



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

WESLLEN MORAIS ALEIXO BARBOSA

**ESTRUTURAÇÃO DA MANUTENÇÃO PARA UMA PLANTA DE FABRICAÇÃO
DE PAPEL**

Recife, 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa
de geração automática do SIB/UFPE

Barbosa, Wesllen Morais Aleixo.

Estruturação da manutenção para uma planta de fabricação de papel /
Wesllen Morais Aleixo Barbosa. - Recife, 2022.

53 : il., tab.

Orientador(a): Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências,
Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2022.

1. Gestão da manutenção. 2. Estratégias de manutenção. 3. Fábrica de papel.
4. Criticidade de equipamentos. I. Duarte, Dayse Cavalcanti
de Lemos.(Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

WESLLEN MORAIS ALEIXO BARBOSA

**ESTRUTURAÇÃO DA MANUTENÇÃO PARA UMA PLANTA DE FABRICAÇÃO
DE PAPEL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para a obtenção do Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof.^a Dra. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte.

Recife, 2022

WESLLEN MORAIS ALEIXO BARBOSA

**ESTRUTURAÇÃO DA MANUTENÇÃO PARA UMA PLANTA DE FABRICAÇÃO
DE PAPEL**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco como requisito para a obtenção do Bacharelado em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Dra. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte (orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Professor Examinador

Universidade Federal de Pernambuco

Professor Examinador

Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais e à minha
companheira Thaís, por todo apoio e
colaboração.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Cícera Leila e José Aleixo por todo apoio e suporte necessário e incondicional em toda minha jornada pessoal e profissional.

À minha companheira Thaís pela paciência e por estar sempre presente nos momentos mais difíceis.

À minha orientadora Dayse orientação, apoio e confiança.

Aos amigos que muito me ajudaram ao longo da formação.

RESUMO

Até meados de 1950 a manutenção resumia-se ao ato de consertar equipamentos após sua perda de funcionalidade no sistema. No pós Segunda Guerra, devido à alta competitividade e crescimento do consumo, percebeu-se que determinados equipamentos falhavam em períodos similares, sendo introduzida a manutenção preventiva, com base no tempo. Impulsionado pela terceira revolução industrial e pelo surgimento de instrumentos de manutenção a partir de 1970 e com intuito de reduzir custos na fabricação, foram introduzidas técnicas de manutenção sob condição, visando manter o sistema em funcionamento com o mínimo de custo. É nesse contexto que aparecem os métodos de gestão de manutenção. Entendendo que a cada realidade pode-se ter uma maneira mais ou menos eficaz de gerir a manutenção visando menor custo de ciclo de vida dos ativos e que para sistemas complexos com alto número de equipamentos se faz necessário entender quais equipamentos merecem mais atenção no que diz respeito à manutenção visando manter o sistema em funcionamento com menor custo, este trabalho surge com o intuito de apresentar uma estruturação da manutenção de uma planta fabricante de papel com base na criticidade dos equipamentos. Como resultado, o trabalho determinou qual área da planta é a mais crítica e classificou seus equipamentos quanto à criticidade para, assim, determinar estratégias de manutenção para cada equipamento com base na criticidade obtida. Salienta-se que neste trabalho estão presentes apenas amostras das classificações de criticidade devido à confidencialidade dos históricos de falha e custo de manutenção. Também, que fica para a posteridade observar se os resultados deste trabalho surtirão efeito no melhoramento do processo de manutenção, visto que se trata de um período longo de observação para tal conclusão.

Palavras-chave: Gestão da manutenção; Estratégias de manutenção; Fábrica de papel; Criticidade de equipamentos.

ABSTRACT

Until the mid-1950's, maintenance was limited to the act of repairing equipment after it lost functionality in the system. After the Second World War, due to high competitiveness and consumption growth, it was noticed that certain equipment failed in similar periods, and preventive maintenance was introduced, based on time. Spurred on by the third industrial revolution and the emergence of maintenance instruments from 1970 onwards and with the aim of reducing manufacturing costs, maintenance under condition techniques were introduced to keep the system in operation at a minimum cost. It is in this context that maintenance management methods appear. Understanding that in each reality there can be a more or less effective way of managing maintenance aiming at lower life cycle cost of assets and that for complex systems with a high number of equipment it's necessary to understand which equipment deserves more attention with regard to maintenance to keep the system running at a lower cost, this work aims to present a structuring of the maintenance of a paper manufacturing plant based on the criticality of the equipment. As a result, the work determined which area of the plant is the most critical and classified it's equipment in terms of criticality in order to determine maintenance strategies for each equipment based on the criticality obtained. It should be noted that in this work only samples of criticality ratings are present due to the confidentiality of failure and maintenance cost histories. Also, it remains for posterity to see if the results of this work will have an effect on improving the maintenance process, since it is a long observation period for such a conclusion.

Keywords: Maintenance management; Maintenance strategies; Paper factory; Equipment criticality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –Representação esquemática dos tipos de manutenção	15
Figura 2 –Esquema explicativo da FEMEA	20
Figura 3 - Uso do AHP para seleção da casa mais adequada	22
Figura 4 - Fluxograma das etapas do trabalho	28
Figura 5 – Representação esquemática simplificada da planta	29
Figura 6 - Fluxograma do processo	29
Figura 7 - Funcionamento de uma máquina de papel	30
Figura 8 – Hierarquização para seleção da área crítica da planta	32
Figura 9 – Matriz de comparação entre os critérios no Super Decisions	37
Figura 10 – Pesos normalizados dos critérios no Super Decisions	38
Figura 11 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTTR no Super Decisions	39
Figura 12 – Pesos normalizados das alternativas quanto ao MTTR no Super Decisions	40
Figura 13 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTBF no Super Decisions	40
Figura 14 – Pesos normalizados das alternativas quanto ao MTBF no Super Decisions	41
Figura 15 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao custo de manutenção no Super Decisions	42
Figura 16 – Pesos normalizados das alternativas quanto ao custo de manutenção no Super Decisions.....	42
Figura 17 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao risco de segurança no Super Decisions	43
Figura 18 – Pesos normalizados das alternativas quanto ao risco de segurança no Super Decisions.....	43
Figura 19 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao risco ao meio ambiente no Super Decisions.....	44
Figura 20 – Pesos normalizados das alternativas quanto ao risco ao meio ambiente no Super Decisions.....	45
Figura 21 – Relevância das alternativas para o processo no Super Decisions.....	46

Figura 22 – Percentual de equipamentos por criticidade	47
Figura 23 – Amostra da classificação ABC obtida	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Escala subjetiva proposta por Saaty	22
Tabela 2 – Matriz de comparação entre os critérios sugerida por Saaty	23
Tabela 3 – Matriz do critério "Tamanho da casa" de Saaty	24
Tabela 4 – Matriz alternativa x critério	25
Tabela 5 – Escala e critérios do fator impacto operacional	33
Tabela 6 – Escala e critérios do fator flexibilidade operacional	34
Tabela 7 – Escala e critérios do fator custo de manutenção	34
Tabela 8 – Escala e critérios do fator impacto a segurança e meio ambiente	35
Tabela 9 – Escala e critérios do fator frequência	35
Tabela 10 – Matriz de comparação entre os critérios	37
Tabela 11 – Matriz de pesos normalizados dos critérios	38
Tabela 12 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTTR	39
Tabela 13 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTBF	40
Tabela 14 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao custo de manutenção.....	41
Tabela 15 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao risco de segurança	43
Tabela 16 – Matriz de comparação das alternativas quanto ao risco ao meio ambiente	44
Tabela 17 – Matriz dos pesos das alternativas por critério	45

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS GERAIS	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1 ALICERCES DO PROCESSO DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO	15
2.1.1 Manutenção proativa	15
2.1.2 Manutenção corretiva	16
2.1.3 Manutenção preventiva	16
2.1.4 Manutenção preditiva	17
2.1.5 Manutenção Centrada na Confiabilidade	18
2.2 MÉTODOS DE CRITERIZAÇÃO	21
2.2.1 Método de Análise Hierárquica do Processo	21
2.2.2 Classificação ABC	25
2.3 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO COM BASE NA CRITICIDADE	26
3. METODOLOGIA	28
3.1 ENTENDIMENTO DO FUNCIONAMENTO DA FÁBRICA DE PAPEL	28
3.1.1 Descrição da planta e processo	28
3.1.2 Diretrizes da empresa	30
3.2 DIRETRIZES PARA A SELEÇÃO DOS EQUIPAMENTOS CRÍTICOS	31
3.2.1 Determinação da área crítica da planta	31
3.2.2 Classificação ABC dos ativos da área crítica da planta	32
3.2.3 Definição das estratégias de manutenção com base na criticidade	36
4. RESULTADOS	37
4.1 DETERMINAÇÃO DA ÁREA CRÍTICA DA PLANTA	37

4.1.1 Relevância de cada critério	37
4.1.2 Relevância das Alternativas para cada critério	38
4.1.3 Relevância das Alternativas para o processo.....	45
4.2 CLASSIFICAÇÃO ABC DE CRITICIDADE DOS ATIVOS DA ÁREA CRÍTICA	46
4.3 ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO COM BASE NA CRITICIDADE	48
5. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Segundo as normas europeias, manutenção é definida como uma combinação de todas as técnicas administrativas e gerenciais durante o ciclo de vida de um equipamento com o objetivo de mantê-lo e restaurá-lo para um estado em que ele pode desempenhar a função necessária. A função ou combinação de funções de um equipamento são consideradas necessárias para o desempenho desejado. As normas europeias também definem **gestão da manutenção** como todas as atividades de gestão que determinam os objetivos ou prioridades da manutenção, estratégias, e responsabilidades de implementá-las através do planejamento, do controle e supervisão da manutenção. As prioridades são metas aceitas e atribuídas à manutenção. Os objetivos da manutenção podem incluir disponibilidade, redução de custos, entre outros. As estratégias são métodos de gestão para alcançar os objetivos da manutenção.

Mas o que é gestão da manutenção? Para Wireman (1998) é a gestão de todos os ativos (inclusive os equipamentos) de propriedade da empresa com base na maximização do retorno do investimento. O que incluiria a manutenção preventiva, estoque e compra, sistema de ordem de serviço, sistema de gerenciamento da manutenção computadorizado (CMMS), manutenção proativa, manutenção centrada na confiabilidade, manutenção produtiva total e melhoria contínua, as quais são alicerces da gestão da manutenção.

Para Gonçalves (2020), com o avanço tecnológico as organizações criam linhas inteligentes com os resultados se refletindo em respostas autônomas e automáticas dos processos produtivos às variações ocorridas. Isso só foi possível com a indústria 4.0, que com a internet das coisas (IoT) e a integração entre hardware e software, mudou a forma de enxergar a produção. Ainda segundo Gonçalves (2020), o tipo de manutenção a adotar depende do tipo de produção, optando algumas empresas por estratégias de manutenção híbridas, relacionando mais de um tipo de manutenção em sua gestão.

Para Duffuaa *et. al.* (2000), a gestão da manutenção pode ser entendida como um sistema simples de entrada e saída. As entradas são a mão de obra (ou seja, pessoas), gestão, ferramentas, entre outros. E a saída é o funcionamento dos equipamentos de forma confiável para atingir os objetivos de produção da planta. Para torna o sistema funcional, Duffuaa *et. al.* (2000) recomenda: planejamento da manutenção, organização da manutenção e controle da manutenção.

A gestão da manutenção está associada a uma série de dificuldades. Quais seriam essas dificuldades? Para Jonsson (2000) a complexidade na gestão da manutenção está associada à falta de integração das ferramentas de gestão da manutenção. Para Vagliasindi (1989) isso ocorre porque a manutenção é composta por um conjunto de atividades para as quais é difícil encontrar procedimentos e sistemas de apoio à informação em um único lugar para facilitar o processo de melhoria. Em geral, existe uma diversificação muito grande de problemas que a manutenção identifica, mesmo entre as empresas de um mesmo grupo, sendo difícil propor uma metodologia de aplicabilidade geral. Para Hipkin e De Cock (2000) há uma série de barreiras na implementação de um sistema de gestão da manutenção, tais como entendimento da planta e do processo, inexistência de dados sobre as falhas dos equipamentos, falta de tempo para finalizar as análises necessárias, falta de suporte da alta administração da empresa, e receio de interrupção da produção.

A variedade de tecnologias disponíveis para fabricar o produto adiciona novos desafios à gestão da manutenção, o que poderá resultar em problemas ainda não vivenciados ou pouco conhecidos e estudados. Por outro lado, a automação dos sistemas adicionou uma pressão adicional à gestão da manutenção, pois a interrupção dos fluxos de produção pode se tornar dispendiosa. Em sistemas fortemente acoplados, ou seja, muito automatizados, a natureza integrada dos sistemas apresenta uma dificuldade adicional para diagnosticar e solucionar os problemas da manutenção, o que torna a manutenção relevante para o gerenciamento das operações de forma segura e confiável. Somam-se a isto regulamentações ambientais mais exigentes, o que aumenta a pressão no gerente de manutenção. Dentro desse contexto, **o objetivo do presente trabalho é propor uma estruturação para a manutenção baseada na criticidade dos equipamentos.**

1.1 Objetivos Gerais

Com a intenção de auxiliar à equipe de manutenção na tomada de decisões do seu dia a dia, o objetivo do presente trabalho é propor uma estruturação para a manutenção baseada na criticidade dos equipamentos.

1.2 Objetivos Específicos

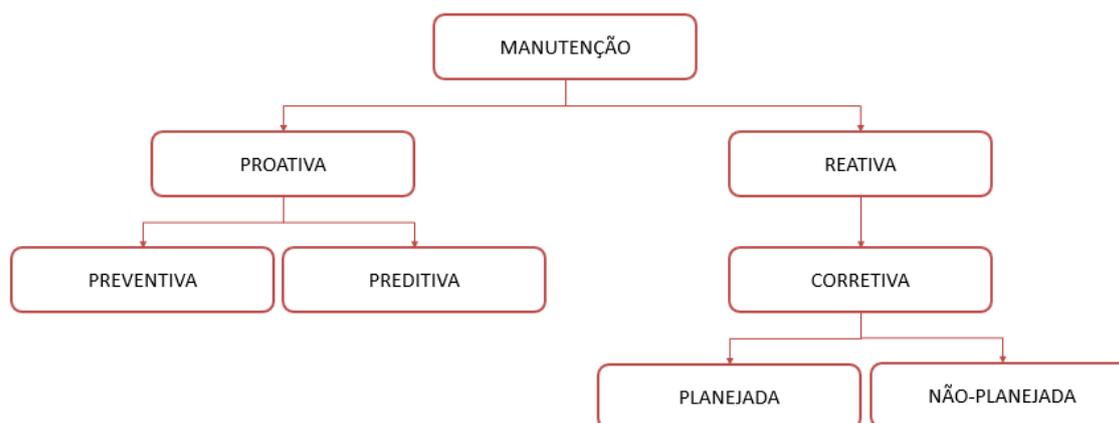
1. Entender como uma fábrica de papel funciona e opera.
2. Determinar diretrizes para selecionar os equipamentos críticos.
3. Propor estratégias de manutenção para os ativos considerados críticos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Alicerces do processo de gestão da manutenção

Como explicado no Capítulo 1 deste trabalho, a gestão da manutenção é o conjunto de atividades que determinam os objetivos e prioridades da manutenção, estratégias e responsabilidades em sua implementação. Assim, a gestão da manutenção tem como alicerces ferramentas capazes de detectar a falha antes de sua ocorrência, das quais podem ser citadas a manutenção proativa, com base nas manutenções preventiva e preditiva, a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) ou RCM(WIREMAN, 1998). Os tipos de manutenção podem ser observados na Figura 1:

Figura 1 – Representação esquemática dos tipos de manutenção



Fonte: O autor (2022)

2.1.1 Manutenção proativa

Segundo Moubrey (1997), é o tipo de manutenção que ocorre de forma programada, ou seja, antes do equipamento entrar em estado de falha e perder função no sistema. Narayan (2000) afirma que ocorre quando decidimos o momento de realizar a manutenção com bases na preventiva e preditiva, diferente da manutenção reativa, em que o equipamento decide o momento da manutenção com a falha funcional e perda de sua funcionalidade. Assim, como explorado por Moubrey (1997) é necessário saber quando o equipamento está próximo da falha. É nesse sentido que é importante

identificar os modos de falha, seus efeitos e consequências para, como base nestas informações, decidir as estratégias de manutenção adequadas e suas periodicidades.

2.1.2 Manutenção corretiva

Sendo o primeiro tipo de manutenção que se tem conhecimento, baseando-se em realizar intervenção após o reconhecimento da falha (MARQUEZ, 2007), destina-se a recolocar um item em condições de executar determinada função.

Esta, por sua vez, pode ser dividida em dois tipos: manutenção **corretiva emergencial**, que é aquela realizada logo após uma falha que deve ter seu reparo em caráter de urgência, seja por interromper o processo gerando lucro cessante (perda por tempo de parada na produção), seja por colocar em risco a segurança, meio ambiente ou a qualidade do produto; e a **manutenção corretiva programada**, em que a falha não necessita ser tratada em caráter de urgência, podendo ser eliminada quando for mais conveniente, seja por custo, produção, disponibilidade de materiais ou mão de obra. Esta tende a ser, das duas, a que mais poupa recursos, visto que passa pelas etapas de planejamento para a execução (TELES, 2019).

2.1.3 Manutenção preventiva

Surgida com a 2ª geração da manutenção (MOUBRAY, 1997), a manutenção preventiva é aquela efetuada em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios previstos. Com ela, é reduzida a probabilidade de falha de um item (NBR-5462, 1994). Ela tem o objetivo restabelecer as condições de base do equipamento, visando reduzir a probabilidade de falhas funcionais.

Alguns critérios podem ser tomados para a ocorrência da manutenção preventiva nos equipamentos. Em geral, leva-se em consideração: o tempo em que o equipamento está em operação, tomando como base o calendário; quantas horas o equipamento tem de funcionamento; o quanto que o equipamento produziu; e a união de dois ou mais dos anteriores (TELES, 2019).

É importante observar que nenhum dos itens mencionados acima como critérios de definição da ocorrência da manutenção preventiva em equipamentos leva em consideração sua condição e se o equipamento está funcionando de maneira adequada e

suprindo função no sistema. A manutenção preventiva leva em conta a periodicidade com base nos critérios mencionados, não a condição do equipamento.

Esse fator faz com que este tipo de manutenção tenha custo médio três vezes superiores ao da manutenção preditiva – a qual se discorrerá no tópico 2.1.4. Há duas grandes razões para que o custo da manutenção preventiva seja tão alto quando comparado ao da manutenção preditiva: **lucro cessante planejado**, que é o custo devido a parada do equipamento e, conseqüentemente, do sistema para que haja a atividade de manutenção; e a **troca de peças de reposição antes do fim da vida útil**. Isso porque, tendo em conta que a mesma peça pode ter vida útil diferente em diferentes equipamentos e aplicações, para que sejam evitadas as falhas e a manutenção corretiva conseqüente, cerca de 89% das peças devem ser trocadas ainda em bom estado de funcionamento, fazendo que o custo de manutenção suba de forma considerável (TELES, 2019).

2.1.4 Manutenção Preditiva

Com seu conceito inserido no ambiente da manutenção desde 1970, a manutenção preditiva - também conhecida como manutenção sob condição - busca garantir a qualidade desejada de um serviço com base na aplicação de técnicas de análise sistemáticas, reduzindo ao mínimo as manutenções preventivas e corretivas (NBR-5462, 1994). É realizada com base em parâmetros significativos de degradação de peças e equipamentos (MARQUEZ, 2007).

Tomando como base que a maioria das falhas não ocorre de maneira instantânea, ou seja, apresentam sinais de que vão ocorrer, a manutenção preditiva se baseia no monitoramento de parâmetros principais de funcionamento para definir a necessidade ou não de intervenção em uma máquina ou equipamento.

Esse monitoramento faz com que as intervenções sejam feitas com base na condição de funcionamento e não na periodicidade, como na manutenção preventiva. Por conseqüência, temos um aumento no intervalo dos reparos por quebras – manutenção corretiva - e das manutenções com base na periodicidade – preventivas - fazendo com que se tenha, de modo geral, um menor custo de manutenção quando comparado aos outros tipos de manutenção.

Desta forma, os principais objetivos da manutenção preditiva são: a) determinação antecipada de necessidade de serviços de manutenção em determinada

peça ou equipamento; b) eliminação de inspeções desnecessárias; c) redução das intervenções corretivas; d) impedir aumento dos danos causados pela deterioração de peças; e) aproveitar ao máximo o tempo de vida útil de cada componente do ativo; f) aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos (TELES, 2019). Todos esses fatores, como já mencionado, implicam na redução dos custos de manutenção e do ciclo de vida do ativo.

2.1.5 Manutenção Centrada na Confiabilidade

Definida pela NBR 5462, a confiabilidade é a “Capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Assim, com a confiabilidade podemos determinar a probabilidade percentual de um item operar/desempenhar sua função no sistema durante o tempo especificado.

Assim, a Manutenção Centrada na Confiabilidade pode ser definida como uma política ou conjunto de estratégias de manutenção estruturadas para selecionar as atividades de manutenção necessárias para manter a disponibilidade e confiabilidade de um processo ou sistema, reduzindo ao máximo o custo do ciclo de vida do equipamento tomando como base dados históricos do equipamento (TELES, 2019).

Desta forma, buscando sempre alocar a mão de obra e o tempo disponível para aumentar a confiabilidade do processo, o trabalho busca aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade, buscando entender qual das áreas da fábrica de papel em estudo é a mais crítica para, assim, classificar os ativos desta área quanto à criticidade e definir estratégias de manutenção a estes. Também, com o mesmo intuito de manter o foco em atividades que melhorem a confiabilidade, serão analisadas as interrupções já ocorridas para que sejam determinadas ou sugeridas atividades de manutenção em função da criticidade do ativo, visando evitar a recorrência dessas quebras.

Sendo assim, o trabalho se faz necessário por aplicar a Manutenção Centrada na Confiabilidade na planta em questão, método que visa manter a disponibilidade e confiabilidade do processo, reduzindo o custo do ciclo de vida dos equipamentos e garantindo à empresa ganhos nos custos gerais do processo, tanto pela redução do custo de manutenção quanto pelo aumento do tempo de produção do sistema, ou seja, sua disponibilidade e confiabilidade geral. Os métodos aplicados no trabalho podem ser

replicados a qualquer processo de fabricação em que se deseje aumento da confiabilidade e disponibilidade dos ativos.

Com foco no processo/sistema e em fazer apenas o necessário para manter um ativo disponível, a Manutenção Centrada na Confiabilidade – ou, em inglês, *Reliability-Centered Maintenance* (RCM) - é definida como um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer ativo físico em seu contexto operacional. Ainda, a MCC busca determinar o que deve ser feito para garantir que qualquer ativo físico desempenhe a função desejada dentro do contexto operacional. (MOUBRAY, 1997). Desta forma, é objetivo da MCC estabelecer, com o mínimo custo de vida do ativo, estratégias de manutenção para cada equipamento/sistema, para que o processo seja mantido em funcionamento de forma confiável e dentro dos parâmetros estabelecidos. (TELES, 2019). A *International Electrotechnical Commission* define, na IEC 60300-3-11 (2009), os cinco passos para a implantação da MCC:

- a) Iniciação e planejamento, em que devem ser determinados os limites, objetivos e conteúdos das análises, determinando, também um contexto operacional para cada item;
- b) Análise das falhas funcionais, em que deve ser aplicada a Análise dos Modos e Efeitos da Falha - FMEA - definindo o que devem ser consideradas falhas funcionais, bem como os modos e criticidade das falhas;
- c) Seleção das atividades, em que se avaliam as consequências das falhas, selecionando a política de gerenciamento de falhas mais adequada e frequência das atividades de manutenção;
- d) Implantação, em que se detalham as atividades de manutenção com a priorização e implantação das ações racionalizando a frequência das atividades por meio de planos de manutenção;
- e) Melhoria contínua, onde devem ser observadas a eficácia das atividades de manutenção e as metas operacionais, de segurança e econômicas.

2.1.5.1 Indicadores e métricas de confiabilidade

2.1.5.1.1 Tempo Médio para Reparo

MTTR, do inglês, é o Tempo Médio para Reparo. O tempo de reparo, contabilizado em horas, é o tempo entre a parada de um equipamento ou sistema e o seu

restabelecimento até operação em condições satisfatórias. Assim, o MTTR é a soma dos tempos em que o objeto de estudo esteve parado dividido pela quantidade de ocorrências que teve (NARAYAN, 2012).

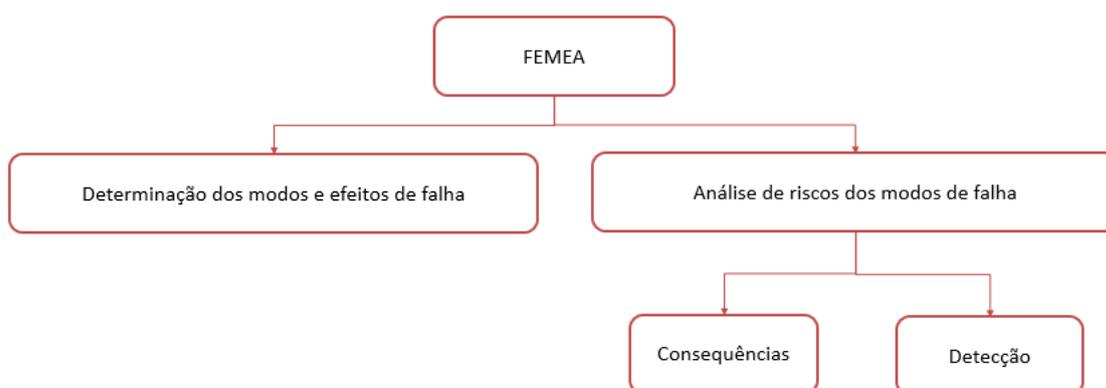
2.1.5.1.2 Tempo Médio Entre Falhas

MTBF, do inglês é o Tempo Médio Entre Falhas. É a média do tempo entre uma falha e outra. Ele pode ser obtido dividindo-se o tempo total em que o equipamento/sistema opera pela quantidade de intervenções neste equipamento/sistema (NARAYAN, 2012).

2.1.5.2 Análise dos Modos e Efeitos da Falha

Análise dos Modos e Efeitos da Falha ou, do inglês, FEMEA é, muitas vezes, o primeiro passo para a confiabilidade de um processo. Tratando-se de uma ferramenta qualitativa de análise, a FMEA transforma informações em dados quantitativos, passando por três princípios básicos: determinação dos modos e efeitos de falha; análise de riscos de cada modo de falha, que leva em consideração as consequências (severidade) das falhas; a facilidade de sua detecção; e o quão frequente pode ocorrer cada falha. (TELES, 2019). Para uso da ferramenta é importante ter claro os conceitos de modos, efeitos e consequências das falhas. A FEMEA pode ser resumida na Figura 2:

Figura 2 – Esquema explicativo da FEMEA



Fonte: O autor (2022)

2.1.5.2.1 Falha Funcional

A **falha funcional** é aquela em que o equipamento deixa de cumprir sua função dentro do processo de forma aceitável (MOUBRAY, 1997). Ou seja, a falha funcional é não somente a incapacidade do equipamento de operar, mas a incapacidade de operação a determinado nível de aceitabilidade, especificado como satisfatório. Elas podem ser originadas de diversas maneiras, sendo as principais: erros no projeto, de fabricação, de instalação ou de operação/manutenção.

2.1.5.2.2 Falha Potencial

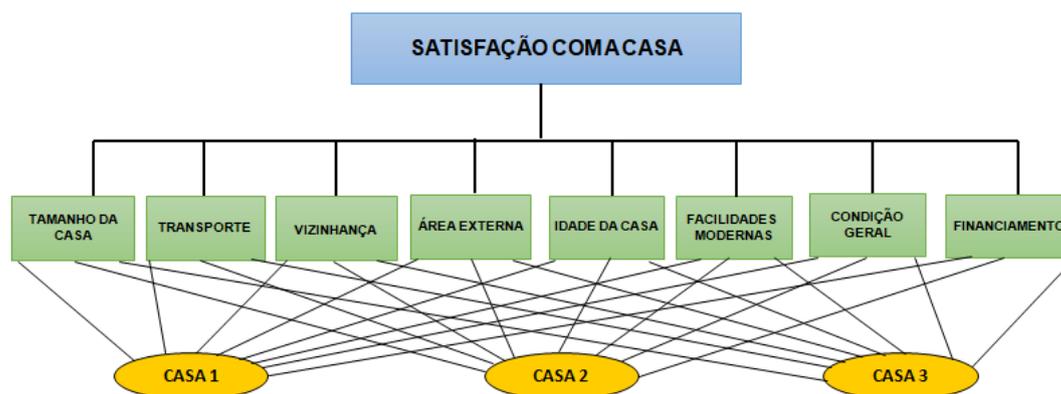
A **falha potencial**, por sua vez, aparece no momento em que a falha nasce no equipamento. A maioria dos equipamentos não falha abruptamente, mas apresentam sinais. É isso que é a falha potencial, um aviso do equipamento de que sofrerá, em determinado tempo, a falha funcional caso não sejam realizadas atividades de manutenção. Ou seja, trata-se de uma falha funcional ainda em seu estágio inicial (TELES, 2019).

2.2 Métodos de criterização

2.2.1 Método de Análise Hierárquica do Processo (AHP)

O Método de Análise Hierárquica do Processo, também conhecido por *Analytic Hierarchy Process* ou simplesmente AHP, foi um método de seleção multicritério introduzido por Saaty (1990) que consiste em estabelecer critérios de seleção e compara suas relevâncias para cada uma das alternativas de estudo. A hierarquização deve ser feita em 3 níveis. O primeiro nível deve conter o objetivo da análise, o segundo os critérios para decisão e o terceiro as alternativas possíveis para seleção. A Figura 3 mostra o diagrama de seleção com o método para a escolha multicritério exemplificado por Saaty (1990) com o objetivo (primeiro nível da hierarquização) de selecionar maior satisfação com cada uma das casas, sendo os critérios (segundo nível): tamanho da casa, transporte, vizinhança, área externa, idade, facilidades modernas, condição geral e financiamento. O terceiro nível de organização traz as alternativas que, no caso exemplificado por Saaty, são três casas.

Figura 3 - Uso da AHP para seleção da casa mais adequada



Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

Assim, determinada a estrutura hierárquica, devem-se comparar os critérios dois a dois de modo a atribuir peso e importância a cada um deles. Essa classificação deve usar uma escala subjetiva, que determina o valor a ser empregado na matriz de acordo com a comparação dois a dois dos critérios. Saaty sugere a seguinte escala subjetiva, de forma que valores intermediários possam ser utilizados:

Tabela 1 – Escala subjetiva proposta por Saaty

VALOR	ESCALA SUBJETIVA
1	Equivalentes: as duas variáveis contribuem igualmente.
3	Moderado: uma das variáveis é moderadamente mais importante do que a outra.
5	Importante: uma das variáveis é essencialmente mais importante do que a outra.
7	Muito importante: uma das variáveis é muito mais importante do que a outra.
9	Extrema importância: uma das variáveis é extremamente mais importante do que a outra.

Fonte: adaptado de Saaty (1990)

Usando a Tabela 1, objetiva-se a construção de uma matriz de comparação entre os critérios de forma a identificar a relevância de cada um no processo em relação ao outro. Abaixo, na Tabela 2, a estruturação pretendida por Saaty nesta etapa:

Tabela 2 - Matriz de comparação entre os critérios sugerida por Saaty

OBJETIVO DA ANÁLISE	CRITÉRIO 1	CRITÉRIO 2	CRITÉRIO 3	CRITÉRIO 4	...	CRITÉRIO N
CRITÉRIO 1						
CRITÉRIO 2						
CRITÉRIO 3						
CRITÉRIO 4						
...						
CRITÉRIO N						

Fonte: O autor (2022)

Após a montagem, os valores da coluna de cada critério são somados e divididos pelo número n de critérios para obtenção do peso de cada um. Em seguida, os pesos são normalizados, ou seja, mantêm sua proporcionalidade, totalizando 1 a soma entre eles.

Montada a matriz de comparação entre os critérios há a interação dos níveis 2 e 3 da hierarquização, ou seja, entre os critérios e as alternativas. As alternativas (as casas no exemplo de Saaty) são classificadas quanto a cada critério. O objetivo desta etapa é montar uma matriz para cada critério em que as linhas e colunas representam as alternativas de escolha e sua comparação entre si relativa ao critério. No caso acima, seriam montadas oito matrizes quadradas de ordem três (quantidade de alternativas). A matriz da Tabela 3 representa o que seria um exemplo da primeira matriz 3x3 das oito que seriam usadas no caso da análise hierárquica proposta por Saaty no exemplo.

Para determinação dos valores também pode ser observada a Tabela 3. Ela indica que, para o critério “tamanho da casa”, a Casa 3 está entre moderadamente e essencialmente mais importante do que a Casa 1, recebendo o valor de 4. Percebe-se que o valor inverso de $1/4$ é aplicado na coluna da Casa 1 em relação à Casa 3. Também, a Casa 3 está entre equivalente e moderadamente mais importante do que a Casa 2, recebendo o valor de 2. A Casa 2 tem a mesma relação com a Casa 1, sendo mais relevante e recebendo o valor de 2. Abaixo como ficaria a matriz do exemplo mencionado:

Tabela 3 - Matriz do critério “Tamanho da casa” de Saaty

TAMANHO DA CASA	CASA 1	CASA 2	CASA 3	PESOS	PESOS NORMALIZADOS
SALA 1	1	2	4	0.58	0.14
SALA 2	1/2	1	2	1.16	0.28
SALA 3	1/4	1/2	1	2.33	0.58

Fonte: O autor (2022)

Em seguida, da mesma forma que a matriz entre os critérios, é encontrado o peso de cada alternativa e esse peso normalizado.

Montadas as oito matrizes de comparação das alternativas para cada critério e conhecidos os pesos das alternativas para cada um deles, é montada uma única matriz alternativas x critérios, preenchida com os valores dos pesos normalizados de cada alternativa com cada critério, conforme a Tabela 4:

Tabela 4 - Matriz alternativa x critério

ALTERNATIVA X CRITÉRIO	CRITÉRIO 1	CRITÉRIO 2	CRITÉRIO 3	CRITÉRIO 4	...	CRITÉRIO N
ALTERNATIVA 1						
ALTERNATIVA 2						
ALTERNATIVA 3						
ALTERNATIVA 4						
...						
ALTERNATIVA N						

Fonte: o autor (2022)

Com o preenchimento das matrizes, é importante verificar se estas todas são consistentes. Para isso, é definida uma expressão, descrita na equação 6:

$$12,4 \geq CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n-1} \quad (1)$$

Onde,

$\lambda_{\text{máx}}$ = Autovalor máximo da matriz;

n = número de linhas da matriz = número de critérios selecionados.

Em caso negativo, a comparação deve ser feita novamente, assim como a respectiva matriz. Em caso positivo, deve-se multiplicar a Matriz alternativa x critério (Tabela 4) pela Matriz de comparação entre os critérios (Tabela 2). O resultado será uma matriz com o número de linhas igual ao número de alternativas e uma coluna. A alternativa que tiver maior valor nesta matriz é a alternativa mais crítica ao sistema. No caso exemplificado por Saaty, seria a casa escolhida.

2.2.2 Classificação ABC

A classificação ABC é um método que visa classificar os ativos de uma planta ou sistema quanto à criticidade para definir quais equipamentos devem ter maior ou menor atenção no que diz respeito à manutenção. Ativos definidos com criticidade A são aqueles que devem ter maiores confiabilidade, manutenabilidade e disponibilidade, seguidos pelos de criticidade B e C, respectivamente (MARQUEZ, 2007).

Segundo Marquez, o risco pode ser calculado com a multiplicação entre frequência e consequência. A frequência pode ser obtida com base na quantidade de falhas do ativo no período de estudo e a consequência com base em quatro fatores: impacto operacional, em que se avalia a parada imediata da planta com a parada do equipamento selecionado; flexibilidade operacional, que leva em consideração se o equipamento tem ou não sobressalente; custo da manutenção; e impacto na segurança e meio ambiente. Risco e consequência podem ser obtidos conforme as equações 4 e 5, respectivamente:

$$Risco = Frequência \times Consequência \quad (2)$$

$$\text{Consequência} = (IO \times FO) + CM + ISM \quad (3)$$

Em que:

IO = Impacto Operacional;

FO = Flexibilidade operacional;

CM = Custo da manutenção;

ISM = Impacto a segurança e meio ambiente.

De acordo com Teles (2019), a divisão ideal de quantidades de ativos por classe de criticidade é:

Classificação A: até 20% dos ativos;

Classificação B: entre 30% e 40% dos ativos;

Classificação C: entre 40 e 50% dos ativos.

2.3 Estratégia de Manutenção com base na criticidade

Quanto à estratégia de manutenção para cada classe de criticidade, Marquez (2007) define que os ativos de:

Criticidade A: Devem possuir um nível elevado de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade. Deve-se:

- Identificar os modos de falha – FEMEA;
- Definir os planos de manutenção baseado na confiabilidade;
- Padronizar os procedimentos de manutenção e treinamento dos operadores;
- Analisar os pontos fracos do projeto;
- Rever continuamente os modos de falha e planos de manutenção.

Criticidade B: Ativos que devem possuir certo nível disponibilidade. Deve-se:

- Evitar falhas repetitivas;

- Melhorar os planos de manutenção: análise do histórico de falhas, revisão contínua dos planos de manutenção, análise crítica da eficiência das atividades de manutenção;
- Padronizar as atividades de manutenção: procedimentos, treinamento;
- Analisar os pontos fracos do projeto.

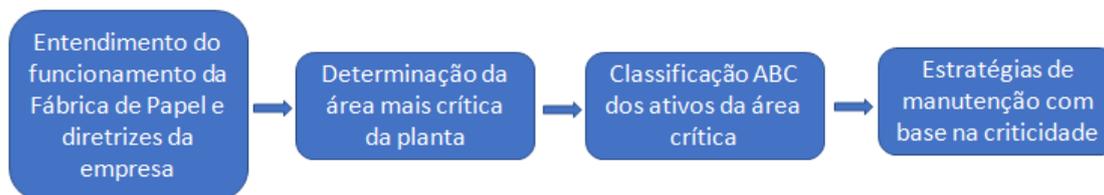
Criticidade C: Ativos que a falha não resultará em consequências graves. Deve-se:

- Evitar falhas repetitivas;
- Padronizar as atividades de manutenção: procedimentos e treinamento.

3. METODOLOGIA

O trabalho seguirá a sequência abaixo em seu desenvolvimento:

Figura 4: Fluxograma das etapas do trabalho



Fonte: O autor (2022)

Assim, o trabalho se inicia com o entendimento do funcionamento da Fábrica de Papel e das diretrizes da empresa, usando-os para direcionar na determinação das criticidades dos ativos e, assim, determinar estratégias de manutenção com base na criticidade.

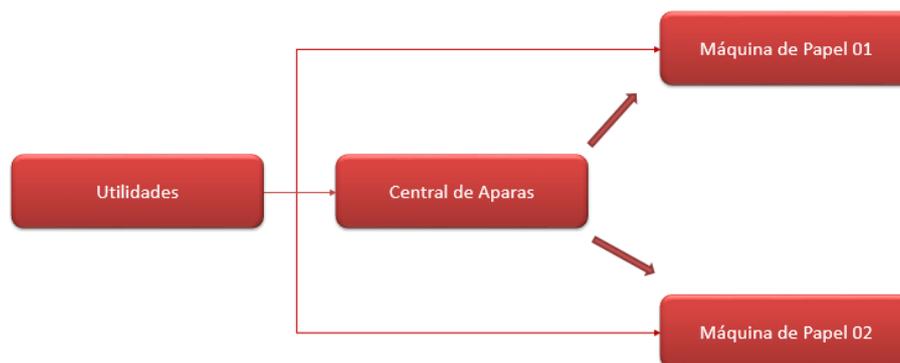
3.1 Entendimento do funcionamento da fábrica de papel

3.1.1 Descrição da planta e processo

O local do estudo é uma planta de fabricação de papel para embalagens com produção a partir de papel reciclado, que tem seu processo macro representado na Figura 5. A principal matéria prima do processo são caixas de papelão vindas da reciclagem. A planta pode ser dividida em quatro grandes áreas:

- a) Central de Aparas, onde são depositados e armazenados os fardos de papel reciclado. Onde ocorrem os itens em laranja do fluxograma indicado na Figura 4;
- b) Utilidades – Área de apoio responsável pelo tratamento e disponibilidade de toda a água do processo, bem como fornecimento de energia;
- c) e d) Máquinas de Papel 1 e 2, responsáveis por transformar o papel reciclado em papel para embalagens comercializável. Nelas ocorrem as etapas em verde mostradas no fluxograma do processo da Figura 6.

Figura 5 – Representação esquemática simplificada da planta.



Fonte: O autor (2022)

Figura 6 – Fluxograma do Processo



Fonte: O autor (2022)

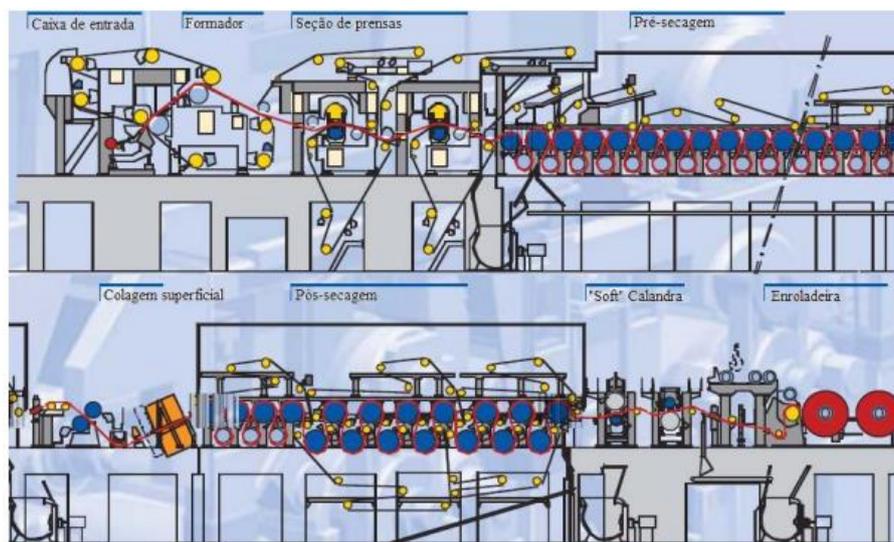
O processo se inicia com o depósito dos fardos de papelão por operadores em esteiras, por onde seguem até a entrada nos *pulpers* que, como grandes liquidificadores, funcionam de modo a produzir uma pasta a partir da adição de água e rotação a alta velocidade. Essa massa, então, é filtrada e segue através do sistema de bombeamento aos tanques de fibra, onde são adicionados a ela os aditivos necessários para a composição final do produto, seguindo, assim, para a caixa de entrada das máquinas de papel.

Uma máquina de papel é composta por rolos que, através de movimento rotativo, fazem mover uma tela que funciona como esteira para a passagem do papel. A figura 4 ilustra o funcionamento da máquina de papel.

Como pode ser observado na Figura 7, a máquina de papel é, então, formada por três grandes setores: **formação**, iniciada na caixa em que a água cai por gravidade e, também, com auxílio de bombas de vácuo; **prensas**, em que há o desaguamento por compressão mecânica e é definida a espessura do papel; e **secagem**, em que a alta temperatura faz o papel perder água por evaporação, finalizando o processo de

fabricação do papel. Assim, as principais funções da máquina de papel são retirar água, transformando a massa em papel e dar forma a esse papel formado. Após sair da máquina de papel, a bombona de papel é levada a um depósito através de um carrinho transportador para seu armazenamento.

Figura 7 – Funcionamento de uma máquina de papel



Fonte: Campos (2011) *apud* Revista Twogether nº 8¹

3.1.2 Diretrizes da empresa

Em documento público chamado “Política de Sustentabilidade” disponível em seu site, a empresa apresenta suas principais diretrizes estratégicas, partindo dele as definições de metas e objetivos da organização como um todo. Abaixo trechos da política que auxiliarão no desenvolvimento do trabalho:

“1 - Buscar a **qualidade competitiva**, visando a melhoria sustentada dos seus resultados, pesquisando, desenvolvendo e aperfeiçoando continuamente os processos [...].

[...]

6 - Buscar aplicar as mais eficientes e atuais tecnologias e soluções de engenharia na implantação de novos projetos e empreendimentos, **zelando pela proteção da saúde humana, dos recursos naturais e do meio ambiente** [...]

¹ Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_Curso_Fabricacao_Celulose_Papel.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2022.

7 - Promover o crescimento pessoal e profissional dos seus colaboradores e a busca pela **melhoria contínua das condições de trabalho, da saúde e da segurança.**

8 - Atender à legislação e às normas aplicáveis ao produto, **ao meio ambiente, à saúde e à segurança.**

9 – Promover uma cultura de disseminação da ética e desenvolver **as melhores práticas de governança corporativa.**

[...]

12 – **Atender à legislação e às normas aplicáveis ao produto, ao meio ambiente, à saúde e à segurança. ”**

Dos trechos selecionados acima, percebe-se, num primeiro momento, a preocupação da busca pela qualidade competitiva e melhoria sustentada dos resultados. Também, uma forte aderência a temas ligados à segurança da pessoa e do meio ambiente.

3.2 Diretrizes para a seleção dos equipamentos críticos

3.2.1 Determinação da área crítica da planta

A determinação da área crítica do processo entre as quatro da fábrica foi realizada com o modelo matemático sugerido por Saaty (1990), a Análise Hierárquica do Processo, do inglês *Analytic Hierarchy Process* ou simplesmente AHP. A identificação da área crítica do processo terá seus critérios selecionados baseado na Política de Sustentabilidade da empresa, evidenciada no tópico 3.1.2 e no conhecimento a priori do autor deste trabalho e membro da equipe de manutenção da empresa. Já alternativas serão as quatro áreas da empresa identificadas no tópico 3.1.1. Assim, como podem ser observados na Figura 8, os critérios e alternativas utilizados no trabalho serão:

Critérios:

1 - MTTR;

2 - MTBF;

3 – Custos de manutenção;

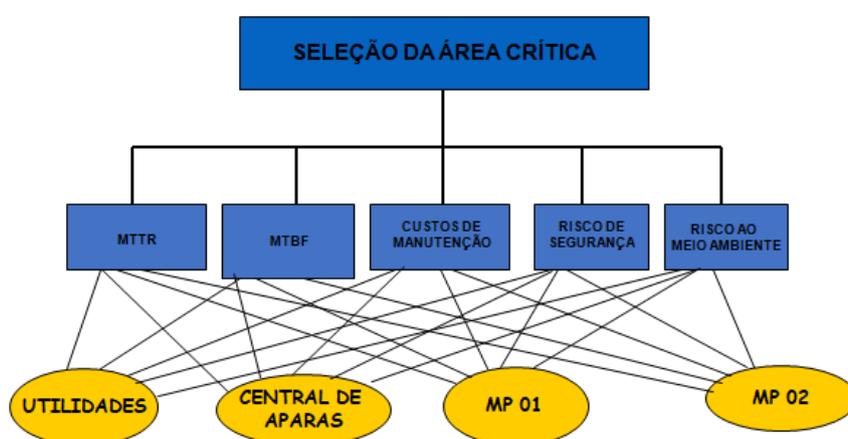
4 – Risco de segurança;

5 – Risco ao meio ambiente.

Alternativas:

- 1 - Utilidades;
- 2 – Central de Aparas;
- 3 – Máquina de Papel 01;
- 4 – Máquina de Papel 02.

Figura 8–Hierarquização para seleção da área crítica da planta



Fonte: O autor (2022)

Assim, serão comparados dois a dois os critérios para obter a matriz de comparação entre os critérios (Tabela 2), em seguida comparadas duas a duas as alternativas quanto a cada critério para obter as matrizes de comparação das alternativas para cada critério e, em seguida, a matriz critérios x alternativas (Tabela 4). Por fim, será encontrada a área crítica a partir da multiplicação da matriz de critério x alternativa com a matriz de comparação entre os critérios.

3.2.2 Classificação ABC dos ativos da área crítica da planta

Com intuito de classificar os ativos quanto às suas criticidades no processo, será utilizado o método proposto por Crespo Marquez (2007) para identificar quantitativamente quais locais de instalação/equipamentos do processo são mais ou menos críticos. Assim, as equações 4 e 5 serão utilizadas, usando os fatores definidos por Marquez: custo de manutenção, impacto à segurança e ao meio ambiente, impacto

operacional, flexibilidade operacional e frequência. Para parametrização será utilizada uma planilha da empresa que contempla, por local de instalação/equipamento: perda de produção em eventual parada; custo estimado de manutenção; impacto ambiental; impacto em segurança; MTBF; e efeito na máquina de papel, considerando perdas de qualidade e velocidade de produção causada pela parada do equipamento. Ou seja, dados bastante similares aos que buscamos dos fatores evidenciados por Marquez. Assim, os fatores foram considerados contendo as escalas a seguir:

Impacto Operacional

Com os dados já fornecidos pela empresa, será utilizada a escala sugerida por Marquez conforme a tabela abaixo, onde o critério é o tempo de parada de produção por eventual quebra do equipamento:

Tabela 5 - Escala e critérios do fator impacto operacional

Fator	Critério	Escala
Impacto Operacional	> 24 horas	10
	8 - 24 horas	6
	2 - 8 horas	4
	< 2 horas	2
	Não há perda	1

Fonte: O autor (2022)

Flexibilidade Operacional

Para a Flexibilidade Operacional, o critério foi selecionado conforme existência ou não de sobressalentes para o item em questão, sendo considerado se os sobressalentes estão ou não disponíveis e se são compartilhados com outros equipamentos. Será utilizada a escala conforme tabela abaixo, sugerida por Marquez:

Tabela 6 - Escala e critérios do fator flexibilidade operacional

Fator	Critério	Escala
Flexibilidade Operacional	Sem sobressalentes	4
	Com sobressalentes compartilhados	2
	Com sobressalentes disponíveis	1

Fonte: O autor (2022)

Custo da Manutenção

Com os custos estimados de manutenção também fornecidos, a escala sugerida por Marquez será aplicada de forma a considerar esse custo estimado de manutenção como critério:

Tabela 7 - Escala e critérios do fator custo de manutenção

Fator	Critério	Escala
Custo de Manutenção	< R\$10 000	1
	R\$ 10 000 - 50 000	1,5
	> 50 000 R\$	2

Fonte: O autor (2022)

Impacto à Segurança e ao Meio Ambiente

Os critérios para impacto à segurança e ao meio ambiente foram selecionados de modo a identificar a gravidade do impacto da parada do equipamento à segurança das pessoas e ao meio ambiente. A escala será, então, aplicada da seguinte forma:

Tabela 8 - Escala e critérios do fator impacto a segurança e meio ambiente

Fator	Critério	Escala
Impacto a Segurança e Meio Ambiental	Impacto interno e/ou externo na segurança das pessoas. Autoridades precisam ser informadas	8
	Impacto irreversível ao meio ambiente	6
	Impacto operacional causando danos severos	4
	Pequenos incidentes ou acidentes	2
	Impacto no meio ambiente sem violação da legislação ambiental	1
	Sem impacto de segurança ou meio ambiental	0

Fonte: O autor (2022)

Frequência

Para o fator frequência, os critérios serão aplicados com base no MTBF dos equipamentos. Para a determinação desses critérios, foi levado em consideração que a MP02, área em estudo, está em atividade há aproximadamente 8 anos. Assim, conforme escala sugerida por Marquez, os critérios serão aplicados da seguinte forma:

Tabela 9 - Escala e critérios do fator frequência

Fator	Critério	Escala
Frequência	MTBF < 2 anos	4
	MTBF de 2 - 5 anos	3
	MTBF de 5 - 8 anos	2
	MTBF > 8 anos	1

Fonte: O autor (2022)

Observa-se que os equipamentos com 1 de escala não têm falhas funcionais registradas. Equipamentos com 2 na escala tem apenas uma falha funcional. A escala 3 é para equipamentos que registraram de duas a quatro falhas funcionais durante o funcionamento. Itens que registraram mais de quatro falhas recebem 4 na escala sugerida por Marquez.

3.2.3 Definição das estratégias de manutenção com base na criticidade

Esta etapa é a etapa em que, baseado na classificação ABC obtida, são selecionadas as estratégias de manutenção políticas mais adequadas a cada ativo/sistema analisado. Será utilizada a literatura proposta por Marquez (2007) mostrada no tópico 2.3 como metodologia para definir as estratégias de manutenção adequadas a cada classe de criticidade ABC encontradas.

4. RESULTADOS

4.1 Determinação da área crítica da planta

Utilizando o AHP – Análise Hierárquica do Processo - modelo matemático de decisão multicritério proposto por Saaty para encontrar a área crítica do processo, o primeiro passo, então, foi determinar e avaliar o peso/importância de cada critério. Em seguida, os critérios foram avaliados quanto à relevância para cada uma das alternativas. Tendo essas definições, foi definida a área crítica do processo.

4.1.1 Relevância de cada critério

A Tabela 10 e a Figura 9 mostram resultado da comparação dois a dois entre os critérios e sua demonstração no *Super Decisions*:

Tabela 10 – Matriz de comparação entre os critérios

CRITÉRIO	MTTR	MTBF	CUSTOS DE MANUTENÇÃO	RISCO DE SEGURANÇA	RISCO AO MEIO AMBIENTE
MTTR	1	3/4	3/4	1/4	1/4
MTBF	1 1/3	1	1	1/3	1/3
CUSTOS DE MANUTENÇÃO	1 1/3	1	1	1/3	1/3
RISCO DE SEGURANÇA	4	3	3	1	1
RISCO AO MEIO AMBIENTE	4	3	3	1	1

Fonte: O autor (2022)

Figura 9 - Matriz de comparação entre os critérios no *Super Decisions*

Inconsistency	MTBF ~	MTTR ~	RISCO MEIO~	RISCO SEG~
CUSTOS DE ~	← 1	↑ 1.3333	← 3	← 3
MTBF ~		↑ 1.3333	← 3	← 3
MTTR ~			← 4	← 4
RISCO MEIO~				← 1

Fonte: O autor (2022)

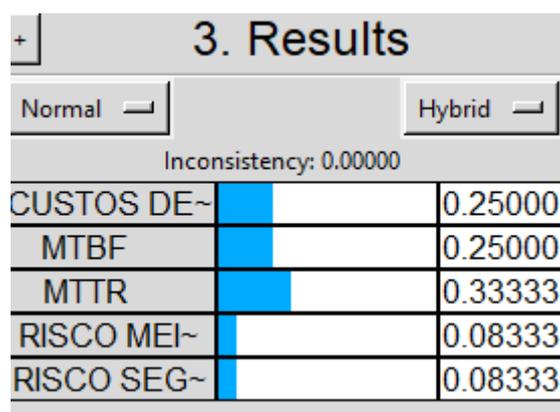
Como se pode observar acima, os critérios com menos relevância dentro do processo foram considerados Risco de Segurança e Risco ao Meio Ambiente. MTTR foi considerado entre moderadamente e essencialmente mais relevante, ganhando fator 4 da escala da sugerida por Saaty (Tabela 1) e MTBF e Custos de Manutenção moderadamente mais relevantes, ganhando fator 3 da escala. Com esses valores, foram obtidos os pesos normalizados indicados na Tabela 11 e Figura 10, abaixo:

Tabela 11 - Matriz de pesos normalizados dos critérios

CRITÉRIO	PESO NORMALIZADO
MTTR	0,33
MTBF	0,25
CUSTOS DE MANUTENÇÃO	0,25
RISCO DE SEGURANÇA	0,08
RISCO AO MEIO AMBIENTE	0,08

Fonte: O autor (2022)

Figura 10 - Pesos normalizados dos critérios no *Super Decisions*



Fonte: O autor (2022)

Como pode ser observado na Tabela 11 e Figura 10, o critério mais relevante, com maior peso normalizado de 0.33 foi o MTTR, seguido de Custos de Manutenção e MTBF com pesos normalizados de 0.25. Os critérios menos relevantes ao processo foram Risco à Segurança e Risco ao Meio Ambiente, com peso normalizado de 0.08.

4.1.2 Relevância das Alternativas para cada Critério

Seguindo a mesma lógica da classificação anterior, as alternativas foram comparadas duas a duas em relação a cada um dos critérios. A seguir podem ser

observadas as matrizes de comparação, as respectivas matrizes no *Super Decision* e os pesos normalizados, também do *Super Decisions*.

4.1.2.1 Relevância das alternativas para o MTTR

Em relação ao MTTR foi montada a seguinte matriz de comparação entre as alternativas:

Tabela 12 -Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTTR

MTTR	UTILIDADES	CENTRAL DE APARAS	MP02	MP01
UTILIDADES	1	4 1/2	9	9
CENTRAL DE APARAS	2/9	1	2	2
MP02	1/9	1/2	1	1
MP01	1/9	1/2	1	1

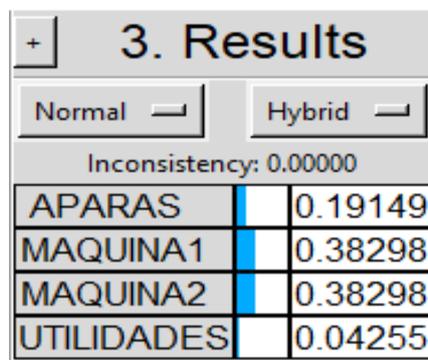
Fonte: O autor (2022)

Figura 11 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTTR no *Super Decisions*

Inconsistency	MAQUINA1 ~	MAQUINA2 ~	UTILIDADES~
APARAS ~	↑ 2	↑ 2	← 4.5
MAQUINA1 ~		← 1	← 9
MAQUINA2 ~			← 9

Fonte: O autor (2022)

Pela Tabela 12 e Figura11, acima, pode-se perceber que as Máquinas de Papel 01 e 02, são, a respeito do MTTR, igualmente importantes entre si e de extrema importância quando comparadas à alternativa Utilidades, estando entre equivalentes e moderadamente mais importantes do que a Central de Aparas no quesito, recebendo valores de 9 e 2 da tabela subjetiva proposta por Saaty – Tabela 1 - respectivamente na tabela de comparação dois a dois. A comparação acima é, então, responsável pelos pesos normalizados quanto ao MTTR apresentados na Figura 12, abaixo:

Figura 12 - Pesos normalizados das alternativas quanto ao MTTR no *Super Decisions*


3. Results		
Normal	Hybrid	
Inconsistency: 0.00000		
APARAS		0.19149
MAQUINA1		0.38298
MAQUINA2		0.38298
UTILIDADES		0.04255

Fonte: O autor (2022)

Na Figura 12, acima, pode-se perceber que, quanto ao MTTR e como se esperava, as Máquinas de Papel 01 e 02 foram as alternativas que obtiveram o maior peso normalizado no critério MTTR com 0.38, seguidas pela Central de Aparas com 0.19 e, por último, pela alternativa Utilidades, com 0.04.

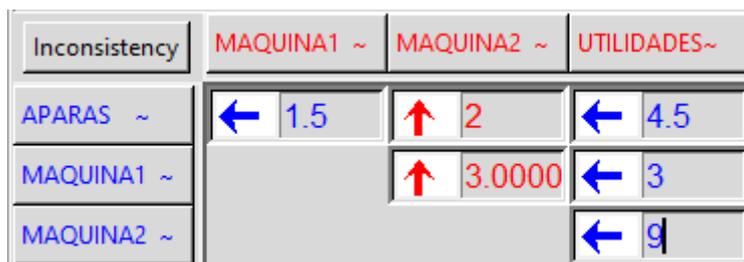
4.1.2.2 Relevância das alternativas para o MTBF

Quanto ao MTBF foi montada a matriz de comparação abaixo:

Tabela 13 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTBF

MTBF	UTILIDADES	CENTRAL DE APARAS	MP02	MP01
UTILIDADES	1	4 1/2	9	3
CENTRAL DE APARAS	2/9	1	2	2/3
MP02	1/9	1/2	1	1/3
MP01	1/3	1 1/2	3	1

Fonte: O autor (2022)

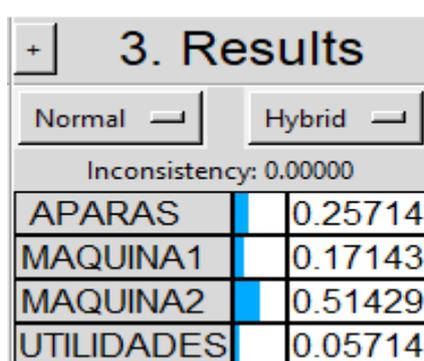
Figura 13 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao MTBF no *Super Decisions*


Inconsistency	MAQUINA1 ~	MAQUINA2 ~	UTILIDADES~
APARAS ~	← 1.5	↑ 2	← 4.5
MAQUINA1 ~		↑ 3.0000	← 3
MAQUINA2 ~			← 9

Fonte: O autor (2022)

Quanto ao MTFB, como se vê na Tabela 13 e Figura 13, acima, a MP02 foi considerada de extrema importância em comparação com a alternativa Utilidades, marcando 9 na matriz e levando consideração a escala sugerida por Saaty – Tabela 1. Foi, também, considerada moderadamente mais relevante em comparação com a MP01 (ficando com 3 da escala subjetiva) e entre igualmente e moderadamente em comparação com a Central de Aparas, ficando com 2 da escala sugerida por Saaty. Como resultados, foram obtidos os seguintes pesos normalizados para o critério MTBF (Figura 14):

Figura 14 - Pesos normalizados das alternativas quanto ao MTBF no *Super Decisions*



3. Results		
Normal	Hybrid	
Inconsistency: 0.00000		
APARAS		0.25714
MAQUINA1		0.17143
MAQUINA2		0.51429
UTILIDADES		0.05714

Fonte: O autor

Assim, a Máquina de Papel 02 foi considerada a mais relevante no critério MTBF ficando com peso normalizado de 0.51, seguida por Central de Aparas, Máquina de Papel 01 e Utilidades, com pesos normalizados de 0.26, 0.17 e 0.06, respectivamente.

4.1.2.3 Relevância das alternativas para o Custo de Manutenção

Com base nos custos das áreas de janeiro a julho de 2022, fornecidos pela empresa, foi montada a seguinte matriz de comparação:

Tabela 14 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao Custo de Manutenção

CUSTOS DE MANUTENÇÃO	UTILIDADES	CENTRAL DE APARAS	MP02	MP01
UTILIDADES	1	1/2	4 1/2	1 1/2
CENTRAL DE APARAS	2	1	9	3
MP02	2/9	1/9	1	1/3
MP01	2/3	1/3	3	1

Fonte: O autor (2022)

Figura 15 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao Custo de Manutenção no *Super Decisions*

Inconsistency	MAQUINA1 ~	MAQUINA2 ~	UTILIDADES~
APARAS ~	↑ 3.0000	↑ 9.0000	↑ 2
MAQUINA1 ~		↑ 3.0000	← 1.5
MAQUINA2 ~			← 4.5

Fonte: O autor (2022)

A Central de Aparas foi a alternativa com menor relevância no critério Custo de Manutenção. Foi considerada extremamente menos importante do que a Máquina de Papel 02, moderadamente menos relevante do que a Máquina de Papel 01 e entre moderadamente e equivalente quando comparada com a alternativa Utilidades. Isso fez com que a diferença entre elas fosse, na escala subjetiva proposta por Saaty, de 9, 3 e 2, respectivamente, como pode ser observado na Tabela 14 e Figura 15.

Com isso, foram encontrados os pesos normalizados apresentados na Figura 16:

Figura 16 - Pesos normalizados das alternativas quanto ao Custo de Manutenção no *Super Decisions*

3. Results		
Normal	Hybrid	
Inconsistency: 0.00000		
APARAS	<div style="width: 6.667%;"></div>	0.06667
MAQUINA1	<div style="width: 20%;"></div>	0.20000
MAQUINA2	<div style="width: 60%;"></div>	0.60000
UTILIDADES	<div style="width: 13.333%;"></div>	0.13333

Fonte: O autor (2022)

Como pode ser observado na Figura13, a Central de Aparas foi a alternativa com menor peso normalizado, ficando com 0.06. Em seguida, vêm Utilidades, MP01 e MP02, com pesos normalizados de 0.13, 0.20 e 0.6, respectivamente.

4.1.2.4 Relevância das alternativas para o Risco de Segurança

Tratando-se do critério Risco de Segurança, foi estabelecida a seguinte matriz de comparação (Tabela 15 e Figura 17):

Tabela 15 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao Risco de Segurança

RISCOS DE SEGURANÇA	UTILIDADES	CENTRAL DE APARAS	MP02	MP01
UTILIDADES	1	2	1/3	1/3
CENTRAL DE APARAS	1/2	1	1/6	1/6
MP02	3	6	1	1
MP01	3	6	1	1

Fonte: O autor (2022)

Figura 17 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao Risco de Segurança no *Super Decisions*

Inconsistency	MAQUINA1 ~	MAQUINA2 ~	UTILIDADES~
APARAS ~	← 6	← 6	← 2
MAQUINA1 ~		← 1	↑ 3.0000
MAQUINA2 ~			↑ 3.0000

Fonte: O autor (2022)

Da matriz apresentada na Tabela 15 e Figura 17, pode-se observar que a Central de Aparas é a área da fábrica com maior risco de segurança. Foi considerada entre essencialmente mais importante e muito mais importante do que as duas Máquinas de Papel e entre equivalente e moderadamente mais importante do que a Utilidades. Assim, da escala subjetiva proposta por Saaty, foram obtidos os valores 6 (para as duas Máquinas de Papel) e 2 (para Utilidades), em favor da Central de Aparas. Esse apontamento resultou nos pesos observados na Figura 18, a seguir:

Figura 18 - Pesos normalizados das alternativas quanto ao Risco de Segurança no *Super Decisions*

3. Results		
Normal	Hybrid	
Inconsistency: 0.00000		
APARAS	<div style="width: 54.545%;"></div>	0.54545
MAQUINA1	<div style="width: 9.091%;"></div>	0.09091
MAQUINA2	<div style="width: 9.091%;"></div>	0.09091
UTILIDADES	<div style="width: 27.273%;"></div>	0.27273

Fonte: O autor (2022)

A Figura 18 mostra Central de Aparas, Utilidades e Máquinas de Papel com pesos normalizados no critério Risco de Segurança de 0.55, 0.27 e 0.09, respectivamente.

4.1.2.5 Relevância das alternativas para o Risco ao Meio Ambiente

O último critério a se observar a relevância das alternativas é o de Risco ao Meio Ambiente. Abaixo a matriz de comparação relativa a esse critério:

Tabela 16 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao Risco ao Meio Ambiente

RISCO AO MEIO AMBIENTE	UTILIDADES	CENTRAL DE APARAS	MP02	MP01
UTILIDADES	1	1/2	1/3	1/3
CENTRAL DE APARAS	2	1	2/3	2/3
MP02	3	1 1/2	1	1
MP01	3	1 1/2	1	1

Fonte: O autor (2022)

Figura 19 - Matriz de comparação das alternativas quanto ao Risco ao Meio Ambiente no *Super Decisions*

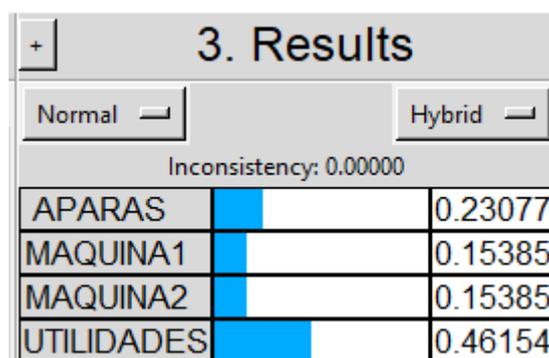
Inconsistency	MAQUINA1 ~	MAQUINA2 ~	UTILIDADES~
APARAS ~	← 1.5	← 1.5	↑ 2
MAQUINA1 ~		← 1	↑ 3.0000
MAQUINA2 ~			↑ 3.0000

Fonte: O autor (2022)

Sendo a área responsável por fornecer energia e tratar e fornecer a água do processo, a área de Utilidades foi considerada a alternativa mais relevante no que diz respeito ao critério Risco ao Meio Ambiente. Assim, como pode ser observado na Tabela 16 e, também, na Figura 19, esta área é considerada moderadamente mais importante do que as Máquinas de Papel 01 e 02 nesse quesito e entre equivalente e moderadamente mais importante do que a Central de Aparas. Assim obteve valores de 3 frente às Máquinas de Papel e 2 à Utilidades. Esses valores foram responsáveis pela

obtenção dos pesos normalizados da Figura 20, que tem os pesos normalizados de cada alternativa quanto ao critério Risco ao Meio Ambiente:

Figura 20 - Pesos normalizados das alternativas quanto ao Risco ao Meio Ambiente no *Super Decisions*



3. Results		
Normal		Hybrid
Inconsistency: 0.00000		
APARAS	<div style="width: 23%;"></div>	0.23077
MAQUINA1	<div style="width: 15%;"></div>	0.15385
MAQUINA2	<div style="width: 15%;"></div>	0.15385
UTILIDADES	<div style="width: 46%;"></div>	0.46154

Fonte: O autor (2022)

Observa-se que a Utilidades obteve neste critério 0.46 de peso normalizado, enquanto Central de Aparas ficou com 0.23 e as Máquinas de Papel 01 e 02 com 0.15.

4.1.3 Relevância das alternativas para o processo

Calculada relevância de cada critério para o processo e a importância de cada alternativa para cada um dos processos, calculamos a relevância de cada área/alternativa para a Planta. Para isso, a Tabela 17 apresenta a matriz de pesos normalizados de cada alternativa para cada um dos critérios, com os dados obtidos no tópico 4.2.2.

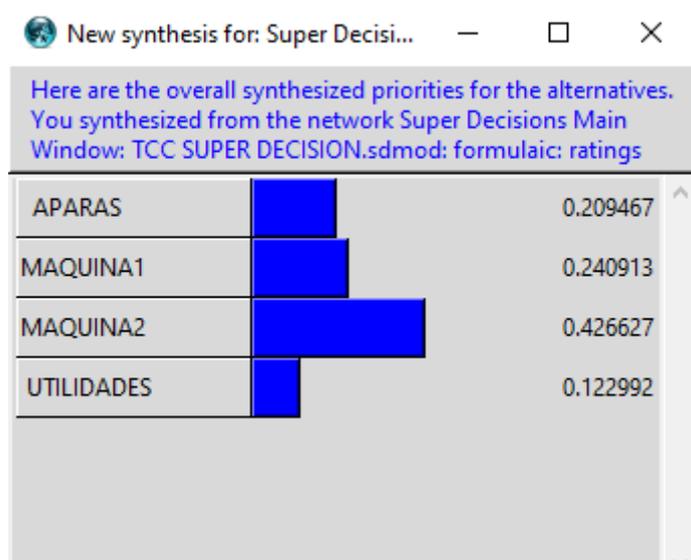
Tabela 17 - Matriz de pesos de alternativas por critério

CRITÉRIO X ALTERNATIVA	MTTR	MTBF	CUSTOS DE MANUTENÇÃO	RISCO DE SEGURANÇA	RISCO AO MEIO AMBIENTE
UTILIDADES	0,04	0,06	0,13	0,27	0,46
CENTRAL DE	0,19	0,26	0,07	0,55	0,23
MP24	0,38	0,51	0,60	0,09	0,15
MP17	0,38	0,17	0,20	0,09	0,15

Fonte: O autor (2022)

A partir da matriz das matrizes de peso de alternativas por critério e de pesos normalizados dos critérios, Tabelas 17 e 11, respectivamente, o *Super Decisions* nos fornece qual das alternativas é a mais relevante para o processo. O resultado pode ser observado na Figura 18:

Figura 21 - Relevância das alternativas para o processo no *Super Decisions*



Fonte: O autor (2022)

Como pode ser observado na Figura 21, a Máquina de Papel 02 é a área mais relevante para o processo com peso normalizado de 0.43, seguida por Máquina de Papel 01, Central de Aparas e Utilidades, com pesos normalizados de 0.24, 0.21 e 0.12, respectivamente. Salienta-se que, como pode ser observado nas Figuras 7, 9, 11, 13, 15 e 17, de pesos normalizados, todas as tabelas foram consideradas consistentes.

Assim, a **Máquina de Papel 02 é classificada como a mais crítica da planta.**

4.2 Classificação ABC de criticidade dos ativos da área crítica

Aplicadas as equações 4 e 5 sugeridas por Marquez (2007) para determinação numérica da criticidade dos ativos e utilizando as Tabelas de 5 a 9 das escalas para cada um dos fatores propostos por Marquez (2007) para classificação ABC – impacto operacional, flexibilidade operacional, custo de manutenção, impacto na segurança e no meio ambiente e frequência – e utilizando as escalas também das mesmas tabelas, foram encontrados valores numéricos entre 2 e 78. Tendo e vista que 3158 é nosso número total de locais de instalação/equipamentos da Máquina de Papel 02 e seguindo a orientação de Teles (2019) relativa ao percentual ideal de equipamentos para cada classe de criticidade, foram selecionados para cada classe de criticidade:

Criticidade A: 629 equipamentos – $A \geq 18$ pontos;

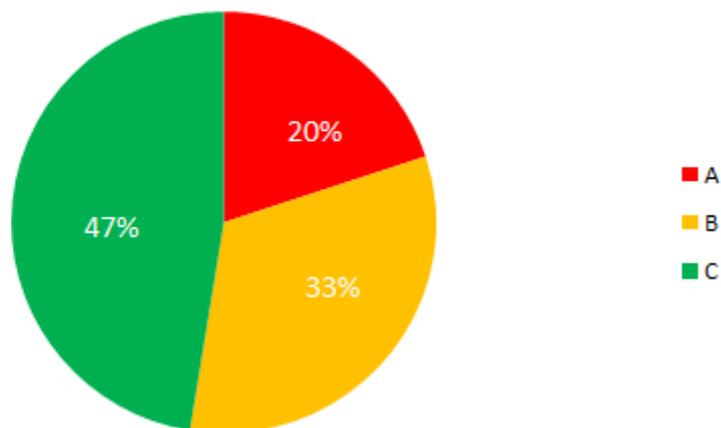
Criticidade B: 1031 equipamentos – $9 < B < 18$ pontos;

Criticidade C: 1498 equipamentos – $C \leq 9$ pontos.

O percentual de equipamentos em cada uma das criticidades pode ser observado no gráfico da Figura 22, abaixo:

Figura 22 - Percentual de equipamentos por criticidade

Percentual de Equipamentos por Criticidade



Fonte: O autor (2022)

A Figura 23 traz uma pequena amostra da classificação ABC obtida. Nela, o equipamento considerado mais crítico, ou seja, que obteve o maior valor da equação 2, sugerida por Marquez a partir das escalas subjetivas apresentadas no tópico 3.2.2, foi o motor 347. Da escala, ele obteve valor 4 em impacto operacional, 4 em flexibilidade operacional, 1,5 em custo de manutenção, 2 em impacto de segurança e ao meio ambiente e 4 em frequência. Quando aplicada a equação 2, proposta por Marquez, obteve um valor de 78, máximo entre os equipamentos classificados. A figura apresenta outro equipamento de criticidade A. Trata-se da bomba 27 que, mesmo com impacto operacional maior do que o motor 347, na aplicação da equação 2 ficou com valor inferior devido aos outros fatores da mesma.

Com classificação B, a Figura 23 mostra: o motor 196, a válvula 13 e o sensor 09. Estes obtiveram valor total de risco (conforme equação 2, de Marquez) de 16,5, 15 e 15, respectivamente.

Condicionadores de Ar em geral tiveram classificação C e estão representados pelo Ar condicionado 01 na Figura 20. Em conjunto com outros equipamentos, a válvula 328 obteve o menor valor de risco, com valor 2, obtendo 1 da escala subjetiva em impacto operacional, flexibilidade operacional, custo de manutenção e frequência, ficando com 0 em impacto a segurança e meio ambiente. Os outros equipamentos classificados como críticos C mostrados na Figura 20 foram o motor 73, o trocador de calor 10 e o transmissor de pressão 01.

Figura 23–Amostra da classificação ABC obtida

ABC	Valor		Impacto Operacional	Flexibilidade Operacional	Custo de Manutenção	Impacto Segurança e Meio Ambiente	Frequência
A	78	MOTOR 347	4	4	1,5	2	4
A	46,5	BOMBA 27	6	2	1,5	2	3
B	16,5	MOTOR 196	1	2	1,5	2	3
B	15	VÁLVULA 13	2	2	1	0	3
B	15	SENSOR 09	2	2	1	0	3
C	9	AR CONDICIONADO 01	1	2	1	0	3
C	9	MOTOR 73	1	2	1	0	3
C	9	TROCADOR DE CALOR 10	1	2	1	0	3
C	6	TRANSMISSOR DE PRESSÃO 01	1	2	1	0	2
C	2	VÁLVULA 328	1	1	1	0	1

Fonte: O autor (2022)

4.3 Estratégias de manutenção com base na criticidade

Obtida a criticidade dos ativos e conforme definido por Marquez (2007), a estratégia de manutenção adotada a um ativo deve ser definida com base em sua criticidade ABC no sistema. Como já apresentado no tópico 2.2.8, ficam definidas as seguintes estratégias de manutenção para cada uma das classes de criticidade:

Criticidade A:

- Identificar os modos de falha – FEMEA;
- Definir os planos de manutenção baseado na confiabilidade;
- Padronizar os procedimentos de manutenção e treinamento dos operadores;
- Analisar os pontos fracos do projeto;
- Rever continuamente os modos de falha e planos de manutenção.

Criticidade B: Ativos

- Evitar falhas repetitivas;

- Melhorar os planos de manutenção: análise do histórico de falhas, revisão contínua dos planos de manutenção, análise crítica da eficiência das atividades de manutenção;
- Padronizar as atividades de manutenção: procedimentos, treinamento;
- Analisar os pontos fracos do projeto.

Criticidade C: Ativos que a falha não resultará em consequências graves.

- Evitar falhas repetitivas;
- Padronizar as atividades de manutenção: procedimentos e treinamento.

5. CONCLUSÃO

Há diversas maneiras de se aplicar a gestão da manutenção e estruturá-la. Cada realidade pode comportar uma maneira mais ou menos eficaz de aplicar os conceitos de manutenção a fim de obter maior ciclo de vida dos ativos de um processo com menor custo de vida destes ativos.

Analisar a criticidade dos equipamentos é de extrema importância, sobretudo para plantas com grande número de ativos. Isso porque é classificando os equipamentos como mais ou menos críticos que se pode decidir onde devem ser investidos os esforços e os recursos a fim de manter o processo em funcionamento com o mínimo de perda. Assim, é de extrema importância buscar a melhor estruturação da manutenção para a realidade analisada.

É neste contexto que aparece o trabalho, que tinha como principal objetivo propor uma estruturação baseada na criticidade dos equipamentos. Tendo como objetivos o entendimento do funcionamento da planta e processo, a definição de diretrizes para determinar a criticidade dos equipamentos e propor estratégias de manutenção com base nestas criticidades obtidas, inicialmente buscou-se entender o processo e a planta objeto de estudo.

Entendido o processo, foi definido, com auxílio do método AHP – Análise Hierárquica do Processo – proposto por Saaty, qual área era a mais crítica do sistema em estudo a partir da determinação de critérios e alternativas, ficando definido, assim, a **Máquina de Papel 02 como área crítica** da planta.

Definida a área crítica, esta teve seus ativos classificados entre criticidades A, B e C, sendo utilizado o método introduzido por Marquez em que, com base em critérios pré-estabelecidos, foram determinados valores numéricos para definição das criticidades. **Do total de 3158 equipamentos da Máquina de Papel 02, 629 (20%) foram classificados com criticidade A, 1031 (33%) criticidade B e 1498 (47%) criticidade C.**

Com os equipamentos devidamente classificados quanto à criticidade, foram propostas estratégias de manutenção conforme estabelecido por Marquez para cada uma das classes de criticidade.

Como boa prática a adotar, indica-se manter o histórico das manutenções ocorridas em cada equipamento, a fim de adotar-se na posteridade uma manutenção baseada na confiabilidade a partir de dados probabilísticos e claro, visando conhecer as

periodicidades dos componentes destes equipamentos, com o intuito de antecipar-se a falhas.

Como oportunidade de continuidade deste trabalho pode ser citada a sequência na aplicação das estratégias de manutenção propostas. Assim, é sugerido que sejam aplicadas as estratégias de manutenção indicadas para cada uma das criticidades, ou seja, para os ativos de: criticidade A - deve ser realizada a FEMEA, definidos os planos de manutenção com base na FEMEA e na confiabilidade, padronizados os procedimentos de manutenção e de treinamento dos operadores, analisados dos pontos fracos dos projeto e revisados continuamente estes supracitados; criticidade B – devem ser melhorados os planos de manutenção (se existentes) com base na confiabilidade, analisados os históricos de falha e analisadas criticamente as eficiências das atividades de manutenção e padronizados os procedimentos de manutenção e de treinamento dos operadores; criticidade C – devem ser padronizadas as atividades de manutenção procedimentos e treinamentos. Além disso, sugere-se que seja feita análise contínua das falhas ocorridas e determinadas atividades de manutenção visando a prevenção e detecção das falhas, conforme método sugerido por Marquez e visando aplicar os alicerces da gestão da manutenção sugeridas por Wireman, a fim de eliminar recorrência de falhas a partir de atividades de manutenção proativas.

REFERÊNCIAS

- ACHCAR, J. A; PIRATELLI, C. L; SILVA, E. T. **Estudo da manutenção de equipamentos de uma usina de etanol sob a metodologia MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade)**. Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 20, n. 4, p. 1331-1353, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.
- CAMPBELL, J. D; DUFFUAA, O. S; RAOUF, A; **Planning and control of maintenance systems**. Indianápolis: Wiley, 2000.
- CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY OF THE AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS; ENERGY INSTITUTE. **Bowties in risk management - a concept book for process safety**. New York and London, UK. 3ed. 2018.
- CERVEIRA, S. D; SELLITTO, M. A. **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): Análise quantitativa em um forno elétrico a indução**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.15, n. 2, p.405-432, abr./jun. 2015.
- CHAVES, G. L. L; SANTOS, M. M. N; SEGANTINI, G. **O pilar manutenção planejada da manutenção produtiva total (TPM): aplicação da manutenção centrada em confiabilidade (RCM)**. Revista Gestão Industrial, São Mateus, ES, v. 11, n. 04: p. 01-35, 2015.
- COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE. **IEC 60300-3-11: Dependability management – Parte 3-11: Application guide – Reliability-centred maintenance**. Geneva, 2009.
- DE COCK, C; HIPKIN, I. B. **TPM and BPR: lessons for maintenance management**. Omega, vol. 28: p.277–292, 2000.
- FIGUEIREDO, M; GUIDA, H; HENNINGTON, E. A. **Revisão crítica de publicações científicas sobre acidentes de trabalho fatais na indústria do petróleo e gás**. Laboreal, Volume 14 N°2, 2018.
- GONÇALVES, H. R.D. **Gestão da manutenção na indústria 4.0**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2020.
- INSTITUTO SPRINKLER BRASIL. **Notícias de incêndios publicadas pela imprensa em 2020**. São Paulo, 2020.
- JOONSSON, P. **Toward a holistic understanding of disruptions in operations management**. Journal of Operations Management, Växjö: vol. 18: p. 701–718, 2000.
- MARQUEZ, A. C. **The maintenance management framework**. Models and methods for complex systems maintenance. Piscataway: Springer, 2007.

MOUBRAY, J. **Reability-centered maintenance**. 2. ed. New York: Industrial Press, 1997.

NARAYAN, V. **Effective maintenance management - Risk and reliability strategies for optimizing performance**. 2. ed. New York: Industrial Press, 2012.

RODRIGUES, M. **Análise da estratégia de manutenção em um sistema de picagem de madeiras utilizando a manutenção centrada na confiabilidade (MCC)**. Produto e Produção, Porto Alegre, RS, vol. 19, n.3, p.1-22, 2019.

SANTOS, N. A; SELBITTO, M. A. **Estratégia de manutenção e aumento da disponibilidade de um posto de compressão de gases na indústria petrolífera**. Revista Produção Online, Florianópolis, SC, v.16, n. 1, p. 77-103, jan./mar. 2016.

TELES, J. **Bíblia do RCM: O guia completo e definitivo da manutenção centrada na confiabilidade na indústria 4.0**. Brasília: ENGETELES Editora, 2019.

VAGLIOASINDI, F. **Gestire la manutenzione: perché e come**. Milano: Franco Angeli, 1989.

WIREMAN, T. **Developing performance indicators for managing maintenance**. New York: Industrial Press, 1998.

ZAIIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.