

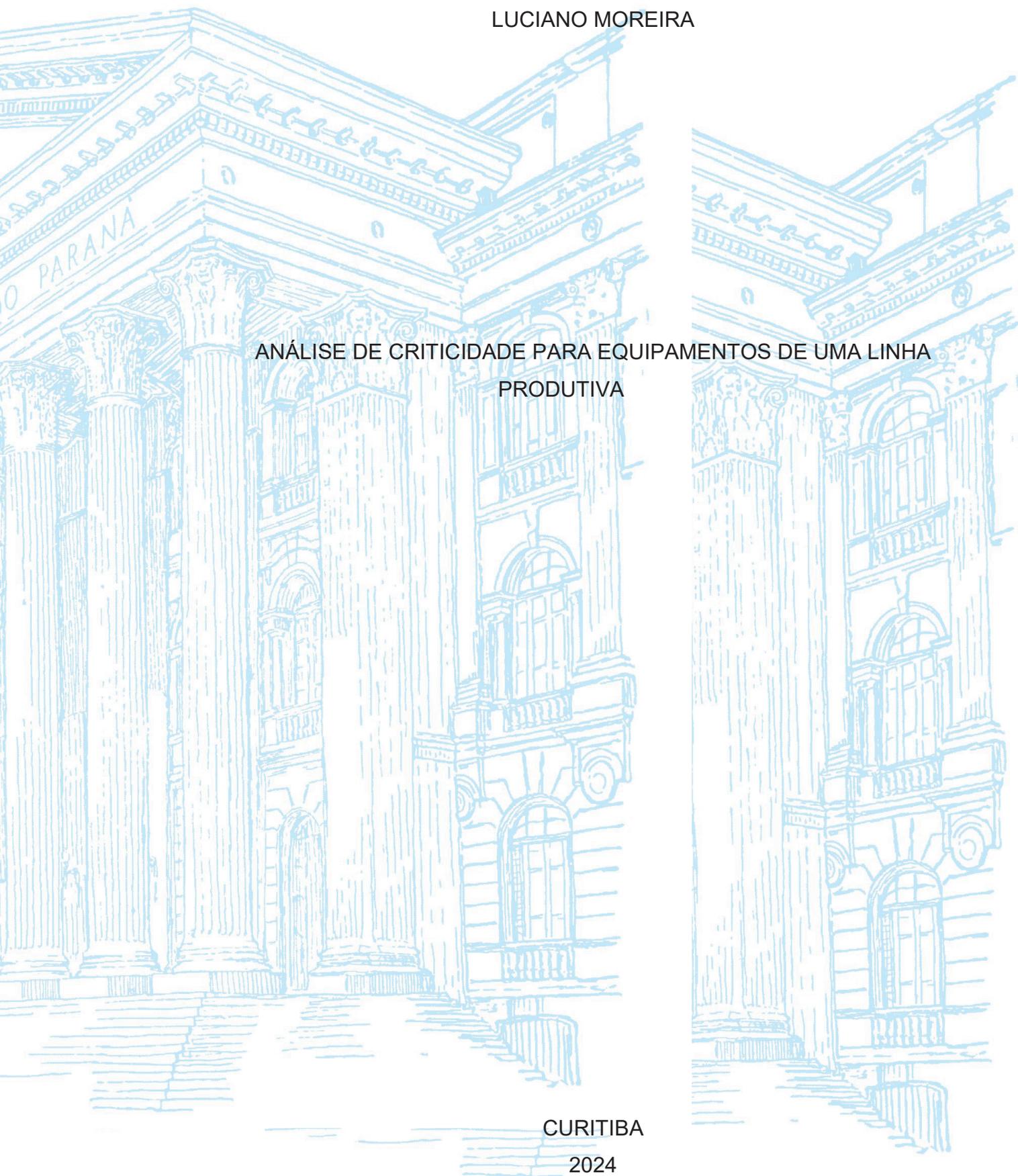
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUCIANO MOREIRA

ANÁLISE DE CRITICIDADE PARA EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA
PRODUTIVA

CURITIBA

2024



LUCIANO MOREIRA

ANÁLISE DE CRITICIDADE PARA EQUIPAMENTOS DE UMA LINHA
PRODUTIVA

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista, Curso de Especialização em Gestão em Engenharia, Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Egon Walter Wildauer.

CURITIBA

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que desenvolveram para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Esta jornada acadêmica foi desafiadora, mas também extremamente enriquecedora e não teria sido possível sem o apoio de algumas pessoas especiais.

Primeiramente, quero agradecer ao meu orientador, Egon Walter Wildauer, pela orientação, e expertise compartilhada ao longo deste processo. Suas orientações foram fundamentais para moldar este trabalho e meu crescimento acadêmico.

Também desejo expressar minha gratidão aos meus amigos e colegas de curso, que estiveram ao meu lado durante toda essa jornada. Suas discussões enriqueceram meu trabalho e tornaram essa experiência mais significativa.

RESUMO

Devido às altas demandas produtivas de hoje em dia, a necessidade do controle da manutenção e eficiência dos equipamentos das linhas de produção é de grande importância. Inúmeros métodos e modelos de análises foram desenvolvidos para se obter esse controle e por consequência, levantar o grau de importância de cada equipamento na linha de produção. Quando bem implementadas, essas ferramentas indicam o impacto gerado pelo equipamento na cadeia produtiva tanto em caso de falha, resultando em perdas e gastos produtivos, quanto na maximização da produção. Tendo isso em mente, foi elaborado um modelo de análise de criticidade de equipamentos a fim de se obter o grau de relevância dentro de uma cadeia produtiva, para que se possa determinar quais equipamentos demandam maior atenção. A partir de parâmetros das linhas produtivas e métodos de análise de falhas tradicionais, é possível realizar um modelo que categoriza todos os equipamentos, desde o mais crítico até o de menor impacto, balizando as considerações de quem irá executar a análise. Assim, se faz possível a elaboração de estratégias de manutenção, determinando a necessidade de mais ou menos intervenções preditivas ou preventivas e tendo como principal retorno a maximização do período de produção. Neste trabalho foi realizada uma análise dentro de uma empresa e conclui-se que o método desenvolvido atende a demanda de classificação do nível de criticidade dos equipamentos de uma linha produtiva.

Palavras-chave: manutenção; confiabilidade; criticidade; FMEA; matriz de risco.

ABSTRACT

Due to today's high production demands, the need to control the maintenance and efficiency of production line equipment is extremely important. Numerous methods and analysis models were developed to obtain this control and, consequently, raise the level of importance of each piece of equipment in the production line. When well implemented, these tools indicate the impact generated by the equipment on the production chain, both in the event of failure, resulting in losses and production expenses, and in maximizing production. With this in mind, an equipment criticality analysis model was developed in order to obtain the degree of relevance within a production chain, so that it can be determined which equipment requires the most attention. Using parameters from production lines and traditional failure analysis methods, it is possible to create a model that categorizes all equipment, from the most critical to that with the least impact, guiding the considerations of who will carry out the analysis. Thus, it is possible to develop maintenance strategies, determining the need for more or less predictive or preventive interventions and having the main return on maximizing the production period. In this work, an analysis was carried out within a company and it was concluded that the method developed meets the demand for classifying the criticality level of equipment in a production line.

Keywords: maintenance; reliability; criticality; FMEA; risk matrix.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Classificação dos níveis de prioridade da análise do FMEA	24
FIGURA 2 – Parâmetros de análise da Curva da Banheira.....	25
FIGURA 3 – Curva da Banheira	26
FIGURA 4 – Método de Análise de Criticidade de Equipamentos.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Diagrama de Pareto da Quantidade Total de Paradas pelo TOP 10 Equipamentos que mais pararam.....	28
GRÁFICO 2 – Diagrama de Pareto do Tempo Total de Paradas pelo TOP 10 Equipamentos com maior tempo de parada.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	PROBLEMA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo geral.....	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	13
1.3	JUSTIFICATIVA.....	14
2	LITERATURA PERTINENTE	16
2.1	CBM (<i>CONDITION BASED MAINTENANCE</i> – MANUTENÇÃO BASEADA NA CONDIÇÃO).....	16
2.2	RCM (<i>RELIABILITY CENTRED MAINTENANCE</i> – MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE).....	16
2.3	FMEA (ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS).....	17
2.4	CURVA DA BANHEIRA.....	18
2.5	DIAGRAMA DE PARETO.....	18
2.6	MATRIZ DE RISCO.....	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Procedimento Experimental.....	20
3.2	Curva da Banheira.....	20
3.3	Diagrama de Pareto.....	21
3.4	Elaboração da Matriz de Risco e Impacto.....	21
3.5	Análise de Falha – FMEA.....	22
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	23
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

A análise de criticidade para equipamentos de uma linha produtiva é um processo essencial em ambientes industriais e de produção. Ela desempenha um papel fundamental na manutenção preventiva e no gerenciamento eficiente dos ativos da empresa. A essência desse processo é identificar e avaliar a importância de cada equipamento em uma linha de produção, com o objetivo de garantir o funcionamento ininterrupto e a qualidade dos produtos fabricados.

O sucesso de qualquer operação industrial depende da confiabilidade dos equipamentos que compõem uma linha produtiva. A quebra ou falha de um único componente pode levar a paralisações de produção, atrasos na entrega de produtos e, em última instância, prejuízos financeiros. Para evitar tais problemas, as empresas procuram implementar estratégias de análise de criticidade, que permitam priorizar a manutenção e a substituição de equipamentos com base em critérios bem definidos.

A análise de criticidade envolve a identificação de equipamentos críticos, semicríticos e não-críticos. Equipamentos críticos são aqueles cujas falhas podem resultar em consequências graves, como paralisações de produção, perda de qualidade do produto ou riscos à segurança. Equipamentos semicríticos são importantes, mas sua falha não tem o mesmo impacto que os equipamentos críticos. Por fim, equipamentos não críticos são os que podem falhar sem causar danos significativos no processo de produção.

Este processo de análise requer uma avaliação minuciosa dos equipamentos, levando em consideração vários fatores, como a função na linha produtiva, a frequência de uso, a disponibilidade de peças sobressalentes, o histórico de manutenção e o custo de substituições. Uma vez que os equipamentos são classificados de acordo com sua criticidade, as empresas podem desenvolver planos de manutenção proativos, alocando recursos de forma mais eficaz e priorizando a atenção aos itens mais críticos.

No decorrer deste trabalho, será explorado em detalhes os métodos e ferramentas comuns utilizados na análise de criticidade para equipamentos de uma linha produtiva de uma empresa da cidade de Araucária Paraná, bem como os benefícios significativos que essa abordagem pode trazer para as operações industriais.

1.1 PROBLEMA

Existem vários desafios associados ao tema, os quais necessitam ser avaliados de forma adequada para obter um resultado satisfatório. Desta forma, o presente estudo busca respostas de como tratar a criticidade dos equipamentos de uma linha produtiva, cujas falhas podem resultar em consequências graves, como paralisações de produção, perda de qualidade do produto e riscos à segurança.

1.2 Objetivos

A seguir serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um método de análise de criticidade que seja aplicável a sistemas funcionais de cadeias produtivas, levando em consideração seções múltiplas e que permita classificar especificamente cada equipamento.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar os principais desafios e lacunas na análise de criticidade existente para sistemas funcionais de cadeias produtivas.
- Propor um modelo de análise de criticidade que leve em atenção as especificações específicas de cada equipamento, tais como probabilidade de ocorrência de falha, gravidade da ocorrência e detecção de falha, entre outros.
- Desenvolver recomendações práticas para a implementação do modelo de análise de criticidade em empresas que desejam melhorar sua gestão da manutenção e tomar decisões embasadas em dados.
- Contribuir para o avanço do conhecimento na área de gestão da manutenção, fornecendo um método mais abrangente e específico para a análise de criticidade de equipamentos em cadeias produtivas modernas.

1.3 Justificativa

A gestão eficaz da manutenção nas cadeias produtivas é um fator crítico para o sucesso das empresas modernas. A manutenção necessária de equipamentos pode resultar em interrupções não planejadas da produção, perda de qualidade dos produtos, aumento de custos operacionais e, em última instância, dificuldades de competitividade da empresa no mercado. Portanto, é imperativo desenvolver abordagens avançadas e abrangentes para avaliar a criticidade dos sistemas funcionais em cadeias produtivas.

De acordo com Macedo (2011), o nível competitivo das organizações vem exigindo alterações permanentes nos processos produtivos e de gestão e no uso de novas técnicas para fabricação. Uma manutenção de qualidade corresponde a um alto fator de produtividade, aumentando a competitividade da empresa, demonstrando assim, a função estratégica da manutenção na maximização do setor produtivo e nos resultados do negócio.

Os equipamentos indisponíveis ou com manutenção inadequada, prejudicam a qualidade do produto e o nível competitivo da empresa. Com o passar do tempo, as estratégias de manutenção desenvolveram com a técnica de manutenção corretiva por quebra para estratégias mais sofisticadas, como monitoramento de condições e manutenção centrada na confiabilidade (Herpich; Sanson, 2013).

Existem várias ferramentas e metodologias de análise de criticidade disponíveis, mas há uma lacuna significativa em relação aos modelos que consideram restrições específicas de cada equipamento. As abordagens tradicionais muitas vezes não levam em conta as características individuais dos sistemas funcionais, o que pode levar a classificações imprecisas e decisões de manutenção de baixa qualidade.

Os equipamentos críticos são aqueles cuja falha tem o maior impacto sobre os objetivos de negócio da empresa. Identificar a estratégia de manutenção e a abordagem adequada para cada caso específico é um fator importante para decidir onde e quando os recursos devem ser aplicados para manter ou melhorar a confiabilidade do equipamento (Trojan; Marçal, 2013).

Este estudo visa preencher essa lacuna, desenvolvendo um método de análise de criticidade que seja flexível o suficiente para se adaptar às particularidades de diferentes cadeias produtivas e equipamentos. Ao considerar

parâmetros como probabilidade de ocorrência de falha, gravidade da ocorrência e detecção de falha, entre outros, o modelo proposto permitirá uma avaliação mais precisa do impacto de falhas em sistemas funcionais específicos.

Uma implementação bem-sucedida desse modelo oferecerá às empresas a capacidade de tomar decisões embasadas em dados sólidos, otimizar os recursos de manutenção, reduzir custos operacionais e melhorar a confiabilidade de seus sistemas produtivos; além disso, contribuirá para o avanço do conhecimento na área de gestão da manutenção, proporcionando uma ferramenta avançada para profissionais e pesquisadores que buscam melhorar a eficiência das operações industriais.

Em resumo, busca abordar desafios importantes na gestão da manutenção e oferecer uma solução inovadora que pode beneficiar as empresas e a comunidade acadêmica, contribuindo para o aprimoramento contínuo das práticas de manutenção nas cadeias produtivas modernas.

2 LITERATURA PERTINENTE

A literatura pertinente relativa ao tema do trabalho tem o intuito de embasar o estudo com definições de autores e possibilita ao leitor um melhor entendimento em relação a criticidade dos equipamentos em uma linha produtiva.

2.1 CBM (*Condition Based Maintenance* – manutenção baseada na condição)

De acordo com Jardine et al., as três principais etapas da CBM são: aquisição de dados, processamento de dados e tomada de decisões de manutenção. O CBM pode ser definido como o processo de coletar dados e avaliá-los identificando assim o desempenho de um sistema, tornando possível traçar uma tarefa de manutenção custo-benefício a fim de garantir a confiabilidade (Fractal 2023).

Segundo Mecabo (2007) a manutenção baseada em condição recomenda decisões baseadas nas informações coletadas. A intenção é de melhorar a confiabilidade e disponibilidade de um sistema, bem como a qualidade do produto, a segurança, a programação das ações de manutenção, a redução direta dos custos de manutenção e consumo de energia, dentre outros.

Como citado pelo site Fractal (2023) “O objetivo do CBM, após diagnosticar o ativo, é prevenir, corrigir desvios ou prever falhas antes que ocorram, otimizando a vida útil e o desempenho dos ativos, reduzindo custos e tempo de manutenção, além de melhorar a segurança e a qualidade dos processos.”

2.2 RCM (*Reliability Centred Maintenance* – manutenção centrada em confiabilidade)

O RCM é um método que busca os melhores métodos na manutenção industrial para manter a confiabilidade no processo produtivo, tem o objetivo de estender a vida dos ativos aumentando a produtividade visando reduzir o máximo os custos da operação. É uma ferramenta indispensável pois auxilia no descobrimento das falhas e as consequências, bem como nas estratégias para prevenir e evitá-las (Abecom 2022).

A RCM é uma ferramenta que auxilia e supera as expectativas da última geração da história da manutenção. Esta metodologia é voltada para questões de

segurança e integridade ambiental, onde é realizado uma análise a respeito de cada falha evidente e oculta do equipamento (Moubray 2000).

De acordo com Meneghini e Zaions (2010) a RCM é estruturada através de quatro principais características sendo elas: preservar as funções, identificar os modos de falha que podem interferir nas funções, priorizar a função do equipamento ao invés da condição e selecionar somente as tarefas aplicáveis e eficazes. Esta metodologia prioriza as necessidades e concentra os recursos nas tarefas que promovam confiabilidade ao sistema.

2.3 FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falhas)

Um das principais ferramentas de apoio a RCM é a Análise de Efeitos e Modos de Falha (*Failure Mode and Effect Analysis, FMEA*). Com a FMEA é possível identificar as causas e efeitos de cada falha de uma máquina ou sistema produtivo. Um modo de falha pode ser definido como qualquer evento que possa levar uma máquina a falhar, ou seja, que cause a falha funcional. Portanto, a descrição de um modo de falha deve conter detalhes suficientes para possibilitar a seleção de uma estratégia de manutenção apropriada. (Moubray 2000),

O FMEA é uma ferramenta que permite compreender e analisar as possibilidades de um sistema falhar, identifica os pontos fracos. Com ele torna-se possível traçar um planejamento implantando soluções e evitando problemas, promovendo uma confiabilidade nos processos. A análise de modo e efeito de falhas costuma avaliar três áreas: função/sistema, design e processo. Uma FMEA de sistema avalia os problemas que impactam todo o sistema; já a FMEA de design atua em falhas de engenharia, componente longevidade etc. Por último a FMEA de processo trata o que impacta na qualidade do produto, tudo o que não pode ser evitado pelo design e que acaba impactando na satisfação do cliente. (Kanban 2023).

De acordo com Fernandes (2006) a FMEA “avalia a severidade de cada falha relativamente ao impacto causado aos clientes, sua probabilidade de ocorrência e de detecção antes de os produtos chegarem às mãos dos clientes”, os autores explicam que a FMEA prioriza o entendimento dos maiores riscos, mostrando as possíveis falhas que merecem maior atenção.

2.4 Curva da banheira

De acordo com Sellitto (2007) a curva da banheira representa o comportamento da falha de um equipamento ou sistema. Ela divide a vida do equipamento em três etapas: mortalidade infantil, maturidade e mortalidade senil. Na mortalidade infantil a taxa de falha é alta, porém decrescente. Geralmente as falhas ocorrem por erros de projetos, peças com defeitos, despreparo na manipulação ou instalação incorretas. No período de maturidade a taxa de falha é constante, podem ocorrer por erro humano, vibração, impactos mecânicos, acidentes, matéria prima com defeito etc. (Lafraia 2001).

Na fase de mortalidade senil ocorre o aumento das falhas causadas por desgaste, corrosão, vida útil, degradação mecânica e elétrica. É indicado uma manutenção preventiva nesta fase em que ocorre a troca das peças que podem dar problema, evitando assim a parada no funcionamento (Sellitto 2007).

2.5 Diagrama de Pareto

Machado (2012) define o diagrama de Pareto como uma técnica de análise e causas, onde se torna possível identificar a causa dos problemas e assim estabelecer uma ordem de priorização para resolvê-los.

O diagrama de Pareto é uma ferramenta muito simples, porém poderosa, pois auxilia na classificação e priorização dos problemas. O princípio de Pareto é separar os problemas em duas classes: os poucos vitais e muitos triviais para eliminar as falhas de qualidade e melhorar a credibilidade dos produtos e serviços (Falconi 2009).

2.6 Matriz de risco

A Matriz de Riscos é utilizada para avaliar os riscos envolvidos na execução do trabalho e é fundamental para a elaboração das estratégias. Ao longo das atividades a matriz deve seguir sendo preenchida e sempre que ocorrer alguma alteração é necessário complementar a fim de monitorar todos os riscos envolvidos. (Longo 2011).

Nigel (2009) explica que existem dois tipos de risco, o inerente e o de controle. O risco inerente é a possibilidade de acontecer erros ou irregularidades relevantes antes de conhecer-se a eficácia dos sistemas de controles já o risco de controle é a possibilidade do saldo de uma conta (classe ou transação), saldo contábil ou divulgação e que possa ser relevante ou estar errado ou não ser detectado pelo sistema de controle interno da empresa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na metodologia é representada a maneira que é realizada a pesquisa, ou seja, quais as técnicas e meios que foram adotados para o estudo ser realizado. Este trabalho foi embasado com várias metodologias, de acordo com Oliveira (2001) é importante descrever “a classificação quanto aos objetivos da pesquisa, a natureza da pesquisa, a escolha do objeto de estudo, a técnica de coleta e a técnica de análise de dados”.

3.1 Procedimento Experimental

Com base em dados básicos que foram fornecidos pela empresa sobre o tempo de parada, tempo de reparo e quantidade de unidades funcionais distribuídas ao longo de cada linha produtiva da fábrica, foi feito a partir desses dados, uma seleção manual aplicada de forma a listar as linhas produtivas que continham: uma menor quantidade de sistemas funcionais distribuídos ao longo da cadeia produtiva da linha específica, bem como, a disposição de equipamentos que apresentem os quatro níveis de criticidade que se deseja elencar com o método proposto.

Sendo assim, foi definido como ponto de partida a linha inicial do processo produtivo para que a metodologia de criticidade do sistema funcional fosse aplicada, testada e ajustada conforme a necessidade da empresa.

3.2 Curva da Banheira

A partir da definição da linha na qual a metodologia seria modelada e aplicada, a ferramenta da curva da banheira foi aplicada com a finalidade de determinar a deterioração dos equipamentos distribuídos ao longo da cadeia produtiva da linha em função do tempo ao qual esse equipamento em questão está instalado, já que esse parâmetro pode ser definido como um fator que determina atrasos de produção, não conformidade do produto e/ou paradas indesejadas (manutenções corretivas inesperadas) na linha de produção, se tornando um fator importante para a análise do método.

3.3 Diagrama de Pareto

Com o diagrama de Pareto foram analisados os dados de duas formas para se gerar duas análises com pesos diferentes para a criticidade.

A primeira análise visou as quantidades de parada de manutenção corretiva para todos os sistemas funcionais analisados da linha produtiva. Com isso obteve-se a quantidade de falhas, independentemente de sua causa ou origem, mas de forma a priorizar o equipamento que apresente o maior número de ocorrência/falha por um dado período de tempo.

A segunda análise visou o tempo total de parada do equipamento dentro do mesmo período de tempo determinado (desconsiderando a quantidade de paradas que o equipamento apresentou), dessa forma pode-se elencar outro fator de peso que impacta em outros resultados esperados pela empresa tais como, a quantidade de produto produzida e os custos agregados ao material que não foi produzido devido ao tempo de processo parado.

3.4 Elaboração da Matriz de Risco e Impacto

Para a elaboração da matriz de risco foi definido o cruzamento de três variáveis para o sistema funcional de forma genérica aos equipamentos da linha: a Probabilidade de Ocorrência/Falha, a Consequência ou Severidade, mas ponderando outros subfatores (definidos e priorizados pela empresa) que compõem cada uma das variáveis da matriz.

A probabilidade de ocorrência ou falha do equipamento pode ser estimado através de métodos de análise estatístico de disponibilidade do sistema funcional; a consequência da falha já foi tratada de forma mais subjetiva pois, foi analisado com base em ocorrências que já aconteceram ao longo dos anos e priorizando o que a empresa julga como mais grave, como fatores de segurança e/ou ambientais, ou mais leve, como danos materiais básicos (quebra de qualquer equipamento que não apresente risco a segurança ou ao meio ambiente e que não impacte relevantemente nos custos de manutenção). Então com base na matriz criou-se outro fator de peso sobre a análise da criticidade, sendo esse fator um mix de duas análises simultâneas e que agregam um grau de relevância no modelo relativamente alto.

A matriz de impacto tem por finalidade analisar e verificar o grau de interferência entre as áreas envolvidas no processo produtivo da linha analisada caso ocorra a falha do equipamento. Dessa forma é possível avaliar as funções básicas que envolvem os equipamentos das linhas produtivas, tais como: o custo envolvido, a logística de operação do equipamento, as causas relacionadas à segurança ou ao meio ambiente, entre outros, e verificar o impacto da falha do equipamento nas demais áreas da linha produtiva para que se obtenha um fator de multiplicação utilizado para balizar o grau de interferência entre essas áreas envolvidas no processo produtivo daquele determinado equipamento em questão.

Para a análise dessa matriz deverá ser considerado a área mais crucial ao equipamento e mesclado com a área de maior interferência exercida pela função que o mesmo desenvolve na etapa do processo produtivo, com isso obtém-se um fator de impacto gerado pela interferência desse processo sobre o resto da cadeia produtiva daquela linha de produção.

3.5 Análise de Falha – FMEA

Para essa etapa foi elaborado um FMEA com foco na gestão da manutenção e que contemplasse, além dos seus parâmetros mais tradicionais de avaliação dos riscos, os fatores de peso descritos nos itens anteriores que foram implementados e a classificação geral da criticidade do sistema funcional analisado. Dessa maneira, o FMEA apresentou como característica fundamental a definição do grau de criticidade de cada equipamento disposto ao longo da linha produtiva analisada e que ponderou todos os itens descritos de forma híbrida, ou seja, parte dos pesos em questão partem de uma análise subjetiva que leva em consideração a análise pessoal do avaliador e outra parte ancorada em valores encontrados através de análises estatísticas feitas a partir de dados reais obtidos de cada sistema funcional ao longo dos anos.

Com isso, foi possível determinar a classe de criticidade de cada equipamento dentro das quatro classes especificadas, sendo o nível menos prejudicial a organização funcional, o menos crítico, e o nível mais importante o mais crítico de toda a linha analisada, garantindo assim que equipamentos que apresentem valores de criticidade semelhantes ou diferentes, não ocupem a mesma classificação.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A partir da definição dos dados a serem estudados, como ponto de partida adequou-se um novo modelo de FMEA para que a análise de criticidade fosse elaborada. Para esse FMEA modificado foram criados parâmetros de análise com base nas diretrizes e no que foi considerado de maior prioridade dentro das regras da empresa. Listando os parâmetros do mais importante ao de menor importância temos as seguintes classificações: Segurança, relacionados diretamente com os riscos envolvendo os trabalhadores.

Meio ambiente ligado diretamente a preservação da fauna, flora e ambiente urbano e de trabalho da empresa; Probabilidade de falha do equipamento, correlacionando diretamente a taxa de falha de cada equipamento dentro de um período estipulado; disponibilidade, que referencia diretamente o tempo produtivo disponível do equipamento.

Custo que envolve os custos de mão de obra (interna e externa), custos com sobressalentes e custos de parada de linha, que são inversamente proporcionais aos lucros uma vez que, quanto menos tempo de linha parada, mais tempo produzindo se obtém; e pôr fim a Qualidade, parâmetro esse que define a qualidade do material final e que pode ser controlado durante o processo mas que interfere na conformidade do produto em caso de falha, seja ele no âmbito da própria linha produtiva ou na análise geral, observando a qualidade ou a possibilidade de não conformidade nos processos subsequentes (em outras linhas de produção que agreguem valor ao produto produzido).

Para cada um desses parâmetros gerados para esse FMEA modificado, foram associados quatro subníveis de intensidade, responsáveis por balizar desde a consequência menos impactante no processo até a falha mais catastrófica dentro da cadeia produtiva e que pode ser observado na Figura 1.

Cada um dos subníveis foi elaborado de forma a simplificar e unificar a decisão do RPN (do inglês *Risk Priority Number* – Número de Prioridade de Risco) uma vez que, para a definição do grau de prioridade de qualquer um dos parâmetros que definem o RPN, são decididos de forma subjetiva, ou seja, dependem da análise da pessoa que está executando a análise de falhas, portanto pode oferecer graus maiores ou menores de prioridade a partir da sensibilidade do executante da análise.

Figura 1 – Classificação dos níveis de prioridade da análise do FMEA.

Fator Avaliativo	Níveis			
	Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
Pontos	1	2	3	4
Segurança Potenciais riscos e danos a pessoas/colaboradores	Não oferece nenhum tipo de risco/danos as pessoas/colaboradores	Probabilidade baixa de causar riscos/danos as pessoas/colaboradores	Oferece um potencial riscos/danos as pessoas/colaboradores com lesões significativas	Nível de risco/dano extremamente alto com possibilidade de danos irreversíveis e/ou fatais
Meio Ambiente Riscos e danos ao meio ambiente geral (fauna, flora e urbano)	Não oferece nenhum tipo de risco/danos ao ambiente ao redor	Oferece baixo risco ao ambiente ao redor, sem danos significativos e/ou permanentes	Risco médio de danos significativos ao ambiente ao redor	Elevado risco de danos irreparáveis e/ou significativos ao ambiente ao redor
Probabilidade Índice do equipamento falhar durante a operação	Baixíssima chance de ocorrência ou não oferece probabilidade de falha do equipamento	Baixa chance de falha do equipamento	Média chance de falha do equipamento	Alta probabilidade/taxa de falha do equipamento
Disponibilidade Tempo útil do equipamento para produção	A falha do equipamento não interfere na cadeia produtiva	Uso ocasional/esporádico do equipamento mas com baixo impacto sobre a produtividade	A falha do equipamento interfere parcialmente na cadeia produtiva	A falha do equipamento ocasiona interrupção imediata da cadeia produtiva
Custo Sobressalente e mão de obra envolvidos no reparo/manutenção do equipamento	Custos de M.O. e de Sobressalentes muito baixo	Custos de M.O. e de Sobressalentes relativamente baixo	Custos de M.O. e de Sobressalentes relativamente médio	Custos de M.O. e de Sobressalentes extremamente alto
Qualidade Efeito da falha do equipamento sobre a qualidade do material produzido	A falha não afeta na qualidade do produto	A falha do equipamento afeta ou faz variar a qualidade do produto mas sem gerar não conformidade ou retrabalho	A falha do equipamento afeta parcialmente o produto gerando retrabalho do material	A falha do equipamento afeta integralmente o produto gerando não conformidade (descarte do material)

Fonte: o Autor 2023

Com o FMEA modificado sendo a primeira etapa da análise da criticidade, elaborou-se a segunda consideração para balizar o nível de relevância do equipamento dentro da cadeia produtiva, a Curva da Banheira.

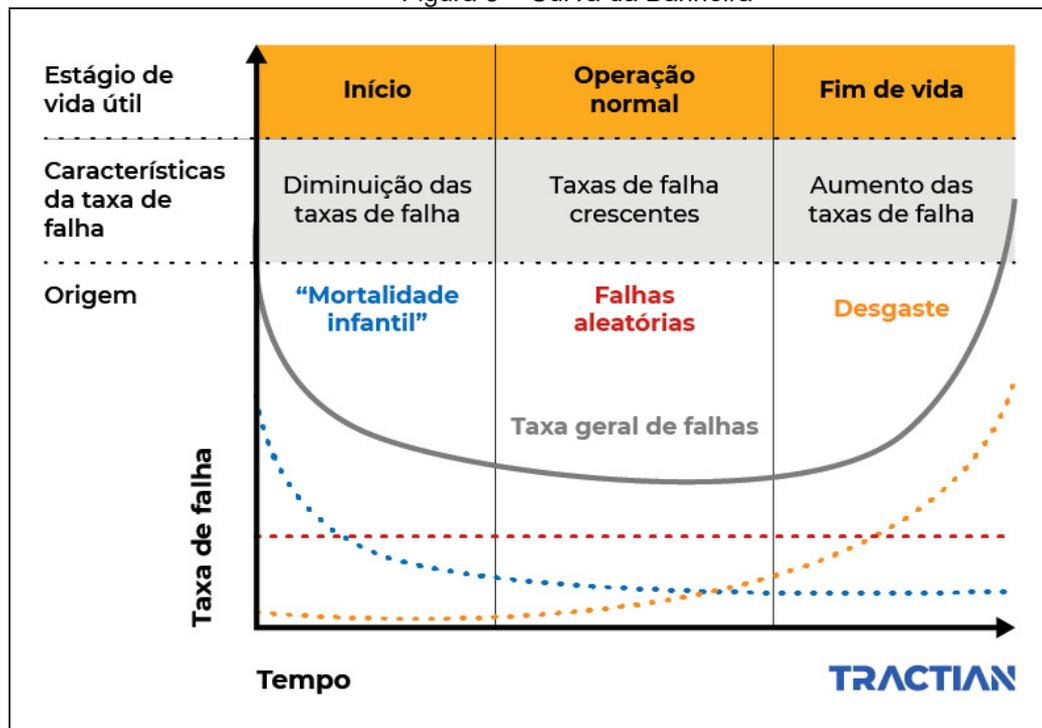
Com esse diagrama pode-se definir um período em função do tempo ao qual o equipamento está operando, ou seja, o quão novo ou degradado o equipamento pode estar dentro de um período determinado. Esse gráfico é caracterizado por três áreas distintas, a área de Início das Operações, a área de Operação Normal e a área de Fim de Vida, conforme as figuras 2 e 3.

Figura 2 – Parâmetros de análise da Curva da Banheira.

Análise da Curva da Banheira			
Definir em qual estágio de operação ao longo do tempo o equipamento se encontra para a definição de um fator de peso à variação da criticidade do equipamento.			
	Início das Operações	Operação Normal	Fim de Vida
	2	3	5
Fator de Peso 1	Caracterizado por baixos índices de falhas do equipamento mas com altos níveis de intervenção devido a instalação de novos equipamentos e/ou substituição de componentes importantes do equipamento.	Caracterizado pelas baixas taxas de falha e a ocorrência de falhas aleatórias do equipamento.	Caracterizado pelo desgaste excessivo do(s) componente(s) que acarretam em probabilidade de falha maior ou aumento de ocorrências inesperadas.
Fase do Equipamento	Fase de Comissionamento do equipamento.	Fase de operação normal.	Fase de aumento das paradas para manutenção corretiva ou preventiva.

Fonte: o Autor 2023

Figura 3 – Curva da Banheira



Adaptado de TRACTIAN

O Início das operações é caracterizado pela diminuição da taxa de falhas do equipamento ao longo dos anos uma vez que, esse parâmetro é aplicado para equipamentos que foram substituídos na linha de produção ou que sofreram modificação em função de apresentarem componentes obsoletos. Nesse momento as falhas decorrentes não são oriundas da quebra do equipamento, mas sim de reparos ou correções necessárias devido a instalação ou modificação da máquina em si além de poderem apresentar também falhas correlacionadas a má operação do equipamento, pelo fato de ser algo novo para os operadores.

A Operação Normal é caracterizada pela fase de maior produtividade e menor taxa de falhas do equipamento, isso se dá pelo fato da fase inicial de operação já ter sido concluída e as falhas iniciais do equipamento já terem sido resolvidas e a operação já estar mais rotineira aos operadores. Com isso as possíveis falhas na fase de Operação Normal podem ser normalmente originárias de ocorrências aleatórias ou inesperadas ou por desgaste natural da máquina. Já a fase de Fim de Vida remete ao equipamento que apresenta maior idade de instalação ou operação na linha produtiva, rotineiramente esses equipamentos apresentam um índice de

desgaste maior além da elevada taxa de falha em virtude de o equipamento estar ficando obsoleto. É nesse momento que as ocorrências aleatórias e por desgaste acontecem com maior frequência o que é diretamente ligado ao maior gasto com manutenção e tempo de parada da linha.

Contudo, ambas as fases de Operação Normal e de Fim de Vida podem sofrer alterações, quanto ao índice de falha apresentado nas máquinas, por conta da gestão das manutenções preventivas e preditivas que podem ser aplicadas as linhas de produção. Tanto a manutenção preventiva quanto a preditiva corrigem possíveis defeitos que possam acarretar falha ou quebra da máquina, antes mesmo que aconteça a ocorrência, prevenindo a parada inesperada da linha de produção ou do processo em questão.

De modo geral, a curva da banheira não pode ser aplicada diretamente com a data de início das operações da linha de produção por conta do fator de manutenibilidade dos equipamentos juntamente com a gestão das manutenções preventivas e preditivas já que, caso todos os componentes de determinado equipamento ainda sejam fabricados, eles podem ser substituídos e, com isso, prolongar e evitar a fase de Fim de Vida dos equipamentos.

Como terceiro parâmetro de peso sobre o nível de criticidade dos equipamentos utilizou-se do diagrama de Pareto como fator de multiplicação para a avaliação da criticidade. Com esse diagrama pode-se observar, sob duas vertentes, a análise de prioridade da criticidade: a primeira vertente consiste na análise sobre o ponto de vista da quantidade de paradas de cada equipamento, conforme mostrado no Gráfico 1; já a segunda vertente consiste na análise sobre o tempo total de parada de cada equipamento da cadeia produtiva, mostrado através do Gráfico 2.

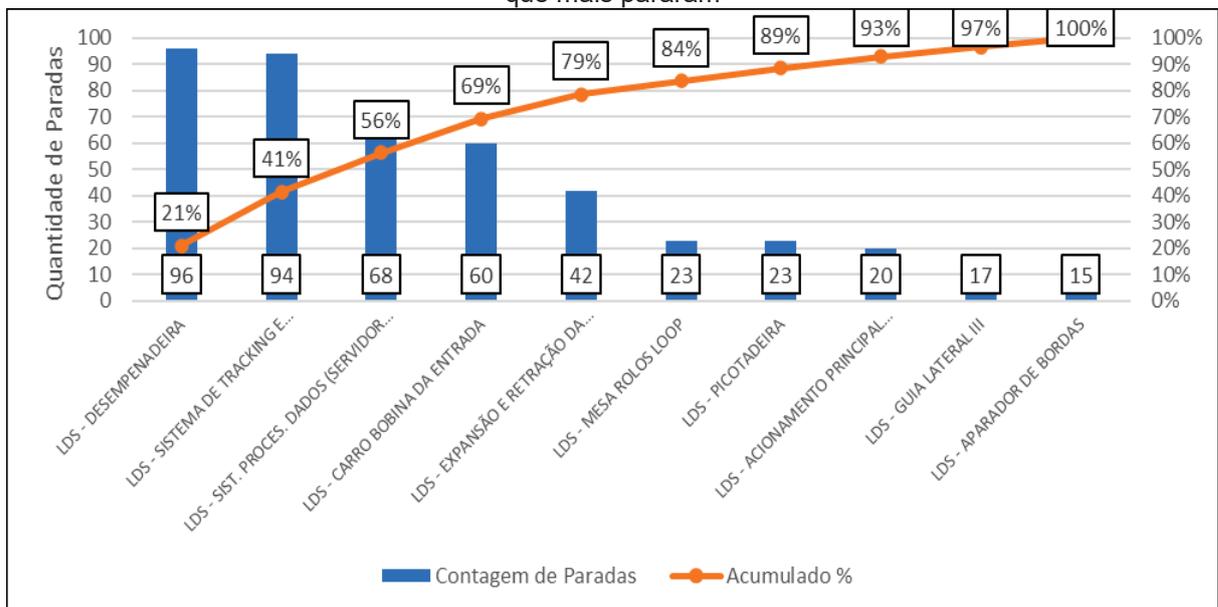
Sob o olhar da primeira vertente temos que, a quantidade de paradas interfere diretamente sobre a cadeia produtiva de uma determinada linha de produção já que, quanto mais paradas, maior é a frequência de tempo sem produzir, além disso também pode-se associar a alta taxa de falhas desse equipamento, maiores concentrações de custos de mão de obra, custos de estoque de sobressalentes e caracterização da fase de Fim de Vida da curva da banheira citado anteriormente.

Para a segunda vertente de análise da Curva de Pareto, é possível observar os longos tempos de parada de um equipamento o que remete a uma análise similar

a descrita no parágrafo anterior, ou seja, quanto maior o tempo de parada, maior é o tempo sem produzir, impactando diretamente os lucros daquela linha de produção. Outra análise muito similar ao parágrafo anterior é que também pode-se relacionar os elevados custos envolvidos com a manutenção desses equipamentos e com a gestão de sobressalentes, porém diferindo em um aspecto, caso o tempo de parada seja grande pode-se admitir um grau mais elevado de relevância uma vez que, para paradas mais longas os componentes a serem reparados podem se apresentar mais complexos ou de maior dificuldade de se encontrar sobressalentes.

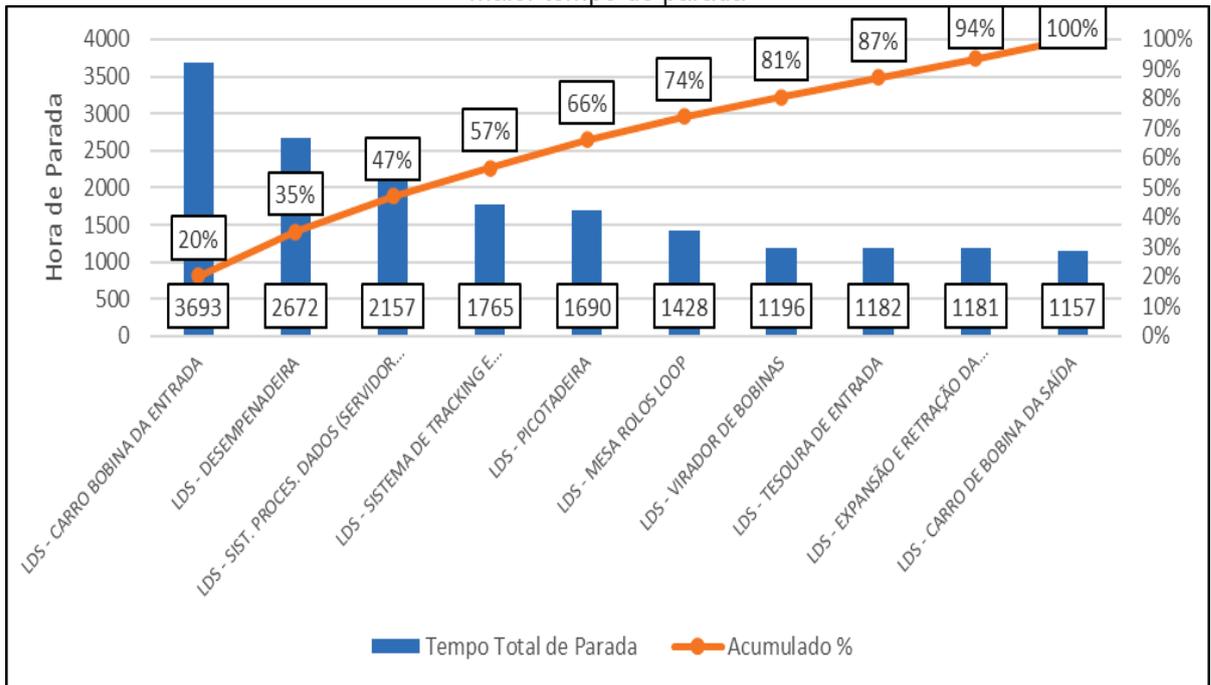
Além disso é possível agregar um dos conceitos mais importantes do diagrama de Pareto que é o seu conceito básico que consiste em dizer que: normalmente cerca de 80% dos problemas, estão concentrados em cerca de 20% das causas, o que revela alguns equipamentos aos quais pode-se dar mais atenção no quesito manutenção.

Gráfico 1 – Diagrama de Pareto da Quantidade Total de Paradas pelo TOP 10 Equipamentos que mais pararam



Fonte: o Autor 2023

Gráfico 2 - Diagrama de Pareto do Tempo Total de Paradas pelo TOP 10 Equipamentos com maior tempo de parada



Fonte: o Autor 2023

Já para a elaboração da Matriz de Risco se deu por meio do cruzamento entre a probabilidade de ocorrência e a severidade caso aconteça a ocorrência. Para isso criou-se cinco níveis de probabilidade de ocorrência, partindo desde equipamento que oferece menor taxa de falha até o equipamento que oferece a maior probabilidade de falha. No eixo das abscissas tem-se o grau de severidade em caso de falha do equipamento caracterizado desde o nível mais desprezível até o nível mais catastrófico de interferência sobre a cadeia produtiva. Esses parâmetros foram definidos de forma a mitigar a intensidade dada pela pessoa que está realizando a análise já que se trata de um parâmetro parcialmente definido pela subjetividade de quem está analisando, devido a forma como a pessoa classificará principalmente o nível de severidade de impactos sobre a linha produtiva.

Para uma melhor definição dos fatores de risco da matriz, trabalhou-se de forma a gerar uma boa malha de valores oscilando entre 1, para o caso da probabilidade mais rara de acontecer e com a severidade da ocorrência de mais baixo impacto e 5, para a probabilidade alta ou quase certa de ocorrer pela severidade altamente impactante da ocorrência sobre a linha produtiva.

Com isso o processo como um todo é ponderado e correlacionado com as etapas do processo, acarretando no impacto gerado pelo equipamento no processo como um todo, desde as etapas subsequentes até mesmo para as etapas anteriores ao equipamento, o que pode ser um forte agravante ou simplesmente um fator de baixa influência sobre o processo, como por exemplo equipamentos ligados diretamente com a qualidade do produto a falha parcial ou total desse equipamento pode gerar não conformidade do material processado e que, por sua vez, impacta na qualidade, custo e produtividade da linha de produção.

Compilando todos os métodos de análise criou-se o método de análise de risco, com uma estrutura similar ao FMEA no qual atribui-se pontos de acordo com cada um dos métodos de análise citados anteriormente e, como retorno, dá duas classificações: uma classificação numérica que remete a um valor quantitativo de qual a posição do equipamento dentro da variação máxima e mínima de criticidade estabelecida pelos parâmetros; e a classificação alfabética que remete a um posicionamento por grau de prioridade dentro dos equipamentos analisados.

A classificação numérica é gerada a partir da multiplicação de todas as pontuações atribuídas ao equipamento durante a análise elaborada e com essa classificação, é possível distinguir uma determinada variação entre dois equipamentos que sejam contemplados pela mesma classe alfabética de criticidade, sendo assim, em um momento em que seja necessário a definição de qual equipamento merece uma concentração de esforços maior para que se minimize a taxa de falhas ou o impacto gerado pela falha do mesmo, pode-se utilizar esse dado como critério de definição ou desempate.

O critério de classificação alfabética é definida com base em uma determinada faixa de pontos obtidos pela classificação numérica, que varia de acordo com cada umas das letras determinadas de A, que define o equipamento como supercrítico, e a letra D, que define a máquina como baixo impacto sobre a linha produtiva, e tem como objetivo definir um grupo de equipamentos, que detenham as características analisadas, como um grupo de maior ou menor relevância para a linha de produção, devendo a esse grupo ser destinado maiores esforços quanto a manutenção e gestão de sobressalentes uma vez que, o impacto

gerado por qualquer um desses equipamentos classificados como A, é extremamente prejudicial a cadeia produtiva da empresa.

Como validação parcial do método, além da linha produtiva que foi escolhida para que fosse elaborado o modelo de análise, definiu-se alguns equipamentos como modelos de testes do método de análise de criticidade e como desejado, os resultados obtidos foram dentro do esperado, retornando assim a classificação numérica e alfabética de acordo com os dados reais estimados acerca da relevância de certos equipamentos para a linha de produção. O Modelo de análise de Criticidade pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 - Método de Análise de Criticidade de Equipamentos.

Equipamento	FMEA - RPN	Fator - Peso 1	Fator - Peso 2	Matriz Risco	Matriz Impacto	Classificação Numérica	Classificação Alfabética	Índice de Criticidade / Prioridade
EXPANSÃO RETRAÇÃO MANDRIL ENROLADEIRA	24	5	8	5	5	24000	A	1
EXPANSÃO E RETRAÇÃO DA DESENROLADEIRA	24	5	8	5	5	24000	A	1
CARRO DE BOBINA DA SAÍDA	16	5	7	4	5	11200	B	2
CARRO BOBINA DA ENTRADA	16	5	7	4	5	11200	B	2
DESEMPENADEIRA	14	3	9	3	3	3402	C	3
VIRADOR DE BOBINAS	16	3	4	3	5	2880	D	4
OLEADEIRA ELETROSTÁTICA	14	2	1	4	3	336	D	5
SISTEMA HIDRÁULICO ROLOS TENSIONADORES	11	2	1	2	1	44	D	6
SISTEMA HIDRÁULICO DE ENTRADA	11	2	1	2	1	44	D	6
SISTEMA HIDRÁULICO DE SAIDA	11	2	1	2	1	44	D	6
BERÇO DE BOBINAS DA ENTRADA	6	2	1	1	1	12	D	7

Fonte: o Autor 2023

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método elaborado, atende aos requisitos solicitados, apresentando um nível de classificação distinto dentro do quadro de análise proposto. Com isso tem-se a caracterização dos equipamentos dentro das classes estipuladas como: supercrítico, crítico, prioridade média ou moderada e, por fim, prioridade baixa ou baixo impacto, sendo denotados respectivamente pelas classes A, B, C e D.

Contudo, como o modelo elaborado foi criado com base em uma linha modelo e portanto esse modelo ainda não pode ser generalizado antes de novos estudos que comprovem e confirmem que esse método, pode ser aplicado as demais linhas de produção, de modo a tratar todo e qualquer equipamento de qualquer linha produtiva de forma semelhante sem levar em consideração suas características produtivas, a sua condição de operação ou a subjetividade da pessoa que executa a análise por exemplo, o que necessitaria de pequenas modificações ou ajustes nos parâmetros de análises, modificando os parâmetros existentes ou adicionando novos parâmetros para complementar o modelo de análise, uma vez que cada linha produtiva contém suas particularidades e características próprias o que pode afetar diretamente o resultado da classificação do nível de criticidade do modelo elaborado.

Dessa maneira conclui-se que o método desenvolvido nesse trabalho atende a demanda de classificação do nível de criticidade dos equipamentos de uma linha produtiva, tratando cada equipamento envolvido na cadeia produtiva de forma ponderada e aproximada da sua real relevância dentro dessa mesma cadeia produtiva, porém é necessário que uma aplicação desse método em outras linhas de produção ocorra para a verificação e a validação do método como um modelo definitivo de análise de criticidade válido para todos os equipamentos de todas as linhas produtivas da fábrica.

REFERÊNCIAS

- ABECOM. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Disponível em: < <https://www.abecom.com.br/rcm-manutencao-centrada-na-confiabilidade/> > Acesso em outubro 2023.
- FALCONI, Vicente. **TQC: Controle da qualidade total no estilo Japonês**. Nova Lima/MG: Falconi, 2009.
- FERNANDES, J.M.R. (2006). **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. (Dissertação de mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Paraná-PUCPR, Curitiba, p. 248.
- FRACTALL. **O que é manutenção baseada em condição?** Disponível em: <<https://www.fractal.com/pt-br/manutencao-baseada-em-condicao-cbm>> Acesso em outubro 2023.
- HERPICH, C.; SANSON, F. **Aplicação de FMECA para Definição de Estratégias de Manutenção em um Sistema de Controle e Instrumentação de Turbogeneradores**. Iberoamerican Journal of Industrial Engineering, Florianópolis, SC, Brasil, 2013. Disponível em:< <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/viewFile/2594/pdf>> Acesso em outubro 2023.
- JARDINE, A. K. S.; LIN, D.; BANJEVIC, D. **A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance**. Mechanical systems and signal processing, v. 20, n. 7, p. 1483-1510, 2006.
- KANBANTOOL. **O que é a Análise de Modos de Falha e Efeitos?** Disponível em: <<https://kanbantool.com/pt/guia-kanban/analise-de-modos-de-falha-e-efeitos>> Acesso em outubro 2023.
- LAFRAIA, J. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LONGO, Claudio G. **Manual de auditoria e revisão de demonstrações financeiras**. São Paulo: Atlas, 2011
- MELO, Moisés Moura de; SANTOS, Ivan Ramos dos. Auditoria contábil. São Paulo, 2012.
- MACEDO, Marco Antonio Subtil. **Contribuição metodológica para a determinação da Criticidade de equipamentos na gestão da manutenção**. Dissertação para obtenção de título em Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa. 2011. MANUTENCAO. Manutenção em Foco. Classificação ABC de Máquinas e Equipamentos. Disponível em < <https://www.manutencaoemfoco.com.br/classificacaoabc/>>. Acesso em: Acesso em: outubro de 2023.

MACHADO, Simone. **Gestão da Qualidade**. Inhumas/GO: e-Tec Brasil, 2012.
Baran, Leandro R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução de Falhas: Um Estudo de Caso**. Ponta Grossa, 2011. 103 p. Monografia de Especialização.

Mecabô, L. (2007). **Desenvolvimento de um protótipo de sistema especialista para apoio à manutenção de turbocompressores centrífugos de gás natural**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Florianópolis.

MENEGHINI, C. ZAIONS, D. **A manutenção centrada em confiabilidade aplicada a um sistema de embalagem de presunto de uma indústria alimentícia**. Joaçaba: UNOESC, 2010. 16 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia de Produção Mecânica, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2010.

MOUBRAY, J. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. São Paulo: Aladon Ltda. 2000, p. 426.

Nigel S., Stuart C., Robert J. **Administração da produção**. In: H. R. Corrêa. **Melhoramento da Produção**. São Paulo: Atlas, 2009, p. 561 – 595.

OLIVEIRA, M. F. **Metodologia científica: um manual para realização de pesquisas em Administração**. Catalão: UFJ, 2011. Disponível em: <https://adm.catalao.ufg.br/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf>. Acesso em outubro 23.

SELLITTO, M. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos**. GEPROS, v.2, n.1, p.97-108,2007.

TROJAN, F.; MARÇAL, R. **Classificação dos tipos de manutenção pelo método de Análise multicritério electre TRI**. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. Natal, Rio Grande do Norte. 2013. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0338.pdf>>. Acesso em outubro 2023.

