necessidade de transladar parte da mesa plana, o que pode economizar drasticamente no tempo gasto com a manutenção da mesma: algo em torno de 3,5 horas (no mínimo).

### 2.3.2 Estrutura tipo porter bar

A estrutura de sustentação do tipo porter bar possibilita que a operação de manutenção seja feita pelo lado de comando da máquina, lado esse o qual possuirá fixado algumas vigas auxiliares posicionadas na mesma direção do que a das vigas transversais da mesa plana, como visto pela figura a seguir (DANIELSKI, 2020).

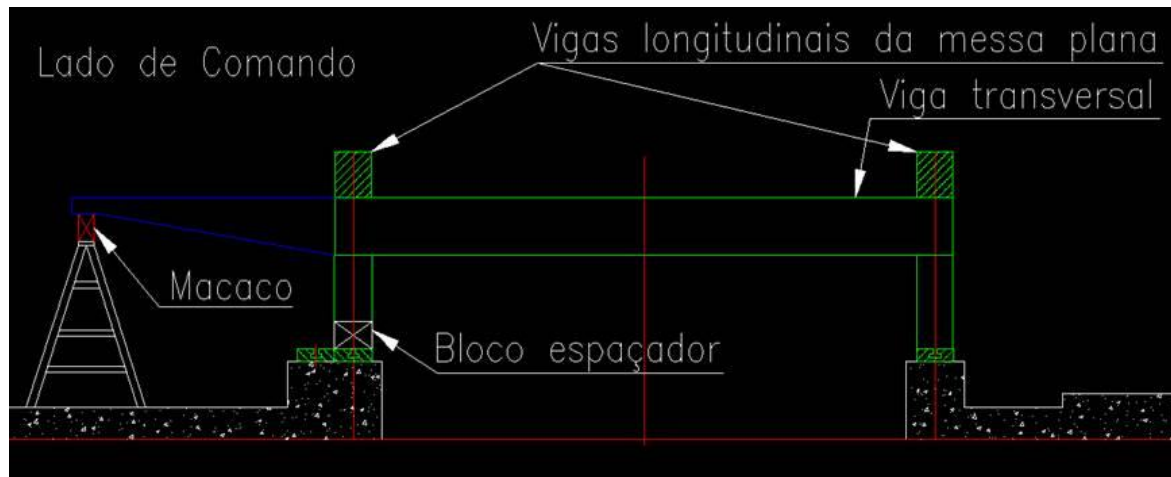
**Figura 16** - Ilustração de uma mesa plana com estrutura tipo porter bar



**Fonte:** Adaptado de Valério (2014)

Para esse tipo de estrutura, há a necessidade de fazer o uso de macacos hidráulicos como um suporte de sustentação, no qual suspenderá a mesa plana de forma que consiga retirar o bloco espaçador. A seguir, encontra-se as um desenho explicativo sobre esta estrutura (PERUSSOLO, 2019).

**Figura 17** - Esclarecimento técnico sobre a estrutura tipo porter bar



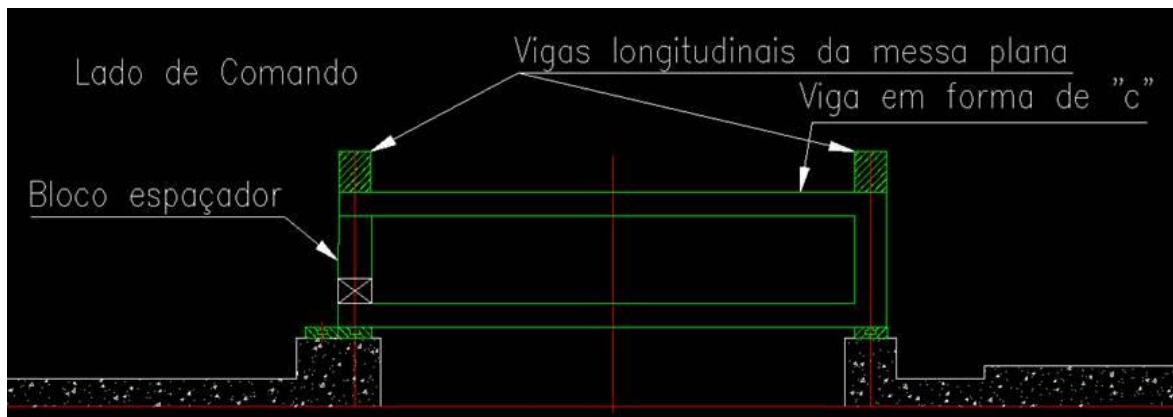
**Fonte:** Adaptado de Danielski (2020)

Este modelo de estrutura é relativamente mais extenso em seu lado de comando do que os outros tipos de estrutura de sustentação; no entanto, dispensa o uso de obra civil para sua devida instalação (DANIELSKI, 2020).

### 2.3.3 Estrutura tipo c-bar

O sistema c-bar é feito uma estrutura em forma de “C”, de tal forma que a mesa plana fique sustentada em si mesma quando se retira o bloco espaçador: o mesmo encontrado no sistema porter bar. A seguir, encontra-se as um desenho explicativo sobre esta estrutura (DANIELSKI, 2020).

**Figura 18** - Esclarecimento técnico sobre a estrutura tipo c-bar



**Fonte:** Adaptado de Danielski (2020)

De acordo com Perussolo (2019), este modelo estrutural costuma ser utilizado em situações que não possui espaço horizontal o suficiente, ou ainda em que o prédio não suporte mais carga civil. Neste há o tensionamento os parafusos do lado de acionamento, efeito esse o qual abrirá os espaçadores do lado de comando (criando o “C”), para a passagem da tela.

## 2.4 MÉTODOS MULTICRITÉRIO NA INDÚSTRIA

A viabilização de um investimento envolve muitas vezes um complexo processo de tomada de decisão em que vários requisitos e condições tem que ser decididos de maneira simultânea. Como a indústria tende a se desenvolver por conta de sua intensa demanda no mercado, diversas empresas desse meio começaram a dar mais relevância às práticas relacionadas à gestão de projetos para se tomar decisões que sejam cada vez mais estratégicas e melhores para a qualidade de seus produtos finais. A partir dessa gestão, é esperado algum aumento significativo do poder de mercado da empresa específica em relação aos seus concorrentes (CARDOSO; SANTOS, 2017).

Justamente por conta dessa acirrada competitividade constatada, Almeida (2013) destaca que a determinação pela melhor escolha de um investimento industrial passou a ser cada vez mais reivindicado por gestores <sup>1</sup>. É bem visto durante o cotidiano de um gestor de que as magnitudes desenvolvidas pelas suas referidas escolhas que são tomadas para serem

<sup>1</sup> Dentro do contexto técnico de MCDM, os gestores são classificados como membros decisores

aplicadas podem se tornarem drásticas se suas consequências não forem distintamente relevadas e consideradas com antecedência, principalmente durante seu momento de planejamento.

No entanto, nos últimos anos, nota-se que existe uma tendência das empresas em se tomarem decisões dentro de equipes que, na maioria dos casos, possuam uma considerável discrepância de opiniões entre os membros decisores: e as indústrias se encaixam plenamente dentro deste pretexto (CARDOSO; SANTOS, 2017).

Sendo assim, as gestões industriais devem, sempre que possível, discutir e decidir sobre a melhor alternativa para cada projeto apresentado, pois isso traz em consideração a facilidade em se proteger economicamente de seus adversários através de uma utilização eficiente de seus recursos gerenciais que, por sua vez, podem precavê-los de uma possível queda em sua competitividade no mercado. (TSAI et al., 2013, KLJAJIC; ANDELKOVIC; MUJAN, 2016).

Cardoso e Santos (2017) especificam que todos esses relacionados da situação possuem ciência do quanto que há a necessidade de se desencadear algumas ações para poder-se dar continuidade à análise do investimento característico. Essas ações, contudo, por mais que a maioria das situações de tomada de decisão possuam posicionamentos distintos e conflitantes entre os representantes dos departamentos relacionados ao assunto<sup>2</sup>, costumam ser desencadeadas a partir do (a):

- Estudo de investimento em recursos para implementação;
- Análise racional da complexidade de avaliação do risco que está associado ao projeto especificado;
- Permanência do envolvimento da parte de todos os setores que estão interessados pela aplicação do empreendimento apresentado.

De acordo com Gomes, Araya e Carignano (2004), “os problemas complexos da tomada de decisões são comuns em uma infinidade de áreas, tanto públicas quanto privadas”. Isto impõe implicitamente de que a necessidade em se considerar um conjunto de seleção de critérios para a priorização de uma série de projetos prestes a serem analisados devem ser catalogados e declarados quantitativamente: função essa que se aplica aos métodos apoiadores de tomada de

---

<sup>2</sup> Perceba que esses tipos de situações são justamente as que levam à melhoria do conhecimento das experiências diversas dos participantes, pois: conseguindo o importante efeito psicológico de interesse comum no sucesso da decisão, se enriquece ainda mais a pauta que está sendo discutida como tema de abordagem.

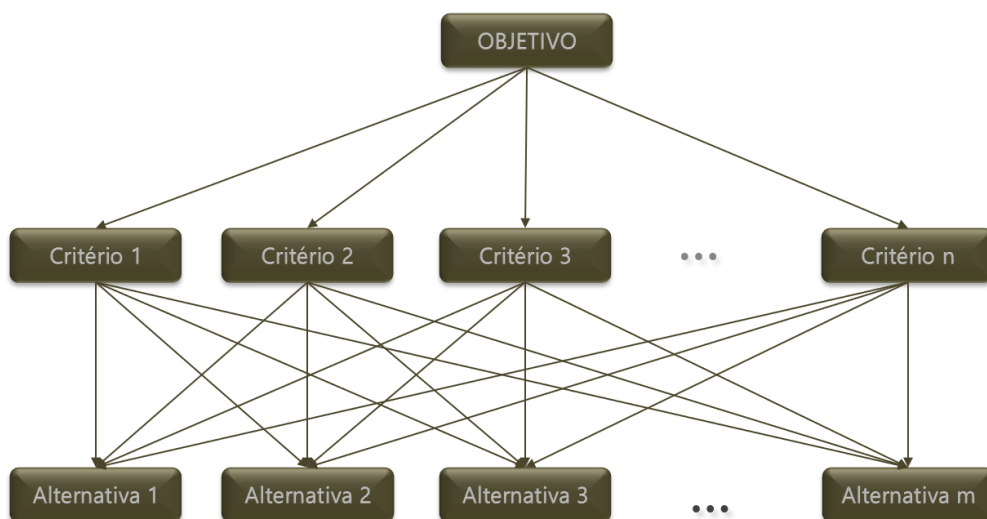
decisão para diversos setores industriais. (CHENG, 2005; MELA; TIAINEN; HEINISUO, 2012).

## 2.5 ESCLARECIMENTOS SOBRE A METODOLOGIA MCDM

O MCDM, do inglês Multiple Criteria Decision Making, é uma técnica que correlaciona elementos qualitativos e quantitativos ao mesmo tempo. No entanto, o apoio multicritério à decisão pode ser definido como a atividade do decisor que, baseado em modelos claramente apresentados, mas não necessariamente formalizados, ajuda na obtenção de elementos de resposta às questões de um agente de decisão no decorrer de um processo (GOMES; ARAYA; CARIGNANO, 2004).

No entanto, um problema de decisão multicritério consiste substancialmente em estudar uma situação particular, almejando por fim um objetivo específico onde se exista ao menos mais do que uma maneira de ser solucionada. Esses objetivos, como é esclarecido por Almeida (2013), estão diretamente vinculados às diversas variáveis que os representam no tema destacado em algum aspecto específico; fator que permite, ao menos, avaliar cada possível alternativa do caso com base em cada objetivo. Essas variáveis podem ser chamadas de critérios, atributos ou dimensões, e correlacionam a meta a ser atingida juntamente com as alternativas apresentadas como representado pela figura a seguir.

**Figura 19** - Modelo de hierarquia de critérios, alternativas e objetivos



**Fonte:** Adaptado de Vargas (2010)

Uma vez que novas tecnologias vêm confrontando a maior parte das indústrias com a quebra de suas trajetórias anteriores a partir de novas descobertas científicas, inúmeras empresas se submetem diariamente às pressões e estresses, buscando melhorar cada vez mais a sua performance competitiva em relação ao seu mercado concorrente. De acordo com Mesquita, Melissa e Alliprandini (2003), o foco em garantir competência empresarial pode facilitar o como e o que fazer para atingir seus objetivos de maneira mais direcionada, aplicando por consequência dessa preparação o uso de ferramentas mais específicas e fundamentais para alcançar conquistas capazes de promover uma preparação mais determinada e obstinada para o sucesso da empresa.

O atual contexto econômico exige que os planos para investimentos industriais busquem a otimização de recursos para execução de um empreendimento. Cardoso e Santos (2017) afirmam que a utilização de métodos multicritério para o apoio à decisão de uma melhor aplicação visa explicitar os aspectos que os decisores julgam como mais importantes. Isso trás que o entendimento do contexto decisório possibilite a identificação da viabilidade de um bom empreendimento.

A decisão de múltiplos decisores envolve os métodos de decisão em grupo e negociação e, na indústria, isso não seria diferente: a tomada de decisão será sempre uma forte razão de apreensão de seus gerentes e executivos. Nada é mais difícil e, portanto, mais precioso, do que poder decidir. Na indústria, funcionários da alta hierarquia, tais como coordenadores, gerentes e diretores, estão diariamente se debatendo com as dificuldades em seu cotidiano no que se refere à seleção de projetos que possam lhe oferecer um bom retorno sobre seu investimento aplicado (ALMEIDA, 2013).

No entanto, em algumas situações, devido à escassez de recursos, Cardoso e Santos (2017) comentam que muitas vezes a alternativa mais funcional para aquela situação passa a não ser escolhida. No entanto, mesmo dentro desse condicionamento, a exigência em se optar por projetos que atenda pela maximização de resultados positivos e a minimização de quaisquer resultados negativos se mantém tão acentuada que, em muitos dos casos, a expectativa gerada pode vir a extrapolar a demanda daquilo o que pode ser aplicado dentro das condições de investimento do caso em particular.

Em geral, há muitos problemas analisados dentro da estrutura de uma organização que podem ser tratados como um problema de multicritérios. Analisar problemas de decisão em que existem vários objetivos, embora muitas vezes conflitantes em si, faz com que os atores

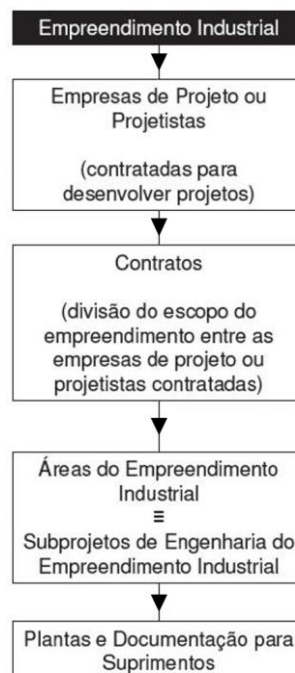
envolvidos neste processo decisório tomem decisões que envolvam múltiplos objetivos; consequentemente: de multicritérios (ALMEIDA, 2013).

Ainda sim, Almeida (2013) diz que “A preocupação geral está associada com as consequências de tais decisões, que impactam diretamente com o futuro da organização”. O movimento de fusões e aquisições entre setores empresariais tem impulsionado os fabricantes de papel e celulose a revolucionar seu estruturamento industrial, visando gerar continuamente ganhos expressivos a partir a reorganização dessas estruturas (JUVENAL; 2002).

### 2.5.1 Uma abordagem contextual

Ao considerar que as organizações estão cada vez mais interessadas em buscar esse tipo de implantação a partir de novas estruturas que possibilitem superar as incertezas de escolhas, os métodos multicritério tem sido constantemente aplicados no cenário brasileiro e internacional nos planejamentos de diferentes tipos de projetos e investimentos industriais. Com isso, há a geração cada vez maior de resultados expressivos para a otimização do processo em análise e, conjuntamente à isso, a necessidade de recorrer-se à melhoria de empreendimento industrial, como bem esclarecido pela figura a seguir (CARDOSO; SANTOS, 2017).

**Figura 20** - Estrutura de empreendimento industrial



**Fonte:** SILVA, 2007

Um modelo de apoio a decisão corresponde basicamente a uma representação formal da simplificação de um problema decisório a partir de considerações e elaborações matemáticas. Em outras palavras: pode ser considerado como um suporte de um método multicritério, pois o processo de tomada de decisão é um processo que inclui fatores inter-relacionados (ALMEIDA, 2013; CARDOSO; SANTOS, 2017).

**Quadro 3** - Modelo generalizado de uma matriz de decisões

	Critério 1	...	Critério x
Alternativa 1			
...			
Alternativa y			

**Fonte:** Adaptado de Almeida (2013)

Segundo Gomes, Araya e Carignano (2004), “[...] os métodos do apoio multicritério à decisão têm um caráter científico e, ao mesmo tempo, subjetivo, trazendo algo consigo a capacidade de agregar, de maneira ampla, todas as características consideradas importantes”.

No entanto, o estudo do problema de decisões não procura apresentar ao decisor uma solução para o problema de maneira a eleger uma única verdade em forma de alternativa, mas sim em apoiar o processo de decisão ao recomendar ações ou cursos de ação a quem vai tomar a decisão. A utilização de metodologias multicritério permite, no entanto, adicionar informações importantes e relacionadas aos objetivos estratégicos do decisor ou grupo decisor (ALMEIDA, 2013).

De acordo com Guglielmetti (2003), existem inúmeros métodos de MCDM: alguns destes métodos apresentam cálculos matemáticos bastante desenvolvidos. Muitos deles dependem da determinação de parâmetros subjetivos, ou da realização de complicadas rotinas matemáticas. No entanto, com o desenvolvimento da computação, o tomador de decisão pode expressar com clareza as suas preferências sem precisar pensar diretamente na elaboração do algoritmo matemático que está por trás do método específico, pois, atualmente, a interface homem-máquina está muito mais dinâmica e interativa: facilitando a aplicação de formulações técnicas para situações particulares (PINHO et al. 1996).



Uma consideração bastante relevante para os métodos MCDM é de que a tomada de decisão baseada unicamente em reflexão pessoal ou intuição é explicitamente inadequada (CARDOSO; SANTOS, 2017). No entanto, de acordo com Almeida (2013): por mais que o caso seja unicamente de uma decisão individual, ainda sim a mesma ainda será afetada indiretamente por outros indivíduos.

Com base nos casos de aplicações de métodos multicritério, notou-se que o melhor método dificilmente pode ser definido, pois o processo decisório envolve várias condicionantes tanto quantitativas quanto qualitativas, além de envolver diferentes áreas de preocupação. No entanto, os métodos multicritérios podem ser úteis conforme o objetivo da modelagem a ser construída (CARDOSO; SANTOS, 2017).

### 2.5.2 A influência do decisor nas tomadas de decisões

Em decisão de multicritério, a presença de um decisor é um condicionante, podendo envolver apenas um decisor ou um grupo de decisores (ALMEIDA, 2013). No entanto, na maioria das situações, o processo decisório é conduzido através do envolvimento de vários atores, mesmo numa situação de decisão individual (ALMEIDA, 2013; FRANCO et al., 2004).

Mesmo sendo o decisor quem estabelece suas preferências sobre as consequências envolvidas no problema, Almeida (2013) e Franco et al (2004) aconselham sempre em se praticar o uso de métodos de estruturação de problemas em conjunto, seja para poder se desenvolver o processo de integração entre os diversos atores também envolvidos no tema como também para evitar possíveis incertezas geradas a partir de um único decisor.

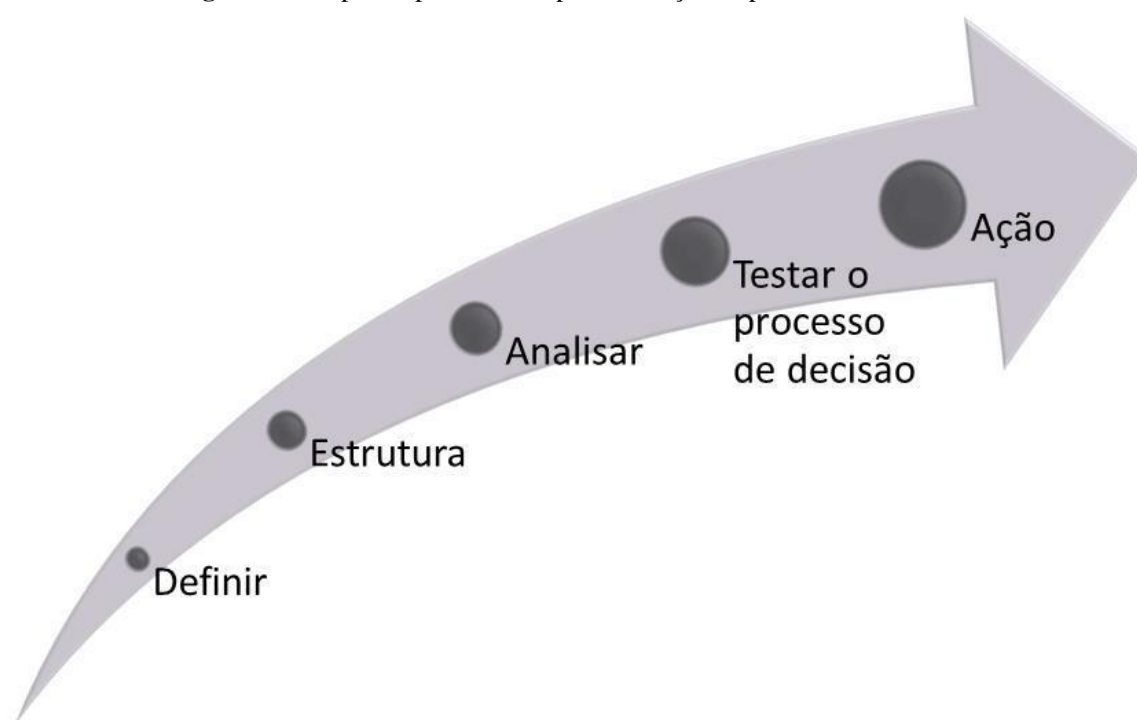
Para Gomes, Araya e Carignano (2004), as consequências derivadas da escolha de cada uma das alternativas podem ser reduzidas ou expressas em termos de uma única função avaliadora. Com isso, o decisor pode recorrer a vários atributos para avaliar as diferentes alternativas.

A problemática do decisor consiste, no entanto, em avaliar os múltiplos objetivos apresentados de maneira íntegra, de maneira que a influência do mesmo durante a aplicação da metodologia passe a gerenciar as condições impostas pelas variáveis que afligem no resultado do objetivo almejado (ALMEIDA, 2013).

### 2.5.3 Os tipos existentes de abordagem para uma tomada de decisão

A escolha da abordagem de um método multicritério é essencial e explicitamente crítica para dar continuidade a etapa de planejamento, pois é a partir da natureza da situação que se deve analisar qual método deve ser aplicado. Essa escolha decisiva sobre o método MCDM pode resultar, por fim, em diferentes resultados acarretados pelo processo de decisão, pois isso pode intervir diretamente em decisões tidas preliminarmente à ação, assim como demonstrado pela figura a seguir (ALMEIDA, 2013).

**Figura 21** - Aspectos preliminares para resolução de problemas de decisão



**Fonte:** Adaptado de Almeida (2013)

Geralmente os métodos de tomada de decisão multicritério se distinguem entre basicamente três perspectivas para o estudo de tomada de decisão, sendo eles: descritiva, normativa e prescritiva, possuindo uma correlação entre tais (EDWARDS et al., 2007)

Em termos técnicos, pode-se definir que o método descritivo basicamente detalha de que forma o decisor faz o julgamento da situação em análise, visando descrever como as pessoas tomam suas decisões em situações reais durante suas rotinas. Enquanto isso, a normativa tende mais a focalizar a escolha racional, ou seja: esta abordagem pondera mais o raciocínio lógico como um peso maior. Enquanto que a prescritiva basicamente se comporta como a aplicação

da abordagem normativa, cujo qual utiliza como dados de entrada os resultados da abordagem descritiva; ou seja: o decisor já tem em sua mente uma estrutura de preferências. Para melhor entendimento sobre a interrelação entre cada uma dessas perspectivas, a figura a seguir ressalta o devido englobamento das perspectivas normativa, prescritiva e construtivista (ALMEIDA, 2013).

**Figura 22** - Relações entre as perspectivas para estudo de tomada de decisão



**Fonte:** Adaptado de Almeida (2013)

Também existe uma outra abordagem, a que chamamos de construtivista. Nesta, o decisor literalmente constrói uma solução para o problema analisado. Almeida (2013) comenta que difere essa abordagem da prescritiva é que nesta o grau de interatividade é bem mais elevado, já que o decisor, nesse caso, deve ter muito mais conhecimento da situação.

No entanto, vale ressaltar de que o propósito maior dos métodos dos MCDM em apresentarem várias abordagens distintas consta em poder auxiliar os decisores durante suas análises, no sentido de que eles possam tomar melhores decisões com base em modelos normativos. Dessa forma, os erros seriam cometidos a partir de incertezas promovidas por

alguma suposta distorção na perspectiva de abordagem tomada pelo decisor mencionado podem passar a serem evitados (ALMEIDA, 2013).

**Quadro 4** - Características dos paradigmas racionalista e construtivista

Elementos de análise	Paradigma racionalista	Paradigma construtivista
Tomada de decisão	Momento em que ocorre a escolha da solução ótima	Processo ao longo do tempo envolvendo atores
Decisor	Totalmente racional	Dotado de sistema de valores próprios
Problema a ser resolvido	Problema real	Problema construído (cada decisor constrói seu próprio problema)
Modelos	Representam realidade objetiva	Ferramentas aceitas pelos decisores como úteis no apoio à decisão
Resultados dos modelos	Soluções ótimas	Recomendações que visam atender os valores dos decisores
Objetivo do modelo	Encontrar a solução ótima	Gerar conhecimento para as decisões sobre seu tema
Validade do modelo	Modelo é válido quando representa a realidade objetivamente	Modelo é válido quando serve como ferramenta de apoio à decisão
Preferência dos decisores	São extraídas pelo analista	São construídas com o facilitador

**Fonte:** CARDOSO; SANTOS, 2017

A partir desta linha de raciocínio, pode-se dar início ao planejamento de aplicação de um processo de tomada de decisão multicritérios, tema esse o qual encontra-se melhor discutido no item a seguir.

#### 2.5.4 Planejamento de aplicação de MCDM

É competência do líder/decisor a escolha da alternativa mais eficaz para solucionar a problemática em questão. Essa decisão deve implementar melhoria no mecanismo, ao ponderar

a magnitude dos parâmetros analisados, os quais são cruciais pontos de ancoragem de um hipotético investimento de melhoria para este sistema. O que vem acontecendo na prática, entretanto, é tomada de decisão baseado sob apenas uma única perspectiva, fazendo com que essa escolha seja mais frágil, por não abranger diversidade de olhares, os quais são complementares. Ao eleger uma solução, por vezes, o aspecto financeiro é o fator de maior peso, desconsiderando valores vinculados a convicções mais técnicas, os quais podem ter relevâncias análogas (ALMEIDA, 2013).

Por conta das vivências práticas dentro dos domínios industriais, gestores experientes, no geral, reconhecem que um bom planejamento estratégico traz retornos mais seguros e satisfatórios para sua empresa ou empreendimento em questão. Portanto, para se ter um bom planejamento, o sujeito deve estar antecipadamente alinhado com alguma técnica de gestão.

A partir disso, são estruturados alguns estágios para o desenvolvimento de um processo decisório, que seriam compostas pelas fases de inteligência, de desenho, de escolha, de revisão e de implementação. A fase da inteligência consiste em comparar a situação atual na organização com a desejada, enquanto que a de desenho desenvolve a construção do modelo de decisão para resolver o problema (geração de alternativas) e a escolha avalia as alternativas (classificação das alternativas). A figura a seguir mostra um fluxograma do qual retrata essas fases de desenvolvimento de um processo decisório (ALMEIDA, 2013).

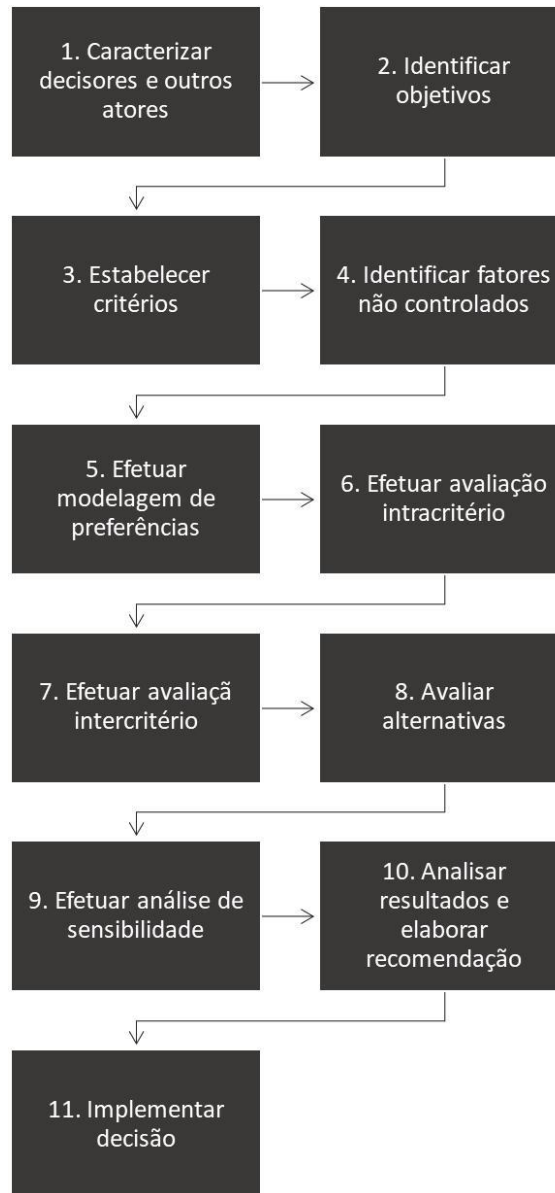
**Figura 23** - Estágios de um processo decisório



**Fonte:** Adaptado de Almeida (2013)

Em paralelo a esse conceito de estágio de desenvolvimento, também são analisadas as fases do processo de aplicação de um método de tomada de decisão multi-critério, como bem visto pela figura a seguir.

**Figura 24** - Fases de um processo MCDM



**Fonte:** Adaptado de Almeida (2013)

É a partir, portanto, desse procedimento que as tomadas de decisão multicritério são estruturadas para garantir um resultado convincente; questão essa na qual deve-se definir o problema, formular os critérios, qualificar as alternativas e escolher a melhor dentre tais (LIMA JUNIOR; OSIRO; CARPINETTI, 2012).

### 2.5.5 Distinção dos tipos de critérios

Vale ressaltar que existe uma divergência entre os possíveis tipos de critérios, que é de fundamental importância saber distingui-los para compreender integralmente a aplicação deste trabalho.

De acordo com Krohling e Souza (2011), eles são subdivididos em critérios de benefício, custo e qualitativo, sendo:

- Critério de benefício (representado pelo símbolo “+”): quanto maior for sua maximização, melhor será para as alternativas em questão;
- Critério de custo (representado pelo símbolo “-”): quanto menor for sua maximização, melhor será para as alternativas em questão;
- Critério qualitativo: critérios julgados em termos linguísticos.

A partir dessa classificação de critérios, é possível poder aplicar, para cada um dos definidos, a realização de uma busca de evidências válidas para garantir a ênfase do mesmo para o processo MCDM específico, o que irá influenciar diretamente na atribuição dos pesos que serão ponderados durante a hierarquização de tais. Vale lembrar que atribuir de um peso muito alto para um critério menos científico pode deixar de lado importantes critérios técnicos. Do mesmo vale o contrário: a atribuição de pesos excessivamente elevados para critérios técnicos acaba por suprimir o efeito de critérios gerais (AZEREDO, 2016).

## 2.6 SOBRE O MÉTODO MCDM APLICADO

A execução desse trabalho será desenvolvida a partir de duas diretrizes: partirá da aplicação de uma metodologia MCDM conhecida por AHP, na qual se comportará como sendo um recurso de apoio para que, em decorrência de seus respectivos resultados, seja executado uma outra metodologia. Em sequência, será aplicado uma outra metodologia MCDM, denominada por TOPSIS, na qual portará-se como um método definitivo de tomada de escolha da qual será declarada como a mais conveniente para aplicação em campo.

A justificativa de realizar este tipo de procedimento sequencial se deve pela busca de garantir o máximo de coerência de julgamentos na tomada da decisão, condição essa a qual será inicialmente verificada no cálculo de índice de consistência do método AHP (item 3.1.2, Equação 3). A partir dessa verificação, os resultados obtidos do TOPSIS estarão menos

suscetíveis à incongruência e, portanto, mais adequados com as variáveis da situação proposta da condição real do estudo de caso, justamente pelo fato de que tais soluções estarão comprovadas em teoria com base nesses valores de verificação de consistências que serão calculados.

### 2.6.1 MÉTODO AHP

Desenvolvido na década de 1970 por Thomas Saaty, O AHP tem a finalidade crucial de transformar algumas comparações, muitas vezes empíricas, em valores numéricos que são processados e comparados a partir de uma série de cálculos matemáticos que serão apresentados neste trabalho. Ele é um dos principais modelos matemáticos para apoio à teoria de decisão disponíveis no mercado. A programação multicritério por meio do *Analytic Hierarchy Process* é uma técnica estruturada para tomada de decisão em ambientes complexos em que diversas variáveis ou critérios são considerados para a priorização e seleção de alternativas ou projetos (VARGAS, 2010).

De acordo com a literatura de Trentim (2012), para aplicação deste método, deve-se:

1. Definir, a princípio, as alternativas tidas como soluções do problema juntamente com os seus respectivos critérios considerados significantes para a situação analisada;
2. Declarar qual a natureza de cada um dos critérios estabelecidos para avaliação da questão: se são de custo, benefício ou qualitativo (em caso de dúvida entre tais distinções, favor rever o item 2.5.5 deste trabalho);
3. Descrever os critérios em relação às suas alternativas em uma forma de tabela, alimentada com os respectivos valores dos critérios de cada alternativa;
4. Hierarquizar os critérios sob um julgamento que respeite a escala de Saaty, à fim de se obter o valor do auto vetor normalizado de cada critério (item 3.1.1);
5. Verificar a concordância lógica da avaliação tomada na etapa 4 a partir do cálculo do índice de consistência perante o julgamento pré-estabelecido, visando encontrar coesão da concepção entre os critérios (item 3.1.2);
6. Caso a etapa 5 seja satisfeita, por fim, este procedimento encontra-se finalizado e basta aplicar o cálculo do vetor peso, dado neste trabalho por  $w$  (item 3.1.3, Equação 7). Caso contrário, deve-se repetir o procedimento 4 até que a 5 seja satisfeita.



Como comentado no procedimento 4 deste método apresentado, tem-se a seguir o Quadro 5, o qual representa ser a escala numérica de Saaty, na qual visa declarar índices comparativos do método AHP em prol de se obter valores padronizados, com o intuito de se obter resultados mensuráveis a partir de julgamentos que possam ser declarados como convenientes a partir do cálculo do índice de consistência (CR).

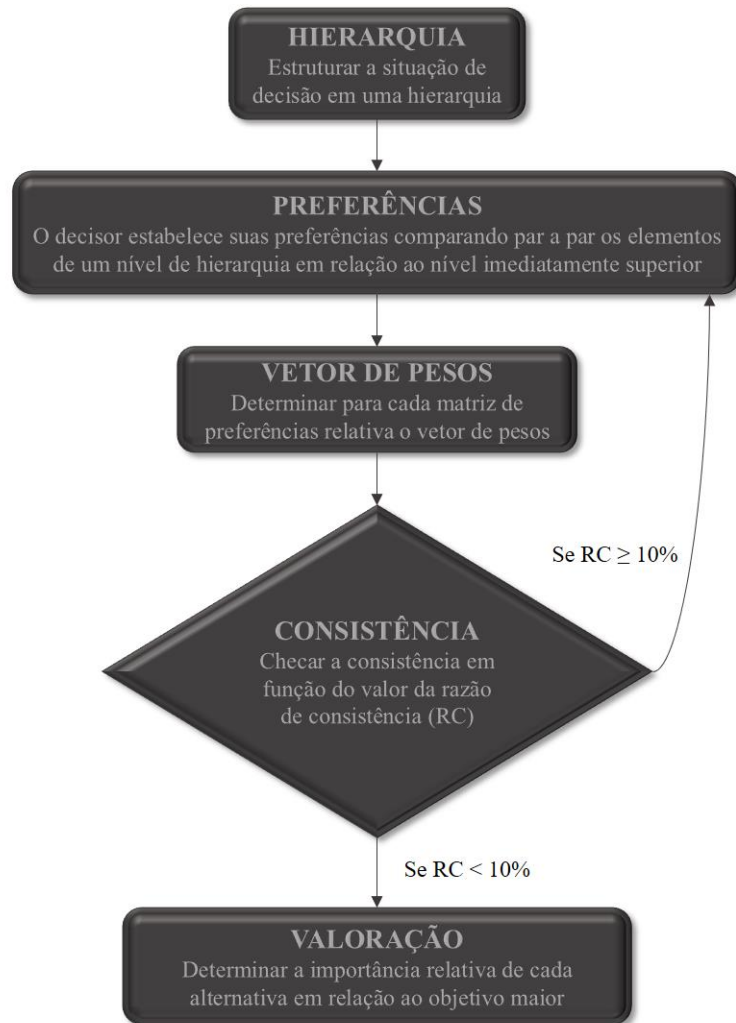
**Quadro 5** - A escala numérica de Saaty

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
<b>1</b>	Mesma importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
<b>3</b>	Importância pequena de uma sobre a outra	A experiência e o julgamento favorecem levemente na atividade em relação à outra
<b>5</b>	Importância grande e essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em relação à outra
<b>7</b>	Importância muito grande demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação da importância é demonstrada na prática
<b>9</b>	Importância absoluta	A evidência da atividade em relação à outra é vista com o mais alto grau de certeza
<b>2, 4, 6 e 8</b>	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições
<b>Recíprocos dos valores acima de zero</b>	Se a atividade i recebe uma das designações diferentes acima do zero, quando comparada com a atividade j, então j tem o valor recíproco quando comparado com i	Uma designação razoável
<b>Racionais</b>	Razões resultantes da escolha	Se a consistência tiver de ser forçada para obter valores numéricos n, deve-se somente completar a matriz

**Fonte:** Adaptado de Cardoso e Santos (2017)

A figura a seguir trás consigo um fluxograma resumido sobre a execução da metodologia AHP, relatada nesse item pelos procedimentos dados de 1 a 6.

**Figura 25** - Fluxograma resumido da execução da metodologia AHP



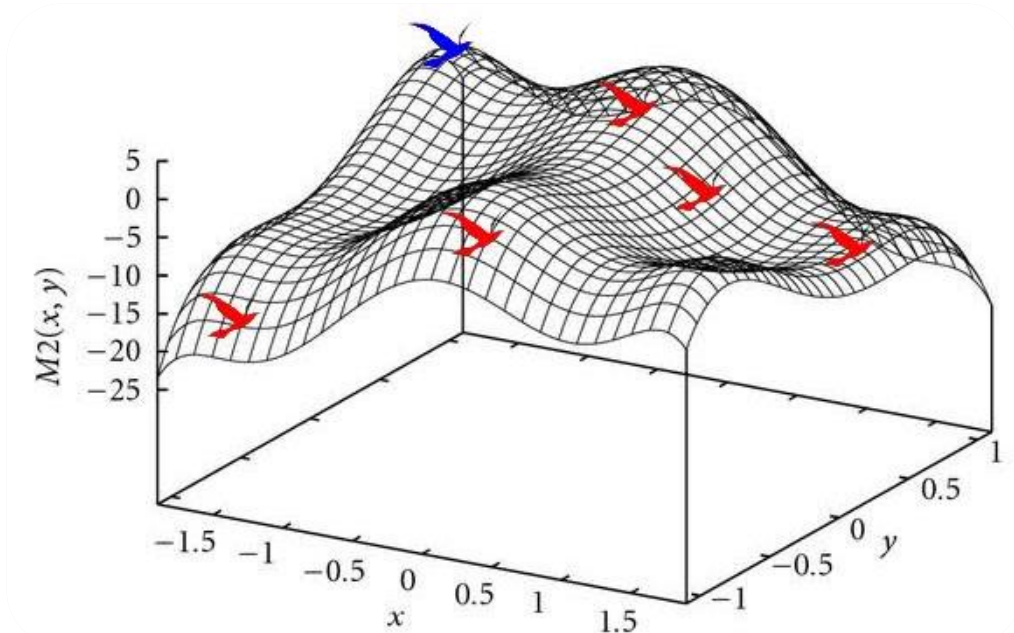
**Fonte:** Adaptado de Schmidt (1995)

No entanto, como este método está sendo tratado como um método de apoio, toma-se que sua metodologia será executada a fim de alimentar os valores do vetor peso dos critérios em relação a cada alternativa das quais serão utilizados como dados de entrada para a aplicação da metodologia multicritério TOPSIS (TRENTIM, 2012).

## 2.6.2 TOPSIS

O algoritmo TOPSIS, do inglês *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, foi desenvolvido por Hwang e Yoon e trata-se de uma técnica de avaliação de performances de alternativas através da similaridade dela com uma solução idealizada. De acordo com essa técnica, a melhor alternativa é aquela mais próxima da solução ideal e mais distante da solução não ideal. A figura a seguir trás consigo um exemplo deste método (PACHECO, 2016).

**Figura 26** - Ilustração do mecanismo de aplicação do método TOPSIS para um caso de 2 dimensões ( $n = 2$ )

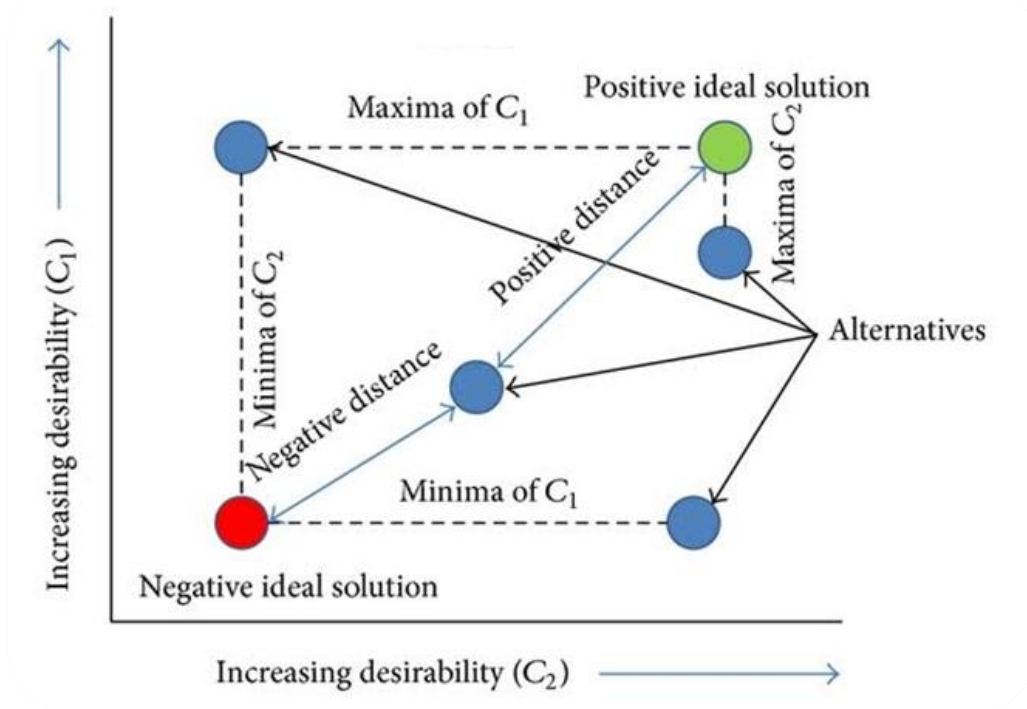


**Fonte:** Adaptado de Pacheco (2019)

De acordo com Arese et al (2018), o método TOPSIS avalia o desempenho de diversas alternativas através da similaridade com a solução ideal, na qual visa ordenar preferências delas através de um processamento matemático o qual calcula a distância das alternativas de seu ponto ideal (PIS), tanto positivo como negativo (NIS).

Como citado por Monjezi et al (2010), esta solução ideal positiva, dada por PIS, é uma que maximiza os critérios (ela maximiza os atributos de benefícios e minimiza os de custo); enquanto que o ideal negativo solução, dado por NIS, também chamada de solução anti-ideal, maximiza os critérios (ela é o oposto do PIS: ela minimiza os atributos de benefício e maximiza os de custo), como bem representado pela figura a seguir.

**Figura 27** - Representação gráfica da distinção entre alternativas hipotéticas em relação às suas soluções ideais positiva e negativa



Fonte: Adaptado de Chauhan e Vaish, 2014

Como resultado final, o TOPSIS realiza a ordenação geral das alternativas com a partir de uma série de etapas sucessivas, propostas por Tzeng e Huang (2011), das quais se destacam em ter que:

1. Gerar a matriz de decisão/julgamentos do caso a partir do cálculo dos autovetores de cada critério relatado (itens 3.2.1 e 3.2.2);
2. Normalizar a matriz de julgamentos (item 3.2.2);
3. Proporcionar a matriz de julgamentos a partir da aplicação dos pesos (item 3.2.3);
4. Calcular do ponto ideal positivo (PIS) e negativo (NIS) (item 3.2.4);
5. Calcular da distância Euclidiana entre PIS e NIS (item 3.2.5);
6. Calcular da similaridade relativa para o PIS (item 3.2.6).

Note que os pesos já foram calculados durante o método AHP durante o procedimento 6. Como mencionado anteriormente, são os valores encontrados no vetor decisão de tal.

### 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste tópico, constará as lógicas e formulações matemáticas necessárias para se aplicar metodologia comentada na seção 2.6 deste trabalho.

#### 3.1 MÉTODO AHP

Segue, abaixo, o desenvolvimento técnico da metodologia AHP.

##### 3.1.1 Construção da matriz de preferências/comparações dos critérios

Esta matriz é gerada a partir dos pré-julgamentos que foram feitos para os critérios levantados em análise, visando trazer a hierarquização do problema.

Considerando  $a_{ij}$  o elemento da linha  $i$  e de coluna  $j$  da matriz, então os valores abaixo da diagonal que será gerada da matriz, de acordo com Analytic (2019), Trevizano e Freitas (2005), podem ser preenchidos a partir da matriz, definida por  $C$ , descrita abaixo:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ \frac{1}{c_{21}} & 1 & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{c_{n1}} & \frac{1}{c_{n2}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Onde:

- $\forall C, c_{ij} > 0$ ;
- Se  $c_{ij} = c_{ji}$ , então  $c_{ij} = c_{ji} = 1$ ;
- $c_{ij} = 1/c_{ji}$  (recíproca);
- $c_{ik} = c_{ij} \cdot c_{jk}$  (consistência).

Os valores correspondentes dessa matriz são denominados a partir do julgamento do tomador da decisão, de maneira que os termos devem ser comparativamente estipulados de acordo com a categorização da escala de Saaty, representada neste trabalho pelo Quadro 5.

A quantia de comparações que deverão ser feitas é um parâmetro totalmente dependente de  $n$  (número de critérios tomados para o estudo de caso), tal qual pode ser quantificado, de acordo com Analytic (2019), a partir da seguinte expressão:

$$\frac{n \cdot (n - 1)}{2} \quad (2)$$

### 3.1.2 Cálculo do índice de coerência (CR)

De acordo com Ribeiro e Alves (2016), este índice tem a finalidade de verificar se a matriz de julgamento é consistente o suficiente para aplicação. No entanto, para calculá-lo, deve-se obter antecipadamente os valores dos seguintes termos:

- Autovalor ( $\lambda_{max}$ );
- Número de critérios ( $n$ );
- Índice randômico (RI).

A partir dos valores de  $\lambda_{max}$  e  $n$ , obtem-se o valor do índice de consistência (CI), no qual, de acordo com Wolff (2018), pode ser descrito como CI, tal que:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (3)$$

Sendo:

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n T_j \times P_j \quad (4)$$

Onde  $T_j$  é o somatório da coluna  $j$  da matriz de julgamento e  $P_j$  é a prioridade calculada para o critério localizado na linha  $j$ .

Entretanto, no que se refere ao índice randômico (RI), ele é padronizado por tabela: trata-se de um índice de consistência de uma matriz recíproca gerada randomicamente por um laboratório. Abaixo, consta alguns valores com tais índices para acesso.

**Tabela 1** - Índices de consistência aleatória

<b>n</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
<b>IR</b>	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

**Fonte:** Adaptado de Ribeiro e Alves (2016)

Lembrando-se que:

- n representa o valor da dimensão da matriz analisada;
- IR representa o valor do índice de consistência aleatória (dependente de n).

A partir desses valores calculados, conhecido o índice de consistência e o índice randômico do sistema analisado, toma-se que o índice de coerência, de acordo com Ribeiro e Alves (2016), pode ser dado como sendo CR, de maneira que:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Este termo representa numericamente o quanto que este pré-julgamento tomado pelo decisor durante a hierarquização dos critérios (procedimento 4) está coerente ou não com a situação do estudo de caso apontado. Para isso, a condição que Saaty impõe para que esta adequação esteja a um nível aceitável para aplicação se dá ao seguinte intervalo de CR:

$$0 < CR < 0,1 \quad (6)$$

Caso este índice de consistência for menor que 0,1, então há consistência para prosseguir com os cálculos do AHP. Caso contrário, deve-se refazer os julgamentos adotados para os critérios, como assim ressaltado pela Figura 25. (WOLFF, 2008).

### 3.1.3 Cálculo do vetor peso

De acordo com Ribeiro e Alves (2016), o vetor de decisão pode ser obtido por meio do somatório do produto do peso global de cada critério pela avaliação da alternativa dada pela mensuração absoluta no respectivo critério. Ou seja, o vetor de decisão, denominado neste trabalho como VD, pode ser definido como uma média geométrica dada por w, tal qual:

$$w = \left( \prod_{i=1}^n c_i \right)^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

Sendo:

- $c_i$  = valor de cada critério da alternativa referente;
- $n$  = Quantidade de critérios envolvidos.

A partir dessa relação, pode-se dizer que a combinação das duas mensurações resolve o problema (SAATY, 1991).

### 3.2 TOPSIS

Segue, neste tópico, o desenvolvimento técnico da metodologia TOPSIS.

#### 3.2.1 Geração da matriz de julgamento/decisão

Satisfeito a condição denominada pela Equação 6, então pode-se partir para a próxima etapa do processo: gerar a matriz de julgamento.

Também conhecida como matriz das decisões, ela será determinada a partir da tomada de decisão que será ponderada de acordo com a atribuição inicial do decisor pela consideração preliminar da correlação de valores julgados entre as alternativas e os critérios tomados por tal. Neste trabalho, esta matriz será definida como  $A$ , de tal maneira que:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

Sendo:

- $n$  o número de critérios tomados como importantes para análise;
- $m$  o número de alternativas apresentadas como resolução do problema.



No entanto, para a geração destes elementos dados  $a_m$  vistos na Equação 8 encontrada acima, é necessário calcular os autovetores de cada critério em relação às alternativas apresentadas. Esse procedimento de execução encontra-se descrito no item 3.2.2 a seguir.

### 3.2.2 Aplicação dos autovetores normalizados na matriz de julgamento/decisão

Vale ressaltar que o cálculo da normalização desta matriz de preferências é uma formulação completamente vinculada à respectiva natureza dos seus critérios, tais quais encontram-se definidos no item 2.5.5 deste trabalho.

Para a estruturação desta matriz sob critérios de benefício e de custo, de acordo com Marins et al (2009), basta fazer a normalização geral de cada termo da matriz de julgamentos em relação à cada critério específico. Matematicamente, cabe dizer-se que cada termo desta, dado por  $a_{mn}$ , passará a ser denotado na matriz A como:

$$a_{mn} = \frac{a_{mn}}{\sum_{i=1}^m a_{in}} \quad (9)$$

No entanto, para normalização de critérios qualitativos, é visto que existe uma diversidade de metodologias para converter essas medições linguísticas em numéricas. No entanto, neste trabalho estes critérios serão convertidos a partir de uma matriz de comparações das alternativas apresentadas da qual também será julgada pelo decisor, como se fosse uma hierarquização de critérios inversa: ao invés do critério, será hierarquizado as alternativas para cada critério qualitativo existente na tabela gerada pelo passo 3 da metodologia AHP.

Neste trabalho, tal hierarquização inversa de cada critério qualitativo será determinada por L, de maneira que:

$$L = \begin{bmatrix} 1 & l_{12} & \cdots & l_{1m} \\ \frac{1}{l_{21}} & 1 & \cdots & l_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{l_{m1}} & \frac{1}{l_{m2}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Sendo:

- $\forall L, l_{ij} > 0$ ;
- Se  $l_{ij} = l_{ji}$ , então  $l_{ij} = l_{ji} = 1$ ;
- $l_{ij} = 1/l_{ji}$  (recíproca);
- $l_{ik} = l_{ij} \cdot l_{jk}$  (consistência).

Pelo fato de L também se tratar de uma matriz de comparações, embora seja referente às alternativas, cabe a mesma recorrer aos procedimentos de hierarquização dos critérios, declarados pelo item 3.1.1. Caso o seu índice de consistência satisfaça a condição proposta pela Equação 6, então basta fazer a normalização geral de cada termo da matriz de julgamentos em relação à cada critério específico, declarado na Equação 9. Caso contrário, deve-se reestruturar o processo de preferências, como visto no fluxograma representado na Figura 25.

Mediante esse procedimento, destaca-se que esta matriz de julgamentos estará devidamente normalizada relativamente à cada critério considerado (devido ao fato da mesma ter sido alimentada por elementos já normalizados) e ponderada numericamente perante toda sua extensão.

### 3.2.3 Proporcionar a matriz de julgamentos a partir da aplicação dos pesos

Para proporcionar esta matriz de julgamentos, basta multiplicar cada valor da coluna do critério pelo seu respectivo peso o qual foi encontrado durante a metodologia AHP (este peso corresponderia ao valor do vetor de decisão/peso encontrado na metodologia AHP, descrita neste trabalho pelo item 3.1.5).

Em termos matemáticos, teríamos que a normalização desta matriz poderá ser dada por  $V_{ij}$ , de maneira que:

$$V_{ij} = X_{ij} \cdot W_j \quad (11)$$

Sendo:

- $V_{ij}$ : a matriz de julgamentos normalizada;
- $X_{ij}$ : elementos da matriz de julgamentos;
- $W_j$ : o elemento do vetor de decisão referente ao critério específico.

### 3.2.4 Cálculo do ponto ideal positivo (PIS) e negativo (NIS)

De acordo com Krohling e Souza (2011), o cálculo do ponto ideal positivo (PIS) e ideal negativo (NIS) podem ser obtidos através das equações dadas por  $A^+$  e  $A^-$ , respectivamente, de maneira que:

$$PIS = A^+ = (p_1^+, p_2^+, \dots, p_n^+) \quad (12)$$

$$NIS = A^- = (p_1^-, p_2^-, \dots, p_n^-) \quad (13)$$

Sendo:

$$p_j^+ = \begin{cases} \max_i(p_{ij}), & \text{caso o critério seja de benefício;} \\ \min_i(p_{ij}), & \text{caso o critério seja de custo.} \end{cases}$$

$$p_j^- = \begin{cases} \min_i(p_{ij}), & \text{caso o critério seja de benefício;} \\ \max_i(p_{ij}), & \text{caso o critério seja de custo.} \end{cases}$$

É a partir do cálculo dessas variáveis que se obtém melhores desempenhos em cada critério, seja ele de custo, benefício ou qualitativos (PACHECO, 2016).

### 3.2.5 Cálculo da distância Euclidiana entre o PIS e o NIS

De acordo com Pacheco (2016), o cálculo da distância euclidiana entre o PIS e o NIS podem ser dados, respectivamente, por  $(d^+)_i$  e  $(d^-)_i$ , de maneira que:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij}^+)^2} \quad (14)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (d_{ij}^-)^2} \quad (15)$$

Sendo:

$$d_i^+ = p_j^+ - p_{ij} \quad (16)$$

$$d_i^- = p_j^- - p_{ij} \quad (17)$$

### 3.2.6 Cálculo da similaridade relativa do PIS (ranking)

Calculado as distâncias do passo anterior (item 3.2.5), o próximo passo é determinar a proximidade relativa de cada uma das alternativas apresentadas como soluções em relação à alternativa dada pelo procedimento do PIS como sendo a de melhor aplicação.

De acordo com Krohling e Souza (2011), o cálculo da similaridade relativa do PIS pode ser dado por a partir de  $\xi_i$ , de maneira que:

$$\xi_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (18)$$

Sendo:

$$i = 1, \dots, n;$$

$$\xi_i \in [0,1] \forall i.$$

A partir disso, basta correlacionar os valores obtidos dessa similaridade: as alternativas que estiverem mais aptas a serem escolhidas serão aquelas que possuirão os maiores valores de  $\xi_i$  (PACHECO, 2016).

#### 4 CONCEPÇÃO E DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Atualmente, durante a parada programada da máquina para manutenção da troca da sua tela formadora da indústria relatada, parte do seu deslocamento é feito manualmente. Este processo envolve o trabalho de um grande número de colaboradores dos quais devem realizar vários procedimentos de preparo que antecedem a remoção dos segmentos da mesa plana específica, conforme apresentado na Figura 9.

**Figura 28-** Imagem da mesa plana analisada



**Fonte:** Autoria própria

No entanto, parte dessa operação apresenta risco de segurança do qual está atrelado ao serviço de alguns operadores. Durante a execução desse processo, trilhos externos são instalados paralelamente ao maquinário (mesa plana), a fim de oferecer sustentação suficiente para que a mesa fique posicionada em cima de tais para que seja possível a execução da manutenção na mesma.

**Figura 29** - Imagem do posicionamento dos trilhos para suportaço da mesa plana durante a manutenço



**Fonte:** Adaptado de Perussolo (2019)

A questço de risco mencionada anteriormente se enquadra no momento em que há a necessidade de desacoplar parcialmente a mesa plana para posiciona-la nesses trilhos, destacados na Figura 29. Para isso, a mesa  posicionada sobre roletes atrvés do uso de uma chave oitavada que posiciona o conjunto de translaço para a posiço de basculamento da mesa plana (PERUSSOLO, 2019).

**Figura 30** - Mecanismo de desacoplamento vertical da mesa plana



**Fonte:** Adaptado de Perussolo (2019)

O acionamento destes roletes de translação é realizado manualmente através de um mecanismo que conta com a atuação de dois operadores que devem realizar a atividade em sincronismo sempre com uma das chaves travadas ao equipamento: para evitar que o retorno da mesa para a posição inicial seja exercido durante a operação.

Esse processo de manutenção exige um grande esforço de ambos os operadores que, ao mesmo tempo, deve-se precaver com a movimentação desta chave. São estes quem se encontram expostos ao risco, pois tais exercem essa função de posicionar a mesa nos roletes por meio dos seus esforços sob a chave oitavada. A problemática pontual deste caso é que essa situação pode eventualmente promover um acidente de trabalho devido a algum desenganche desta chave, se sujeitando a injúrias provocadas por danos físicos aos colaboradores da empresa, das quais podem ser desvinculadas a partir do esforço excessivo gerado pela movimentação mecânica do operador.

Neste estudo de caso, todas as operações que envolvem substituição de telas formadoras e manutenções na mesa plana requerem a necessidade de realizar a translação em pelo menos um dos dois segmentos da mesa plana (L.A e L.C): motivo esse o qual envolve o trabalho de um grande número de colaboradores que devem realizar vários procedimentos de preparo que antecedem a remoção dos segmentos da mesa plana.

Para a efetuação da troca de tela formadora nesta máquina de papel específica, dois segmentos são transladados até a lateral da máquina de papel através de trilhos estendidos. A vestimenta é montada no local da mesa e depois retorna-se com os segmentos desta para a posição original. A partir dessa operação, a mesa plana se desloca para o interior da vestimenta que está fixa em sua posição. Esse procedimento consome muito tempo de operação e também propiciam riscos de segurança aos operadores que estão em campo, como mencionado no parágrafo anterior.

Visando eliminar a ação dos operadores sobre o basculamento da mesa plana utilizando chave oitavada com grande braço de alavanca e a atividade de translação da mesa plana que consome muito tempo, os subitens apresentados no índice 4.1 apresenta algumas alternativas como resolução do problema em questão a partir análise de viabilidade dos mecanismos.

#### 4.1 DECLARAÇÃO DOS CRITÉRIOS

A fim de garantir segurança para os operadores durante esse processo de manutenção, nota-se que este trabalho busca uma melhoria nos campos da produção, segurança e manutenção da empresa. Devido a isso, a partir de uma pré-seleção feita a partir da cultura da empresa analisada conjuntamente com o objetivo do trabalho, destacou-se que os critérios dos quais foram definidos como cruciais para a análise estão relacionados a estes setores, dos quais foram definidos por:

- C1: Esforço dos operadores;
- C2: Risco de acidente;
- C3: Tempo de setup;
- C4: Custo de implementação;
- C5: Nível de automação.

De maneira que:

- C3 e C4 são critérios de custo;
- C1, C2 e C5 são critérios qualitativos.

#### 4.2 ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS

As possíveis alternativas tidas como propostas para a melhoria do sistema, a partir de uma análise feita em campo, constituem em um total de 5, de maneira que:

- A1: Implementação de macacos hidráulicos para deslocamento vertical;
- A2: Implementação de atuadores lineares para deslocamento vertical;
- A3: Substituição do mecanismo atual pelo cantilever/porter bar/c-bar;
- A4: Implementação de macacos hidráulicos e guinchos elétricos;
- A5: Implementação de atuadores lineares e guinchos elétricos.

As mesmas se encontram melhores descritas nos subitens a seguir. Todas estas propostas apresentadas estão relacionadas diretamente a busca de uma intervenção mínima de esforço humano durante tal processo de manutenção.



#### 4.2.1 A1: Implementação de macacos hidráulicos para deslocamento vertical

Esta alternativa contribui durante a manutenção com uma redução parcial de esforço humano durante o processo de desacoplamento parcial da mesa plana. A proposta abordada consta em abandonar a utilização de chave com grande braço de alavanca para poder realizar a movimentação dos roletes para a posição de translação da mesa plana para que, dessa forma, utilize um conjunto formado por suporte e macaco hidráulico para suspensão da mesa. Com essa implementação, uma chave com braço de alavanca pequeno pode ser substituído pela grande, reduzindo consideravelmente no esforço que o operador realizaria durante o posicionamento dos roletes.

#### 4.2.2 A2: Implementação de atuadores lineares para deslocamento vertical

Seu conceito baseia-se em fazer a instalação de quatro atuadores lineares mecânicos: 2 para cada segmento da mesa plana (lado de acionamento e de comando).

Neste caso, o macaco de parafuso pode ser considerado como um atuador linear para o caso específico e, posteriormente a isso, parte da mesa plana deverá ser deslocada para a estrutura da qual seria montada para realizar a manutenção.

Um exemplo de atuador linear pode ser o macaco de parafuso, como representado pela figura a seguir.

**Figura 31** - Representação de um macaco de parafuso



**Fonte:** Adaptado de Jacks (2020)

Para cada um destes atuadores devem suportar a tensão fornecida de cargas de 5 a 10 toneladas, no qual possuem um acionamento manual através de volante. Seu posicionamento seria definido a partir das vigas de cada um dos segmentos, de maneira a suspender cada lado dos segmentos em cerca de 10 a 15 mm, deslocamento esse o suficiente para que os roletes de translação possam ser posicionados com o auxílio de uma chave pequena e adequada.

#### 4.2.3 A3: Substituição do mecanismo atual pelo cantilever/porter bar/c-bar

Esta proposta visa fazer a alteração do sistema de troca de tela formadora do atual sistema de translação da mesa plana para um sistema do tipo cantilever, porter bar ou c-bar. Cada um destes sistemas requer estruturas e condições iniciais distintas, das quais se encontram melhores descritas no item 2.3 deste presente trabalho.

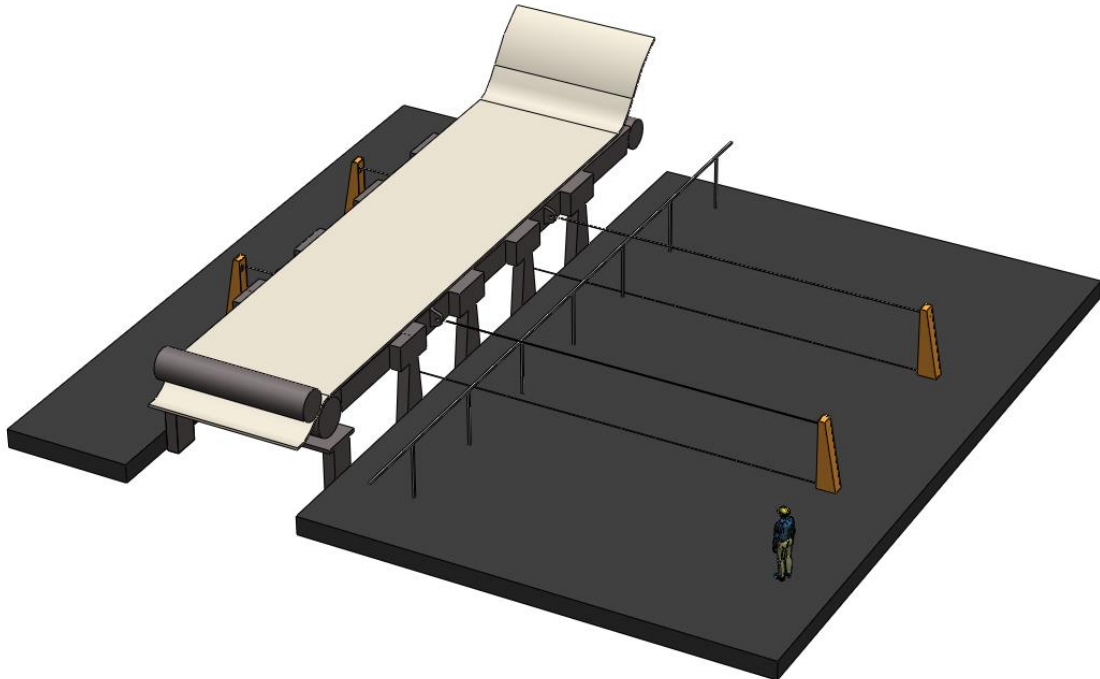
Note que o custo de implementação desta alternativa é relativamente mais elevado do que as outras apresentadas, pois para tal empreendimento, há a necessidade de fazer a montagem estrutural de chapas grossas de carbono revestida inox em boa parte da estrutura da mesa plana.

Porém, para tal aplicação, não é interessante fazer a implementação de apenas um único modelo de estrutura manutentiva para a mesa plana. Isso se deve pelo motivo disso se tornar algo financeiramente inconveniente, já que o valor de implementação de apenas um modelo de manutenção do tipo cantilever, porter bar ou c-bar chega a ser relativamente do próximo ao de implementação dos três. Além disso, o tempo do qual a máquina deveria ficar parada para tamanha implementação é semelhante para os três tipos de estrutura. É por esse motivo que não há outras alternativas que descrevam separadamente a implementação de cada um destes mecanismos apresentados.

#### 4.2.4 A4: Implementação de macacos hidráulicos e guinchos elétricos

Esta alternativa seria uma derivada da alternativa 4.2.1, com o diferencial de que seria utilizado dois guinchos para tração de veículos estilo off road, de maneira a promover a translação dos segmentos de mesa plana com mais segurança.

**Figura 32** – Ilustração do mecanismo de deslocamento através de guinchos elétricos



**Fonte:** Autoria própria

Basicamente, esta alternativa propõe o uso de dois guinchos elétricos, um por cada segmento (L.A e L.C), sendo que para o deslocamento lateral da mesa seria utilizado um cabo de aço do qual estaria conectado à viga no lado do comando e, para devolvê-la à sua posição de operação, seria conectado um mesmo mecanismo ao lado do acionamento. Dessa forma, seria realizado a transição do cabo através de roldanas fixas instaladas no lado do acionamento.

#### 4.2.5 A5: Implementação de atuadores lineares e guinchos elétricos.

Esta proposta é semelhante à apresentada no item anterior, 4.5.4; com a diferença de que seriam implementados os atuadores lineares ao invés dos macacos hidráulicos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com as alternativas e os critérios apresentados, foi-se estruturado uma matriz de decisões 5x5. Através dessa dimensão da matriz, obtem-se que  $n = 5$ . Conseqüentemente disso, seu índice randômico, de acordo com a Tabela 1, equivale-se a  $IR = 1,12$ .

**Tabela 2** – Descrição dos critérios de cada alternativa do estudo de caso

	C1 (-)	C2 (-)	C3 (-)	C4 (-)	C5 (+)
<b>A1</b>	Alta	Altíssima	5,0 horas	R\$ 1,00 . x	Baixa
<b>A2</b>	Alta	Altíssima	5,0 horas	R\$ 4,98 . x	Baixa
<b>A3</b>	Baixa	Baixíssima	3,5 horas	R\$ 19,55 . x	Altíssima
<b>A4</b>	Média	Baixa	4,5 horas	R\$ 2,00 . x	Média
<b>A5</b>	Média	Baixa	4,5 horas	R\$ 5,98 . x	Média

**Fonte:** Autoria própria

Estes valores empregados para os critérios de custo e benefício foram levantados através de orçamentos e de dados fornecidos pela empresa, enquanto que os qualitativos foram julgados a partir do senso crítico do autor deste trabalho<sup>3</sup>.

### 5.1 RESULTADOS DA METODOLOGIA AHP

A seguir serão apresentados os procedimentos executados do método de apoio multicritério AHP.

---

<sup>3</sup> Sobre os valores C4 da Tabela 2: visando manter os investimentos analisados da empresa em sigilo, os valores de custo para implementação foram substituídos por um parâmetro constante em comum, dado por “x”, à fim de se manter o assunto pertinente em confidencial para evitar algum tipo de exposição não desejada da empresa.

### 5.1.1 Hierarquização dos critérios

Como descrito pelo item 3.1, tendo-se definido a natureza dos critérios e as alternativas estabelecidas no item 4.1 e 4.2, respectivamente, toma-se que a hierarquização dos critérios, respeitando a escala de Saaty (Quadro 5), pode ser julgada como registrado pela Tabela 3.

**Tabela 3** - Hierarquização dos critérios

	<b>C1 (-)</b>	<b>C2 (-)</b>	<b>C3 (-)</b>	<b>C4 (-)</b>	<b>C5 (+)</b>
<b>C1 (-)</b>	1	1/5	1/2	1/2	1/2
<b>C2 (-)</b>	5	1	4	5	3
<b>C3 (-)</b>	1/3	1/4	1	1/3	1/4
<b>C4 (-)</b>	1/3	1/5	3	1	1/2
<b>C5 (+)</b>	1/2	1/3	4	2	1

**Fonte:** Autoria própria

### 5.1.2 Geração do vetor peso

Em decorrência dessa hierarquização estruturada, obtém-se os valores do vetor peso referente de cada um dos critérios estudados, representados a seguir pela Tabela 4.

**Tabela 4** - Cálculo do autovetores a partir da hierarquização dos critérios

	<b>Vetor peso</b>	<b>Vetor peso normalizado</b>
<b>C1 (-)</b>	1/2	0,08126
<b>C2 (-)</b>	1 6/7	0,31676
<b>C3 (-)</b>	6/7	0,14450
<b>C4 (-)</b>	2	0,34798
<b>C5 (+)</b>	2/3	0,10951

**Fonte:** Autoria própria

Mediante a esses valores tabelados, obtém-se os seguintes parâmetros:

- $\lambda_{\max} = 5,44$ ;
- IR = 11,09%.

Parâmetros esses os quais constituem uma razão de coerência CR no valor de 9,90%: grandeza a qual satisfaz a condição pré-estabelecida pela Equação 6 apresentada no item 3.1.2 deste trabalho.

Estando de acordo com essa imposição, o julgamento tomado durante a hierarzição dos critérios recebe credibilidade, garantindo que os critérios em relação à cada alternativa estão coerentes com a devida situação.

## 5.2 RESULTADOS DA METODOLOGIA TOPSIS

A seguir, serão apresentados os procedimentos executados do método de apoio multicritério TOPSIS. Neste método, serão utilizados os dados fornecidos pela Tabela 4 como dados de entrada.

### 5.2.1 Geração da matriz de decisão

A partir da normalização dos autovetores de cada critérios calculados e registrados nas tabelas encontradas nos APÊNDICE A – Normalização dos critérios de custo e APÊNDICE B – Normalização dos critérios qualitativos, obtém-se a matriz de decisão do estudo de caso na tabela a seguir.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Note que os cálculos dos critérios qualitativos apresentados no APÊNDICE B – Normalização dos critérios qualitativos (C1, C2 e C5) possuem valores de razões de coerência que satisfazem a condição apresentada na Equação 6 do item 3.1.2 deste trabalho, o que garante que estes critérios estão coerentes com o julgamento tomado ( $CR_{C1} = 9,18\%$ ;  $CR_{C2} = 8,51\%$  e  $CR_{C5} = 5,63\%$ ).

**Tabela 5** - Resultado da normalização da matriz de decisão perante a hierarquização dos critérios

	<b>C1 (-)</b>	<b>C2 (-)</b>	<b>C3 (-)</b>	<b>C4 (-)</b>	<b>C5 (+)</b>
<b>A1</b>	0,08829	0,06755	0,22222	0,02984	0,04322
<b>A2</b>	0,06691	0,08914	0,22222	0,14861	0,06317
<b>A3</b>	0,50295	0,50781	0,15556	0,58341	0,55306
<b>A4</b>	0,12471	0,14,464	0,20000	0,05968	0,13835
<b>A5</b>	0,21714	0,19086	0,20000	0,17845	0,20219

**Fonte:** Autoria própria

### 5.2.2 Cálculo da matriz normalizada pelo peso

A partir dos resultados obtidos a partir da Tabela 4, que obteve-se o valor dos autovetores do método AHP, tem-se o vetor de pesos para a aplicação da metodologia TOPSIS.

O cálculo desta matriz será dada através da Equação 11 do item 3.2.3. O resultado desta, no entanto, encontra-se na tabela a seguir.

**Tabela 6** - Cálculo da normalização da matriz de decisão a partir do vetor peso

	<b>C1 (-)</b>	<b>C2 (-)</b>	<b>C3 (-)</b>	<b>C4 (-)</b>	<b>C5 (+)</b>
<b>A1</b>	0,00717	0,02140	0,03211	0,01038	0,00473
<b>A2</b>	0,00544	0,02140	0,03211	0,05171	0,00692
<b>A3</b>	0,04087	0,16085	0,02248	0,20301	0,06056
<b>A4</b>	0,01013	0,04582	0,02890	0,02077	0,01515
<b>A5</b>	0,01765	0,06046	0,02890	0,06210	0,02214

**Fonte:** Autoria própria

Note que o somatório da coluna dos valores de qualquer critério demonstrado nesta tabela resultará em seu próprio valor referido do seu vetor peso: o que comprova a aplicação está igualmente aplicada para cada elemento da tabela mediante ao peso específico tomado para cada critério.

### 5.2.3 Cálculo do PIS e do NIS

Em decorrência dos resultados apresentados na Tabela 6, obtém-se os valores do PIS e do NIS de cada um dos critérios descritos para o problema, como bem demonstrado a seguir.

**Tabela 7** - Cálculo do PIS e do NIS

	<b>C1 (-)</b>	<b>C2 (-)</b>	<b>C3 (-)</b>	<b>C4 (-)</b>	<b>C5 (+)</b>
<b>PIS</b>	0,00544	0,02140	0,02248	0,01038	0,06056
<b>NIS</b>	0,04087	0,16085	0,03211	0,20301	0,00473

**Fonte:** Autoria própria

Vale ressaltar que os cálculos desta tabela foram desenvolvidos através do cálculo de PIS e NIS via distância euclidiana, como ressaltado pelo item 3.2.4 deste trabalho.

### 5.2.4 Cálculo das distâncias euclidianas do PIS e do NIS

De acordo com os cálculos registrados no APÊNDICE C – Cálculo auxiliar das distâncias euclidianas do PIS e NIS, toma-se que valores das distâncias euclidianas referentes ao PIS e NIS são dadas como assim descrito pela Tabela 8, dados, respectivamente, por  $d_i^+$  e  $d_i^-$

**Tabela 8** - Valores das distâncias euclidianas do PIS e do NIS

	<b><math>d_i^+</math></b>	<b><math>d_i^-</math></b>
<b>A1</b>	0,05668	0,24018
<b>A2</b>	0,06874	0,20430
<b>A3</b>	0,24043	0,05666
<b>A4</b>	0,05320	0,21797
<b>A5</b>	0,07659	0,17547

**Fonte:** Autoria própria



### 5.2.5 Cálculo da similaridade relativa (ranking)

Abaixo, de acordo com o APÊNDICE D – Cálculo auxiliar das similaridades relativas das alternativas, segue-se o cálculo do score gerado a partir das performances dos critérios em relação à cada alternativa.

**Tabela 9** - Ranqueamento das alternativas apresentadas

	$\xi_i$	Rank
<b>A1</b>	0,80906	1
<b>A2</b>	0,74823	3
<b>A3</b>	0,19070	5
<b>A4</b>	0,80382	2
<b>A5</b>	0,69614	4

**Fonte:** Autoria própria

A partir disso, segue-se que a alternativa de preferência para a aplicação é a A1.

## 5.3 DISCUSSÃO

A seguir, será discutido sobre a viabilidade de implementação de alguma alternativa a partir correlação entre as mesmas.

### 5.3.1 Comparação entre as alternativas

Note que a A1 e A2 são relativamente simples se comparadas às outras alternativas, o que justifica sua vantagem econômica de implementação, pois trata-se de uma devolução da condição básica do equipamento seguida de uma melhoria que visa diminuir o esforço do operador no momento de posicionar os roletes. Elas estão focadas na revisão do estado de conservação dos roletes, incluindo seu revestimento com bucha confeccionada em chapa de inox para garantir superfície sempre lisa e resistente à corrosão, revisão nas vigas para que as superfícies, por onde deslizam os roletes, sejam lisas e livres de incrustações e corrosões.

No entanto, os operadores ainda têm que rotacionar parcialmente o encaixe para posicionamento nos roletes, tendo ainda também que colocar um certo esforço para transladar a mesa plana de uma posição para outra nos trilhos.

Enquanto isso, apesar de ser tida como a última colocada, a alternativa A3 já se trata de uma melhoria disruptiva, pois nesta já não existe mais a necessidade de retirada da mesa plana de suas posições. Esse sistema possui uma vantagem clara sobre a economia de tempo de operação e, principalmente, sobre a eliminação de riscos para realização de substituições de telas formadoras.

Além disso, suas vantagens devem-se, principalmente, à redução significativa dos riscos aos operadores, uma vez que não haveria mais basculamento de roletes e translação da mesa plana através de trilhos, permitindo uma maior minimalização do uso de força pelos operadores no traslado lateral da mesa plana durante sua montagem/desmontagem. No entanto, a sua desvantagem se dá pelo custo de implementação, o qual resultaria em um tempo de payback mais longo se comparado aos outros.

Vale ressaltar que esse payback comentado foi-se baseado unicamente na economia que seria levantada a partir da redução do tempo de setup, e não de outros fatores além deste.

Enquanto isso, as alternativas A4 e A5 são, respectivamente, bastante parecidas com a A1 e A2. Sua diferença está constatada no deslocamento horizontal da mesa plana para os trilhos, o que garante uma maior automação e segurança ao operador em relação às alternativas mais simples deste trabalho durante seu traslado horizontal.

### 5.3.2 Quanto a viabilidade de implementação de alguma alternativa

Baseando-se nas características dessas alternativas destacadas no item 5.3.1, tem-se que, à primeira instância, a alternativa tecnicamente mais desenvolvida para o caso seria a A3. No entanto, esta alternativa possui o maior custo de investimento (19,55 vezes mais do que a A1) e, essa condição, como bem visto, se tornou um fator determinante para restringir a implantação deste sistema na empresa ao analisar o caso a partir da metodologia elaborada neste trabalho.

No entanto, em caso de possibilidade de aplicação de alto investimento financeiro para esta melhoria, a sugestão deste trabalho promove a alternativa A3 como melhor indicada para implementação por se tratar de uma alternativa tecnicamente mais complexa do que as outras relatadas.

Em uma análise onde o custo de implementação não seja um critério a ser julgado, a escolha da alternativa A3 seria nitidamente a melhor ranqueada dentre todas. Neste caso hipotético, seria recomendável que o decisor recorresse à implantação da estrutura com o mecanismo de manutenção do tipo Porter Bar; pois trata-se de um sistema que não tem necessidade de recorrer à grandes obras civis como no caso do Cantilever e também não necessita redimensionar a máquina de papel, como é o caso do sistema C-bar. Além disso, o único trabalho dos operadores durante a essa manutenção seriam a montagem das vigas Porter, posicionamento de rolos e suspensão de rolo Couch e vigas através de sistema hidráulico (em caso de dúvida sobre as distinções dessas estruturas de sustentação, vide item 2.3).

No entanto, destaca-se que a alternativa da qual foi definida de acordo com a metodologia foi a A1: uma opção bastante versátil e relevante para o caso, pois trata-se de uma alternativa economicamente viável para aplicação. Além dela eliminar parte da necessidade de uso de força por parte dos trabalhadores, ainda trás consigo uma maior segurança aos operadores durante o desacoplamento parcial da mesa. Com isso, considerando os critérios analisados durante a metodologia, tal alternativa trouxe uma ótima pontuação para o ranqueamento final deste estudo (80,91%), como destacado pela Tabela 9.

Com essa alternativa, os operadores ainda continuariam tendo que aplicar esforço para deslocar a mesa plana. Porém, mesmo assim, ainda pouparia boa parte do esforço necessário para se manter a mesa suspensa para ser apoiada nos roletes, impedindo de tal forma parte do risco de ocorrer algum acidente de trabalho durante essa operação a partir da redução probabilística de erros humanos.

## 5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste item, segue-se algumas reflexões sobre o emprego proposto deste trabalho, visando trazer esclarecimentos de metas atingidas, alcances e suas referidas limitações.

### 5.4.1 Análise dos objetivos

Ao se analisar os objetivos, nota-se que todos foram alcançados com êxito, pois, como ressaltado no objetivo geral desse trabalho, nota-se que houve, de fato, a sugestão da forma mais viável de manutenção da tela formadora durante as paradas programadas da empresa de

acordo com os critérios tomados e analisados na matriz de preferências, tomados par a par, como bem representado na tabela a seguir.

**Tabela 10** – Ranqueamento ordenado das alternativas apresentadas

<b>Ranking</b>	<b>Alternativas</b>	<b>Descrição</b>
1	A3	Substituição do mecanismo atual pelo cantilever/porter bar/c-bar
2	A1	Implementação de macacos hidráulicos para deslocamento vertical
3	A4	Implementação de macacos hidráulicos e guinchos elétricos
4	A5	Implementação de atuadores lineares e guinchos elétricos
5	A2	Implementação de atuadores lineares para deslocamento vertical

**Fonte:** Autoria própria

No entanto, ao referir-se aos objetivos específicos, constata-se que, para tal propósito, foi-se necessário identificar quais os critérios que eram tratados com maiores relevâncias a partir da cultura da empresa. A partir disso, soluções técnicas foram tomadas como resolução do problema, possibilitando dessa forma com que a análise da tomada de decisões AHP-TOPSIS fosse possível de ser executada.

**Quadro 6** - Descrição dos critérios e alternativas tratadas no trabalho

<b>Critérios abordados</b>	<b>Alternativas analisadas</b>
C1: Esforço dos operadores	A1: Implementação de macacos hidráulicos para deslocamento vertical
C2: Risco de acidente	A2: Implementação de atuadores lineares para deslocamento vertical
C3: Tempo de setup	A3: Substituição do mecanismo atual pelo cantilever/porter bar/c-bar
C4: Custo de implementação	A4: Implementação de macacos hidráulicos e guinchos elétricos
C5: Nível de automação	A5: Implementação de atuadores lineares e guinchos elétricos

**Fonte:** Autoria própria

A partir dessas definições, houve a aplicação técnica da metodologia AHP como forma de um processo de apoio para gerar os ponderamentos específicos para serem aplicados posteriormente no TOPSIS, como visto na Tabela 4.

Mediante esse processo, a matriz de decisões do método foi gerada (Tabela 5) durante a metodologia multicritério TOPSIS; visto que, para isso, foi-se necessário que o vetor de pesos fosse calculado pelo método multicritério de apoio AHP.

Essa matriz de decisões passou por um desenvolvimento segmentado pelo algoritmo do TOPSIS até que fosse gerado o cálculo da similaridade relativa de cada uma das alternativas apresentadas (item 5.2.5), resultando por fim no ranking final das alternativas a partir da análise dos critérios tomados par a par, como relatado pelas Tabela 9 e Tabela 10.

A partir disso, verificou-se que todos os procedimentos especulados nos objetivos geral e específico deste trabalho foram atingidos; portanto, concluídos por completo.

#### 5.4.2 Implicações teóricas da metodologia

Este trabalho possui a maioria das suas implicações teóricas durante o seu princípio. Em sua fase introdutória, antes da aplicação do algoritmo em si, existe a necessidade de reinterpretar o problema abordado a partir de um estudo da situação em particular; estudo este que deve estar vinculado às perspectivas definidas para o processo de tomada de decisão multicritério específico, assim como explicado no item 2.5 deste trabalho.

Sem essa nova análise crítica da situação sob uma interpretação redirecionada, o decisor pode vir a se posicionar tendenciosamente ao caso, podendo influenciar negativamente durante os ponderamentos dos critérios avaliados, fazendo com que suas alternativas possam se depararem sob uma abordagem contextual totalmente fora de coesão; já que, para tais análises de tomadas de decisão, o objetivo a ser atingido se encontra diretamente vinculado à diversas variáveis que os representam dentro do tema.

Isso requer que o decisor deva avaliar a situação sob a uma perspectiva bastante precisa durante seu estudo. Isso trás uma administração mais coesa das condições impostas pelas variáveis que afligem no resultado. Por isso, é nítido que as implicações teóricas implícitas neste trabalho estejam dentro da concepção do mesmo, pois a perspectiva a ser tomada é essencial para dar continuidade a etapa de planejamento.

Por fim, conseqüentemente, é a partir deste planejamento estratégico que os retornos finais definirão se são satisfatórios ou não para o problema abordado. Portanto, para se ter um

bom resultado, o decisor deve estar antecipadamente alinhado com a perspectiva adequada para o caso, condição essa que requer um bom investimento durante seu planejamento inicial.

#### 5.4.3 Implicações práticas do estudo

As implicações práticas deste estudo foram demarcadas durante quatro fases do desenvolvimento da metodologia deste trabalho, sendo:

1. Definir os critérios considerados significantes para a situação;
2. Encontrar alternativas para serem apresentadas como soluções da temática abordada;
3. Hierarquizar os critérios;
4. Realizar o ponderamento dos critérios qualitativos.

A questão da qual trouxe os impasses 1 e 2 durante a aplicação do método se deu pela necessidade de saber vincular devidamente o atual contexto social e econômico da empresa, de maneira que os planos adotados como soluções destes possíveis investimentos apresentados garantissem, de certa forma, em uma otimização satisfatória para a execução da proposta tida como mais adequada para implementação. Isso faz com que os aspectos que os decisores julgam como mais relevantes sejam de entendimento do contexto decisório, de forma a possibilitar a identificação da viabilidade de um bom empreendimento.

Porém, no que se refere aos itens 3 e 4, o processo de ponderamento e/ou hierarquização de uma metodologia multicritério requer uma busca de evidências válidas que justifiquem a ênfase nas intensidades declaradas em cada critério. Os malefícios em atribuir um peso incoerente para um critério específico são alterações nas variáveis dependentes dela, com repercussões negativas, tais como distorções. Isso pode suprimir o efeito de outros critérios fundamentais para a análise, podendo acarretar em erros a partir de incertezas edificadas e usadas como base para tomada de decisão pelo líder.

#### 5.4.4 Limitações do trabalho

Os métodos de apoio multicritério à decisão têm um caráter científico e subjetivo. No entanto, por mais que tal processo abranja tamanho contexto, o mesmo possui limitações

naturais das quais incapacitam de que a aplicação pontual seja determinada para casos semelhantes no geral.

Por conta disso, nota-se que as limitações deste presente trabalho partem ora físicas, ora culturais, embora economicamente contínua. Físicas no sentido do mesmo ter que ser ajustado a uma análise de uma única máquina de papel, de uma dada empresa e marca específica. Ora cultural por ter que se avaliar as condições em um único meio, meio esse onde a preocupação geral está associada diretamente com as consequências que resultam em preferências mais direcionadas de interpretações semelhantes que são tomadas pela convivência social em comum.

Por fim, a incontestável limitação econômica deste trabalho. Ela justifica parte do ranqueamento final do caso específico, pois: por mais que existam alternativas muito mais tecnológicas e seguras contestadas na concepção, tais como a A3, muitas vezes a alternativa mais funcional para aquela situação passa a não ser escolhida devido ao seu elevado investimento financeiro. Isso se deve pelo próprio efeito de implementação da metodologia multicritérios TOPSIS, na qual visa maximizar os resultados positivos e de minimizar os resultados negativos (em caso de dúvidas, vide item 3.2.4).

#### 5.4.5 Sugestão para trabalhos futuros

Vale ressaltar que o estudo do problema de decisões não procura apresentar ao decisor uma solução para o problema de maneira a eger uma única verdade em forma de alternativa, mas sim em apoiar o processo de decisão ao recomendar ações ou cursos de ação a quem vai tomar a decisão.

Desse modo, nota-se que o propósito maior dos métodos de tomada de decisões multicritério constam em apresentarem várias abordagens distintas, auxiliando os decisores durante suas análises. Mediante a isso, é válido que sugestões interessantes para trabalhos futuros relativos a esse, visando estender o conhecimento tomado neste trabalho, seriam os de caráter semelhante a:

1. Aplicar metodologias MCDM distintas para o mesmo caso apresentado;
2. Aplicar o mesmo MCDM para um conjunto de máquinas de papéis distintas;
3. Correlacionar este MCDM com a confiabilidade de manutenção da empresa;
4. Elaborar o algoritmo do MCDM proposto neste trabalho em alguma linguagem de programação;

5. Aplicar a mesma metodologia, embora para um conjunto distinto de decisores.

Essas sugestões, com exceção do item 4, foram declaradas porque é difícil de se definir um melhor método de aplicação MCDM, pois o processo decisório envolve várias condicionantes tanto quantitativas quanto qualitativas, além de também envolver diferentes áreas de preocupação, já que o processo de tomada de decisão é um processo que inclui diversos fatores inter-relacionados.



## 6 CONCLUSÃO

A realização dessa análise visa, por fim, buscar uma maior sensatez e precisão no desfecho do problema a partir da análise de cada um dos critérios, tomado par a par, considerados em cada uma das alternativas tidas como soluções do problema analisado.

De acordo com o desenvolvimento da metodologia MCDM AHP-TOPSIS, toma-se que a alternativa da qual foi selecionada como a de melhor ranqueamento perante os critérios considerados foi-se dado pela alternativa A1, na qual promove a instalação dos macacos hidráulicos para deslocamento vertical. A promoção dessa alternativa traria o auxílio aos operadores durante o desacoplamento parcial da mesa plana, efeito esse do qual facilitaria consideravelmente o trabalho de basculamento dos roletes para os funcionários, posicionando-os para que possam transladar sobre os trilhos com mais segurança e eficácia.

## REFERÊNCIAS

ALKAIM, João Luiz. **METODOLOGIA PARA INCORPORAR CONHECIMENTO INTENSIVO ÀS TAREFAS DE MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE APLICADA EM ATIVOS DE SISTEMAS ELÉTRICOS**. 2003. 238 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ALMEIDA, Adiel Teixeira de. **Processo De Decisão Nas Organizações: Construindo Modelos De Decisão Multicritério**. Recife: Atlas, 2013. 256 p.

ALVES, Jorge Fernandes. A estruturação de um sector industrial: a pasta de papel. 2014. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/8697>>. Acesso em: 10 nov. 2019.

ANALYTIC Hierarchy Process: What is AHP. Disponível em: <<http://web.cjcu.edu.tw/~lcc/Courses/TUTORIAL>>. Acesso em: 29 nov. 2019.

ARESE, Marcelo Contente; RANGEL, Luiz Alberto Duncan; HALL, James; ZOTES, Luiz Perez; BONINA, Noemi; MEIRIÑO, Marcelo Jasmim. Aplicação do método TOPSIS na avaliação dos critérios utilizados na seleção de docentes em uma instituição de ensino superior. **Conhecimento & Diversidade**, [s.l.], v. 9, n. 19, p. 47-58, 5 jan. 2018. Centro Universitario La Salle - UNILASALLE. <http://dx.doi.org/10.18316/rcd.v9i19.3906>.

AZEREDO, Andre Ferreira. **Multi-Criteria Decision Analysis: o que é, como funciona, virtudes e limitações da tomada de decisão por múltiplos critérios**. o que é, como funciona, virtudes e limitações da tomada de decisão por múltiplos critérios. 2016. Disponível em: <https://www.htanalyze.com/blog/multi-criteria-decision-analysis-o-que-e-como-funciona-virtudes-e-limitacoes-da-tomada-de-decisao-por-multiplos-criterios/>. Acesso em: 05 jun. 2020.

CALARGE, Felipe Araújo; DAVANSO, JosÉ Carlos. Conceito de Dispositivos à Prova de Erros Utilizados na Meta do Zero Defeito em Processos de Manufatura. **Revista de Ciência & Tecnologia**, Piracicaba, v. 11, n. 21, p. 7-18, 14 abr. 2004.

CARDOSO, Tiago Alves; SANTOS, Adriana de Paula Lacerda. Métodos multicritério de apoio à decisão no planejamento de construções e reformas de edificações. *Espacios*, X, v. 38, n. 37, p.12-31, 21 abr. 2017.

CHAUHAN, Aditya; VAISH, Rahul. A Comparative Study on Decision Making Methods with Interval Data. **Journal Of Computational Engineering**, [s.l.], v. 2014, p. 1-10, 2014. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/793074>.

CHENG, E. W. L.; LI, H. (2005). Analytic network process applied to project selection. *Journal of construction engineering and management*, v. 131, n. 4, p. 459-466.

CONSUL, Josiel Teixeira. Aplicação de Poka Yoke em processos de caldeiraria. **Production**, [s.l.], v. 25, n. 3, p. 678-690, 18 ago. 2015. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.084012>.

CYRINO, Luis. **Curva da banheira e a taxa falhas**. 2017. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/curva-da-banheira/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

DALSTON, Cesar Olivier. CLASSIFICAÇÃO DA PASTA MECÂNICA DE MADEIRA. 2011. Disponível em: <<https://classificacaodemercadoria.blogspot.com/2011/05/classificacao-da-pasta-mecanica-de.html>>. Acesso em: 07 nov. 2019.

DANIELSKI, Douglas. **Dúvidas técnicas sobre manutenção na mesa plana**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <eng.evertonferreira@gmail.com>. em: 13 maio 2020.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER, G.; NORONHA, S. M. D. (2001). Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas. Florianópolis: Insular.

FIEP, 2019. Disponível em:

<<http://www.fiepr.org.br/fomentoedesarvolvimento/cadeiasprodutivas/uploadAddress/papelcelulose%5B19555%5D.pdf>> Acesso em 03 nov. 2019

GALLON, Alessandra Vasconcelos; SALAMONI, Franciane Luiza; BEUREN, Ilse Maria. O processo de fabricação de papel reciclado e as ações associadas aos custos ambientais em indústria de Santa Catarina. **Abcustos**, São Leopoldo, v. 3, n. 1, p.53-80, abr. 2008.

GOMES, Luiz Flavio Autran Monteiro; ARAYA, Marcela Cecilia González; CARIGNANO, Claudia. **Livro - Tomada de Decisões em Cenários Complexos**. Rio de Janeiro: Cengage Learning, 2004. 168 p.

GUGLIELMETTI, Fernando Ribeiro; (UNESP), Fernando Augusto Silva Marins; (UNESP), Valério Antonio Pamplona Salomon. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. In: ENCONTRO NAC. DE ENG. DE PRODUÇÃO, 2003, Ouro Preto. Comparação teórica entre métodos de auxílio à tomada de decisão por múltiplos critérios. Ouro Preto: Enegep, 2003.

GULLO, Francisco A.; VIEIRA, Liodari dos Reijos; FALCÃO, Erinaldo José. Formação: caixa de entrada, tela formadora e elementos desaguadores. 6. ed. Guarapuava: Santa Maria Papel e Celulose, 2016. 34 p.

JACKS, Uni-lift. **Página inicial**. Disponível em: <https://www.uniliftjacks.com/>. Acesso em: 11 maio 2020.

JUNIOR, Francisco Rodrigues Lima; OSIRO, Lauro; CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. Métodos de decisão multicritério para seleção de fornecedores: um panorama do estado da arte. : um panorama do estado da arte. **Gestão e Produção**. São Carlos, set. 2012.

JUVENAL, Thais Linhares; MATTOS, René Luiz Grion. O setor de celulose e papel. In: SÃO PAULO, Elizabeth Maria de; KALACHE FILHO, Jorge. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social 50 anos: histórias setoriais. Rio de Janeiro: Dbá, 2002.

KLOCK, Prof. Umberto. Polpa e Papel: tecnologia de produção de polpa celulósica e papel. Curitiba: Ufpr, 2014. 42 slides, color. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/polpaepapel/Papelhistoria.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2020.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de. **FABRICAÇÃO DO PAPEL**: Curitiba: Ufpr, 2018. 42 slides, color.

KLOCK, Umberto; ANDRADE, Alan Sulato de; HERNANDEZ, José Anzaldo. **Polpa e Papel**: Manual didático Polpa e Papel. 3. ed. Curitiba: 2013. 118 p.

KROHLING, Renato A.; SOUZA, Talles T.m. de. Dois Exemplos da Aplicação da Técnica TOPSIS para Tomada de Decisão. **Revista de Sistemas de Informação da Fsm**: Sistemas de informação, Visconde de Araújo, v. 1, n. 8, p. 31-35, ago. 2011.

MACHADO, Filipe; ANDRADE, Jairo Jose de Oliveira. **EMPREGO DA CONFIABILIDADE PARA O ESTABELECIMENTO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA**. Salvador - Ba: Enegep, 2013. p. 1-18.

MARINS, Cristiano Souza et al. **O USO DO MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) NA TOMADA DE DECISÕES GERENCIAIS – UM ESTUDO DE CASO**. Porto Seguro: Sbp, 2009. p. 1778-1788.

MENDES, Fernanda dos Santos et al. Utilização da Metodologia Analytic Hierarchy Process (ahp) na Mensuração da Importância das Características Empreendedoras: Um Estudo em um Curso de Engenharias de Volta Redonda. In: **SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA**, 2014. **Utilização da Metodologia Analytic Hierarchy Process (ahp) na Mensuração da Importância das Características Empreendedoras**.

Mesquita, Melissa, and Dário Henrique Alliprandini. "Competências essenciais para melhoria contínua da produção: estudo de caso em empresas da indústria de autopeças." *Gestão & Produção* 10.1 (2003): 17-33.

MARTEN, Michael (Londres) (org.). 16th Century Woodcut Showing Paper Making is a photograph by Science Photo Library. 2018. The first illustration of paper making" from a folio published by Hans Sachs in Frankfurt in 1568. Disponível em: <https://fineartamerica.com/featured/16th-century-woodcut-showing-paper-making-science-photo-library.html>. Acesso em: 24 set. 2018.

MICRO FAB INDUSTRIES. **Forming Wire Section Paper Machine**. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/read/59665699/forming-wire-section-paper-machine>. Acesso em: 14 maio 2020.

MONJEZI, M. et al. Application of TOPSIS method for selecting the most appropriate blast design. **Arabian Journal of Geosciences**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.95-101, 7 abr. 2010. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-010-0133-2>.

NASCIMENTO, Carlos Eduardo Guedes do et al. **RELATÓRIO 1 – ÁGUA NA INDÚSTRIA**. 2017. Disponível em: <<https://www.edisciplinas.usp.br>>. Acesso em: 25 abr. 2017.

**OPRICOVIC, Serafim; TZENG, Gwo-hshiung. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS**. European Journal Of Operational Research, [s.l.], v. 156, n. 2, p.445-455, jul. 2004. Disponível em [http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00020-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00020-1).

PACHECO, André. **TOPSIS - Um algoritmo de tomada de decisão**. 2016. Disponível em: <<http://computacaointeligente.com.br/algoritmos/TOPSIS-tomada-de-decisao/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

PAULA, Deborah de Campos; SALOMON, Valério A. P.. **UTILIZAÇÃO DE INDICADORES NA ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE TOMADA DE DECISÃO COM MÚLTIPLOS CRITÉRIOS**. SBPO, 2008, João Pessoa, Pb.

PERUSSOLO, Luiz Tadeu. **Mitigação risco de acidente:** movimentação da mesa plana MP1. Guarapuava: Santa Maria Papel e Celulose, 2019.

PINHO, A. F.; MONTEVECHI, J. A. B. & PAMPLONA, E. O. (1996) - Um modelo computacional, baseado no método AHP, para análise multicriterial de decisão. XVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Anais, Piracicaba: Universidade Metodista de Piracicaba.

PRADA, Ricardo Bernardo. **DETERMINAÇÃO DO INTERVALO DE MANUTENÇÃO PROGRAMADA DA PROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO CONSIDERANDO-SE PENALIDADES ASSOCIADAS À INDISPONIBILIDADE.** 2008. 52 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ppg em Engenharia Elétrica, Puc-rio - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PRIMEIRA máquina Valmet Advantage NTT na Europa com sucesso na Renova em Portugal. 2017. Disponível em: <<https://tissueonline.com.br/primeira-maquina-valmet-advantage-ntt-na-europa-com-sucesso-na-renova-em-portugal/>> Acesso em: 21 nov. 2019.

Remoção de cálcio de efluente de máquina de papel por precipitação/coprecipitação - Scientific Figure on ResearchGate. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-de-uma-maquina-de-papel\\_fig1\\_261798173](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Esquema-de-uma-maquina-de-papel_fig1_261798173)> Acesso em 23 nov. 2019.

RENOVA (Portugal) (Ed.). **Primeira máquina Valmet Advantage NTT na Europa com sucesso na Renova em Portugal.** Torres Novas, 2017. Color.

Resumo - Revolução Industrial em Só História. Virtuoso Tecnologia da Informação, 2009-2020. Consultado em 13/04/2020 às 16:16. Disponível na Internet em <http://www.sohistoria.com.br/resumos/revolucaoindustrial.php>

RIBEIRO, Maria Celeste de Carvalho Ressiguer; ALVES, Alex da Silva. Aplicação do método Analytic Hierarchy Process (AHP) com a mensuração absoluta num problema de

seleção qualitativa. **Sistemas & Gestão**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 270-281, 3 nov. 2016. Laikos Servicos Ltda. <http://dx.doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n3.988>.

ROCHE, H.; VEJO, C. Analisis multicriterio em la toma de decisiones. Métodos Cuantitativos aplicados a la administración. Analisis multicritério – AHP. 2004.

ROLO de intermináveis, fazendo papel de papel: Ilustração em Alta Resolução. Ilustração em Alta Resolução. 2018. ID da ilustração:1057446732. Disponível em: <https://www.istockphoto.com/br/vetor/rolo-de-intermin%C3%A1veis-fazendo-papel-de-papel-gm1057446732-282592454>. Acesso em: 21 out. 2019.

SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Rio de Janeiro: Makrom Books, 2Ed. 1991.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; T.D.F.M.LIMA. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. 2018. Disponível em: <<http://revistas.cefetrj.br/index.php/producaoedesenvolvimento>>. Acesso em: 02 nov. 2019.

SCHELLER, Fernando. Brasil sobe em ranking de produção de papel. 2010. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-sobe-em-ranking-de-producao-de-papel-imp-,608277>>. Acesso em: 08 nov. 2019.

SCHMIDT, Angela Maria Atherino. PROCESSO DE APOIO A TOMADA DE DECISÃO ABORDAGENS: ahp e macbeth. 1995. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de PÓS-graduação em Engenharia de Produção, Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

SELLITTO, Miguel Afonso. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. **Production**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 44-59, abr. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132005000100005>.



SHIH, Hsu-shih; SHYUR, Huan-jyh; LEE, E. Stanley. An extension of TOPSIS for group decision making. **Mathematical And Computer Modelling**, [s.l.], v. 45, n. 7-8, p.801-813, abr. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mcm.2006.03.023>.

SILVA, Carlos Alberto Farinha e; BUENO, Jefferson Mendes; NEVES, Manoel Rodrigues. **A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL: A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL NA PRIMEIRA DÉCADA DO SÉCULO XXI - ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE O QUE PODERÁ AINDA ACONTECER**. Guia Abtcp, 2015.

SILVA, Carlos Alberto Farinha e; BUENO, Jefferson Mendes; NEVES, Manoel Rodrigues. **A INDÚSTRIA DE CELULOSE E PAPEL NO BRASIL. Guia Abtcp Fornecedores & Fabricantes: Celulose e papel 2016/2017**, São Paulo, p. 16-28, 2017.

SILVA, Diva Martins Rosas e. **Título: APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS INDUSTRIAIS**. 2007. 128 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Industrial, Instituição: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc-rio, Rio de Janeiro, 2007.

SMITH, Anthony M. **Reliability-Centered Maintenance**. McGraw-Hill, 1993. Printed in United States of America.

SOUSA, José Carlos Leandro de et al. **REMOÇÃO DE CÁLCIO DE EFLUENTE DE MÁQUINA DE PAPEL POR PRECIPITAÇÃO/COPRECIPITAÇÃO. TECNO-LÓGICA**, Santa Cruz do Sul, v. 15, n. 2, p.62-66, dez. 2011.

TELES, Jhonata. **O que é confiabilidade Confiabilidade: o que é e como medir?. O que é e Como medir?**. 2017. Engenharia de Manutenção e Confiabilidade, Gestão de Manutenção, PCM. Disponível em: <https://engeteles.com.br/o-que-e-confiabilidade/>. Acesso em: 23 abr. 2020.

TRENTIM, Mario. **Tomada de Decisão em Projetos – Método AHP**. 2012. Disponível em: <<https://projectdesignmanagement.com.br/blog/tomada-de-decisao-em-projetos-metodo-ahp/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

TREVIZANO, Waldir Andrade Trevizano; FREITAS, André Luís Policani. Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de processadores. Enegep: XXV Encontro Nac. de Eng. de Produção. Porto Alegre, RS, nov. 2005

TZENG, G.H.; HUANG, J.J. **Multiple Adecision Making: Methods and Application**. 1º Edition. New York: CRC Press, 2011.

VALÉRIO. **Mesa plana**. 2014. Disponível em: <https://3dwarehouse.sketchup.com/model/1057736598e9998b822df94b1e9146fc/Mesa-Plana>. Acesso em: 11 maio 2020.

VARGAS, Ricardo Viana. **UTILIZANDO A PROGRAMAÇÃO MULTICRITÉRIO (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - AHP) PARA SELECIONAR E PRIORIZAR PROJETOS NA GESTÃO DE PORTFÓLIO**. 2010. Disponível em: <<http://www.leansixsigma.com.br/acervo/2215922.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

VERONEZE, Marcos. **Sistemas de estruturas de mesa plana**. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: <[eng.evertonferreira@gmail.com](mailto:eng.evertonferreira@gmail.com)>. em: 12 maio 2020.

VIDOR, Gabriel; SAURIN, Tarcísio Abreu. Conceitos e características de sistemas poka-yokes: uma revisão de literatura. : uma revisão de literatura. **Revista Produção Online**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 344, 31 maio 2011. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v11i2.644>.

VILLANUEVA, Marina Miranda. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação**. 2015. 159 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

WOLFF, Cristina Santos. **O MÉTODO AHP - REVISÃO CONCEITUAL E PROPOSTA DE SIMPLIFICAÇÃO**. 2008. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - Puc-rio, Rio de Janeiro, 2008.

WONG, G. (1999). Multi-criteria decision-aid for building professionals. *The Journal of Building surveying*, v. 1, n. 1, p. 5-10.

## APÊNDICE A – Normalização dos critérios de custo

**Tabela 11** - Processo de normalização do critério C3 (Equação 9)

	<b>Valor do critério</b>	<b>Normalização</b>
<b>A1</b>	5	0,17697
<b>A2</b>	5	0,17697
<b>A3</b>	3,5	0,25281
<b>A4</b>	4,5	0,19663
<b>A5</b>	4,5	0,19663

**Fonte:** Autoria própria

**Tabela 12** - Processo de normalização do critério (Equação 9)

	<b>Valor do critério</b>	<b>Normalização</b>
<b>A1</b>	x	0,52106
<b>A2</b>	4,98.x	0,10463
<b>A3</b>	19,55.x	0,02665
<b>A4</b>	2,00.x	0,26053
<b>A5</b>	5,98.x	0,08713

**Fonte:** Autoria própria

## APÊNDICE B – Normalização dos critérios qualitativos

**Tabela 13** - Processo de hierarquização e normalização do critério C1 (Equação 10)

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>Auto vetor</b>	<b>Autovetor normalizado</b>
<b>A1</b>	1	2	1/5	1/2	1/3	0,58181	0,08829
<b>A2</b>	1/2	1	1/5	1/3	½	0,44093	0,06691
<b>A3</b>	5	5	1	4	4	3,31445	0,50295
<b>A4</b>	2	3	1/4	1	1/4	0,82188	0,12471
<b>A5</b>	3	2	1/4	4	1	1,43097	0,21714

**Fonte:** Autoria própria

**Tabela 14** - Processo de hierarquização e normalização do critério C2 (Equação 10)

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>Auto vetor</b>	<b>Autovetor normalizado</b>
<b>A1</b>	1	1/2	1/5	1/3	1/2	0,44093	0,06755
<b>A2</b>	2	1	1/5	1/3	1/2	0,58181	0,08914
<b>A3</b>	5	5	1	4	4	3,31445	0,50781
<b>A4</b>	3	3	1/4	1	1/3	0,94409	0,14464
<b>A5</b>	2	2	1/4	3	1	1,24573	0,19086

**Fonte:** Autoria própria

**Tabela 15** - Processo de hierarquização e normalização do critério C5 (Equação 10)

	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>	<b>Auto vetor</b>	<b>Autovetor normalizado</b>
<b>A1</b>	1	1/2	1/7	1/4	1/5	0,32402	0,04322
<b>A2</b>	2	1	1/7	1/3	1/4	0,47353	0,06317
<b>A3</b>	7	7	1	5	5	4,14598	0,55306
<b>A4</b>	4	3	1/5	1	1/2	1,03714	0,13835
<b>A5</b>	5	4	1/5	2	1	1,51572	0,20219

**Fonte:** Autoria própria

## APÊNDICE C – Cálculo auxiliar das distâncias euclidianas do PIS e NIS

**Tabela 16** - Cálculo da diferença do valor do PIS pelo critério, tomado par a par (Equação 16)

	<b>C1 (-)</b>	<b>C2 (-)</b>	<b>C3 (-)</b>	<b>C4 (-)</b>	<b>C5 (+)</b>
<b>A1</b>	0,00000	0,00000	0,00009	0,00000	0,00312
<b>A2</b>	0,00000	0,00005	0,00009	0,00171	0,00288
<b>A3</b>	0,00126	0,001945	0,00000	0,03711	0,00000
<b>A4</b>	0,00002	0,00060	0,00004	0,00011	0,00206
<b>A5</b>	0,00015	0,00153	0,00004	0,00267	0,00148

**Fonte:** Autoria própria

**Tabela 17** - Cálculo da diferença do valor do NIS pelo critério, tomado par a par (Equação 17)

	<b>C1 (-)</b>	<b>C2 (-)</b>	<b>C3 (-)</b>	<b>C4 (-)</b>	<b>C5 (+)</b>
<b>A1</b>	0,00114	0,01945	0,00000	0,03711	0,00000
<b>A2</b>	0,00126	0,01759	0,00000	0,02289	0,00000
<b>A3</b>	0,00000	0,00000	0,00009	0,00000	0,00312
<b>A4</b>	0,00094	0,01323	0,00001	0,03321	0,00011
<b>A5</b>	0,00054	0,01008	0,00001	0,01986	0,00030

**Fonte:** Autoria própria

**APÊNDICE D** – Cálculo auxiliar das similaridades relativas das alternativas

**Tabela 18** – Valores dos parâmetros para obtenção da similaridade relativa (Equação 18)

	$d_i^+$	$d_i^-$	$d_i^+ + d_i^-$	$\xi_i$	Rank
<b>A1</b>	0,05668	0,24018	0,29687	0,80906	1
<b>A2</b>	0,06874	0,20430	0,27304	0,74823	3
<b>A3</b>	0,24043	0,05666	0,29709	0,19070	5
<b>A4</b>	0,05320	0,21797	0,27116	0,80382	2
<b>A5</b>	0,07659	0,17547	0,25206	0,69614	4

**Fonte:** Autoria própria