

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS CURITIBA
ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO
ENGENHARIA ELÉTRICA**

ANDRÉ FINCO DE OLIVEIRA
TAICIMARA FERREIRA BONORA
THIAGO DE ALMEIDA KLOSS

**MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO AHP APLICADO NA GESTÃO DA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS
DE CONSUMO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2020

ANDRÉ FINCO DE OLIVEIRA
TAICIMARA FERREIRA BONORA
THIAGO DE ALMEIDA KLOSS

**MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO AHP APLICADO NA GESTÃO DA
MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS
DE CONSUMO**

Trabalho de Conclusão de Curso de apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Curitiba.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues
Coorientador: Prof. Dr. Eduardo de Freitas Rocha Loures

CURITIBA
2020



FOLHA DE APROVAÇÃO

MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO AHP APLICADO NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS DE CONSUMO

ANDRÉ FINCO DE OLIVEIRA
TAICIMARA FERREIRA BONORA
THIAGO DE ALMEIDA KLOSS

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção dos Títulos de Engenheiro de Controle e Automação e Engenheiro Eletricista, dos cursos de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 10 de novembro de 2020.

Prof. Paulo Sérgio Walenia, Esp.
Coordenador de Curso
Engenharia de Controle e Automação

Prof. Antonio Carlos Pinho, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

Prof. Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Coorientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Eduardo de Freitas Rocha Loures, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Marcelo Rodrigues, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DOS CURSOS DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO E ENGENHARIA ELÉTRICA

RESUMO

OLIVEIRA, ANDRÉ; BONORA, TAICIMARA; KLOSS, THIAGO. **MÉTODO DE TOMADA DE DECISÃO AHP APLICADO NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE BENS DE CONSUMO**. 2020. 102 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

O relatório “A situação da manutenção no Brasil” ABRAMAN (2017), relata que o setor eletroeletrônico obteve 136 bilhões de reais de faturamento líquido no ano de 2017. Deste total, aproximadamente 9,52 bilhões de reais (7%) foram destinados à manutenção industrial. Considerando a alta quantidade de recursos financeiros alocados para este fim, a manutenção possui função estratégica em uma indústria, pois é responsável pela disponibilidade dos ativos e está diretamente relacionada com a produtividade, confiabilidade e resultados da empresa. Portanto, para que a tomada de decisão no planejamento estratégico de manutenção de uma indústria seja realizada em consonância com os objetivos internos estabelecidos, modelos matemáticos de tomada de decisão tornam-se essenciais. Com o objetivo de auxiliar no aprimoramento da gestão de manutenção de uma máquina termoformadora do processo de termoformagem em uma indústria de bens de consumo localizada na cidade de Curitiba – PR, aplicou-se o método hierárquico decisório AHP (Analytic Hierarchy Process). O resultado obtido foi que a manutenção preditiva é a estratégia de manutenção mais adequada a ser empregada no equipamento, com um peso relativo de 40,45% em comparação com as outras estratégias. Tal resultado encontra-se alinhado com a postura atual da fábrica em relação ao ativo, e expande as possibilidades de implementação de novas técnicas de manutenção preditiva para acompanhamento da máquina em questão.

Palavras-chave: AHP. Manutenção Industrial. Termoformadora. Tomada de Decisão.

ABSTRACT

OLIVEIRA, ANDRÉ; BONORA, TAICIMARA; KLOSS, THIAGO. **AHP DECISION MAKING METHOD APPLIED IN INDUSTRIAL MAINTENANCE MANAGEMENT: CASE STUDY IN A CONSUMER GOODS COMPANY**. 2020. 102 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação – Cursos de Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

The report “A situação da manutenção no Brasil” ABRAMAN (2017), reports that the electronics sector obtained 136 billion reais in net sales in 2017. Of this total, approximately 9.52 billion reais (7%) were allocated to industrial maintenance. Considering the high amount of financial resources allocated for this purpose, maintenance has a strategic function in an industry, as it is responsible for the availability of assets and it is directly related to the productivity, reliability and results of the company. Therefore, for decision-making in the strategic planning of maintenance in an industry, to be carried out according to the established internal objectives, mathematical models of decision making become essential. In order to assist in improving the decision-making process in the maintenance management of a thermoforming machine for the thermoforming process in a consumer goods industry located in the city of Curitiba - PR, the hierarchical decision-making method AHP (Analytic Hierarchy Process) was applied. The result obtained was that predictive maintenance is the most appropriate maintenance strategy to be used on the equipment, with a relative weight of 40.45% compared to other strategies. This result is aligned with the current position of the factory in relation to the asset, and expands the possibilities of deploying new predictive maintenance techniques to monitor the machine concerned.

Keywords: AHP. Decision-making process. Industrial Maintenance. Thermoformer.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Protocolo de pesquisa | 19 |
| Figura 2 – Tipos de manutenção e suas proporções conforme padrões de manutenção centrada na confiabilidade | 28 |
| Figura 3 – Modelo de estrutura hierárquica do AHP | 36 |
| Figura 4 – Resultados da matriz de julgamento genérica | 42 |
| Figura 5 – Fluxograma do processo produtivo de termoformagem | 47 |
| Figura 6 – Indicador de tipos de serviços de manutenção da máquina termoformadora | 49 |
| Figura 7 – Indicador de natureza das intervenções na máquina termoformadora | 50 |
| Figura 8 – Indicador de tempo empregado por natureza de serviço na máquina termoformadora | 51 |
| Figura 9 – Estrutura hierárquica composta das variáveis selecionadas | 56 |
| Figura 10 – Resultado global do método decisório hierárquico AHP de cada avaliador | 60 |
| Figura 11 – Agregação Individual de Prioridades (AIP) | 66 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|---|----|
| Quadro 1 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Negócio" na composição da estrutura hierárquica do AHP | 52 |
| Quadro 2 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Segurança" na composição da estrutura hierárquica do AHP | 53 |
| Quadro 3 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Confiabilidade" na composição da estrutura hierárquica do AHP | 54 |
| Quadro 4 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Custo" na composição da estrutura hierárquica do AHP | 54 |
| Quadro 5 – Experiência profissional dos avaliadores | 57 |
| Quadro 6 – Pesos relativos aos critérios e alternativas para o avaliador A1 | 62 |
| Quadro 7 – Pesos relativos aos critérios e alternativas para o avaliador A2 | 63 |
| Quadro 8 – Pesos relativos aos critérios e alternativas para o avaliador A3 | 64 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Controle da manutenção: tipos de manutenção | 16 |
| Tabela 2 – Custos com manutenção por tipo de indústria | 18 |
| Tabela 3 – Escala numérica de Saaty | 37 |
| Tabela 4 – Matriz de julgamento genérica | 38 |
| Tabela 5 – Matriz de julgamento genérica normalizada | 39 |
| Tabela 6 – Vetor de prioridades da matriz de julgamento genérica | 40 |
| Tabela 7 – Valores de IR para matrizes de diferentes tamanhos | 41 |
| Tabela 8 – Indicadores da máquina termoformadora | 48 |
| Tabela 9 – Relatório geral de manutenção da máquina termoformadora (Novembro/2018 a Novembro/2019) | 51 |
| Tabela 10 – Resultado global do método decisório hierárquico AHP de cada avaliador | 60 |
| Tabela 11 – Agregação Individual de Prioridades (AIP) | 65 |
| Tabela 12 – Classificação ordenada das estratégias de manutenção | 66 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

| | |
|---------|---|
| ABRAMAN | Associação Brasileira de Manutenção |
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo de decisão hierárquica) |
| AIP | <i>Aggregating Individual Priorities</i> (Agregação Individual de Prioridades) |
| FMECA | <i>Failure Mode, Effects & Criticality Analysis</i> (Análise do Modo de Falhas, Efeitos e Criticidades) |
| IC | Índice de Consistência |
| MCDM | <i>Multi Criteria Decision Making</i> (Métodos De Decisão Multicritérios) |
| MTBF | <i>Mean Time Between Failures</i> (Tempo Médio Entre Falhas) |
| MTTR | <i>Mean Time To Repair</i> (Tempo Médio Para Reparo) |
| OEE | <i>Overall Equipment Effectiveness</i> (Eficiência Global do Equipamento) |
| RC | Razão de Consistência |
| TPM | <i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total) |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 TEMA | 14 |
| 1.1.1 Delimitação Do Tema | 14 |
| 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS | 15 |
| 1.3.1 Objetivo Geral | 15 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.4 JUSTIFICATIVA | 15 |
| 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 19 |
| 1.5.1 Protocolo De Pesquisa | 19 |
| 1.5.2 Escolha Do Método AHP | 20 |
| 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO | 21 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 22 |
| 2.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO | 22 |
| 2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO | 23 |
| 2.2.1 Manutenção Autônoma | 23 |
| 2.2.2 Manutenção Corretiva | 24 |
| 2.2.3 Manutenção Preditiva | 25 |
| 2.2.4 Manutenção Preventiva | 25 |
| 2.3 INDICADORES DE MANUTENÇÃO | 26 |
| 2.3.1 Distribuição De Atividades Por Tipo De Manutenção | 27 |
| 2.3.2 Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) | 28 |
| 2.3.3 Tempo Médio Para Reparo (MTTR) | 29 |
| 2.3.4 Disponibilidade Inerente | 29 |
| 2.3.5 Taxa De Falhas | 30 |

| | |
|--|-----------|
| 2.3.6 Confiabilidade De Equipamentos | 30 |
| 2.4 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO | 31 |
| 2.5 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS (MCDM) | 32 |
| 2.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO | 33 |
| 3 MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO – AHP | 35 |
| 3.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO | 35 |
| 3.2 CONSTRUÇÃO DE HIERARQUIAS | 35 |
| 3.3 DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES | 36 |
| 3.3.1 O Vetor De Prioridades | 38 |
| 3.3.1.1 Normalização | 38 |
| 3.3.1.2 Obtenção do vetor de prioridades | 39 |
| 3.4 CONSISTÊNCIA LÓGICA | 40 |
| 3.5 AGREGAÇÃO DE JULGAMENTOS | 43 |
| 3.5.1 Solução A Partir De Um Grupo De Pessoas | 43 |
| 3.5.2 Método AIP | 43 |
| 3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO AHP NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL | 44 |
| 3.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO | 45 |
| 4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO | 46 |
| 4.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO | 46 |
| 4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE TERMOFORMAGEM | 46 |
| 4.3 ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO DA MÁQUINA TERMOFORMADORA | 47 |
| 4.4 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA COMPOSIÇÃO DO MÉTODO AHP | 52 |
| 4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP | 57 |
| 4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO | 58 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 60 |
| 5.1 AGREGAÇÃO INDIVIDUAL DE PRIORIDADES (AIP) | 65 |

| | |
|---|-----------|
| 5.2 COMPARAÇÃO ENTRE A ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO OBTIDA PELO MÉTODO AHP E A ADOTADA PELA EMPRESA | 67 |
| 5.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO | 68 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 69 |
| 6.1 CONCLUSÕES | 69 |
| 6.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS | 70 |
| REFERÊNCIAS | 71 |
| APÊNDICE A – PREMISSAS PARA OS JULGAMENTOS DAS MATRIZES | 76 |
| APÊNDICE B – MATRIZES DE COMPARAÇÕES RELATIVAS AO AVALIADOR | |
| A1 | 78 |
| APÊNDICE C – MATRIZES DE COMPARAÇÕES RELATIVAS AO AVALIADOR | |
| A2 | 86 |
| APÊNDICE D – MATRIZES DE COMPARAÇÕES RELATIVAS AO AVALIADOR | |
| A3 | 94 |

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, a manutenção é vista como um fator gerador de custos para as empresas. No Brasil, em 2017, o custo da manutenção representou em média 4% do faturamento bruto das empresas, destacando-se no setor de eletroeletrônicos, onde 7% da receita anual destinou-se a suprir os custos com manutenção (ABRAMAN, 2017).

Entretanto, em um cenário de economia globalizada, a crescente competitividade em manufatura exige técnicas otimizadas nos processos produtivos, objetivando melhorias e redução de custos. Essas técnicas requerem o acréscimo de equipamentos e processos, ampliando a importância da manutenção (SIQUEIRA, 2009). Logo, a estratégia de manutenção tornou-se uma modalidade de vantagem competitiva em manufatura (MENDES, 2011), já que está interligada com a produtividade, que depende da disponibilidade dos sistemas de produção (RAPOSO, 2011; RAMOS FILHO et al., 2010).

A manutenção, como função estratégica das organizações, é responsável direta pela disponibilidade dos ativos e tem importância capital nos resultados da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a gestão da manutenção (OTANI e MACHADO, 2008). Para uma adequada gestão da manutenção industrial, necessita-se da aplicação de técnicas e estratégias (preventiva, preditiva e corretiva) conforme a funcionalidade e modo de operação de cada ativo presente na unidade fabril, buscando garantir o desempenho e produtividade adequada em conjunto com a preservação do tempo de vida do maquinário.

Devido à evolução contínua de tecnologias, competitividade global, e normas de segurança, as indústrias vêm sofrendo desafios para otimizar as suas operações e ainda assim obter uma gestão de manutenção robusta. Como consequência disso, a manutenção industrial ganhou reconhecimento em várias áreas da indústria nas últimas décadas. Com o aumento da automação e mecanização os processos de produção se tornaram mais sensíveis aos equipamentos e às pessoas que participam diretamente na manufatura (VELMURUGAN e DHINGRA, 2015).

Sendo assim, a manutenção de uma planta tem a função de manter qualquer equipamento ou máquina na linha de produção funcionando e também prevenir qualquer tipo de falha que a impeça de realizar o seu trabalho designado. Portanto, para que uma empresa consiga sobreviver e manter a sua competitividade no mercado, é necessário que as suas fábricas sejam funcionais e com segurança de funcionamento de suas máquinas (BENNETT, 2006; VELMURUGAN e DHINGRA, 2015).

Além de garantir a estabilidade do equipamento, a manutenção tem como função otimizar os custos de manutenção e garantir a máxima produção. Assim, a manutenção deve ser vista como uma função estratégica na empresa onde deve-se analisar a implementação de estratégias que garantirão a máxima performance na gestão de ativos da indústria. (VELMURUGAN e DHINGRA, 2015).

O processo decisório pode ser definido como o procedimento de coleta de informações, atribuição de importância às informações coletadas, busca de possíveis alternativas de solução e, por fim, ato de dar solução, isto é, deliberar e tomar decisão (GOMES L.; GOMES C., 2014).

A tomada de decisão, embora complexa, não é visto como um problema sem ferramentas auxiliadoras dos decisores em suas escolhas. O método *Analytic Hierarchy Process* – AHP (Processo de Decisão Hierárquica), desenvolvido por Thomas L. Saaty no início da década de 1970, este método de decisão multicritério é amplamente aplicado para solucionar problemas de decisão que envolvam multicritérios, no qual o decisor atribui importância relativa para cada critério e então especifica a preferência por cada alternativa (ISHIZAKA, 2011; ANDRADE; ALBUQUERQUE, 2012; RODRIGUEZ; COSTA; CARMO, 2013).

Portanto, tendo conhecimento da importância da confiabilidade das ações e julgamentos no ambiente da manutenção industrial e com base no método decisório AHP, este trabalho visa aplicar o mesmo para auxílio na tomada de decisão para a seleção apropriada estratégia de manutenção a ser empregada em uma indústria de bens de consumo localizada na cidade de Curitiba – PR.

1.1 TEMA

Este estudo visa identificar através do método decisório AHP qual a estratégia de manutenção prioritária a ser aplicada em uma máquina termoformadora, pertencente ao processo de termoformagem, que é responsável por moldar lâminas de poliestireno utilizando pressão e calor.

1.1.1 Delimitação Do Tema

Estudo realizado no setor secundário que é composto por indústrias da área metalúrgica para produção de bens de consumo.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A atividade manutenção possui um papel significativo para a organização, visto que objetiva garantir a disponibilidade dos ativos da empresa, priorizando-se sempre os seguintes aspectos: custo de manutenção, produtividade, qualidade, meio ambiente e segurança.

As estratégias atualmente adotadas para a manutenção da termoformadora não foram realizadas com base em um diagnóstico fundamentado em dados do equipamento, pois trata-se de uma máquina nova. Além disto, foram feitas de forma subjetiva, ou seja, foram calcadas na experiência da equipe de manutenção, levando-se em consideração outros equipamentos similares à termoformadora do presente estudo.

Em se tratando de uma máquina moderna e com muitas tecnologias envolvidas, uma possível decisão inadequada para a definição das estratégias de manutenção para cada equipamento pode acarretar em custos e redução da disponibilidade do ativo, sendo assim, faz-se necessário realizar as manutenções de maneira eficiente, aplicando-se métodos decisórios que apoiem as tomadas de decisões da gestão das atividades e que otimizem os recursos que serão aplicados na execução.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Selecionar a estratégia de manutenção prioritária para uma máquina termoformadora pertencente ao processo de termoformagem por meio da aplicação do método hierárquico decisório AHP.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) investigar o fluxo do processo produtivo de termoformagem;
- b) obter o histórico das atividades de manutenção executadas na máquina termoformadora;
- c) analisar os indicadores de desempenho de manutenção do ativo em questão;
- d) aplicar o método decisório hierárquico AHP como ferramenta de apoio à tomada de decisão;
- e) definir a estratégia ótima para a manutenção do equipamento com base nos resultados extraídos da matriz de julgamento;
- f) verificar a convergência entre a estratégia atualmente adotada para a manutenção da termoformadora e a obtida pelo método AHP.

1.4 JUSTIFICATIVA

No cenário atual, as tomadas de decisões para a definição das melhores estratégias de manutenção são baseadas em decisões e experiências de analistas e especialistas de manutenção, no entanto, são experiências baseadas em equipamentos mais antigos e com menos tecnologias quando comparados à termoformadora.

As estratégias de manutenção para o ativo em estudo podem não ser ideais ou mais adequadas de manutenção, sendo assim, utilizar um método decisório para a definição das melhores estratégias contribui para uma boa alocação de recursos

destinados à manutenção, auxilia no planejamento de manutenção e melhora a gestão da manutenção como um todo.

De acordo com dados fornecidos pela Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN), observa-se que os setores da indústria, com exceção da indústria de papel, celulose e plástico, têm distribuído os seus recursos e atividades, majoritariamente, às manutenções corretivas e manutenções preventivas baseadas no tempo de uso do equipamento (ABRAMAN, 2017).

Tabela 1 – Controle da manutenção: tipos de manutenção

| Setores | Trabalho em Manutenção Corretiva | Trabalho em Manutenção Preventiva Baseada no Tempo | Trabalho em Manutenção Preventiva Baseada no Estado (Preditiva) | Outras Atividades de Manutenção |
|---|----------------------------------|--|---|---------------------------------|
| Açúcar e Alcool, Alimentício e Bebidas | 42% | 40% | 18% | 0% |
| Aeronáutico e Automotivo | 42% | 48% | 4% | 5% |
| Eletroeletrônico – Energia Elétrica | 28% | 44% | 12% | 16% |
| Químico e Saneamento | 25% | 50% | 20% | 5% |
| Mineração e Siderúrgico | 60% | 23% | 13% | 5% |
| Petróleo e Petroquímico | 47% | 39% | 14% | 0% |
| Papel Celulose e Plástico | 24% | 31% | 31% | 14% |
| Predial e Prestação de Serviços (EQ e MO) | 45% | 44% | 5% | 6% |
| Máquinas e Equipamentos - Metalúrgicos | 25% | 48% | 7% | 20% |
| Média Geral | 38% | 41% | 14% | 8% |

Fonte: Adaptado do Documento Nacional, ABRAMAN (2017).

Para uma estratégia de manutenção corretiva, os gastos estão associados a alto custo de peças de reposição em estoque, custo de hora extra para manutenção de máquinas, além dos custos associados à baixa produção devido ao tempo de ociosidade do equipamento diante de uma falha.

Como não existem métodos de antecipação de falhas ao se adotar uma estratégia de manutenção corretiva em equipamentos, a tomada de decisão na manutenção tem grande impacto nos custos da produção dos produtos. Tal característica também se aplica à manutenção preventiva.

Se não houver um plano de manutenção e uma gestão correta em relação aos equipamentos, grande parte dos custos podem ser destinados à reparos desnecessários, desperdício de material, além do risco de mesmo com manutenção preventiva o equipamento vir a quebrar antes da data de revisão, sendo necessário recorrer à manutenção corretiva (VELMURUGAN e DHINGRA, 2015).

Ainda de acordo com o relatório “A situação da manutenção no Brasil” ABRAMAN (2017), 7% dos custos de empresas de Eletroeletrônicos foram destinados à manutenção. Conforme dados da ABINEE, o lucro do setor de eletroeletrônica em 2018 foi de R\$ 136 bilhões de reais, assim, cerca de 9,52 bilhões de reais foram gastos com a manutenção nessas indústrias.

Tabela 2 – Custos com manutenção por tipo de indústria

| Setores | Custo Manutenção/ Faturamento | Custo Manutenção/ Valor Imobilizado | Custo relativo Pessoal próprio | Custo relativo ao Material | Custo relativo à contratação |
|--|--|--|---|---------------------------------------|---|
| Açúcar e Alcool, Alimentício e Bebidas | 4% | 6% | 40% | 40% | 20% |
| Aeronáutico e Automotivo | 3% | 13% | 54% | 32% | 15% |
| Eletroeletrônicos – Energia Elétrica | 7% | 6% | 44% | 29% | 27% |
| Químico e Saneamento | 5% | 5% | 46% | 38% | 16% |
| Mineração e Siderúrgico | 5% | 10% | 50% | 37% | 14% |
| Petróleo e Petroquímico | 4% | 15% | 41% | 31% | 28% |
| Papel e Celulose e Plástico | 3% | 8% | 39% | 49% | 12% |
| Predial e Prestação de Serviços (EQ e MO) | 4% | 4% | 49% | 23% | 28% |
| Máquinas e Equipamentos - Metalúrgico | 3% | 1% | 51% | 37% | 12% |
| Média Geral | 3% | 7% | 46% | 35% | 19% |

Fonte: Adaptado do Documento Nacional, ABRAMAN (2017).

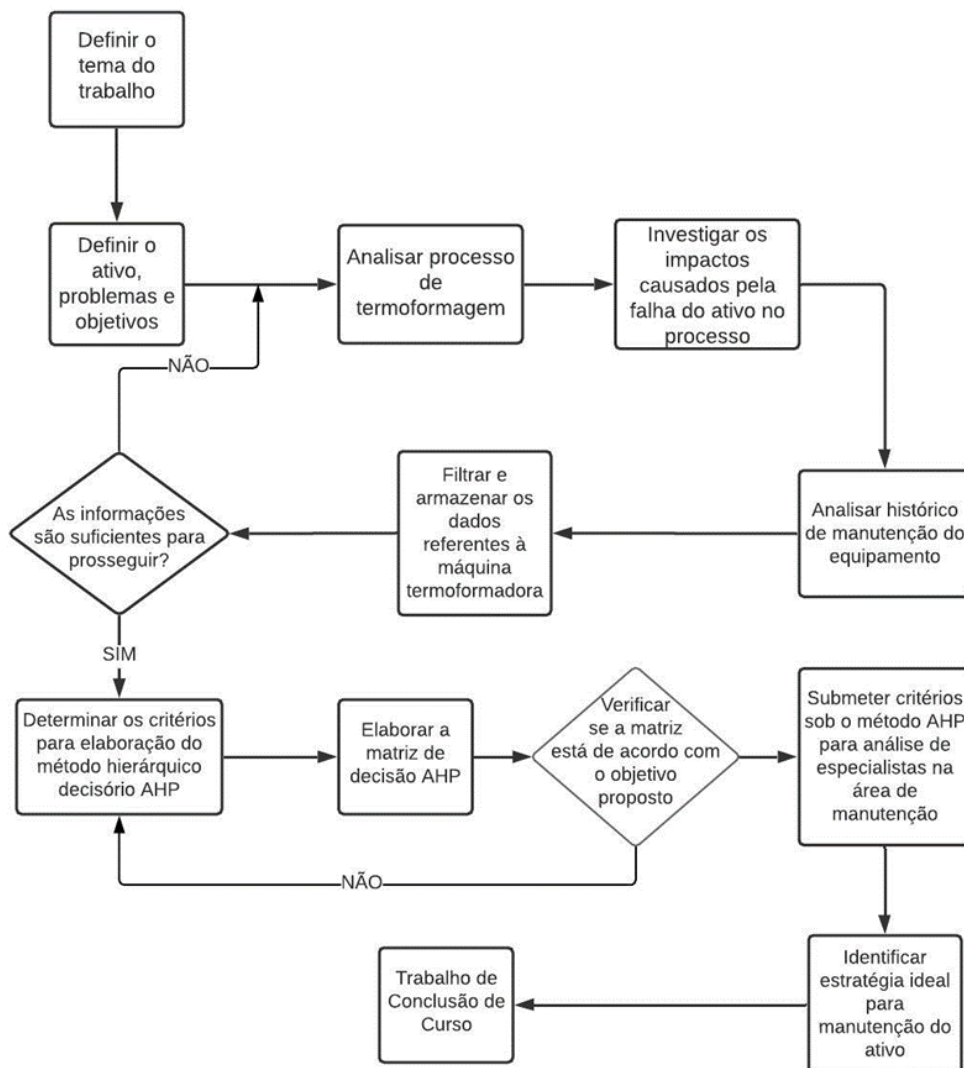
A partir dessa análise é evidente que as medidas de decisões na gestão de manutenção dos ativos de uma indústria sejam elaboradas observando os fatores ligados ao funcionamento de um equipamento, a sua operação e sua função na fábrica, através de um sistema de priorização de critérios, com o objetivo de otimizar a atuação da manutenção e minimizar os custos envolvidos na execução de suas atividades.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

1.5.1 Protocolo De Pesquisa

Elaborou-se um protocolo de pesquisa que evidencia os passos adotados para a realização deste trabalho. Essa pesquisa é classificada como aplicada e tem como objetivo gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas para solução de problemas específicos.

Figura 1 – Protocolo de pesquisa



Fonte: Autoria própria (2019).

A primeira etapa refere-se aos procedimentos fundamentais para a elaboração da proposta de trabalho de conclusão de curso. Nesta etapa, definiu-se o tema a ser estudado, o problema a ser solucionado e os objetivos a serem concluídos.

Em seguida, realiza-se a análise do processo de produção em geral, além da avaliação do impacto causado pela falha do ativo em questão, o custo gerado para a sua manutenção corretiva, preventiva e preditiva, a parada de produção, a frequência de falhas e também a consequência da manutenção do ativo no processo.

A terceira etapa consiste na determinação de variáveis e critérios para elaboração da matriz de decisão AHP em conjunto com profissionais da área de manutenção, que determinaram os pesos e critérios mais adequados na estruturação da matriz. Os critérios foram determinados com base no banco de dados criado na etapa anterior, na qual foram analisados o processo de termoformagem, o histórico de manutenção do equipamento e os indicadores da máquina termoformadora.

Seguindo o protocolo de pesquisa, na última etapa, é feita a validação da eficácia dos critérios e valores atribuídos na matriz de decisão, juntamente com a definição do método de gestão da manutenção do ativo, e o compartilhamento dos resultados da pesquisa pelo formato de trabalho de conclusão de curso.

1.5.2 Escolha Do Método AHP

Para a modelagem matemática do problema proposto pelo trabalho, utilizou-se o método de decisão multicritério AHP, pois é um método que permite que o decisor faça os julgamentos paritários de acordo com as suas preferências e ao final da análise é possível realizar uma verificação de consistência, apontando os julgamentos como coerentes ou não. Além disso, pôr os julgamentos serem realizados em pares, torna-se mais fácil para a mente humana realizar as comparações tendo uma referência (JÚNIOR, 2015).

O método AHP também permite visualizar e apoiar a decisão de problemas que envolvam um único equipamento, sem depender de outras informações não relacionadas diretamente ao ativo. Por fim, como consequência dos julgamentos paritários, o método AHP é de fácil aceitação pelos envolvidos no processo, pois os

decisores sentem-se envolvidos na etapa e podem expressar suas preferencias, o que torna o processo transparente para todos (JÚNIOR, 2015).

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi dividido em 6 capítulos. O primeiro é composto por uma introdução ao tema, que evidencia a abrangência da área de pesquisa e atuação, o problema e a importância de estudá-lo, quais os objetivos alcançados e quais procedimentos adotados para que fosse possível atingi-los.

O segundo capítulo é destinado à revisão bibliográfica do tema, onde são trazidas referências que abordem tópicos de manutenção como a manutenção corretiva, preventiva, preditiva, autônoma, custos e impactos referentes à gestão da manutenção industrial e indicadores de desempenho da manutenção. Realiza-se também um referencial teórico sobre o processo de tomada de decisão e métodos de decisão multicritérios. Os principais autores consultados são: Keith Mobley, Mario Otani, Waltair Machado, Alan Kardec, Júlio Nascif, Robson Alves, Orandi Falsarella, Thomas Saaty, Edward Russo entre outros.

No terceiro capítulo, utilizou-se referencial teórico e aprofundou-se na análise detalhada do método AHP e sua utilização no auxílio de tomadas de decisões na manutenção industrial.

No quarto capítulo, é feito o mapeamento e descrição do processo de termoformagem na linha de produção, a análise dos indicadores relacionados ao ativo, a determinação das variáveis para a elaboração do método AHP e a aplicação do método.

No quinto capítulo realiza-se a comparação entre os resultados obtidos na aplicação do método, e a estratégia de manutenção adotada pela empresa na máquina termoformadora.

No sexto capítulo são descritas as conclusões do trabalho e propostas para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

A função da manutenção é definida como o conjunto de ações técnicas e administrativas com o objetivo de manter ou recolocar um equipamento em condições de utilização (ABNT NBR 5462, 1994).

A manutenção sofre a evolução de acordo com a evolução da indústria. A primeira geração de evolução da manutenção industrial, que se iniciou no começo do século XX, é marcada pela a manutenção corretiva, onde reparava-se o equipamento após a sua falha ou quebra, os conceitos de produtividade não eram prioridade, os equipamentos eram simples e a indústria era pouco mecanizada (NETTO, 2008).

Com equipamentos com maior vida útil, a manutenção preventiva torna-se comum na 2ª geração, da década de 1950 à década de 1970, ao considerar-se os custos de manutenções corretivas ou paralisações na produção (NETTO, 2008).

Na 3ª geração, do fim da 2ª geração ao início do século atual, as intervenções passam a ser baseadas na condição do equipamento e não somente em relação ao tempo de equipamento (KARDEC; NASCIF, 2009).

Atualmente, na 4ª geração, todas as intervenções de manutenção passam por uma análise para identificar a estratégia mais adequada para cada situação. Em 2011, na Alemanha, foi lançado durante a Feira de Hannover o projeto denominado Plataforma Indústria 4.0 (*Plattform Industrie 4.0*), com o objetivo de desenvolver sistemas automatizados de alta tecnologia que pudessem se comunicar, trocando informações/dados entre máquinas e seres humanos (SACOMANO, 2018).

Sendo assim, com as evoluções das técnicas de manutenção, a demanda de conhecimento técnico e atualização dos profissionais desta área torna-se essencial para garantir que serviços de manutenção sejam efetuados de maneira correta e que não comprometam a produtividade da indústria.

No ambiente fabril, é comum o processo de tomada de decisão estar associado a critérios de natureza qualitativa. Desta forma, métodos de decisão

multicritérios (MCDM) apresentam-se como uma ferramenta de avaliação eficiente, que mitiga a incerteza e subjetividade durante a análise (BARAN, 2014).

Este capítulo aborda e exemplifica estratégias e indicadores de manutenção industrial que são importantes para a construção da matriz de decisão do método AHP. Além disso, conceitua o processo de tomada de decisão e lista os principais métodos de decisão multicritérios que podem ser empregados em problemas desta natureza.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

De acordo com Viana (2002), as formas como são feitas as intervenções em um equipamento ou instrumento de produção são determinadas pelos tipos de manutenção presentes no cenário industrial, sendo elas divididas conforme a ABNT NBR 5462. A seguir, detalham-se as estratégias de manutenção autônoma, corretiva, preditiva e preventiva.

2.2.1 Manutenção Autônoma

A aplicação de manutenção autônoma no meio industrial tem como objetivo utilizar o tempo e a mão de obra do operador para efetuar atividades de manutenção cotidianas de pequeno impacto e conseqüentemente aproveitar momentos de ociosidade e desperdício de tempo para otimizar gestão de manutenção dos ativos da fábrica (CARVALHO, et al., 2019).

Segundo Carvalho (2019), visando a redução de custos com paradas de equipamentos, as empresas buscam desenvolver estratégias para diminuir intervenções nos equipamentos e, através da manutenção autônoma, torna-se possível que o próprio operador realize a intervenção do equipamento sem a necessidade da ação, através da manutenção corretiva, do departamento de manutenção da fábrica, que pode gerar interrupções na linha de produção e queda de produtividade.

O ponto chave da aplicação da manutenção autônoma é a formação e capacitação dos operadores de produção, para que eles sejam capazes de identificar as anomalias nos equipamentos e tomar decisões frente às diversas situações, melhorando as práticas de manutenção da planta, descartando intervenções desnecessárias e prevenindo paradas de linha ou perda de ativos. Essa prática é utilizada por empresas com foco na redução de custos de manutenção, segurança dos trabalhadores e confiabilidade do processo. Apesar de existir uma resistência inicial por parte dos operadores na implementação da manutenção autônoma, a mudança de cultura permite a otimização da gestão da manutenção da fábrica (CARVALHO, et al., 2019).

2.2.2 Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva atua em um equipamento na ocorrência de duas situações: quando o equipamento apresenta uma falha que gera uma pane immobilizante, ou quando o equipamento apresenta um desempenho abaixo do esperado (ALVES 2012).

De acordo com Mobley (2002), a manutenção corretiva é o tipo de manutenção com o potencial de maior custo relacionado à manutenção industrial devido a necessidade de garantir inventário de peças de reposição para os equipamentos, a parada de produção para realização da manutenção do equipamento e o risco de uma falha acarretar em outros problemas que poderiam ter sido evitados pela manutenção preventiva por exemplo.

A manutenção corretiva é utilizada quando a disponibilidade do equipamento, o tempo de reparo e o custo de reparo não são as prioridades da empresa. Para que a técnica seja eficiente, é necessário ter em estoque várias peças de reposição e profissionais capacitados para realizar a manutenção de maneira rápida e correta. A técnica pode em alguns casos colaborar para redução de custos de manutenção, caso a intervenção corretiva no equipamento, tenha menor custo do que manter uma rotina de manutenção preventiva ou preditiva (RASHIDPOUR, 2013).

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva assemelha-se com a manutenção preventiva, utilizando critérios de condições dos equipamentos ao invés de tempo de uso para tomar ações. O acompanhamento do equipamento é feito pela tomada de medidas enquanto o equipamento está em pleno funcionamento, assim é possível prever a falha do equipamento e estruturar a manutenção corretiva planejada, sem que haja impacto na performance do processo industrial (GUIMARÃES, et al., 2012).

O planejamento da manutenção preditiva visa garantir que a máquina opere sem ocorrência de falhas. Como existe o planejamento, a tendência é que a manutenção preditiva seja mais segura, mais rápida e otimize os processos industriais da fábrica (DENARDIM, et al., 2010).

A manutenção preditiva tem como objetivo otimizar a troca de peças, estender o intervalo de manutenção dos equipamentos e a vida útil do equipamento, diminuir os custos gerados por manutenções desnecessárias. É necessário investimento em equipamentos de monitoramento para garantir a implementação otimizada esta estratégia, porém o retorno na lucratividade da indústria tende a aumentar com a diminuição de parada de produção e troca de peças (MÜLLER; DIESEL; SELLITO, 2010).

A implementação da manutenção preditiva permite a eliminação de falhas graves em equipamentos, podendo realizar manutenções pontuais com os menores custos possíveis, diminuindo também inventário de peças de reposição. Esse modelo é adotado por empresas que tem como objetivo a otimização das operações, aumento da confiabilidade e segurança da planta. (RASHIDPOUR, 2013).

2.2.4 Manutenção Preventiva

A manutenção preventiva é uma manutenção previamente planejada, que é regida principalmente pelo tempo de uso de um equipamento, baseando-se nos históricos de quebra do equipamento ou de revisões periódicas especificadas para o equipamento e seus componentes. Assim é estabelecido revisões periódicas com a

finalidade de garantir o funcionamento do equipamento por um período de tempo pré-determinado.

Para Martins (2008), a manutenção preventiva pode ser categorizada como um conjunto de atividades com o objetivo de evitar falha nas máquinas e equipamentos de um processo, garantindo o desempenho esperado. Para a otimização da mesma, são necessárias informações a respeito das instalações, dados sobre o equipamento, fornecidos pelo fabricante, histórico de manutenção e falhas e inspeções cíclicas dos equipamentos e instalações.

Assim, de acordo com a NBR 5462:1994, manutenção preventiva é caracterizada por serviços cuja realização seja programada com antecedência, priorizando as solicitações dos usuários, estimativas da durabilidade esperada dos sistemas, elementos ou componentes das edificações em uso, gravidade e urgência, e relatórios de verificações periódicas sobre o seu estado de degradação.

Porém, segundo Guimarães (2012), a manutenção preventiva tem um lado negativo visto que pode introduzir defeitos não existentes no equipamento devido às:

- a) falhas humanas;
- b) falhas nos componentes sobressalentes;
- c) falhas ocasionadas durante partidas e paradas dos equipamentos;
- d) falhas nos procedimentos de manutenção.

De acordo com Rashidpour (2013), o método de manutenção preventiva estenderá a vida útil do equipamento e diminuirá as ocorrências de falhas, convertendo isso em economia em reparos e aquisição de novos equipamentos na indústria. Portanto, uma gestão de manutenção baseada em diminuição de custos adotará um sistema de gestão com foco em manutenção preventiva.

2.3 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

Os indicadores são métricas que avaliam e melhoram a eficácia, eficiência e sustentabilidade na manutenção dos ativos na indústria. Esses indicadores devem ser usados para:

- a) medir o status;
- b) comparar (*benchmarks* internos e externos);
- c) diagnosticar (análise de pontos fortes e fracos);
- d) identificar objetivos e definir metas a serem alcançadas;
- e) planejar ações de melhoria;
- f) medir continuamente as mudanças ao longo do tempo.

Os indicadores podem ser medidas quantitativas ou qualitativas de uma característica ou conjunto de características de um fenômeno ou desempenho de atividades, de acordo com critérios definidos (EUROPEAN STANDARD BS EN 15341:2019).

Existem diversos indicadores pré-estabelecidos para que se possa ter um bom acompanhamento das atividades da manutenção. A função dos indicadores é quantificar o processo da manutenção, ou seja, tornar possível a mensuração das ações e estratégias tomadas e, assim, facilitar também a criação de um panorama geral da manutenção mais conciso e coeso (PIMENTEL, 2012).

2.3.1 Distribuição De Atividades Por Tipo De Manutenção

Segundo Teles (2019), esse é um indicador que demonstra qual o valor em percentual cada tipo de manutenção é desenvolvido. Em muitos países de primeiro mundo, considera-se que manutenção corretiva não planejada deve ficar restrita a, no máximo, 20% do total das manutenções, e as manutenções preditivas, engenharia de manutenção e inspeções crescem.

Em uma empresa que seja referência e tenha sua manutenção centrada na confiabilidade, a distribuição para cada tipo de manutenção deverá ser feita conforme a Figura 2.

Figura 2 – Tipos de manutenção e suas proporções conforme padrões de manutenção centrada na confiabilidade



Fonte: Adaptado de TELES (2019).

Os percentuais apresentados na Figura 2 contribuem para que a empresa possa desenvolver uma estratégia de acordo com sua realidade, fazendo as adaptações necessárias para que a manutenção atinja índices de confiabilidade reconhecidos mundialmente.

2.3.2 Tempo Médio Entre Falhas (MTBF)

O MTBF da sigla em inglês *Mean Time Between Failures* é um dos indicadores mais importantes para a gestão da manutenção. Este indicador representa o intervalo entre o fim de uma falha funcional e o início de outra. O cálculo deste indicador é expresso pela soma das horas do equipamento em funcionamento, dividida pelo número de falhas do equipamento, conforme demonstrado na Equação 1 (PIMENTEL, 2012).

$$MTBF = \frac{\sum \text{Horas Em Bom Funcionamento}}{\text{Número De Falhas}} \quad (1)$$

O MTBF é aplicado para que seja feito um acompanhamento de forma mensal de um determinado ativo da linha de produção. O resultado dessa equação retorna um indicador de tempo estimado entre falhas, ou seja, quanto maior o tempo entre uma falha e outra de um determinado equipamento, melhor será o desempenho dele. A equipe de Planejamento de Controle e Manutenção (PCM) deve buscar aumentar cada vez mais o MTBF de modo a reduzir o número de manutenções corretivas (OLIVEIRA, 2014).

2.3.3 Tempo Médio Para Reparo (MTTR)

O MTTR, da sigla em inglês *Mean Time To Repair*, é o indicador que expressa a média de tempo que a equipe de manutenção leva para estabelecer novamente a operação de um item que está em falha. O MTTR está diretamente ligado com a manutenibilidade dos aparelhos e também com a capacidade da equipe de manutenção (PIMENTEL, 2012).

Este indicador, ao contrário do MTBF, pode ser utilizado de maneira global na empresa, não sendo necessário aplicá-lo para cada equipamento. A Equação 2 apresenta a fórmula para calculá-lo.

$$MTTR = \frac{\sum \text{Tempos De Raparo Das Falhas Funcionais}}{\text{Número De Intervenções Corretivas}} \quad (2)$$

2.3.4 Disponibilidade Inerente

Um dos objetivos de uma boa gestão de manutenção é garantir a disponibilidade e confiabilidade dos seus ativos. Para calcular a disponibilidade é preciso ter os valores do MTBF e MTTR e aplicá-los na Equação 3.

$$\text{Disponibilidade (\%)} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3)$$

MTBF: Tempo Médio Entre Falhas

MTTR: Tempo Médio Para Reparo

Segundo Teles (2019), os padrões considerados de “Classe Mundial” de manutenção estabelecem que o valor da disponibilidade global dos equipamentos e instalações deve ser igual ou superior a 85%.

2.3.5 Taxa De Falhas

A taxa de falhas $\lambda(x)$ mensura a frequência que um determinado equipamento apresenta falhas. É calculada pela relação entre a densidade de probabilidade de falha e a confiabilidade, conforme evidenciado pela Equação 4.

$$\text{Taxa de falhas } (\lambda(x)) = \frac{f(x)}{C(x)} \quad (4)$$

$f(x)$: Densidade de probabilidade de falha

$C(x)$: Confiabilidade

Este indicador estabelece os principais valores para que seja possível analisar o comportamento de um equipamento, contribuindo para as estratégias de manutenção (OLIVEIRA, 2014).

2.3.6 Confiabilidade De Equipamentos

A confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas durante um dado intervalo de tempo. Este indicador pode representar o bom desempenho de um sistema (BACELO, 2016).

Confiabilidade é um indicador que é medido entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo de 0, maior serão as chances de o equipamento falhar dentro de um período estipulado, e quanto mais próximo o valor for de 1, maiores serão as chances

de o equipamento desempenhar as funções previstas sem apresentar falhas funcionais (TELES, 2019).

O cálculo da confiabilidade de um determinado equipamento para taxa de falhas constante é dado pela Equação 5.

$$C(t) = e^{-\lambda_i.t} \quad (5)$$

C : Confiabilidade

λ_i : Taxa de falhas

t : Tempo futuro (expresso em horas) para qual se deseja projetar a confiabilidade

2.4 O PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO

O processo de tomada de decisão é subjetivo, onde o decisor age a partir de seus julgamentos e percepções.

De acordo com Saaty (1991), o tomador de decisão, na busca de prever ou controlar determinada situação, normalmente se depara com um sistema complexo de componentes que se relacionam entre si. Quanto maior a compreensão desse sistema, mais assertiva será a decisão.

Por conta da subjetividade inerente ao processo, Maciel, Muruyama e Ávila (2011) afirmam que a tomada de decisão é holística, isto é, difícil de separá-la em partes. Logo, qualquer metodologia de apoio à tomada de decisão deve englobar a subjetividade intrínseca ao processo de julgamento de valores realizados pelos decisores.

Russo e Schoemaker (1993) dividem o processo de tomada de decisão em quatro elementos centrais.

- a) estruturar: definir o que deve ser decidido e quais critérios são relevantes para decidir a favor de uma opção em detrimento de outra;
- b) colher informações: buscar fatores reconhecíveis, como estimativas razoáveis a respeito dos não reconhecíveis. Nesta etapa, deve-se deliberar esforços durante o processo de pesquisa para que não resultem em falhas pelo excesso de confiança no que já figura como conhecimento tácito;
- c) chegar a conclusões: deve-se chegar a conclusões não apenas por meio de critérios indutivos. Os autores destacam que mesmo com uma estrutura perfeita e boas informações, não se garante decisões corretas. é necessária uma abordagem sistemática que force o decisor a examinar o processo por várias ópticas, direcionando-o frequentemente para uma decisão precisa;
- d) aprender com o *feedback* das decisões passadas: significa que o tomador de decisão deve manter o acompanhamento daquilo que se esperava que aconteça, garantindo a revisão dos ensinamentos aprendidos pelo *feedback* do processo. Incorre na necessidade de registrar decisões e resultados anteriores.

2.5 MÉTODOS DE DECISÃO MULTICRITÉRIOS (MCDM)

A análise de decisão multicritérios é uma ferramenta valiosa na resolução de problemas caracterizados pela presença de diversos agentes, critérios e objetivos. Os problemas que utilizam métodos de decisão multicritérios (*Multi Criteria Decision Making* – MCDM) geralmente são compostos por 5 componentes, listadas abaixo.

- a) objetivo;
- b) preferências do tomador de decisão;
- c) alternativas;
- d) critérios;
- e) resultados.

Os MCDM podem ser abordados de forma direta ou indireta. Na primeira, a atribuição de prioridades é feita por contribuições do beneficiário, da sociedade ou de

alguém com conhecimento sobre o tema. Na segunda, os critérios são separados em partes e os pesos são atribuídos conforme problemas anteriores semelhantes, percepção e julgamentos do tomador de decisão, entre outros.

Problemas que envolvam MCDM são complexos, pois podem envolver fatores técnicos, institucionais, sociais, econômicos e interesses pessoais. Além disso, as análises podem levar a soluções distintas dependendo do momento de aplicação e das prioridades definidas pelos tomadores de decisão (KUMAR, et al., 2017).

Existem diversos métodos do tipo MCDM, cada um com as suas particularidades, vantagens, desvantagens e restrições. Os principais métodos são apresentados abaixo.

- a) AHP (Saaty – década de 1970);
- b) ELECTRE (Benayoun – 1966);
- c) MAUT (Edwards e Newman – 1982);
- d) PROMETHEE (Brans e Vincke – 1985);
- e) TOPSIS (Hwang e Yoon – 1981)
- f) VIKOR (Opricovic – 1998);
- g) WPM (Bridgman – 1922);
- h) WSM (Fishburn – 1967).

2.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A manutenção corretiva ainda é importante na gestão de ativos para tratar ocorrências inesperadas que causam paradas de linha e perda de produção, pois quando executada de maneira correta e rápida, ameniza as perdas e os gastos. Além disso, é uma estratégia vantajosa que deve ser alinhada junto com a manutenção autônoma para ser utilizada em equipamentos e peças de baixo valor em comparação à manutenção preventiva e preditiva.

As manutenções preventivas e preditivas, quando aplicadas de maneira adequada, em conjunto com um sistema de gestão de ativos robusto, são capazes de reduzir o número de ações corretivas e garantir o funcionamento seguro e otimizado da produção de uma indústria.

O processo de tomada de decisão é subjetivo, visto que os envolvidos agem de acordo com as suas percepções. Os métodos de decisão multicritérios são uma ferramenta eficiente para diminuir a incerteza e subjetividade inerente ao processo.

Analisar as estratégias de manutenção em conjunto com os indicadores empregados na gestão da manutenção é crucial para o desenvolvimento de um planejamento de manutenção que permita confiabilidade nas decisões e conseqüentemente resulte em um processo de produção que mantenha as suas atividades com o mínimo de interrupções.

3 MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO – AHP

3.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

Desenvolvido por Thomas L. Saaty no início da década de 1970, o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) é um método amplamente utilizado para apoio à tomada de decisão de problemas com múltiplos critérios. Esse método realiza uma análise multicriterial através do processo de ponderação ativa, no qual cada atributo é representado por meio de sua importância relativa (BEN, 2006).

Baseado no método newtoniano e cartesiano de raciocinar, o AHP busca tratar a complexidade com a decomposição e divisão do problema em fatores, que podem ser decompostos em outros fatores, até o nível mais simples, que sejam claros e dimensionáveis e se relacionem entre si para então os sintetizar (MARINS, SOUZA e BARROS, 2009). Desta forma, o AHP é fundamentado em três etapas do pensamento analítico: construção de hierarquias, definição de prioridades e verificação da consistência lógica.

Este capítulo descreve conceitualmente e matematicamente as etapas necessárias para construção da matriz hierárquica e aplicação do método AHP. Os conceitos e equações são utilizados, respectivamente, para elaborar a matriz do problema decisório proposto e calcular a contribuição de cada critério e alternativa de acordo com a concepção dos avaliadores.

3.2 CONSTRUÇÃO DE HIERARQUIAS

Neste método, o problema é estruturado em níveis hierárquicos, de modo a facilitar a compreensão e avaliação deste. Nesta fase, identificam-se os elementos chaves para a tomada de decisão, agrupando-os nos conjuntos correspondentes e alocando-os em camadas específicas.

No topo da cadeia hierárquica, encontra-se a descrição geral do problema a ser resolvido. No nível subsequente, estão os critérios (ou atributos) que serão considerados na abordagem. Esses critérios poderão ser subdivididos em

subcritérios, e assim sucessivamente. No último nível da estrutura, estão posicionadas as alternativas.

Figura 3 – Modelo de estrutura hierárquica do AHP



Fonte: RIBEIRO, PASSOS e TEIXEIRA (2012).

Isto significa que cada uma das alternativas será analisada individualmente, sob a óptica dos critérios e subcritérios presentes nas ramificações em comum.

3.3 DEFINIÇÃO DE PRIORIDADES

Após organizar a estrutura hierárquica para o problema decisório, deve-se atribuir valores relativos aos critérios. Nesta etapa, objetiva-se quantificar a importância de um critério em relação a outro, dentro de toda a abordagem. Nesta fase, de acordo com Saaty (2008), é necessário cumprir os seguintes pontos:

- a) comparação recíproca: as variáveis analisadas deverão satisfazer a condição de que se A tem um peso n vezes maior do que B , B deve ter o valor de $\frac{1}{n}$ em relação a A ;
- b) homogeneidade: os valores para julgamento das variáveis são representados conforme a escala de Saaty;
- c) independência: os valores dos critérios devem ser independentes das alternativas consideradas;

- d) expectativas: para que o método funcione, todos os critérios utilizados deverão ser considerados.

Em seguida, realizam-se os julgamentos paritários, isto é, julga-se par a par os elementos de um nível da hierarquia à luz de cada conexão em um nível superior, de modo a compor a matriz de julgamento A - exemplificada pela Tabela 4 - (TREVIZANO e FREITAS, 2005), que, de acordo com o princípio da homogeneidade, deve obedecer a escala numérica de Saaty, evidenciada pela Tabela 3.

Tabela 3 – Escala numérica de Saaty

| Escala numérica | Escala verbal | Explicação |
|------------------------|--|---|
| 1 | Ambos elementos são de igual importância | Os dois elementos contribuem da mesma maneira para o objetivo |
| 3 | Moderada importância de um elemento sobre o outro | Um elemento é ligeiramente mais importante que o outro |
| 5 | Forte importância de um elemento sobre o outro | Um elemento é mais importante que o outro |
| 7 | Importância muito forte de um elemento sobre o outro | Um elemento é muito mais importante que o outro |
| 9 | Extrema importância de um elemento sobre o outro | Um elemento é expressivamente mais importante que o outro |
| 2, 4, 6, 8 | Valores intermediários entre as opiniões adjacentes | Quando um elemento é um pouco mais importante que o outro e fica entre dois níveis de importância |

Fonte: Adaptado de SAATY (1994).

Conforme exposto pela Tabela 3, a escala fundamental de Saaty varia de 1 a 9, onde o primeiro significa a indiferença de importância de um critério em relação ao outro e o último o destaque maior da importância de um critério sobre outro, com estágios intermediários entre os extremos.

Tabela 4 – Matriz de julgamento genérica

| | Critério A | Critério B | Critério C | Critério D | Critério E |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Critério A | 1 | 1 | 3 | 5 | 7 |
| Critério B | 1 | 1 | 2 | 3 | 9 |
| Critério C | 1/3 | 1/2 | 1 | 6 | 8 |
| Critério D | 1/5 | 1/3 | 1/6 | 1 | 4 |
| Critério E | 1/7 | 1/9 | 1/8 | 1/4 | 1 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Percebe-se que os valores da diagonal principal serão sempre 1, visto que um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Os demais elementos são preenchidos conforme os julgamentos baseados na Tabela 3. Uma característica importante desta matriz é a “simetria” em relação à diagonal principal, em que elementos que tratam do julgamento entre os mesmos critérios respeitam a relação $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$, isto é, um julgamento é o inverso do outro.

3.3.1 O Vetor De Prioridades

Após o término do preenchimento da matriz de julgamento, o próximo passo é, por meio de dois estágios, a obtenção do vetor prioridade. Cada componente deste vetor representará a importância relativa de cada critério quando comparado aos outros (SILVA, 2007).

3.3.1.1 Normalização

No processo de normalização dos valores da matriz de julgamento, divide-se os valores da matriz pela soma de suas respectivas colunas, conforme Equação 6.

$$\|A\| = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}} \quad (6)$$

Em que:

$\|A\|$: Matriz normalizada;

$i = 1, \dots, m$: Linhas da matriz;

$j = 1, \dots, n$: Colunas da matriz;

a_{ij} : Elementos da matriz de julgamento;

$m \times n$: É a ordem da matriz.

A matriz normalizada, calculada através da Tabela 4, é evidenciada pela Tabela 5.

Tabela 5 – Matriz de julgamento genérica normalizada

| | Critério A | Critério B | Critério C | Critério D | Critério E |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Critério A | 0,374 | 0,340 | 0,477 | 0,328 | 0,241 |
| Critério B | 0,374 | 0,340 | 0,318 | 0,197 | 0,310 |
| Critério C | 0,125 | 0,170 | 0,159 | 0,393 | 0,276 |
| Critério D | 0,075 | 0,113 | 0,026 | 0,066 | 0,138 |
| Critério E | 0,053 | 0,038 | 0,020 | 0,016 | 0,034 |

Fonte: Autoria própria (2019).

Nota-se que, como a matriz de julgamento é composta com base no princípio fundamental da comparação recíproca, em que o foco é comparar os valores por meio de um contexto e não ao valor absoluto da matriz, ao fim do processo de normalização o somatório de cada coluna deve ser igual a 1.

3.3.1.2 Obtenção do vetor de prioridades

Calcula-se a partir da média aritmética dos valores das linhas da matriz normalizada (Tabela 5), de acordo com a Equação 7.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} \quad (7)$$

Onde:

W_i : Vetor prioridade da matriz;

a_{ij} : Elementos da matriz normalizada.

A Tabela 6 evidencia a contribuição de cada critério no problema hierárquico, de acordo com as Tabelas 4 e 5.

Tabela 6 – Vetor de prioridades da matriz de julgamento genérica

| | Calculado | Percentual |
|-------------------|-----------|------------|
| Critério A | 0,352 | 35,2% |
| Critério B | 0,308 | 30,8% |
| Critério C | 0,225 | 22,5% |
| Critério D | 0,084 | 8,4% |
| Critério E | 0,032 | 3,2% |

Fonte: Autoria própria (2019).

Isto significa que, com base nos valores calculados, uma avaliação positiva no Critério A contribui aproximadamente 11 vezes mais do que uma avaliação positiva no Critério E.

3.4 CONSISTÊNCIA LÓGICA

Por fim, verifica-se a coerência dos dados obtidos. Neste momento, realizam-se análises para levantar a existência de eventuais inconsistências, que são passíveis a acontecer quando há erros nos julgamentos de valor. Por exemplo, dado três critérios A, B e C, em que A é mais importante que B e B é mais importante que C, seria inconsistente afirmar que C é mais importante que A. Para tanto, calcula-se a Razão de Consistência (RC), que relaciona o Índice de Consistência (IC) com o Índice de Consistência Randômico (IR), conforme exposto pela Equação 8.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (8)$$

IR, como o próprio nome sugere, é um índice obtido por meio de uma simulação randômica de comparações paritárias das matrizes. O valor é fixo e determinado de acordo com o número de critérios avaliados, conforme Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de IR para matrizes de diferentes tamanhos

| Dimensão da matriz (n) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------|---|---|------|------|------|------|------|-----|------|------|
| Valor de IR | 0 | 0 | 0,52 | 0,89 | 1,11 | 1,25 | 1,35 | 1,4 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: Adaptado de SAATY (1994).

De acordo com Saaty (1991), para a matriz de julgamento ser consistente, o autovalor associado a ela deve ser igual a n (dimensão da matriz). Neste caso, necessita-se de $n - 1$ comparações paritárias visto que, por meio destas as outras podem ser deduzidas logicamente.

O autovalor é a medida de consistência do argumento. No método AHP, busca-se o autovalor máximo, λ_{max} , que é obtido por meio da média aritmética da razão entre o produto da matriz de julgamento A e o vetor de prioridades W_i e próprio vetor W_i , conforme exposto pela Equação 9.

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{k=1}^n \left(\frac{A \times W_i}{W_i} \right)_k}{n} \quad (9)$$

O autovalor associado à matriz de julgamento genérica é $\lambda_{max} = 5,35$. O IC tem como base o autovalor máximo, e é calculado conforme a Equação 10.

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (10)$$

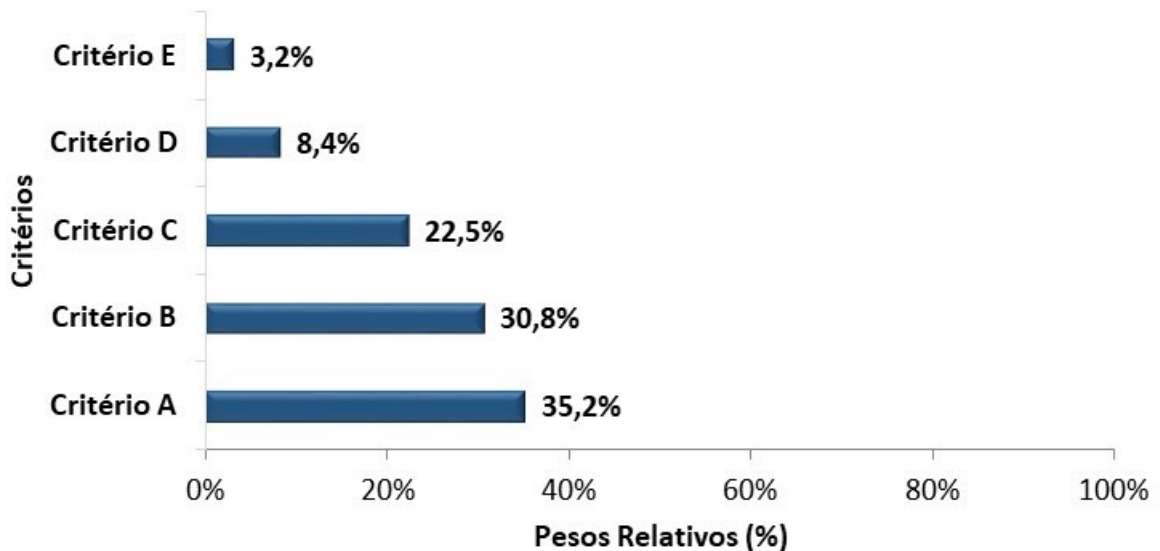
Desta forma, o IC calculado para o exemplo em questão é de $IC = 0,088$.

Por fim, retorna-se para a Equação 8 e calcula-se a Razão de Consistência para determinar se o IC obtido é adequado. A matriz será considerada consistente se RC for inferior à 10%.

$$RC = \frac{IC}{IR} = \frac{0,088}{1,11} = 7,96\% < 10\% \quad (11)$$

Como o valor calculado é menor que 10%, a matriz de julgamento genérica é considerada consistente. Os resultados de critérios de prioridade do primeiro nível são observados pela Figura 4.

Figura 4 – Resultados da matriz de julgamento genérica



Fonte: Autoria própria (2019).

Os resultados calculados para a matriz de julgamento genérica indicam que o critério A apresentou o maior peso relativo no problema decisório em questão, com 35,2%, seguido do B (30,8%), C (22,5%), D (8,4%) e E (3,2%).

3.5 AGREGAÇÃO DE JULGAMENTOS

De acordo com Razente (2017) o método decisório AHP comporta a possibilidade de mais de um especialista atribuir valores aos critérios e categorias da matriz de julgamento. Neste caso, deve-se utilizar uma das opções abaixo para agregação de julgamento dos avaliadores envolvidos.

3.5.1 Solução A Partir De Um Grupo De Pessoas

Este método consiste em considerar o grupo de tomadores de decisão como uma única pessoa, isto é, o grupo apresenta uma decisão unitária elaborada pelo conjunto.

3.5.2 Método AIP

O método AIP (*Aggregating Individual Priorities*) é utilizado quando deseja-se considerar a avaliação individual de cada especialista e posteriormente centralizá-las em um único resultado.

Neste método, atribui-se “pesos” para cada um dos avaliadores, indicando um avaliador com maior importância que os outros envolvidos (FORMAN; PENIWATI, 1998).

Em seguida, obtém-se o vetor de prioridades individual para cada especialista e então se define o vetor de prioridades agregado, considerando os pesos referentes a cada avaliador, conforme Equação 12.

$$W_i^{[G/P]} = \left[\prod_{k=1}^r (W_i^{[k]})^{\beta_k} \right]^{1/r} \quad (12)$$

Onde:

r : Número de pessoas envolvidas no processo decisório;

$W_i^{[k]}$: Vetor de prioridades de cada decisor;

β_k : Peso referente a cada avaliador, com $\beta_k \geq 0$ e a soma dos pesos de cada avaliador deverá ser unitária ($\sum_{k=1}^r \beta_k = 1$).

3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO HIERÁRQUICO DECISÓRIO AHP NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Melhorias na área de estratégias de manutenção sempre são necessárias devido o retorno do investimento que se pode alcançar. Realizar decisões na área de manutenção visando eficiência e redução de custos não é uma tarefa fácil, e se basear apenas na experiência empírica para a tomada dessas decisões pode levar a consequências graves como degradação dos equipamentos, ambiente e estagnação econômica (RASHIDPOUR, 2013).

O Método Hierárquico Decisório AHP permite desenvolver uma estratégia de manutenção que combina requerimentos técnicos com estratégias de mercado e gestão para se tomar o melhor plano de ação em relação à manutenção dos ativos da indústria. Desta forma, é possível evitar custos com manutenções e substituições prematuras, garantir a capacidade de produção da planta, prevenir a deterioração dos sistemas e seus componentes e a segurança dos colaboradores (RASHIDPOUR, 2013).

Portanto a metodologia AHP pode ser utilizada na manutenção industrial com base nos seguintes grupos para a definição dos critérios: custo, capacidade de reparo, confiabilidade e disponibilidade (TRIANAPHYLLOU, 1997; BEVILACQUA; BRAGLIA, 2000).

Ao utilizar-se o AHP, vários aspectos das diversas estratégias de manutenção são organizados em uma estrutura hierárquica e avaliadas usando a ponderação ativa, tornando as decisões em situações complexas mais claras e objetivas e auxiliando os gestores da manutenção a tomar decisões de acordo com os objetivos desejados (CHANDRAHAS e MAHAPATRA, 2015). Através da percepção de analistas, é realizado uma comparação de elementos de um conjunto para reproduzir o raciocínio humano frente a situações subjetivas e complexas (RAMOS FILHO, et al., 2008).

Segundo Bevilacqua e Braglia (2000), o método AHP ainda pode ser aplicado em metodologias como o *Failure Mode, Effects & Criticality Analysis* – FMECA (Análise do Modo de Falhas, Efeitos e Criticidades, em português), ferramenta adotada por companhias para organizar as suas máquinas e equipamentos em diversos grupos de risco baseando-se nos conceitos de efeitos do modo de falha e análises técnicas. Utilizando essa metodologia, a escolha da estratégia de manutenção é realizada através da análise do número de prioridade de risco obtido.

3.7 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

O AHP é uma ferramenta de apoio à tomada de decisões amplamente utilizada em situações complexas que envolvam múltiplos critérios simultâneos. Objetiva simplificar a análise de um problema decisório estruturando-o de maneira hierárquica, de modo a analisar cada possível alternativa individualmente, com base na importância relativa de cada critério envolvido no problema.

A apresentação e a definição dos elementos necessários para a aplicação do método são de suma importância para esquematizar a estrutura hierárquica do estudo de caso, isto é, definir o problema a ser resolvido, selecionar os critérios e subcritérios que estarão envolvidos e as alternativas que serão consideradas no processo de tomada de decisão.

O próximo capítulo abordará o desenvolvimento do estudo de caso com a aplicação do método decisório hierárquico de acordo com as definições apresentadas neste capítulo.

4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

4.1 INTRODUÇÃO AO CAPÍTULO

A empresa na qual o trabalho foi desenvolvido atende o mercado latino-americano e possui escritório administrativo na cidade de São Paulo - SP, além de outras plantas industriais em São Carlos - SP, Manaus - AM e Curitiba - PR.

Realizou-se o estudo de caso em uma máquina termoformadora pertencente ao processo de termoformagem de uma indústria de bens de consumo localizada em Curitiba - PR. O trabalho foi desenvolvido em parceria com especialistas e engenheiros do setor de manutenção com o objetivo de aplicar o método hierárquico decisório AHP para priorizar as estratégias de manutenção aplicadas na termoformadora.

Neste capítulo, é apresentado o processo de termoformagem e analisado os indicadores da máquina termoformadora. Os indicadores são utilizados como referência para estruturar a árvore hierárquica e a matriz de decisão.

Com a definição das variáveis para composição do método AHP, os critérios foram contextualizados e encaminhados aos avaliadores para julgamento e atribuição de pesos. Na sequência, aplica-se o método e obtém-se as classificações ordenadas das alternativas envolvidas.

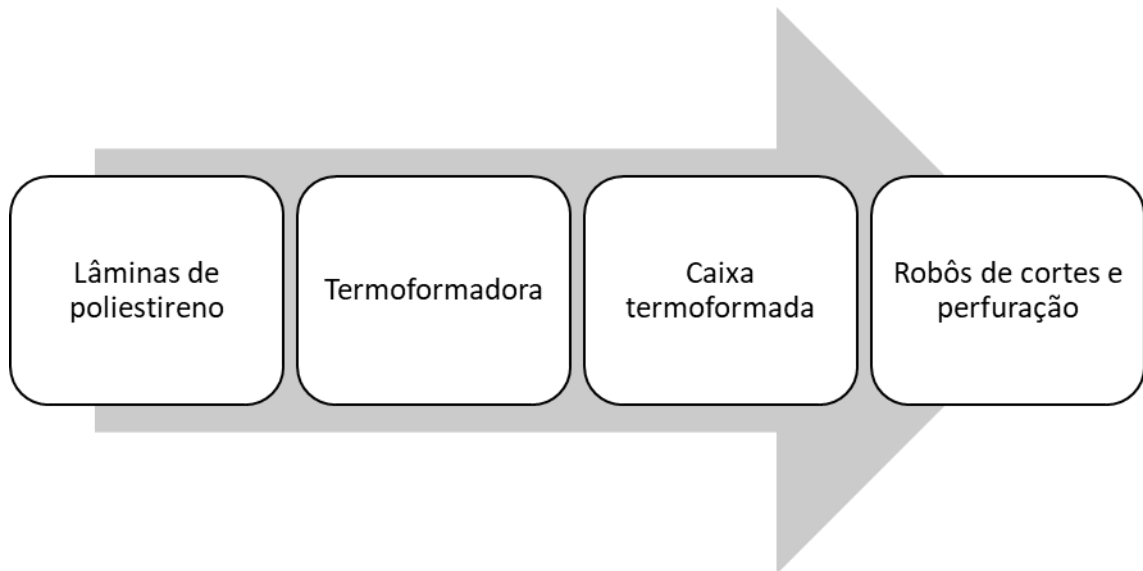
4.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE TERMOFORMAGEM

A máquina termoformadora é a principal e basicamente a única máquina presente no processo. As principais atribuições desse ativo são descritas abaixo.

- a) fixar;
- b) aquecer;
- c) esfriar e moldar as lâminas de poliestireno;
- d) dar forma à peça através da utilização de calor e pressão.

A Figura 5 apresenta onde a termoformadora está localizada no processo de fabricação de caixas internas e representa o esquema geral do processo produtivo de termoformagem.

Figura 5 – Fluxograma do processo produtivo de termoformagem



Fonte: Autoria própria (2020).

A máquina termoformadora é um equipamento chave para o processo produtivo. Trata-se de um dos equipamentos responsáveis por abastecer a linha de produção, afetando diretamente a disponibilidade operacional do processo produtivo.

Cada etapa do processo de termoformagem é vital na determinação da qualidade do produto final, sendo necessário o monitoramento contínuo e o cumprimento dos parâmetros de aquecimento, moldagem e resfriamento para obtenção de peças de alta qualidade.

4.3 ANÁLISE DOS INDICADORES DE DESEMPENHO DE MANUTENÇÃO DA MÁQUINA TERMOFORMADORA

Para auxiliar no processo de definição dos critérios que foram avaliados por meio do método AHP, utilizou-se os dados informados pela empresa em que se realizou o estudo de caso, listados a seguir.

- a) operacional;
- b) qualidade;
- c) *star hero* (maior valor agregado ao produto produzido);
- d) segurança;
- e) meio-ambiente;
- f) MTBF;
- g) MTTR;
- h) custo de reparo.

A análise foi baseada em dados reunidos durante o ano de 2018, evidenciados pela Tabela 8.

Tabela 8 – Indicadores da máquina termoformadora

| Operacional (0 a 10) | Qualidade (0 a 10) | <i>Star Hero</i> (0 a 10) | Segurança (0 a 30) | Meio- Ambiente (0 a 10) | MTBF (0 a 10) | MTTR (0 a 10) | Custo de Reparo (0 a 10) |
|-------------------------|-----------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|------------------|--------------------------------|
| 5 | 10 | 7 | 23 | 2 | 10 | 10 | 4 |

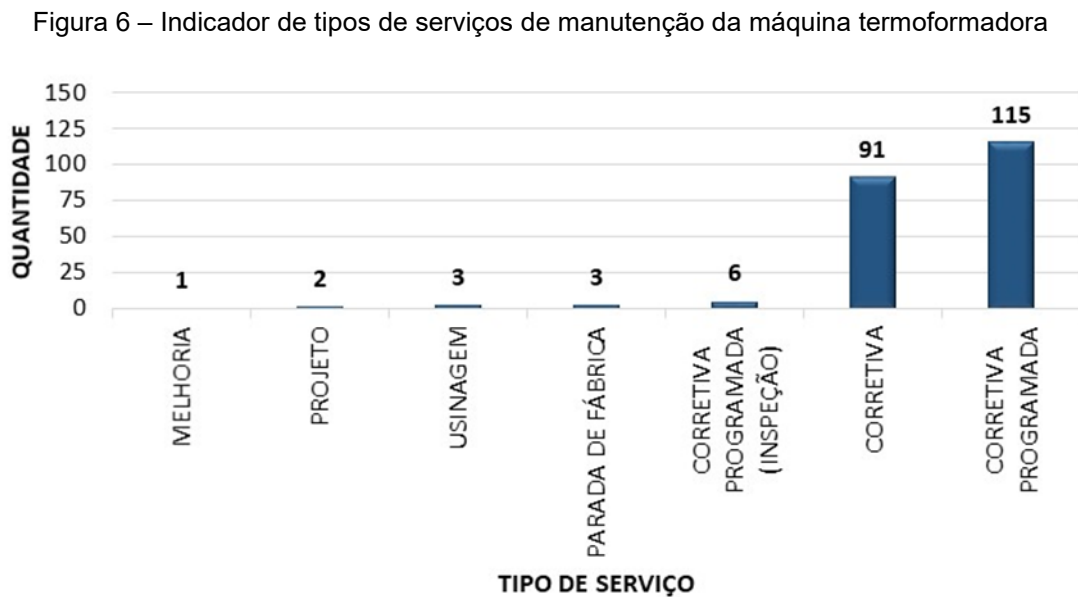
Fonte: Autoria própria (2020).

Os valores dos indicadores apresentados constam na matriz de criticidade do ativo. A matriz de criticidade foi elaborada pelo setor de manutenção e é atualizada anualmente para suportar às tomadas de decisão.

Apesar de não ter um custo de reparo elevado, o ativo é crítico nos fatores de qualidade, MTBF, MTTR e apresenta também índices elevados para segurança e *star hero*.

O indicador de segurança é linearizado na matriz de criticidade, apresentando peso 3 vezes maior do que os demais. Realiza-se essa alteração para que o impacto do indicador de segurança seja expressivamente maior em relação aos outros nos processos de tomada de decisão.

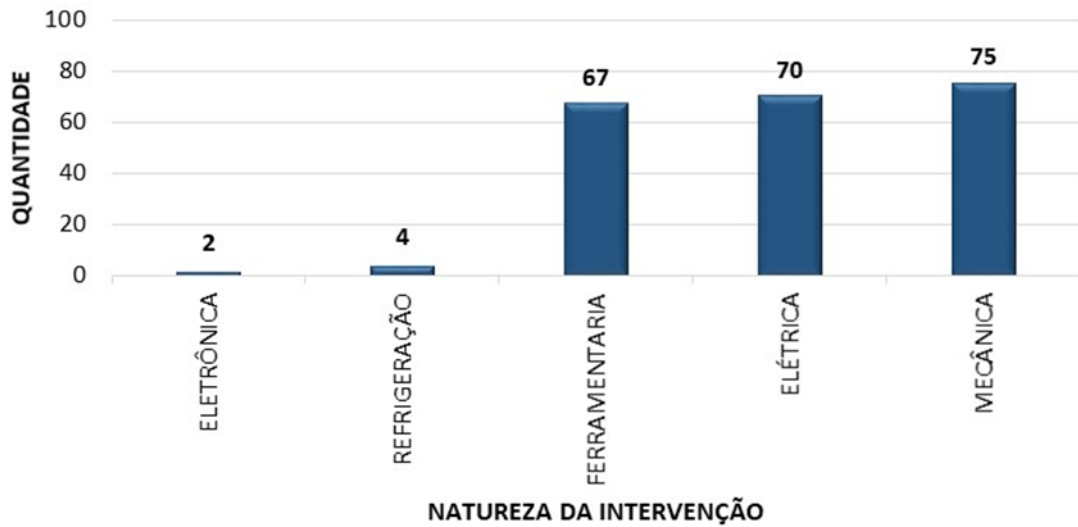
Conforme exposto pela Figura 6, no período de novembro de 2018 até novembro de 2019, 41,17% dos serviços na máquina termoformadora foram ações corretivas, o que pode estar diretamente relacionado a altos custos de manutenção, como visto no Capítulo 2.2.2.



Fonte: Autoria própria (2020).

Extraiu-se também as naturezas das intervenções nos equipamentos, conforme apresentado pela Figura 7. Nota-se que serviços de natureza mecânica, elétrica e de ferramentaria são os mais ocorrentes nesse equipamento.

Figura 7 – Indicador de natureza das intervenções na máquina termoformadora

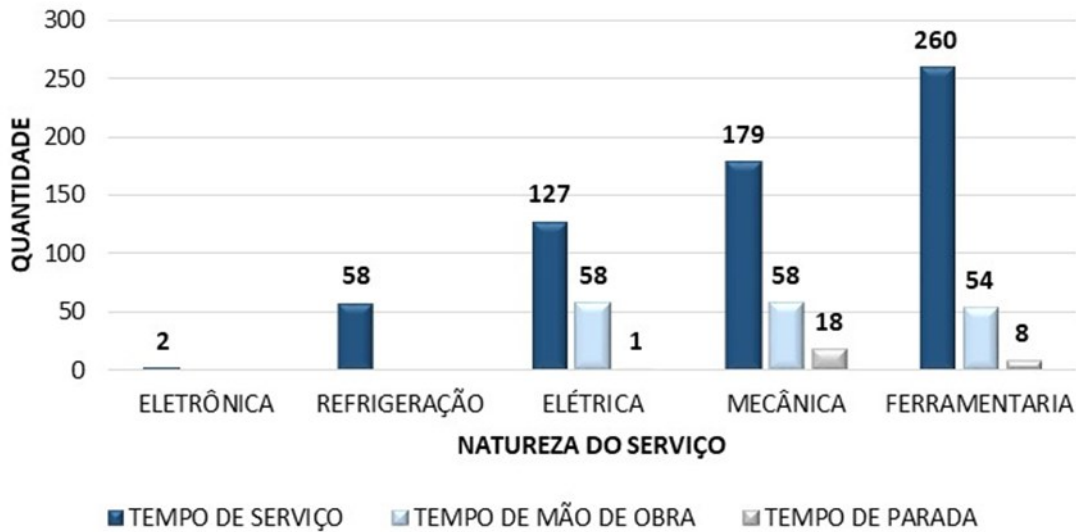


Fonte: Autoria própria (2020).

O somatório dessas três modalidades totaliza 212 intervenções no equipamento, representando 97,25% das intervenções no período de novembro de 2018 a novembro de 2019.

Além disso, essas mesmas intervenções apresentam os maiores somatórios de tempos (em horas) em três categorias de avaliação: tempo de serviço (tempo levado para realizar a manutenção), tempo de mão de obra e tempo de parada. A Figura 8 apresenta a relação do tempo empregado por natureza de serviço.

Figura 8 – Indicador de tempo empregado por natureza de serviço na máquina termoformadora



Fonte: Autoria própria (2020).

Ainda, conforme evidenciado pela Tabela 9, apresentou-se os valores de MTBF e MTTR durante a análise do período de novembro de 2018 a novembro de 2019, assim como a quantidade de intervenções realizadas e quantas delas ocasionaram paradas de linha. Também se discriminou o valor gasto com mão de obra e material nessas intervenções. Além disso, apresentou-se a porcentagem de disponibilidade da máquina de acordo com o tempo de operação e também com o calendário da fábrica.

Tabela 9 – Relatório geral de manutenção da máquina termoformadora (Novembro/2018 a Novembro/2019)

| Quantidade Intervenções | Quantidade de intervenções com parada | Disponibilidade por Tempo de Operação (%) | Disponibilidade por Tempo Calendário (%) | MTBF (Horas) | MTTR (Horas) | Custo de Mão de Obra (Reais) | Custo de Material (Reais) |
|-------------------------|---------------------------------------|---|--|--------------|--------------|------------------------------|---------------------------|
| 158 | 58 | 70,42 | 98,1 | 97,58 | 1,86 | 34.194,6 | 3.243,81 |

Fonte: Autoria própria (2020).

Os indicadores e relatórios referentes à máquina termoformadora foram importantes para direcionar na definição dos critérios de comparação do método AHP.

Observa-se que a manutenção corretiva é recorrente no equipamento, com destaque para as intervenções de natureza mecânica. A implicação prática destes resultados são custos adicionais com manutenção e perda de produção, que podem ser evitados por serviços programados.

4.4 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS PARA COMPOSIÇÃO DO MÉTODO AHP

Para a aplicação do método AHP, definiram-se categorias, critérios, subcritérios e alternativas com base nos dados informados pela empresa, vistos no Capítulo 4.3. Os Quadros 1, 2, 3 e 4 mostram, para as categorias Negócio, Segurança, Confiabilidade e Custo, respectivamente, uma breve definição e/ou justificativa de cada critério e subcritério utilizado na aplicação do método. Na Figura 9 é apresentado os critérios estruturados na árvore de decisão.

Quadro 1 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Negócio" na composição da estrutura hierárquica do AHP

| Critérios Nível 2 | Critérios Nível 3 | Justificativa |
|------------------------------|------------------------------|---|
| Operacional | OEE | O OEE (Eficiência Global do Equipamento) é o indicador que mensura a utilização efetiva da capacidade dos equipamentos. Representa a eficiência operacional da fábrica (BUSSO e MIYAKE, 2013), sendo assim, este indicador está diretamente relacionado com a disponibilidade e performance dos equipamentos. |
| | MTTR | O MTTR (Tempo Médio Para Reparo) está relacionado com a disponibilidade operacional da planta. Quanto maior o MTTR, maiores serão as paradas de equipamentos, o que está relacionado com a disponibilidade operacional. |
| | MTBF | Quanto maior o MTBF (Tempo Médio Entre Falhas), maior será a disponibilidade operacional. Quanto menor for este critério, maior será o indicativo de paradas em um curto espaço de tempo. |

| Critérios Nível 2 | Critérios Nível 3 | Justificativa |
|------------------------------|------------------------------|--|
| Danos | Planta | Qualquer dano material que possa acontecer na planta afeta o negócio. |
| | Qualidade Produtos | Avárias nos produtos, ou qualquer tipo de dano à qualidade do produto afetam o negócio pois podem ocasionar uma propaganda negativa dos produtos no mercado. |
| | Meio Ambiente | Danos ao meio ambiente também podem ocasionar uma propaganda negativa para a empresa e conseqüentemente para o negócio. A postura da empresa frente a questões ambientais influencia a visão dos consumidores perante a empresa e seus produtos. |
| | Pessoas | As pessoas são o bem mais importante da empresa e estão diretamente relacionadas ao negócio. |

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 2 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Segurança" na composição da estrutura hierárquica do AHP

| Critérios Nível 2 | Critérios Nível 3 | Justificativa |
|------------------------------|------------------------------|---|
| Segurança Pessoal | - | Todos os possíveis riscos à saúde e segurança das pessoas precisam ser mitigados e a manutenção dos equipamentos é um elemento muito importante para isso. |
| Segurança do Meio Ambiente | - | A manutenção também está ligada com a segurança do meio ambiente, pois diversas questões ambientais influenciam na manutenção em si, como por exemplo: Lubrificação de máquinas, vazamentos de óleo, poluição sonora entre outros fatores ambientais. |

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 3 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Confiabilidade" na composição da estrutura hierárquica do AHP

| Critérios Nível 2 | Critérios Nível 3 | Justificativa |
|-------------------------------|-------------------|---|
| Sistema de Detecção de Falhas | - | Um sistema de detecção de falhas pode auxiliar na manutenibilidade dos equipamentos, pois permite que falhas possam ser detectadas a tempo de serem corrigidas. Auxilia a equipe de manutenção nas estratégias de intervenção no equipamento e alocação de recursos com assertividade, aumentando assim a confiabilidade do sistema. |
| Especialistas | - | Uma equipe de especialistas de manutenção auxilia no diagnóstico mais preciso das falhas e o que pode ser feito para evita-las futuramente, pois, de certo modo, possuem grande experiência no campo de manutenção, conhecem melhores e piores práticas, podendo assim definir melhores estratégias de modo a aumentar a confiabilidade do sistema. |
| MTBF | - | O MTBF é um indicador que está diretamente relacionado ao cálculo da confiabilidade, visto que quanto maior o tempo médio entre falhas, maior será a confiabilidade do sistema em um determinado espaço de tempo. |

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 4 – Justificativas das variáveis utilizadas para o critério "Custo" na composição da estrutura hierárquica do AHP

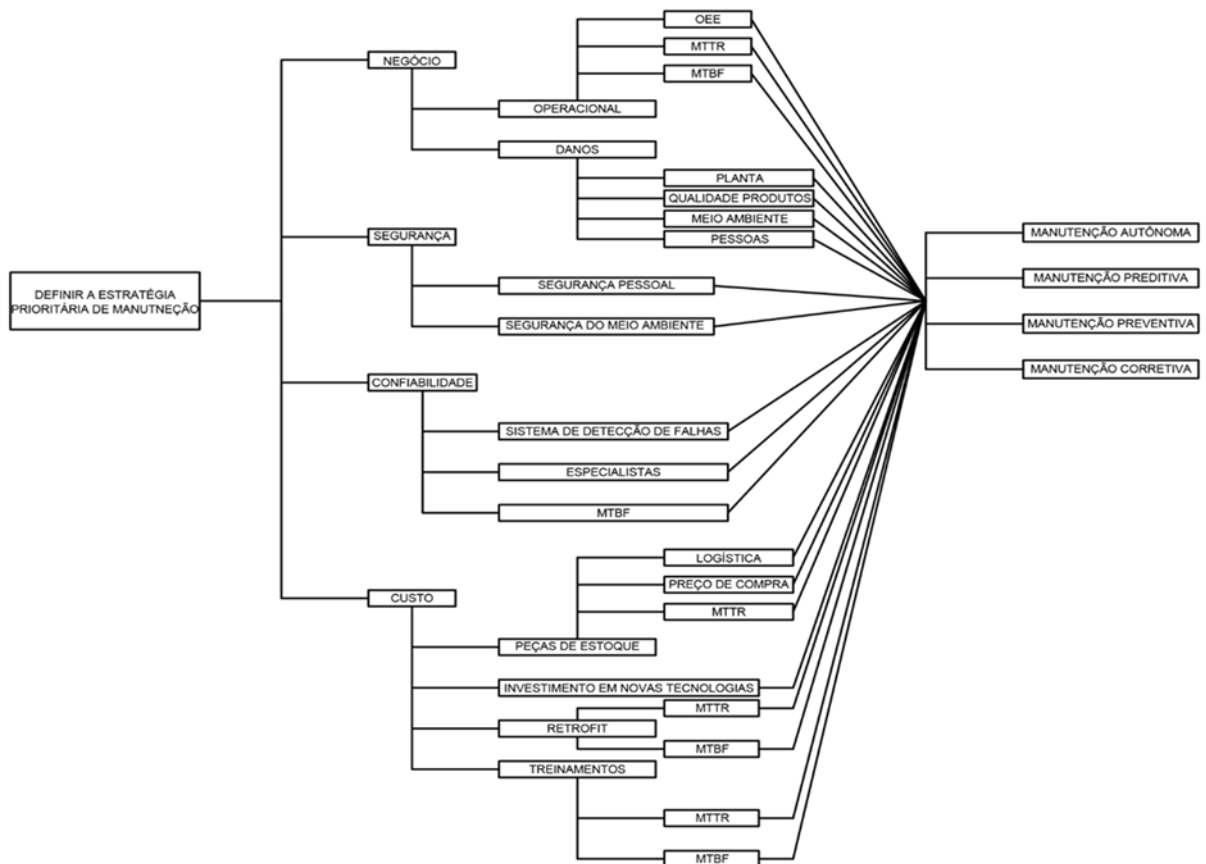
| Critérios Nível 2 | Critérios Nível 3 | Justificativa |
|-----------------------------------|-------------------|--|
| Peças de Estoque | Logística | A logística, ou tempo de transporte de peças, também está relacionada aos custos inerentes à manutenção. Um bom planejamento pode evitar transtornos por falta de peças. |
| | Preço de Compra | O preço de compra das peças de estoque da manutenção pode ser melhor negociado quando a manutenção é planejada. |
| | MTTR | O MTTR (Tempo Médio Para Reparo) pode ser reduzido quando as peças necessárias para a manutenção se encontram no estoque. Consequentemente diminui os custos de manutenção e de parada de equipamento. |
| Investimento em Novas Tecnologias | - | O investimento em novas tecnologias contribui para que a manutenção seja otimizada. |

| Critérios Nível 2 | Critérios Nível 3 | Justificativa |
|----------------------|----------------------|---|
| <i>Retrofit</i> | MTTR | O MTTR é um indicador levado em consideração quando busca-se realizar o <i>retrofit</i> , que é o processo de modernização de algum equipamento já ultrapassado ou fora de norma, pois caso o MTTR seja considerado alto e levando-se em consideração os fatores de custo, faz sentido que se queira diminuir o MTTR afim de evitar o <i>retrofit</i> e conseqüentemente custos elevados. |
| | MTBF | Caso o MTBF seja considerado baixo e levando-se em consideração os fatores de custo, faz sentido que se queira aumentar o MTBF afim de evitar <i>retrofit</i> . |
| Treinamentos | MTTR | Com o objetivo de reduzir o MTTR, é importante que todas as manutenções sejam realizadas de maneira adequada e precisa. |
| | MTBF | Realizar as manutenções e diagnósticos de falhas de maneira adequada e com qualidade contribui para que o MTBF seja aumentado. |

Fonte: Autoria própria (2020).

A seleção das variáveis para composição da árvore hierárquica tomou como base os critérios globais já utilizados pela empresa: Operacional, Qualidade, Star Hero, Segurança, Meio-Ambiente, MTBF, MTTR e Custo de Reparo. Com auxílio dos especialistas e engenheiros da empresa na qual o trabalho foi desenvolvido e dos orientadores, expandiu-se cada um desses critérios até o seu nível fundamental de modo a tornar a estrutura mais abrangente e os resultados dos julgamentos mais assertivos.

Figura 9 – Estrutura hierárquica composta das variáveis selecionadas



Fonte: Autoria própria (2020).

A estrutura hierárquica é composta de um objetivo geral - definir a estratégia prioritária de manutenção -, 4 critérios de nível 1 (negócio, segurança, confiabilidade e custo), 11 critérios de nível 2 (operacional, danos, segurança pessoal, segurança do meio ambiente, sistema de detecção de falhas, especialistas, MTBF, peças de estoque, investimentos em novas tecnologias, *retrofit* e treinamentos), 14 critérios de nível 3, sendo 9 distintos (OEE, MTTR, MTBF, planta, qualidade produtos, meio ambiente, pessoas, logística e preço de compra) e 4 alternativas (manutenção autônoma, manutenção preditiva, manutenção preventiva e manutenção corretiva), totalizando 34 elementos envolvidos no problema decisório.

4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO AHP

De modo a reproduzir o raciocínio humano em situações que envolvam complexidade e subjetividade, o método AHP realiza comparações paritárias em um conjunto de elementos previamente definidos com base na percepção de analistas e especialistas envolvidos no problema decisório.

Desta forma, os critérios foram analisados e julgados por três avaliadores com ampla experiência na área de manutenção industrial, conforme evidenciado pelo Quadro 5.

Quadro 5 – Experiência profissional dos avaliadores

| Avaliador | Capacitação e Habilidades |
|-----------|---|
| A1 | <ul style="list-style-type: none"> – Especialização em engenharia de manutenção 4.0; – Atuação na manutenção industrial durante 30 anos como eletricista industrial; – Planejador de manutenção no setor elétrico; – Consultor em projetos elétricos, manutenção do setor elétrico e subestações; – Especialista em manutenção industrial com foco em análises preditivas e preventivas. |
| A2 | <ul style="list-style-type: none"> – Especialista de confiabilidade; – Especialização em engenharia de manutenção 4.0; – Atuou como PCM nas áreas de metalurgia e plásticos as quais o processo de termoformagem pertence; – Atuação na manutenção industrial durante 10 anos como mecânico industrial. |
| A3 | <ul style="list-style-type: none"> – Atua como engenheiro de manutenção no setor de engenharia de manutenção; – Foco técnico e financeiro nas áreas de metalurgia, injeção e termoformagem plástica, linhas de montagem seriadas e utilidades. |

Fonte: Autoria própria (2020).

Os avaliadores atribuíram pesos para cada atributo de acordo com a escala numérica de Saaty. Ao todo, cada avaliador atribuiu pesos para 30 matrizes, sendo:

- a) 1 matriz de atribuição de pesos em relação aos critérios de nível 1 (critérios principais),

- b) 4 matrizes de atribuição de pesos em relação aos critérios de nível 2 (subcritérios),
- c) 5 matrizes de atribuição de pesos em relação aos critérios de nível 3 (sub subcritérios);
- d) 20 matrizes de atribuição de pesos em relação às alternativas.

Ao final de cada julgamento, calculou-se a razão de consistência e, caso a premissa do método não fosse satisfeita ($RC < 10\%$), os julgamentos deveriam ser refeitos até apresentarem a razão de consistência aceitável.

A primeira matriz de julgamentos abordou os critérios de nível 1. Os avaliadores deveriam atribuir pesos aos critérios de modo a atender a seguinte premissa: “Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa para a determinação da estratégia adequada de manutenção”.

Na sequência, os avaliadores foram abordados sobre os critérios de nível 2, critérios de nível 3 e alternativas. As premissas utilizadas para o julgamento de cada uma das matrizes estão dispostas no APÊNDICE A.

Os resultados obtidos em cada matriz julgada por os avaliadores 1, 2 e 3 encontram-se, respectivamente, nos APÊNDICES B, C e D.

4.6 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A termoformadora é basicamente o único equipamento responsável pelo processo de termoformagem de chapas plásticas na fábrica na qual o trabalho foi desenvolvido. Esse processo resulta em peças que são utilizadas para confecção do produto final.

Para auxiliar na definição dos critérios para a aplicação do método AHP, foram utilizados os indicadores da máquina termoformadora conforme dados informados pela empresa. Os indicadores analisados foram: operacional, qualidade, *star hero* (produtos que são produzidos de maior valor agregado), segurança, meio-ambiente, MTBF, MTTR e custo de reparo.

Através da análise do histórico de manutenção do equipamento, constatou-se que 41,17% das manutenções prestadas na termoformadora foram de natureza corretiva, o que pode estar relacionado a altos custos de manutenção no equipamento.

Para a aplicação do método AHP foram definidos os critérios de nível 1, 2 e 3 e as possíveis alternativas para solução do problema decisório. As variáveis presentes na árvore hierárquica estão evidenciadas abaixo.

- a) critérios de nível 1: negócio, segurança, confiabilidade e custo;
- b) critérios de nível 2: operacional, danos, segurança pessoal, segurança do meio ambiente, sistema de detecção de falhas, especialistas, MTBF, peças de estoque, investimento em novas tecnologias, *retrofit*, treinamentos;
- c) critérios de nível 3: OEE, MTTR, MTBF, planta, qualidade produtos, meio ambiente, pessoas, logística e preço de compra;
- d) alternativas: manutenção autônoma, manutenção preditiva, manutenção preventiva e manutenção corretiva.

Os critérios utilizados foram analisados e julgados por 3 avaliadores que atuam na área de manutenção. Cada avaliador atribuiu pesos para 30 matrizes de acordo com a escala numérica de Saaty com o objetivo de coletar dados para que fosse possível definir a estratégia prioritária para a manutenção da máquina termoformadora.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os pesos atribuídos por meio dos julgamentos das 30 matrizes foram sintetizados e na sequência calculou-se o resultado global da aplicação do método hierárquico decisório AHP para cada um dos avaliadores. A Tabela 10 e a Figura 10 expõem os resultados obtidos.

Tabela 10 – Resultado global do método decisório hierárquico AHP de cada avaliador

| Alternativas | A1 | A2 | A3 |
|-----------------------|--------|--------|--------|
| Manutenção Autônoma | 24,23% | 25,45% | 24,37% |
| Manutenção Preditiva | 31,60% | 45,42% | 46,12% |
| Manutenção Preventiva | 31,19% | 24,99% | 22,63% |
| Manutenção Corretiva | 12,98% | 4,15% | 6,87% |

Fonte: Autoria própria (2020).



Fonte: Autoria própria (2020).

Para os três avaliadores, individualmente, a manutenção preditiva mostrou-se como a estratégia mais adequada para a manutenção da máquina termoformadora.

Os Quadros 6, 7 e 8 evidenciam os pesos relativos calculados individualmente de acordo com o julgamento dos avaliadores.

Quadro 6 – Pesos relativos aos critérios e alternativas para o avaliador A1

| Critérios Nível 1 | NEGÓCIO = 0,28 | | | | | | | CUSTO = 0,07 | | | | | | | SEGURANÇA = 0,41 | | CONFIABILIDADE = 0,25 | | | Prioridade Geral | |
|--------------------------|-----------------------|------|------|--------------|-----------------------|------------------|---------|---|-------------------------|-----------------------|------|--------------------|------|------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|--|---------------|---------------------|---------------|
| Critérios Nível 2 | OPERACIONAL = 0,67 | | | DANOS = 0,33 | | | | - | PEÇAS DE ESTOQUE = 0,27 | | | RETROFIT = 0,43 | | TREINAMENTOS = 0,07 | | - | - | | | | |
| Critérios Nível 3 | OEE | MTTR | MTBF | PLANTA | QUALIDADE PRODUTOS | MEIO AMBIENTE | PESSOAS | INVESTIMENTO EM NOVAS TECNOLOGIAS | LOGÍSTICA | PREÇO DE COMPRA | MTTR | MTTR | MTBF | MTTR | MTBF | SEGURANÇA PESSOAL | SEGURANÇA DO MEIO AMBIENTE | SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS | ESPECIALISTAS | | MTBF |
| Pesos Relativos | 0,66 | 0,19 | 0,16 | 0,21 | 0,18 | 0,12 | 0,49 | 0,23 | 0,24 | 0,14 | 0,62 | 0,17 | 0,83 | 0,86 | 0,14 | 0,67 | 0,33 | 0,31 | 0,20 | | 0,49 |
| Manutenção Autônoma | 0,21 | 0,09 | 0,08 | 0,14 | 0,56 | 0,55 | 0,27 | 0,08 | 0,14 | 0,12 | 0,12 | 0,23 | 0,11 | 0,28 | 0,17 | 0,27 | 0,55 | 0,09 | 0,06 | 0,12 | 24,23% |
| Manutenção Preditiva | 0,50 | 0,47 | 0,55 | 0,45 | 0,18 | 0,20 | 0,19 | 0,48 | 0,14 | 0,22 | 0,22 | 0,14 | 0,30 | 0,08 | 0,44 | 0,19 | 0,20 | 0,51 | 0,31 | 0,39 | 31,60% |
| Manutenção Preventiva | 0,19 | 0,31 | 0,25 | 0,26 | 0,17 | 0,15 | 0,42 | 0,28 | 0,26 | 0,46 | 0,51 | 0,14 | 0,48 | 0,16 | 0,28 | 0,42 | 0,15 | 0,26 | 0,31 | 0,39 | 31,19% |
| Manutenção Corretiva | 0,10 | 0,13 | 0,12 | 0,14 | 0,09 | 0,10 | 0,12 | 0,16 | 0,45 | 0,20 | 0,15 | 0,49 | 0,11 | 0,48 | 0,11 | 0,12 | 0,10 | 0,13 | 0,31 | 0,10 | 12,98% |

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 7 – Pesos relativos aos critérios e alternativas para o avaliador A2

| Critérios Nível 1 | NEGÓCIO = 0,08 | | | | | | | CUSTO = 0,08 | | | | | | | SEGURANÇA = 0,75 | | CONFIABILIDADE = 0,08 | | | Prioridade Geral | |
|--------------------------|-----------------------|------|------|--------------|-----------------------|------------------|---------|---|-------------------------|-----------------------|------|--------------------|------|------------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|--|---------------|---------------------|---------------|
| Critérios Nível 2 | OPERACIONAL = 0,50 | | | DANOS = 0,50 | | | | - | PEÇAS DE ESTOQUE = 0,10 | | | RETROFIT = 0,14 | | TREINAMENTOS = 0,48 | | - | - | | | | |
| Critérios Nível 3 | OEE | MTTR | MTBF | PLANTA | QUALIDADE PRODUTOS | MEIO AMBIENTE | PESSOAS | INVESTIMENTO EM NOVAS TECNOLOGIAS | LOGÍSTICA | PREÇO DE COMPRA | MTTR | MTTR | MTBF | MTTR | MTBF | SEGURANÇA PESSOAL | SEGURANÇA DO MEIO AMBIENTE | SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS | ESPECIALISTAS | | MTBF |
| Pesos Relativos | 0,11 | 0,26 | 0,63 | 0,06 | 0,11 | 0,27 | 0,56 | 0,29 | 0,24 | 0,21 | 0,55 | 0,25 | 0,75 | 0,75 | 0,25 | 0,75 | 0,25 | 0,17 | 0,39 | | 0,44 |
| Manutenção Autônoma | 0,19 | 0,16 | 0,16 | 0,15 | 0,27 | 0,31 | 0,18 | 0,15 | 0,20 | 0,17 | 0,23 | 0,19 | 0,15 | 0,26 | 0,15 | 0,22 | 0,47 | 0,17 | 0,12 | 0,15 | 25,45% |
| Manutenção Preditiva | 0,49 | 0,48 | 0,56 | 0,27 | 0,24 | 0,19 | 0,48 | 0,53 | 0,33 | 0,28 | 0,25 | 0,48 | 0,55 | 0,44 | 0,50 | 0,53 | 0,20 | 0,60 | 0,54 | 0,51 | 45,42% |
| Manutenção Preventiva | 0,26 | 0,29 | 0,23 | 0,50 | 0,38 | 0,43 | 0,29 | 0,28 | 0,41 | 0,51 | 0,46 | 0,23 | 0,24 | 0,26 | 0,30 | 0,22 | 0,30 | 0,20 | 0,29 | 0,30 | 24,99% |
| Manutenção Corretiva | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,08 | 0,11 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 4,15% |

Fonte: Autoria própria (2020).

Quadro 8 – Pesos relativos aos critérios e alternativas para o avaliador A3

| Critérios Nível 1 | NEGÓCIO = 0,37 | | | | | | | CUSTO = 0,34 | | | | | | | SEGURANÇA = 0,18 | | CONFIABILIDADE = 0,11 | | | Prioridade Geral | |
|--------------------------|--------------------|------|------|--------------|-----------------------|------------------|---------|---|-------------------------|-----------------------|------|-----------------|------|---------------------|------------------|----------------------|----------------------------------|--|---------------|---------------------|---------------|
| Critérios Nível 2 | OPERACIONAL = 0,50 | | | DANOS = 0,50 | | | | - | PEÇAS DE ESTOQUE = 0,48 | | | RETROFIT = 0,16 | | TREINAMENTOS = 0,24 | | - | - | | | | |
| Critérios Nível 3 | OEE | MTTR | MTBF | PLANTA | QUALIDADE PRODUTOS | MEIO AMBIENTE | PESSOAS | INVESTIMENTO EM NOVAS TECNOLOGIAS | LOGÍSTICA | PREÇO DE COMPRA | MTTR | MTTR | MTBF | MTTR | MTBF | SEGURANÇA PESSOAL | SEGURANÇA DO MEIO AMBIENTE | SISTEMA DE DETECÇÃO DE FALHAS | ESPECIALISTAS | | MTBF |
| Pesos Relativos | 0,69 | 0,08 | 0,23 | 0,09 | 0,13 | 0,08 | 0,70 | 0,12 | 0,08 | 0,66 | 0,26 | 0,25 | 0,75 | 0,75 | 0,25 | 0,50 | 0,50 | 0,26 | 0,11 | | 0,63 |
| Manutenção Autônoma | 0,10 | 0,10 | 0,05 | 0,31 | 0,14 | 0,55 | 0,53 | 0,10 | 0,56 | 0,15 | 0,10 | 0,14 | 0,09 | 0,06 | 0,07 | 0,54 | 0,38 | 0,25 | 0,12 | 0,13 | 24,37% |
| Manutenção Preditiva | 0,57 | 0,45 | 0,53 | 0,43 | 0,54 | 0,11 | 0,27 | 0,64 | 0,12 | 0,56 | 0,27 | 0,54 | 0,54 | 0,57 | 0,61 | 0,29 | 0,38 | 0,55 | 0,56 | 0,61 | 46,12% |
| Manutenção Preventiva | 0,28 | 0,39 | 0,27 | 0,20 | 0,26 | 0,28 | 0,13 | 0,21 | 0,26 | 0,22 | 0,51 | 0,24 | 0,28 | 0,28 | 0,25 | 0,11 | 0,18 | 0,16 | 0,26 | 0,20 | 22,63% |
| Manutenção Corretiva | 0,06 | 0,06 | 0,14 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,07 | 0,05 | 0,06 | 0,06 | 0,12 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,07 | 0,06 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 6,87% |

Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme os Quadros 6, 7 e 8, para os critérios de nível 1, a segurança foi apontada como prioridade para 2 dos 3 avaliadores, com valores calculados de 0,41, 0,75 e 0,18, respectivamente, para os avaliadores A1, A2 e A3. Essa informação é ratificada pelos critérios de nível 3, em que evitar danos em pessoas mostrou-se o critério com maior peso relativo, com 0,49, 0,56 e 0,70.

Tal resultado reflete na incorporação, por parte dos colaboradores, dos princípios básicos da empresa em questão, em que a segurança de pessoas e meio ambiente é considerada primordial.

5.1 AGREGAÇÃO INDIVIDUAL DE PRIORIDADES (AIP)

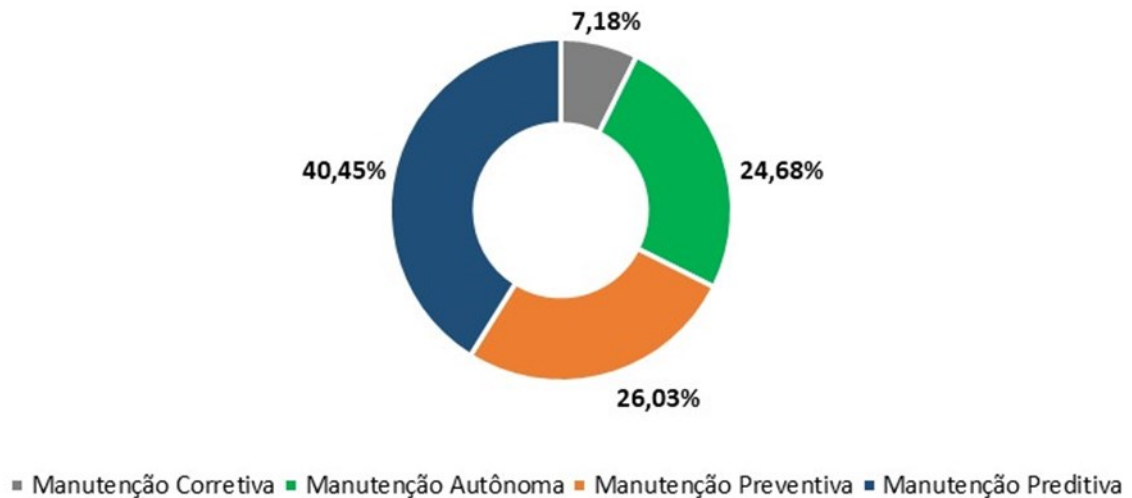
Para sintetizar as prioridades individuais de cada um dos avaliadores, utilizou-se o método AIP. A agregação dos julgamentos é feita através da média geométrica dos resultados globais, considerando o mesmo peso de avaliação para cada avaliador. O resultado é evidenciado pela Tabela 11 e graficamente pela Figura 11.

Tabela 11 – Agregação Individual de Prioridades (AIP)

| Alternativas | A1 | A2 | A3 | AIP |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Manutenção Autônoma | 24,23% | 25,45% | 24,37% | 24,68% |
| Manutenção Preditiva | 31,60% | 45,42% | 46,12% | 40,45% |
| Manutenção Preventiva | 31,19% | 24,99% | 22,63% | 26,03% |
| Manutenção Corretiva | 12,98% | 4,15% | 6,87% | 7,18% |

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 11 – Agregação Individual de Prioridades (AIP)



Fonte: Autoria própria (2020).

De acordo com a ABNT NBR ISO/IEC 31010, o objetivo global do método decisório hierárquico AHP é definir uma ordem de preferência entre as alternativas disponíveis. A Tabela 12 mostra a classificação ordenada das estratégias de manutenção.

Tabela 12 – Classificação ordenada das estratégias de manutenção

| Alternativas | Classificação Ordenada |
|-----------------------|------------------------|
| Manutenção Preditiva | 1 |
| Manutenção Preventiva | 2 |
| Manutenção Autônoma | 3 |
| Manutenção Corretiva | 4 |

Fonte: Autoria própria (2020).

Verifica-se que a manutenção preditiva ocupa a primeira colocação na classificação ordenada. Esta estratégia envolve análises termográficas em painéis elétricos. A manutenção preventiva, com as rotas de inspeção, ocupa o segundo lugar.

Na terceira colocação está a manutenção autônoma, com rotinas de limpeza e conservação do ativo. Por fim, encontra-se a manutenção corretiva. A ordem de classificação desta estratégia é justificada pela importância da máquina termoformadora no processo de termoformagem. Uma eventual intervenção corretiva neste equipamento impacta diretamente nos indicadores de produtividade, disponibilidade e confiabilidade do processo produtivo.

5.2 COMPARAÇÃO ENTRE A ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO OBTIDA PELO MÉTODO AHP E A ADOTADA PELA EMPRESA

Os resultados da aplicação do método AHP apontam que a estratégia prioritária para manutenção da máquina termoformadora é a preditiva. Ressalta-se que todas as estratégias têm seu grau de importância relativa e a estratégia definida através da estruturação do problema decisório não pode ser considerada única. Sendo assim, a aplicação do método é crucial para nortear os gestores para que os recursos de manutenção sejam estrategicamente alocados considerando cada tipo de manutenção conforme a classificação ordenada, representada na Tabela 12.

A manutenção preditiva é aplicada na máquina termoformadora, porém de forma parcial. Contempla apenas os painéis elétricos, onde realizam-se análises termográficas, que é a técnica que com o auxílio de uma câmera térmica se identifica a alteração dos níveis de temperatura em pontos específicos do painel, tornando possível traçar curvas de tendências de acordo com os níveis de temperatura medidos. Pode-se, contudo, aplicar novas técnicas de manutenção preditiva na máquina termoformadora com o objetivo de prever e encontrar possíveis falhas, de modo a sanar o problema antes que de fato ocorra.

Algumas técnicas de manutenção preditiva podem vir a ser adotadas na termoformadora, tais como a análise de óleo, ultrassom e análise de vibração. A análise de óleo informa as condições do equipamento, pode detectar desgastes e também sinaliza as contaminações do óleo; a técnica de ultrassom detecta vazamentos em tubulações de líquidos e sistemas de ar e vácuo; a técnica de análise de vibração detecta com a ajuda de aparelhos específicos alterações excessivas de vibração, permite acompanhar o desenvolvimento de falhas nos componentes do

equipamento, como engrenagens, rolamentos, acoplamentos desalinhados, entre outros.

5.3 SÍNTESE E CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

Conforme os resultados individuais encontrados por meio da aplicação do método AHP, é unânime que a estratégia de manutenção prioritária para a máquina termoformadora é a manutenção preditiva.

Com a utilização do método de agregação individual de prioridades (AIP), sintetizou-se os resultados de cada um dos avaliadores e calculou-se o resultado global. A ordem de preferência entre as alternativas disponíveis ficou: manutenção preditiva (40,45%), manutenção preventiva (26,03%), manutenção autônoma (24,68%) e manutenção corretiva (7,18%).

Embora a manutenção preditiva já seja utilizada na máquina termoformadora em análises termográficas em painéis elétricos, é possível ampliar sua utilização com o emprego de técnicas de análise de óleo, ultrassom e análise de vibração, por exemplo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

6.1 CONCLUSÕES

Com o objetivo de classificar as estratégias de manutenção industrial a serem aplicadas em uma máquina termoformadora por meio do método hierárquico decisório AHP, selecionou-se as principais estratégias de manutenção utilizadas em um ambiente fabril assim como indicadores de manutenção para a elaboração da matriz de decisão.

A máquina termoformadora foi escolhida como o equipamento a ser estudado por ser uma peça chave no processo produtivo, sendo responsável por abastecer diretamente a linha de produção e com impacto na qualidade do produto. Foram considerados dados dos indicadores informados pela própria empresa para elaboração dos critérios e categorias da matriz de decisão, assim como o histórico de intervenção, MTBF e MTTR do equipamento.

Com a avaliação de especialistas na área de manutenção foi possível identificar que a segurança pessoal é o critério mais importante na matriz de decisão, corroborando com os princípios da empresa. Ainda a partir da aplicação do método AHP e AIP, obteve-se que a manutenção preditiva, com 40,45%, é a técnica ideal de manutenção para a máquina termoformadora seguida da manutenção preventiva (26,03%), manutenção autônoma (24,68%) e manutenção corretiva (7,18%).

Ressalta-se que embora a manutenção preditiva seja considerada a estratégia ideal para manutenção do ativo em questão, ela não pode ser considerada única. É preciso aplicar as diferentes técnicas de manutenção consideradas na análise de forma proporcional e de acordo com os critérios definidos, buscando o equilíbrio entre elas.

Pode se afirmar que a aplicação do método hierárquico decisório AHP é eficaz, pois foram consideradas variáveis que abrangem negócios, segurança, confiabilidade, custos e os seus respectivos subcritérios, o que permite levar em consideração todos os problemas do processo de produção industrial de um bem de consumo.

Sabe-se que a empresa já adota uma técnica de manutenção preditiva para a máquina termoformadora. A partir da análise termográfica, o painel elétrico da máquina é monitorado permitindo identificar alterações na temperatura dos componentes e traçar curvas de tendências evitando possíveis falhas por desgaste de componentes, por exemplo. Porém, existem outras técnicas que podem ser implementadas para a otimização da manutenção preditiva do equipamento, como análises de óleo, vibração e ultrassom.

O método AHP facilita a tomada de decisão pois simplifica uma análise complexa em diversas comparações paritárias individuais, classificando-as de acordo com o seu nível de importância. Ao realizar uma análise robusta com o método AHP e identificar as melhores estratégias de manutenção para o equipamento, a empresa pode gerenciar o seus gastos e sua força de trabalho, para priorizar as estratégias de manutenção de acordo com os resultados obtidos.

6.2 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Para futuros trabalhos, pode-se utilizar o método AHP para determinar qual técnica de manutenção preditiva é a mais eficaz para a máquina termoformadora. Também pode ser feito o estudo para identificar os ganhos relacionados a aplicação das estratégias de manutenção, definidas por esse trabalho, na manutenção do ativo em questão. Além disso, o mesmo trabalho pode ser replicado para as outras máquinas na linha de produção com o objetivo de otimizar as estratégias de manutenção da empresa no geral. É possível, ainda, aplicar outros métodos de decisão multicritério e comparar os resultados com os do método AHP.

REFERÊNCIAS

- ABINEE, LCA. **Relatório anual ABINEE 2017**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/programas/imagens/rel2017/files/assets/common/downloads/rel2017.pdf>>. Acesso em 10 de nov. 2019.
- ABRAMAN – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO. **Documento Nacional: A situação da manutenção no Brasil**. 2017.
- ALVES, Robson de Paula; FALSARELLA, Orandi Mina. **Modelo conceitual de inteligência organizacional aplicada à função manutenção**. 2012.
- ANDRADE, Thiago Willy de Carvalho; ALBUQUERQUE, Pedro Henrique Melo. **Tomada de Decisão Usando o Analytic Hierarchy Process (AHP) para a Seleção de um Curso para Concurso Público**. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674/2012: **Manutenção de edificações: Requisitos para o sistema de gestão de manutenção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462/1994: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- BACELO, Jorge Roberto Côrrea. **Análise do Risco e da Confiabilidade em Sistemas Complexos e Reparáveis**. 2016.
- BARTZ, Teonas; SILUK, Julio Cezar Mairesse; BARTZ, Ana Paula Barth. **Improvement of industrial performance with TPM implementation**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2014.
- BEN, Fernando. **Utilização do método AHP em decisões de investimento ambiental**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, v. 26, p. 1-8, 2006.
- BENNETT, David J. **Operations management II**. Sage, 2006.
- BEVILACQUA, Maurizio; BRAGLIA, Marcello. **The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection**. Reliability Engineering & System Safety, v. 70, n. 1, p. 71-83, 2000.

BUSSO, C. M.; MIYAKE, D. I. **Análise da aplicação de indicadores alternativos ao Overall Equipment Effectiveness (OEE) na gestão do desempenho global de uma fábrica / An analysis of the application of indicators alternative to Overall Equipment Effectiveness (OEE) in the management of a plant's overall performance**. Production, [s. l.], v. 23, n. 2, p. 205–225, 2013.

CARVALHO, Osmar Soares et al. **MANUTENÇÃO AUTÔNOMA**. Revista Pesquisa e Ação, v. 5, n. 4, p. 146-156, 2019.

CHANDRAHAS, Santosh Kumar Mishra; MAHAPATRA, Deepak. **Maintenance Strategy and Decision Making–AHP Method**. Int. J. Adv. Engg. Res. Studies/IV/III/Jan.-March, v. 2015.

DENARDIM, C. D; MILAN, G. S; REIS, C. Z. **A implantação de um planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro, 2010.

EUROPEAN STANDARD BS EN 15341:2019 **Maintenance - Maintenance Key Performance Indicators**, 2019.

FORMAN, Ernest; PENIWATI, Kirti. **Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process**. European journal of operational research, v. 108, n. 1, p. 165-169, 1998.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S. **Tomada de decisão gerencial: enfoque multicritério**. 5. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2014.

GUIMARÃES, Leonardo Miranda; NOGUEIRA, Cássio Ferreira; DA SILVA, Margarete Diniz Brás. **Manutenção industrial: implementação da manutenção produtiva total (tpm)**. e-xacta, v. 5, n. 1, 2012.

ISHIZAKA, Alessio. **Clusters and pivots for evaluating a large number of alternatives in AHP**. Pesquisa Operacional, v. 32, n. 1, p. 87-102, 2012.

ISO, ABNT. IEC 31010. **Técnicas para o Processo de Avaliação de riscos**, 2012.

JÚNIOR, Alvaro Luiz Neuenfeldt et al. **Comparativo entre as metodologias MCDA-C, DEA e AHP**. Revista da FAE, v. 18, n. 1, p. 6-19, 2015.

KUMAR, Abhishek et al. **A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 69, p. 596-609, 2017.

MACIEL, Marcelo Sampaio Dias; MURUYAMA, UGR; ÁVILA, Rosangela Mourat da Rocha. **Proposta de análise multicritério para tomada de decisão sobre gestão de manutenção de frotas: um estudo de caso com base no método AHP.** v. 12, n. 10, 2011.

MARINS, Cristiano Souza; SOUZA, Daniela de Oliveira; BARROS, Magno da Silva. **O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso.** XLI SBPO, v. 1, p. 49, 2009.

MENDES, A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: uma abordagem quantitativa.** 2011.

MOBLEY, R. Keith. **An introduction to predictive maintenance.** Elsevier, 2002.

MÜLLER, G. L.; DIESEL, L.; SELLITO, M. A. **Análise de Processos e Oportunidade de Melhorias em uma empresa de serviços.** Revista Produção Online. v.10, n.3, p. 524-550, 2010.

NETTO, C. Brandao Wady. **A importância da faculdade e a aplicabilidade de manutenção produtiva total nas indústrias.** Juiz de Fora, 2008.

OLIVEIRA, Monique Miranda. **Análise de métodos estatísticos em planejamento e controle de manutenção.** 2014.

OTANI, Mario; MACHADO, Waltair Vieira. **A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial.** Revista Gestão Industrial, Ponta Grossa, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008.

PIMENTEL, Hugo de Souza; LIMA, Aleksandro Guedes; NOGUEIRA NETO, Severino Cesariano. **Emprego dos indicadores de manutenção classe mundial nas indústrias da Paraíba.** 2012.

PINTO, Alan Kardec e XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: função estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark. Ed. 2007.

RAMOS FILHO, J.; ATAMANCZUK, M.; MARÇAL, R. **Seleção de técnicas de manutenção para processo de armazenagem pelo Método de Análise Hierárquica**. Produção Online, v.10, n.1, p.142-166, 2010.

RAPOSO, C. **Overall Equipment Effectiveness: aplicação em uma empresa do setor de bebidas do polo industrial de Manaus**. Produção Online, v.11, n.3, p.648-667, 2010.

RASHIDPOUR, Koorosh. **Using improved AHP method in maintenance approach selection**. 2013.

RAZENTE, Henrique Baroni. **Aplicação do método decisório AHP para auxiliar na tomada de decisão da gestão da manutenção industrial: estudo de um caso em uma empresa alimentícia**. 2017.

RIBEIRO, Livia de Souza; PASSOS, Aderson Campos; TEIXEIRA, Marcello Goulart. **Selection of communication technologies in the Brazilian Army using AHP, TODIM and Sapiens software**. Production, v. 22, n. 1, p. 132-141, 2012.

RODRIGUEZ, Dey Salvador Sanchez; COSTA, Helder Gomes; DO CARMO, LFRRS. **Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: Mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil**. Gestão & Produção, v. 20, n. 1, p. 134-146, 2013.

RUSSO, Edward; SCHOEMAKER, Paul J. H. **Tomada de decisões: Armadilhas**. São Paulo:Editora Saraiva, 1993.

SAATY, Thomas L. **How to make a decision: the analytic hierarchy process**. European journal of operational research, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, Thomas L. **How to make a decision: the analytic hierarchy process**. Interfaces, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SAATY, Thomas L. **Decision making with the analytic hierarchy process**. International journal of services sciences, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SACOMANO, José Benedito; GONÇALVES, Rodrigo Franco; SILVA, Márcia Terra da; BONILLA, Silvia Helena; SÁTYRO, Walter Cardoso. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2018.

SILVA, Diva Martins Rosas. **Aplicação do Método AHP para Avaliação de Projetos Industriais**. 2007.

SIQUEIRA, I. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

TELES, Eng. Jhonata. **Planejamento e Controle da Manutenção Descomplicado: Uma metodologia passo a passo para implantação do PCM**. Brasília: Engeteles, 2019.

TREVIZANO, Waldir Andrade; FREITAS, André Luíz Policani. **Emprego do Método da Análise Hierárquica (A.H.P.) na seleção de Processadores**. 2005.

VELMURUGAN, R. S.; DHINGRA, Tarun. **Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function: a conceptual framework**. International Journal of Operations & Production Management, v. 35, n. 12, p. 1622-1661, 2015.

VIANNA, H. R. G. **PCM – Planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro. Qualitymark, 2002.

APÊNDICE A – PREMISSAS PARA OS JULGAMENTOS DAS MATRIZES

| Número | Pergunta |
|--------|--|
| 1 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa para a determinação da estratégia adequada de manutenção. |
| 2 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de negócios. |
| 3 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de segurança. |
| 4 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de confiabilidade. |
| 5 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de custo. |
| 6 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de operacional. |
| 7 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de danos. |
| 8 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de peças de estoque. |
| 9 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de <i>retrofit</i> . |
| 10 | Julgue os critérios abaixo de acordo com a sua importância relativa em se tratando de treinamentos. |
| 11 | Tendo em vista que o OEE impacta diretamente no desempenho operacional da planta com relação à disponibilidade e performance, como você classifica o impacto de cada tipo de manutenção neste aspecto? |
| 12 | Sabendo que o MTTR (<i>Mean Time To Repair</i>) está relacionado à disponibilidade operacional da planta, ou seja, quanto menor o tempo médio para o reparo de uma irregularidade maior será a disponibilidade operacional, como você classifica o impacto de cada tipo de manutenção para este indicador? |
| 13 | O MTBF (<i>Mean Time Between Failure</i>) também é um indicador relacionado à disponibilidade operacional, pois trata-se da média de tempo entre a ocorrência de falhas. Logo, quanto maior o MTBF, melhor será a disponibilidade operacional. Sabendo disso, como você classifica o impacto de cada tipo de manutenção para este indicador? |
| 14 | Com o objetivo de realizar manutenções que visam reduzir possíveis danos à planta, como você classifica o impacto de cada tipo de manutenção neste aspecto? |
| 15 | Com o propósito de realizar manutenções com o objetivo de minimizar possíveis danos à qualidade do produto, como você classifica o impacto de cada tipo de manutenção neste aspecto? |
| 16 | Com o propósito de realizar manutenções com o objetivo de minimizar possíveis danos ao meio ambiente, como cada tipo de manutenção interfere para que este objetivo seja atingido? |
| 17 | Com o propósito de realizar manutenções com o objetivo de minimizar possíveis danos e riscos às pessoas, como cada tipo de manutenção interfere para que este objetivo seja atingido? |

| Número | Pergunta |
|--------|--|
| 18 | Com o objetivo de maximizar a segurança pessoal dos colaboradores, como cada tipo de manutenção interfere neste aspecto? |
| 19 | Com o objetivo de maximizar a segurança do meio ambiente, qual o impacto de cada tipo de manutenção neste aspecto? |
| 20 | Um sistema ou software para detecção de falhas poderia auxiliar na manutenibilidade de um determinado equipamento, pois permitiria que falhas pudessem ser detectadas a tempo de serem corrigidas, auxiliaria a equipe nas estratégias de intervenção no equipamento e alocaria recursos assertivamente. Como cada tipo de manutenção interfere neste aspecto? |
| 21 | Uma equipe de especialistas auxilia no diagnóstico mais preciso das falhas e o que pode ser feito para evita-las futuramente, pois possuem grande experiência na manutenção, conhecem melhores e piores práticas, podendo assim definir melhores estratégias de modo a aumentar a confiabilidade do sistema. Neste aspecto, como cada tipo de manutenção interfere? |
| 22 | O MTBF é um indicador que está diretamente relacionado ao cálculo da confiabilidade, visto que quanto maior o tempo médio entre falhas, maior será a confiabilidade do sistema em um determinado espaço de tempo. Desta forma, como cada tipo de manutenção impacta nestes fatores? |
| 23 | Com o objetivo de diminuir o tempo de transporte de peças de estoque utilizadas na manutenção, como cada tipo de manutenção interfere neste fator? |
| 24 | Com o objetivo de diminuir o preço de compra das peças de estoque, como cada tipo de manutenção interfere para que este objetivo seja atingido? |
| 25 | Sabendo que o MTTR pode ser reduzido quando existe as peças necessárias para a manutenção no estoque, como cada tipo de manutenção pode contribuir para isso ocorrer? |
| 26 | O MTTR é um indicador levado em consideração quando busca-se realizar retrofit de um determinado equipamento, pois caso o MTTR seja considerado alto e levando em consideração os fatores de custo, faz sentido que se queira diminuir o MTTR afim de evitar retrofit e consequentemente custos elevados. Tendo estes pontos em vista, como cada tipo de manutenção interfere nesses fatores? |
| 27 | O MTBF também é um indicador levado em consideração quando se pensa em realizar retrofit de um determinado equipamento, pois caso o MTBF seja considerado baixo e levando em consideração os fatores de custo, faz sentido que se queira aumentar o MTBF afim de evitar retrofit e consequentemente custos elevados. Tendo estes pontos em vista, como cada tipo de manutenção interfere nesses fatores? |
| 28 | Com o objetivo de diminuir o MTTR, é importante que todas as manutenções sejam realizadas de maneira adequada e precisa. Uma maneira de melhorar estes fatores é investir em treinamentos. Neste aspecto, como cada tipo de manutenção interfere afim de diminuir o MTTR? |
| 29 | Com o objetivo de elevar o MTBF, é importante que todas as manutenções e diagnósticos de falhas sejam realizados de maneira adequada e com qualidade. Uma maneira de melhorar estes fatores é investir em treinamentos. Desta forma, como cada tipo de manutenção interfere na busca pelo aumento do MTBF? |
| 30 | Pode-se investir em novas tecnologias com o objetivo de melhorar as manutenções como um todo, porém existe um custo atrelado com a este investimento. Neste aspecto, como cada tipo de manutenção está relacionado ao investimento em novas tecnologias? |

APÊNDICE B – MATRIZES DE COMPARAÇÕES RELATIVAS AO AVALIADOR A1

Matriz de comparações relativa aos critérios de nível 1

| Categoria x Categoria | Negócio | Segurança | Confiabilidade | Custo | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------|------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------|
| Negócio | 1 | 1 | 1 | 3 | 27,53% | |
| Segurança | 1 | 1 | 3 | 5 | 40,72% | 7,05% |
| Confiabilidade | 1 | 1/3 | 1 | 5 | 24,53% | |
| Custo | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 7,22% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Negócio

| Categoria x Categoria | Operacional | Danos | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|-----------|
| Operacional | 1 | 2 | 66,67% | 0,00% |
| Danos | 1/2 | 1 | 33,33% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança

| Categoria x Categoria | Segurança Pessoal | Segurança Ambiente | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|
| Segurança Pessoal | 1 | 2 | 66,67% | 0,00% |
| Segurança Ambiente | 1/2 | 1 | 33,33% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Confiabilidade

| Categoria x Categoria | Deteção de Falhas | Especialistas | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Deteção de Falhas | 1 | 2 | 1/2 | 31,19% | |
| Especialistas | 1/2 | 1 | 1/2 | 19,76% | 5,17% |
| MTBF | 2 | 2 | 1 | 49,05% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Custo

| Categoria x Categoria | Peças de Estoque | Investimento Tecnologias | Retrofit | Treinamentos | Prioridade | RC |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Peças de Estoque | 1 | 2 | 1/2 | 3 | 27,18% | |
| Investimento Tecnologias | 1/2 | 1 | 1/2 | 5 | 22,68% | 5,88% |
| Retrofit | 2 | 2 | 1 | 5 | 42,95% | |
| Treinamentos | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 7,19% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Operacional

| Categoria x Categoria | OEE | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| OEE | 1 | 3 | 5 | 65,55% | |
| MTTR | 1/3 | 1 | 1 | 18,67% | 2,81% |
| MTBF | 1/5 | 1 | 1 | 15,78% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Danos

| Categoria x Categoria | Planta | Qualidade de Produtos | Meio Ambiente | Pessoas | Prioridade | RC |
|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------|
| Planta | 1 | 1 | 2 | 1/2 | 21,29% | |
| Qualidade de Produtos | 1 | 1 | 2 | 1/5 | 17,60% | 5,71% |
| Meio Ambiente | 1/2 | 1/2 | 1 | 1/3 | 11,67% | |
| Pessoas | 2 | 5 | 3 | 1 | 49,45% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Peças de Estoque

| Categoria x Categoria | Logística | Preço de Compra | MTTR | Prioridade | RC |
|------------------------------|------------------|------------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Logística | 1 | 2 | 1/3 | 23,95% | |
| Preço de Compra | 1/2 | 1 | 1/4 | 13,73% | 1,76% |
| MTTR | 3 | 4 | 1 | 62,32% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Retrofit

| Categoria x Categoria | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| MTTR | 1 | 1/5 | 16,67% | 0,00% |
| MTBF | 5 | 1 | 83,33% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Treinamentos

| Categoria x Categoria | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| MTTR | 1 | 6 | 85,71% | 0,00% |
| MTBF | 1/6 | 1 | 14,29% | |

Matriz de comparações relativa ao critério OEE

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/2 | 1 | 2 | 21,25% | 0,58% |
| Manutenção Preditiva | 2 | 1 | 3 | 5 | 49,54% | |
| Manutenção Preventiva | 1 | 1/3 | 1 | 2 | 19,20% | |
| Manutenção Corretiva | 1/2 | 1/5 | 1/2 | 1 | 10,01% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Operacional)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/4 | 1/4 | 1/2 | 8,61% | 3,06% |
| Manutenção Preditiva | 4 | 1 | 2 | 4 | 47,31% | |
| Manutenção Preventiva | 4 | 1/2 | 1 | 3 | 31,14% | |
| Manutenção Corretiva | 2 | 1/4 | 1/3 | 1 | 12,94% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Operacional)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 1/2 | 8,02% | 9,53% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 4 | 4 | 54,51% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/4 | 1 | 4 | 25,50% | |
| Manutenção Corretiva | 2 | 1/4 | 1/4 | 1 | 11,97% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Planta

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 1 | 14,11% | 0,39% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 2 | 3 | 45,47% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/2 | 1 | 2 | 26,30% | |
| Manutenção Corretiva | 1 | 1/3 | 1/2 | 1 | 14,11% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Qualidade Produtos

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 3 | 4 | 5 | 55,54% | 0,79% |
| Manutenção Preditiva | 1/3 | 1 | 1 | 2 | 18,06% | |
| Manutenção Preventiva | 1/4 | 1 | 1 | 2 | 16,90% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/2 | 1/2 | 1 | 9,50% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Meio Ambiente

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 4 | 4 | 4 | 55,40% | 4,59% |
| Manutenção Preditiva | 1/4 | 1 | 2 | 2 | 19,96% | |
| Manutenção Preventiva | 1/4 | 1/2 | 1 | 2 | 14,54% | |
| Manutenção Corretiva | 1/4 | 1/2 | 1/2 | 1 | 10,10% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Pessoas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 2 | 1/2 | 2 | 26,95% | 2,67% |
| Manutenção Preditiva | 1/2 | 1 | 1/2 | 2 | 19,28% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 2 | 1 | 3 | 41,68% | |
| Manutenção Corretiva | 1/2 | 1/2 | 1/3 | 1 | 12,09% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança Pessoal

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 2 | 1/2 | 2 | 26,95% | 2,67% |
| Manutenção Preditiva | 1/2 | 1 | 1/2 | 2 | 19,28% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 2 | 1 | 3 | 41,68% | |
| Manutenção Corretiva | 1/2 | 1/2 | 1/3 | 1 | 12,09% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança do Meio Ambiente

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 4 | 4 | 4 | 55,40% | 4,59% |
| Manutenção Preditiva | 1/4 | 1 | 2 | 2 | 19,96% | |
| Manutenção Preventiva | 1/4 | 1/2 | 1 | 2 | 14,54% | |
| Manutenção Corretiva | 1/4 | 1/2 | 1/2 | 1 | 10,10% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Sistema de Detecção de Falhas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 9,17% | 5,45% |
| Manutenção Preditiva | 4 | 1 | 3 | 4 | 51,47% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/3 | 1 | 3 | 26,23% | |
| Manutenção Corretiva | 2 | 1/4 | 1/3 | 1 | 13,14% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Especialistas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 6,25% | 0,00% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 1 | 1 | 31,25% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1 | 1 | 1 | 31,25% | |
| Manutenção Corretiva | 5 | 1 | 1 | 1 | 31,25% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Peças em Estoque)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/5 | 2 | 11,68% | 7,26% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 1 | 3 | 38,94% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1 | 1 | 3 | 38,94% | |
| Manutenção Corretiva | 1/2 | 1/3 | 1/3 | 1 | 10,44% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Logística

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1 | 1/2 | 1/3 | 14,11% | 0,39% |
| Manutenção Preditiva | 1 | 1 | 1/2 | 1/3 | 14,11% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 2 | 1 | 1/2 | 26,30% | |
| Manutenção Corretiva | 3 | 3 | 2 | 1 | 45,47% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Preço de Compra

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/2 | 1/3 | 1/2 | 12,02% | 1,72% |
| Manutenção Preditiva | 2 | 1 | 1/2 | 1 | 22,12% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 2 | 1 | 3 | 45,66% | |
| Manutenção Corretiva | 2 | 1 | 1/3 | 1 | 20,20% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Peças de Estoque)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/2 | 1/3 | 1/2 | 11,64% | 5,02% |
| Manutenção Preditiva | 2 | 1 | 1/3 | 2 | 22,26% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 3 | 1 | 4 | 50,75% | |
| Manutenção Corretiva | 2 | 1/2 | 1/4 | 1 | 15,34% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Retrofit)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 2 | 2 | 1/3 | 23,45% | 2,27% |
| Manutenção Preditiva | 1/2 | 1 | 1 | 1/3 | 13,81% | |
| Manutenção Preventiva | 1/2 | 1 | 1 | 1/3 | 13,81% | |
| Manutenção Corretiva | 3 | 3 | 3 | 1 | 48,93% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Retrofit)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/4 | 1 | 10,95% | 0,77% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 1/2 | 3 | 29,73% | |
| Manutenção Preventiva | 4 | 2 | 1 | 4 | 48,36% | |
| Manutenção Corretiva | 1 | 1/3 | 1/4 | 1 | 10,95% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Treinamentos)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 4 | 3 | 1/3 | 28,36% | 9,00% |
| Manutenção Preditiva | 1/4 | 1 | 1/3 | 1/4 | 7,84% | |
| Manutenção Preventiva | 1/3 | 3 | 1 | 1/3 | 15,83% | |
| Manutenção Corretiva | 3 | 4 | 3 | 1 | 47,97% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Treinamentos)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 2 | 16,51% | |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 2 | 3 | 44,45% | 2,67% |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/2 | 1 | 3 | 28,32% | |
| Manutenção Corretiva | 1/2 | 1/3 | 1/3 | 1 | 10,72% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Investimentos em Novas Tecnologias

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/4 | 1/4 | 1/3 | 7,84% | |
| Manutenção Preditiva | 4 | 1 | 3 | 3 | 47,97% | 9,00% |
| Manutenção Preventiva | 4 | 1/3 | 1 | 3 | 28,36% | |
| Manutenção Corretiva | 3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 15,83% | |

APÊNDICE C – MATRIZES DE COMPARAÇÕES RELATIVAS AO AVALIADOR A2

Matriz de comparações relativa aos critérios de nível 1

| Categoria x Categoria | Negócio | Segurança | Confiabilidade | Custo | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------|------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------|
| Negócio | 1 | 1/9 | 1 | 1 | 8,33% | |
| Segurança | 9 | 1 | 9 | 9 | 75,00% | 0,00% |
| Confiabilidade | 1 | 1/9 | 1 | 1 | 8,33% | |
| Custo | 1 | 1/9 | 1 | 1 | 8,33% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Negócio

| Categoria x Categoria | Operacional | Danos | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|-----------|
| Operacional | 1 | 1 | 50,00% | 0,00% |
| Danos | 1 | 1 | 50,00% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança

| Categoria x Categoria | Segurança Pessoal | Segurança Ambiente | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|
| Segurança Pessoal | 1 | 3 | 75,00% | 0,00% |
| Segurança Ambiente | 1/3 | 1 | 25,00% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Confiabilidade

| Categoria x Categoria | Deteção de Falhas | Especialistas | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Deteção de Falhas | 1 | 1/2 | 1/3 | 16,98% | |
| Especialistas | 2 | 1 | 1 | 38,73% | 1,76% |
| MTBF | 3 | 1 | 1 | 44,29% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Custo

| Categoria x Categoria | Peças de Estoque | Investimento Tecnologias | Retrofit | Treinamentos | Prioridade | RC |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Peças de Estoque | 1 | 1/4 | 1/2 | 1/3 | 9,74% | |
| Investimento Tecnologias | 4 | 1 | 2 | 1/2 | 28,70% | 5,92% |
| Retrofit | 2 | 1/2 | 1 | 1/5 | 13,73% | |
| Treinamentos | 3 | 2 | 5 | 1 | 47,83% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Operacional

| Categoria x Categoria | OEE | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| OEE | 1 | 1/3 | 1/5 | 10,62% | |
| MTTR | 3 | 1 | 1/3 | 26,05% | 3,72% |
| MTBF | 5 | 3 | 1 | 63,33% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Danos

| Categoria x Categoria | Planta | Qualidade de Produtos | Meio Ambiente | Pessoas | Prioridade | RC |
|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------|
| Planta | 1 | 1/2 | 1/5 | 1/7 | 6,22% | |
| Qualidade de Produtos | 2 | 1 | 1/3 | 1/5 | 10,79% | 2,57% |
| Meio Ambiente | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 26,71% | |
| Pessoas | 7 | 5 | 3 | 1 | 56,28% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Peças de Estoque

| Categoria x Categoria | Logística | Preço de Compra | MTTR | Prioridade | RC |
|------------------------------|------------------|------------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Logística | 1 | 1 | 1/2 | 24,09% | |
| Preço de Compra | 1 | 1 | 1/3 | 21,06% | 1,76% |
| MTTR | 2 | 3 | 1 | 54,85% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Retrofit

| Categoria x Categoria | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| MTTR | MTTR | 1 | 1/3 | 0,00% |
| MTBF | MTBF | 3 | 1 | |

Matriz de comparações relativa ao critério Treinamentos

| Categoria x Categoria | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| MTTR | 1 | 3 | 75,00% | 0,00% |
| MTBF | 1/3 | 1 | 25,00% | |

Matriz de comparações relativa ao critério OEE

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 5 | 19,32% | 5,18% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 2 | 7 | 48,73% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/2 | 1 | 3 | 25,60% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/7 | 1/3 | 1 | 6,35% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Operacional)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 3 | 16,49% | 1,27% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 2 | 6 | 47,86% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/2 | 1 | 5 | 29,23% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/6 | 1/5 | 1 | 6,42% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Operacional)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/2 | 5 | 15,64% | 6,68% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 3 | 7 | 55,84% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/3 | 1 | 5 | 23,33% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/7 | 1/5 | 1 | 5,19% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Planta

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/2 | 1/3 | 2 | 15,44% | 0,39% |
| Manutenção Preditiva | 2 | 1 | 1/2 | 3 | 26,71% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 2 | 1 | 6 | 49,58% | |
| Manutenção Corretiva | 1/2 | 1/3 | 1/6 | 1 | 8,26% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Qualidade Produtos

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1 | 1/2 | 4 | 26,65% | 7,86% |
| Manutenção Preditiva | 1 | 1 | 1/2 | 3 | 24,15% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 2 | 1 | 2 | 38,30% | |
| Manutenção Corretiva | 1/4 | 1/3 | 1/2 | 1 | 10,89% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Meio Ambiente

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 2 | 1/2 | 5 | 30,74% | 2,42% |
| Manutenção Preditiva | 1/2 | 1 | 1/2 | 3 | 19,10% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 2 | 1 | 5 | 43,18% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 6,97% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Pessoas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 5 | 18,24% | 2,90% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 2 | 7 | 47,59% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/2 | 1 | 6 | 29,10% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/7 | 1/6 | 1 | 5,07% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança Pessoal

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1 | 7 | 21,70% | 3,44% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 3 | 9 | 52,60% | |
| Manutenção Preventiva | 1 | 1/3 | 1 | 7 | 21,70% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/9 | 1/7 | 1 | 3,99% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança do Meio Ambiente

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 3 | 2 | 9 | 47,01% | 5,47% |
| Manutenção Preditiva | 1/3 | 1 | 1/2 | 9 | 19,87% | |
| Manutenção Preventiva | 1/2 | 2 | 1 | 9 | 29,57% | |
| Manutenção Corretiva | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 3,55% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Sistema de Detecção de Falhas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/7 | 1 | 6 | 16,63% | 8,78% |
| Manutenção Preditiva | 7 | 1 | 3 | 9 | 59,58% | |
| Manutenção Preventiva | 1 | 1/3 | 1 | 6 | 19,63% | |
| Manutenção Corretiva | 1/6 | 1/9 | 1/6 | 1 | 4,15% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Especialistas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 3 | 11,96% | 1,55% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 2 | 9 | 53,85% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/2 | 1 | 5 | 28,96% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/9 | 1/5 | 1 | 5,23% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Peças em Estoque)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 7 | 14,90% | 7,85% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 2 | 9 | 50,93% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/2 | 1 | 8 | 30,33% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/9 | 1/8 | 1 | 3,83% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Logística

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 5 | 19,89% | 8,16% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 1/2 | 5 | 32,67% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 2 | 1 | 5 | 41,39% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 6,06% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Preço de Compra

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/2 | 1/5 | 9 | 17,34% | 9,04% |
| Manutenção Preditiva | 2 | 1 | 1/2 | 9 | 28,03% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 2 | 1 | 9 | 51,10% | |
| Manutenção Corretiva | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 3,54% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Peças de Estoque)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1 | 1/3 | 5 | 22,67% | 4,43% |
| Manutenção Preditiva | 1 | 1 | 1/2 | 5 | 24,72% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 2 | 1 | 5 | 46,44% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 6,17% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Retrofit)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1 | 3 | 19,14% | 9,53% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 2 | 3 | 48,38% | |
| Manutenção Preventiva | 1 | 1/2 | 1 | 3 | 22,83% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 9,66% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Retrofit)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/2 | 5 | 15,29% | 6,87% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 3 | 7 | 55,44% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/3 | 1 | 6 | 24,32% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/7 | 1/6 | 1 | 4,95% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Treinamentos)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/2 | 1 | 9 | 26,12% | 2,29% |
| Manutenção Preditiva | 2 | 1 | 2 | 9 | 44,20% | |
| Manutenção Preventiva | 1 | 1/2 | 1 | 9 | 26,12% | |
| Manutenção Corretiva | 1/9 | 1/9 | 1/9 | 1 | 3,56% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Treinamentos)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 7 | 15,48% | 9,44% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 2 | 8 | 50,45% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/2 | 1 | 7 | 29,85% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/8 | 1/7 | 1 | 4,22% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Investimentos em Novas Tecnologias

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/2 | 5 | 14,92% | 3,41% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 2 | 9 | 53,00% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/2 | 1 | 7 | 27,82% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/9 | 1/7 | 1 | 4,26% | |

APÊNDICE D – MATRIZES DE COMPARAÇÕES RELATIVAS AO AVALIADOR A3

Matriz de comparações relativa aos critérios de nível 1

| Categoria x Categoria | Negócio | Segurança | Confiabilidade | Custo | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------|------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------|
| Negócio | 1 | 3 | 3 | 1 | 37,19% | |
| Segurança | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 17,60% | 9,86% |
| Confiabilidade | 1/3 | 1 | 1 | 1/5 | 11,35% | |
| Custo | 1 | 1 | 5 | 1 | 33,85% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Negócio

| Categoria x Categoria | Operacional | Danos | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------|--------------|-------------------|-----------|
| Operacional | 1 | 1 | 50,00% | 0,00% |
| Danos | 1 | 1 | 50,00% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança

| Categoria x Categoria | Segurança Pessoal | Segurança Ambiente | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|
| Segurança Pessoal | 1 | 1 | 50,00% | 0,00% |
| Segurança Ambiente | 1 | 1 | 50,00% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Confiabilidade

| Categoria x Categoria | Deteção de Falhas | Especialistas | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|--------------------------|----------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Deteção de Falhas | 1 | 3 | 1/3 | 26,05% | |
| Especialistas | 1/3 | 1 | 1/5 | 10,62% | 3,72% |
| MTBF | 3 | 5 | 1 | 63,33% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Custo

| Categoria x Categoria | Peças de Estoque | Investimento Tecnologias | Retrofit | Treinamentos | Prioridade | RC |
|---------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------|-------------------|-----------|
| Peças de Estoque | 1 | 3 | 3 | 3 | 47,62% | |
| Investimento Tecnologias | 1/3 | 1 | 1 | 1/4 | 12,30% | 9,52% |
| Retrofit | 1/3 | 1 | 1 | 1 | 15,87% | |
| Treinamentos | 1/3 | 4 | 1 | 1 | 24,21% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Operacional

| Categoria x Categoria | OEE | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| OEE | 1 | 7 | 4 | 68,77% | |
| MTTR | 1/7 | 1 | 1/4 | 7,78% | 7,45% |
| MTBF | 1/4 | 4 | 1 | 23,44% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Danos

| Categoria x Categoria | Planta | Qualidade de Produtos | Meio Ambiente | Pessoas | Prioridade | RC |
|------------------------------|---------------|------------------------------|----------------------|----------------|-------------------|-----------|
| Planta | 1 | 1 | 1 | 1/9 | 8,56% | |
| Qualidade de Produtos | 1 | 1 | 3 | 1/9 | 13,11% | 9,37% |
| Meio Ambiente | 1 | 1/3 | 1 | 1/6 | 8,09% | |
| Pessoas | 9 | 9 | 6 | 1 | 70,24% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Peças de Estoque

| Categoria x Categoria | Logística | Preço de Compra | MTTR | Prioridade | RC |
|------------------------------|------------------|------------------------|-------------|-------------------|-----------|
| Logística | 1 | 1/7 | 1/4 | 7,96% | |
| Preço de Compra | 7 | 1 | 3 | 65,55% | 3,13% |
| MTTR | 4 | 1/3 | 1 | 26,48% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Retrofit

| Categoria x Categoria | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| MTTR | MTTR | 1 | 1/3 | 0,00% |
| MTBF | MTBF | 3 | 1 | |

Matriz de comparações relativa ao critério Treinamentos

| Categoria x Categoria | MTTR | MTBF | Prioridade | RC |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------------|-----------|
| MTTR | 1 | 3 | 75,00% | 0,00% |
| MTBF | 1/3 | 1 | 25,00% | |

Matriz de comparações relativa ao critério OEE

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/7 | 1/5 | 3 | 9,90% | 8,91% |
| Manutenção Preditiva | 7 | 1 | 3 | 7 | 56,55% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 28,02% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1 | 5,53% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Operacional)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/7 | 1/5 | 3 | 10,21% | 6,58% |
| Manutenção Preditiva | 7 | 1 | 1 | 7 | 45,42% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1 | 1 | 5 | 38,54% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1 | 5,83% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Operacional)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/9 | 1/5 | 1/3 | 5,19% | 4,36% |
| Manutenção Preditiva | 9 | 1 | 3 | 3 | 53,33% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1/3 | 1 | 3 | 27,37% | |
| Manutenção Corretiva | 3 | 1/3 | 1/3 | 1 | 14,10% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Planta

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1 | 1 | 5 | 30,89% | 7,15% |
| Manutenção Preditiva | 1 | 1 | 4 | 5 | 42,73% | |
| Manutenção Preventiva | 1 | 1/4 | 1 | 3 | 19,67% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 6,70% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Qualidade Produtos

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 4 | 13,73% | 8,37% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 3 | 6 | 54,14% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/3 | 1 | 5 | 26,34% | |
| Manutenção Corretiva | 1/4 | 1/6 | 1/5 | 1 | 5,79% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Meio Ambiente

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 5 | 3 | 7 | 54,80% | 6,53% |
| Manutenção Preditiva | 1/5 | 1 | 1/4 | 3 | 11,49% | |
| Manutenção Preventiva | 1/3 | 4 | 1 | 5 | 28,08% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 1 | 5,62% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Pessoas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 3 | 5 | 5 | 53,29% | 7,54% |
| Manutenção Preditiva | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 27,29% | |
| Manutenção Preventiva | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 12,76% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 6,67% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança Pessoal

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 3 | 5 | 7 | 53,93% | 8,79% |
| Manutenção Preditiva | 1/3 | 1 | 5 | 5 | 29,50% | |
| Manutenção Preventiva | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 11,01% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 5,56% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Segurança do Meio Ambiente

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1 | 3 | 5 | 37,97% | 5,94% |
| Manutenção Preditiva | 1 | 1 | 3 | 5 | 37,97% | |
| Manutenção Preventiva | 1/3 | 1/3 | 1 | 5 | 17,86% | |
| Manutenção Corretiva | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 6,20% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Sistema de Detecção de Falhas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 2 | 7 | 25,20% | 3,94% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 4 | 9 | 55,02% | |
| Manutenção Preventiva | 1/2 | 1/4 | 1 | 5 | 15,53% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/9 | 1/5 | 1 | 4,24% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Especialistas

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 3 | 12,19% | 4,44% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 3 | 7 | 55,79% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/3 | 1 | 5 | 26,33% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1 | 5,69% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Peças em Estoque)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 3 | 12,53% | 8,81% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 5 | 7 | 60,85% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/5 | 1 | 3 | 20,38% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/7 | 1/3 | 1 | 6,24% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Logística

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 5 | 3 | 7 | 55,79% | 4,44% |
| Manutenção Preditiva | 1/5 | 1 | 1/3 | 3 | 12,19% | |
| Manutenção Preventiva | 1/3 | 3 | 1 | 5 | 26,33% | |
| Manutenção Corretiva | 1/7 | 1/3 | 1/5 | 1 | 5,69% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Preço de Compra

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/2 | 3 | 15,47% | 7,70% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 5 | 7 | 56,35% | |
| Manutenção Preventiva | 2 | 1/5 | 1 | 5 | 22,42% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1 | 5,76% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Peças de Estoque)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/3 | 1/5 | 1 | 10,09% | 4,33% |
| Manutenção Preditiva | 3 | 1 | 1/3 | 3 | 26,70% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 3 | 1 | 3 | 51,34% | |
| Manutenção Corretiva | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 11,88% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Retrofit)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 3 | 13,60% | 7,66% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 3 | 5 | 54,30% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/3 | 1 | 3 | 24,45% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 7,65% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Retrofit)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/5 | 1/3 | 1 | 9,31% | 4,36% |
| Manutenção Preditiva | 5 | 1 | 3 | 5 | 53,88% | |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/3 | 1 | 5 | 28,24% | |
| Manutenção Corretiva | 1 | 1/5 | 1/5 | 1 | 8,57% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTTR (Treinamentos)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 5,53% | 8,91% |
| Manutenção Preditiva | 7 | 1 | 3 | 7 | 56,55% | |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1/3 | 1 | 5 | 28,02% | |
| Manutenção Corretiva | 3 | 1/7 | 1/5 | 1 | 9,90% | |

Matriz de comparações relativa ao critério MTBF (Treinamentos)

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 6,76% | |
| Manutenção Preditiva | 7 | 1 | 5 | 7 | 61,36% | 7,95% |
| Manutenção Preventiva | 5 | 1/5 | 1 | 5 | 25,13% | |
| Manutenção Corretiva | 1 | 1/7 | 1/5 | 1 | 6,76% | |

Matriz de comparações relativa ao critério Investimentos em Novas Tecnologias

| Categoria x Categoria | Manutenção Autônoma | Manutenção Preditiva | Manutenção Preventiva | Manutenção Corretiva | Prioridade | RC |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------|
| Manutenção Autônoma | 1 | 1/7 | 1/3 | 3 | 10,10% | |
| Manutenção Preditiva | 7 | 1 | 5 | 9 | 64,27% | 6,52% |
| Manutenção Preventiva | 3 | 1/5 | 1 | 5 | 20,83% | |
| Manutenção Corretiva | 1/3 | 1/9 | 1/5 | 1 | 4,80% | |