

## Aplicação da metodologia FMECA para análise de confiabilidade de um trocador automático de rolos

## Application of the FMECA methodology for reliability analysis of an automatic roll changer

## Aplicación de la metodología FMECA para el análisis de confiabilidad de un cambiador automático de rodillos

Karina Maria Rodrigues<sup>1</sup>

Rafael dos Santos<sup>2</sup>

**Resumo:** Este trabalho abordou a importância da manutenção com técnicas avançadas na indústria de celulose e papel, com foco específico em um trocador automático de rolos. O objetivo principal foi aplicar a metodologia FMECA (Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade) para identificar e mitigar falhas no equipamento, melhorando sua confiabilidade e disponibilidade. Por meio da análise de dados históricos e da aplicação de ferramentas de qualidade identificou-se 15 componentes críticos e 46 modos de falha. Foram aplicadas medidas corretivas e preventivas, melhorando expressivamente a confiabilidade do equipamento, que passou de 71% para 94%. O estudo demonstrou a eficácia do emprego da metodologia na otimização da gestão de manutenção e na garantia da operação contínua e eficiente de equipamentos industriais.

**Palavras-chave:** FMECA. Confiabilidade. Manutenção. Falhas.

**Abstract:** This work addressed the importance of maintenance with advanced techniques in the pulp and paper industry, with a specific focus on an automatic roll changer. The main objective was applying the FMECA methodology (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis) to identify and mitigate equipment failures, improving its reliability and availability. Through the analysis of historical data and the application of quality tools, 15 critical components and 46 failure modes were identified. Corrective and preventive measures were implemented, significantly improving the equipment's reliability, which increased from 71% to 94%. The study demonstrated the effectiveness of using the methodology in optimizing maintenance management and ensuring the continuous and efficient operation of industrial equipment.

**Keywords:** FMECA. Reliability. Maintenance. Failures.

**Resumen:** Este trabajo abordó la importancia del mantenimiento con técnicas avanzadas en la industria de celulosa y papel, con un enfoque específico en un cambiador automático de rodillos. El objetivo principal fue aplicar la metodología FMECA (Análisis de Modos de Fallos, Efectos y Criticidad) para identificar y mitigar fallas en el equipo, mejorando su confiabilidad y disponibilidad. A través del análisis de datos históricos y la aplicación de herramientas, se identificaron 15 componentes críticos y 46 modos de falla. Se aplicaron medidas correctivas y preventivas, mejorando significativamente la confiabilidad del equipo, que pasó del 71% al 94%. El estudio demostró la eficacia del empleo de la metodología en la optimización de la gestión de mantenimiento y en la garantía de la operación continua y eficiente de los equipos industriales.

**Palabras-clave:** FMECA. Confiabilidad. Mantenimiento. Fallos.

Submetido 15/01/2025

Aceito 10/03/2025

Publicado 02/04/2025

<sup>1</sup> Graduada em Engenharia Mecânica. IFSP Campus Itapetininga. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5512-940X>. E-mail: [rodrigues.karina@aluno.ifsp.edu.br](mailto:rodrigues.karina@aluno.ifsp.edu.br)

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Professor. IFSP Campus Itapetininga. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7375-5840>. E-mail: [rafasantos01@ifsp.edu.br](mailto:rafasantos01@ifsp.edu.br)

## Introdução

A indústria de produção de celulose e papel é conhecida pelo alto nível de competitividade, o que requer uma alta velocidade de produção a fim de atender a demanda do mercado de forma eficiente, possibilitando estoque reduzidos e garantindo uma resposta rápida às necessidades dos clientes. Os equipamentos de uma indústria papelreira devem corresponder a essa necessidade e possuem alto nível de automatização; um exemplo é o trocador automático de rolos, que é um equipamento formado por componentes pneumáticos, elétricos e mecânicos e que tem por finalidade realizar a troca rápida de um rolo de papel formado ao final da máquina de papel para o próximo.

Para atender a automatização e rapidez dos processos é necessário que os equipamentos sejam confiáveis e estejam sempre disponíveis, sendo assim, deve-se haver uma gestão de manutenção avançada que garanta a disponibilidade e funcionalidade requerida.

Um modelo de gestão de manutenção avançada vai além dos modelos tradicionais de manutenção corretiva e preventiva. Deve incluir um conjunto de práticas e estratégias para otimizar os processos, bem como estratégias de manutenção preditiva e prescritiva. Um exemplo desse tipo de gestão é o RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Segundo Moubay (2000), RCM ou Manutenção Centrada em Confiabilidade é uma metodologia que tem por objetivo definir um plano de manutenção elaborado afim de prolongar a vida útil e aumentar o desempenho dos ativos, avaliando individualmente as características do equipamento e o impacto que uma falha causaria levando em conta seu contexto operacional.

Um dos recursos previstos pelo RCM é a utilização da metodologia FMECA (*Failure Mode and Effects Criticality Analysis*) ou em português Análise dos Modos de Falhas, Efeitos e Criticidade, que é uma ferramenta avançada utilizada para identificar e avaliar os modos de falha potenciais ou crônicos em um sistema, componente ou processo. A FMECA visa o entendimento de como os modos de falha afetam a funcionalidade do componente e ajuda na priorização das ações para aumentar a disponibilidade do equipamento (Baran *et al.*, 2011; Dhillon, 2006; Florence; Calil, 2005; Jaques *et al.*, 2010; Kardec; Nascif, 2009; Sakurada, 2001; Spreafico; Russo; Rizzi, 2017).

Ainda neste contexto, a aplicação eficaz da FMECA pode ser aprimorada com o uso de outras ferramentas que oferecem métodos quantitativos para analisar e priorizar os modos de

falha, fornecendo dados sobre os riscos associados e permitindo um direcionamento eficiente dos recursos de manutenção, como o Diagrama de Ishikawa, Os 5 Porquês, Análise de Pareto, entre outras. Utilizar essas ferramentas no desenvolvimento da FMECA não apenas aprimora a compreensão dos modos de falha, mas fortalece a capacidade de tomar decisões para melhorar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

### **Metodologia**

Esse estudo foi realizado em uma indústria de papel e celulose, localizada no interior de São Paulo, que possui uma máquina de papel com capacidade de produção de aproximadamente 400 toneladas por dia. A metodologia FMECA foi aplicada em um trocador automático de rolos seguindo os 7 passos, elaborados com base no fluxo criado por Dhillon (2006).

### **Passo 1: Seleção do tema e grupo de trabalho**

A seleção do tema foi motivada pela necessidade de aumentar a confiabilidade do equipamento trocador automático de rolos, que apresentou 7 quebras no ano de 2022, sendo esta a maior causa de paradas por equipamento na máquina de papel durante o período estudado. Para este fim, julgou-se adequado o emprego da metodologia FMECA, cujo objetivo é identificar, analisar e priorizar possíveis modos de falha e seus efeitos, permitindo a implementação de ações corretivas e preventivas para melhorar a confiabilidade e reduzir o risco de falhas.

Além das quebras, foram levantados os dados históricos de falhas do equipamento, incluindo o tempo entre falhas (MTBF – *Mean Time Between Failures* ou Tempo Médio Entre Falhas) e o tempo de reparo (MTTR – *Mean Time To Repair* ou Tempo Médio Para Reparos). Assim, foi possível calcular o nível de confiabilidade do equipamento de acordo com a NBR 5462 (1994). As fórmulas utilizadas para os cálculos de confiabilidade, taxa de falhas e tempo médio entre falhas são apresentadas pelas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$R(t) = e^{-\lambda.t} . 100$$

**Equação 1**

Onde:

R é a Confiabilidade (do inglês *Reliability*), dada em porcentagem (%);

$t$  é o tempo que se quer medir, dado em horas;  
 $e$  é base dos logaritmos Neperianos, cujo valor é 2,71;  
 $\lambda$  é a taxa de falhas, dada em horas.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

MTBF é o tempo médio entre falhas, dado em horas.

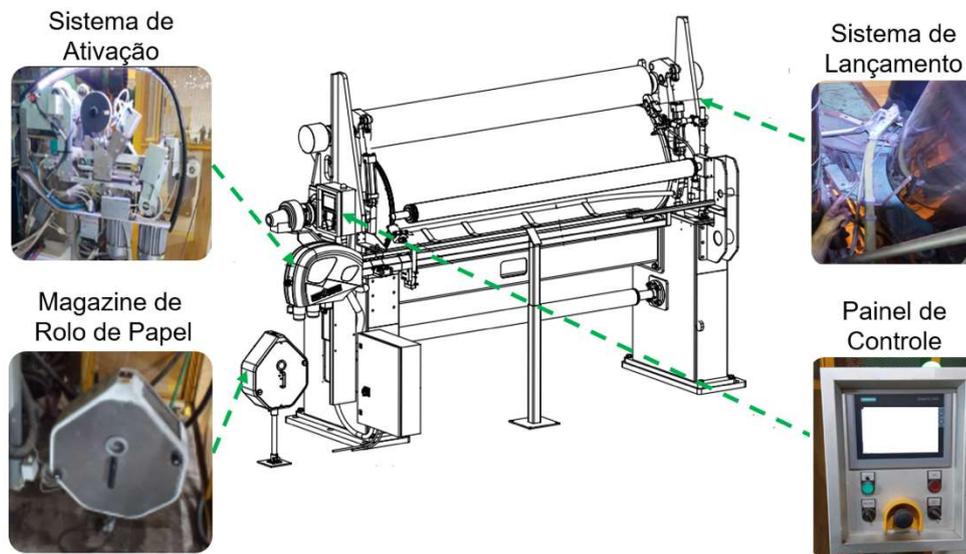
$$MTBF = \frac{\Sigma \text{horas de trabalho em bom funcionamento}}{n^{\circ} \text{ total de falhas}} \quad \text{Equação 3}$$

A equipe formada para o desenvolvimento do projeto foi idealizada para que fosse ampla e diversificada em áreas de formação e atuação, portanto, contou com profissionais da produção, instrumentação, elétrica, mecânica, automação e engenharia, totalizando 8 integrantes. Todos os membros passaram por um treinamento inicial sobre o funcionamento do equipamento a ser analisado e da ferramenta utilizada no projeto.

### **Passo 2: Divisão da máquina em conjuntos, subconjuntos e componentes**

Com o auxílio do manual do equipamento, o sistema trocador automático de rolos foi dividido em 4 subconjuntos: sistema de ativação, magazine de rolo de papel, sistema de lançamento e painel de controle, conforme pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Os 4 subsistemas do trocador automático de rolos.



Fonte: (Elaboração própria, 2024).

Cada subconjunto do equipamento possui uma função específica, conforme descrito abaixo:

- **Sistema de ativação:** É responsável por preparar a fita de troca rápida para que ela siga os próximos passos e realize o corte da folha. O sistema de ativação puxa a fita de troca rápida para o trilho e aplica 80 cm de fita adesiva dupla face sobre ela. Um sensor óptico detecta tanto a presença da fita de troca rápida quanto a correta aplicação da fita adesiva. A fita preparada é então enviada ao carrinho, onde aguardará o comando do operador para ser puxada até o sistema de lançamento.
- **Magazine de rolo de papel:** Suporte onde o rolo de fita de troca rápida é inserido no equipamento. Também possui um sensor responsável por emitir um alerta ao operador quando o rolo da fita estiver acabando.
- **Sistema de lançamento:** É responsável por lançar a fita de troca rápida preparada para que ela se fixe na estanga e realize o corte da folha de papel. Após o comando do operador, o motor de lançamento aciona o eixo flexível acoplado, que, por sua vez, gira uma engrenagem responsável por lançar a fita em direção à estanga. A fita adesiva cola na lateral da estanga e, com seu

movimento giratório, forma uma espiral, transformando a fita em uma tesoura que corta o papel e o enrola na estanga vazia, iniciando um novo rolo jumbo.

- **Painel de controle:** Composto por uma IHM (Interface Homem-Máquina), este subsistema é responsável pelo comando e controle de todo o equipamento. Ele contém a lógica de programação do sistema e permite ao operador acionar os comandos para os lançamentos.

Após a definição dos subconjuntos, foi preenchida a planilha de análise de funcionalidade (parte integrante da metodologia FMECA), na qual consta o conjunto do equipamento, os 4 subconjuntos e todos os componentes que compõem os respectivos subconjuntos. No total foram identificados 652 componentes que constituem o equipamento, se tornando inviável a aplicação da FMECA para todos eles. Realizou-se uma priorização dos componentes mais críticos, sendo avaliados os históricos de falhas do equipamento e falhas que ocorreram com equipamentos de outros clientes do fabricante, a fim de focar nos componentes com maior probabilidade de falha. Assim, reduziu-se para 66 componentes, os quais foram descritos quanto a função, falha funcional, modos de falhas e efeito da falha.

### Passo 3: Definição dos parâmetros críticos e do esquema de avaliação de criticidade

Os critérios e parâmetros foram definidos de acordo com a realidade do equipamento e as características do local onde está instalado. O detalhamento dos parâmetros pode ser visto no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros para avaliação da criticidade.

PRODUÇÃO				
Cód	Descrição	Mínimo	Máximo	Gravidade
1	Tempo de parada de linha causada	0	6 min	0
2		> 6 min	1 hora	1
3		> 1 hora	1,5 horas	2
4		> 1,5 horas	2 horas	3
5		> 2 horas		4
QUALIDADE				
Cód	Descrição			Gravidade

1	Nenhum defeito da qualidade do produto			0
2	Retrabalho			1
3	Desvio de material			2
4	Refugo			3
5	Defeitos detectados pelo cliente (externo ou interno)			4
<b>SEGURANÇA</b>				
<b>Cód</b>	<b>Descrição</b>			<b>Gravidade</b>
1	Nenhum risco na segurança na ocorrência de quebra			0
2	Possibilita condição ou ato inseguro na ocorrência da quebra			1
3	Risco de acidente sem afastamento na ocorrência da quebra			2
4	Risco de acidente com afastamento na ocorrência da quebra			3
5	Risco de explosão / desastre na ocorrência da quebra			4
<b>DETECÇÃO</b>				
<b>Cód</b>	<b>Descrição</b>			<b>Gravidade</b>
1	Detectável sempre, na hora			0
2	Detectável mediante teste em campo			1
3	Detectável mediante desmontagem ou teste fora da máquina			2
4	Não detectável ou inviável			3
<b>FREQUÊNCIA</b>				
<b>Cód</b>	<b>Descrição</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Gravidade</b>
1	Probabilidade totalmente nula	-	-	0
2	Número de ocorrências por ano	-	1 ano	1
3	Número de ocorrências	< 1 ano	3 meses	2
4	Número de ocorrências	< 3 meses	1 mês	3
5	Número de ocorrências	> 1 x mês	-	4

Fonte: (Elaboração própria, 2024).

#### Passo 4: Avaliação dos modos de falha e suas respectivas criticidades

Com o Passo 3 finalizado, realizou-se o preenchimento da análise FMECA, no qual cada modo de falha anteriormente elencado foi pontuado nos 5 critérios mencionados, a fim de se determinar qual era a criticidade de cada um, calculado através da Equação 4.

$$\text{Criticidade} = (\text{Produção} + \text{Qualidade} + \text{Segurança} + \text{Detecção}) \cdot \text{Frequência} \quad \text{Equação 4}$$

### **Passo 5: Definição dos controles e bloqueios**

Depois de identificados os componentes críticos, inicialmente aplicou-se a ferramenta *Brainstorming* para levantar todas as possíveis causas dos modos de falha. Esse processo foi realizado de maneira livre para que todos os membros da equipe de apoio pudessem contribuir. Em seguida, foram elaborados os Diagramas de Ishikawa, alocando corretamente as possíveis causas em cada um dos 6Ms (Máquina, Mão de obra, Matéria-prima, Método, Medição ou Meio ambiente).

Após isto, realizou-se a aplicação da ferramenta dos 5 Porquês. Nesta etapa, as causas dos modos de falha foram debatidas até que a causa raiz fosse identificada. Para cada causa raiz, foi elaborada pelo menos uma contramedida.

### **Passo 6: Elaboração do plano de ações**

Para uma melhor organização e acompanhamento das ações, foi elaborada uma planilha para o planejamento das ações. Além disso, foram definidos os responsáveis, data máxima para execução das tarefas e classificação destas de acordo com seu impacto.

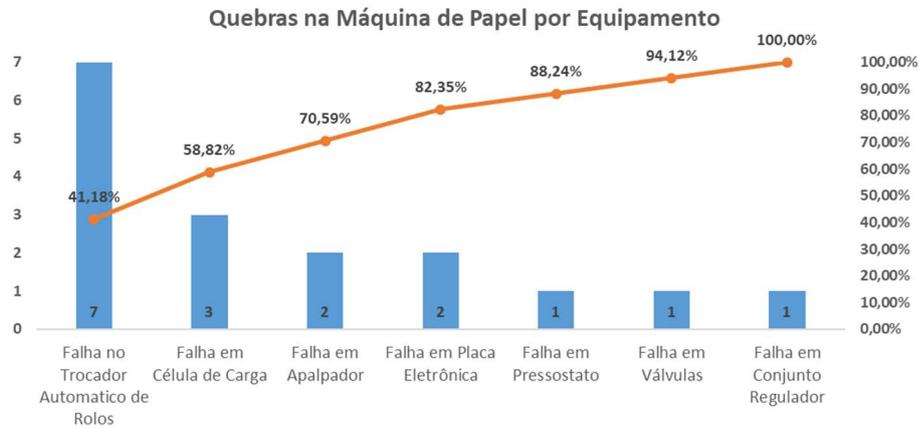
### **Passo 7: Avaliação do resultado e melhoria contínua**

Após a conclusão de todas os passos, foi realizado novamente o preenchimento da planilha FMECA, reconsiderando a pontuação de cada critério estabelecido de acordo com a nova realidade do equipamento, recalculando o índice de criticidade de cada modo de falha.

### **Resultados**

Decorrente de um estudo de quebras ocorridas na máquina de papel onde este trabalho foi realizado, foi decidido pela aplicação da metodologia FMECA após os dados históricos apontarem que o equipamento trocador automático de rolos apresentava o maior número de quebras durante o ano de 2022. Com base nos dados, elaborou-se um Diagrama de Pareto, o qual evidenciou o equipamento de maior porcentagem de falhas na máquina de papel, conforme pode ser visto na Figura 2.

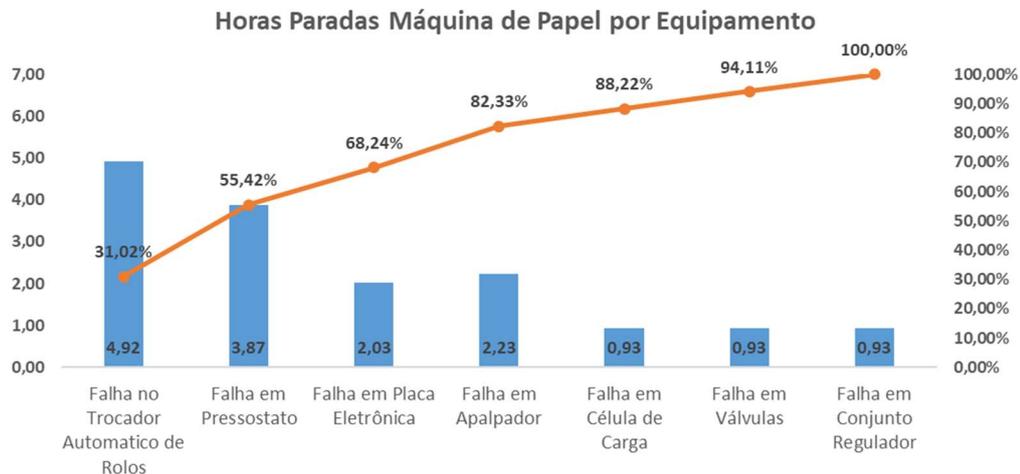
Figura 2 – Diagrama de Pareto das quebras na máquina de papel por equipamento em 2022.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Foi desenvolvido um gráfico que apresenta as horas de indisponibilidade de cada equipamento durante o mesmo período, conforme mostra a Figura 3. Observa-se, mais uma vez, que o trocador automático de rolos registrou o maior número de horas paradas em 2022, totalizando 4,92 horas paradas, corroborando a necessidade de focar os estudos neste equipamento.

Figura 3 – Diagrama de Pareto das horas paradas da máquina de papel por equipamento.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

Uma vez definido o trocador automático de rolos como o foco da análise FMECA, foram reunidos os dados históricos do equipamento no ano de 2022. As ocorrências de falhas foram levantadas com base nas manutenções corretivas realizadas. Esses modos de falha juntamente com outros possíveis foram listados na planilha de análise de funcionalidade, conforme mostrado no Quadro 2.

Com a planilha de funcionalidade concluída, avançou-se para o preenchimento da planilha FMECA. Nesta etapa, cada modo de falha identificado foi detalhadamente pontuado com base nos critérios estabelecidos no “Passo 4”. Calculou-se também a criticidade de cada modo de falha, levando em consideração a severidade, a ocorrência e a detecção dos problemas.

Determinou-se que o nível de criticidade aceitável seria  $\leq 4$ , ou seja, todos que pontuassem 5 ou mais seriam considerados críticos e precisariam ser tratados durante o projeto. Após a aplicação da ferramenta constatou-se que 46 modos de falha pontuaram maior que o número aceitável, correspondendo a 15 componentes críticos.

Após a identificação dos itens críticos, iniciou-se o estudo dos controles e bloqueios necessários. Para desenvolver ações eficazes, foi fundamental aplicar a análise dos 5 Porquês para determinar a causa raiz de cada modo de falha. Esse processo revelou 9 causas raízes que contribuíam para as falhas. Foram elaboradas contramedidas (Quadro 3) com o objetivo de resolver ou minimizar o problema. Dentre as ações, duas foram classificadas como de alto impacto, seis como de médio impacto e uma como de baixo impacto.

Quadro 2 – Exemplos de componentes que compõem a planilha de análise de funcionalidade.

Subconjunto	Componente	Função	Falha funcional	Modo de falha	Efeitos de falha (resultado da quebra)
Sistema de ativação	Faca dentada	Realizar o corte da fita de troca rápida após sua devida preparação e acionamento.	Faca e dentes	Faca: Suja	Opera Normal
				Faca: Solta	Parada de Máquina
				Faca: Desalinhada	Opera Normal
				Dentes: Desgastados	Opera Normal
Sistema de lançamento	Roldana do cabo	Trabalhar em par com a roda de tração do cabo,	Roldana	Roda de tração: Quebrada	Parada da Máquina

		guiando e possibilitando a movimentação do cabo de aço.		Roda de tração: Travada	Parada da Máquina
	Engrenagem cônica de lançamento	Girar em conjunto com a engrenagem do carrinho acoplada, a fim de realizar o movimento de lançamento da fita.	Engrenagem e Parafuso	Engrenagens: Quebrada	Parada de Máquina
Engrenagens: Dentes quebrados				Parada de Máquina	
Engrenagem: Travada				Parada de Máquina	
Parafuso: Frouxo				Parada de Máquina	
Painel de controle	Contatores	Permitir a comutação das correntes dos dispositivos elétricos.	Contator	Contator: Queimado	Parada de Máquina
				Contator: Isolamento de Contato	Parada de Máquina

Fonte: Elaboração própria, 2024.

A falha “Faca dentada suja” foi identificada como o modo mais crítico durante o emprego da FMECA ao equipamento, alcançando um grau de severidade 20. Para mitigar esse problema, foram desenvolvidas quatro contramedidas.

Durante o estudo, observou-se que as duas fitas utilizadas como matéria-prima no equipamento (fita adesiva e fita de troca rápida) estavam sendo armazenadas inadequadamente, expondo-se ao calor e umidade. Essas condições desfavoráveis podem alterar a qualidade das fitas e favorecer a adesão de resíduos de cola na faca. Assim, os locais de armazenamento de ambas foram modificados (Figura 4).

Quadro 3 – Plano de ação desenvolvido através da metodologia FMECA.

Nº	MODO DE FALHA	CAUSA RAÍZ	CONTRAMEDIDA	IMPACTO
1	Faca Dentada - Suja	Sistema de corte da fita fora de posição após intervenção, possibilitando a faca colidir com o trilho, quebrando seus dentes e tornando o corte da fita irregular.	Criar LUP (Lição de um Ponto) técnica indicando qual a posição correta em que o sistema deve estar após intervenções e realizar treinamento com os manutentores que realizam a atividade no local.	Médio
2		Desconhecimento das recomendações do fabricante, sobre armazenar a fita adesiva em local com temperatura e umidade controlada.	Mudar local de armazenamento da fita adesiva para o laboratório, onde respeita as recomendações do fabricante pois possui ambiente controlado.	Alto



3		Desconhecimento das recomendações do fabricante, sobre armazenar a fita de troca rápida em local com ambiente seco.	Fabricar armário para uso exclusivo do armazenamento das fitas de troca rápida.	Baixo
4		Não há um procedimento de rotina de limpeza da faca.	Criar procedimento e plano de rotina de inspeção e limpeza semanal e treinar os manutentores.	Alto
5	Motoredutores e Cilindros - Travados	Não há uma rotina de inspeção e reaperto dos dispositivos de fixação do sistema dos motoredutores.	Criar plano para inspeção e reaperto dos parafusos de fixação de todo o equipamento com frequência semestral no SAP, realizar treinamento dos manutentores.	Médio
6	Contator, Relê, Módulos de Interface, Saída e Entrada Digital - Queimados	Não há um plano de inspeção das conexões elétricas dos componentes.	Criar plano para inspeção e reaperto das conexões elétricas de todo o equipamento com frequência semestral no SAP, realizar treinamento dos manutentores.	Médio
7	Motoredutores - Motor queimado	Não há uma rotina de inspeção termográfica no painel elétrico.	Inserir no plano da rota mensal do inspetor análise termográfica do painel elétrico do equipamento.	Médio
8	IHM - Display Travado	Desconhecimento da obrigatoriedade do uso da caneta touch screen para acionamentos na IHM.	Criar LUP (Lição de um Ponto) de conhecimento de base com informativo do uso correto da caneta na IHM e realizar treinamento dos operadores.	Médio
9	Engrenagens cônica de lançamento - Quebrada, Dentes quebrados e Travada Cilindro - Travado Roldana do cabo, Roda de tração do cabo e Mola tensora - Quebrada	Ambiente possui atmosfera agressiva (partículas suspensas, névoas, gotículas de água) e não há uma rota de limpeza e inspeção detalhado nas paradas programadas.	Refazer o plano de manutenção preventiva do equipamento estabelecendo uma rota e lista de tarefas com todos os itens que devem ser limpos e inspecionados, incluindo os componentes que foram elegidos como mais críticos durante o projeto. Realizar treinamento dos manutentores.	Médio

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Figura 4 – Local de armazenamento das fitas antes e depois deste estudo.



Fonte: Elaboração própria, 2024.

As ações relacionadas ao armazenamento correto das duas fitas trouxeram impacto positivo na garantia da qualidade desses insumos. Após a mudança da fita adesiva para o laboratório com ambiente controlado e a fabricação de um armário próprio para as fitas de troca rápida, não foram mais registradas ocorrências relacionadas a esses itens.

Além das ações citadas anteriormente, a ação que mais impactou para este modo de falha não ter recorrências, foi a criação de uma rotina de limpeza semanal. Essa rotina ajudou a evitar o acúmulo de adesivo na face de forma preventiva, contribuindo significativamente para a melhoria da confiabilidade do equipamento e zerando as ocorrências de “faca suja” em 2023.

Uma análise aprofundada do modo de falha "IHM – Display travado" revelou que alguns operadores utilizavam o próprio dedo ou até materiais pontiagudos para operar o equipamento devido à falta de conhecimento sobre a obrigatoriedade do uso da caneta apropriada para interação com a IHM. Como ação corretiva, foi criada uma LUP (Lição de Um Ponto) e realizado treinamento com os operadores sobre o uso correto da caneta. Esta simples ação mostrou-se eficaz, e não houve mais ocorrências desse modo de falha.

Os planos de manutenção existentes passaram por uma revisão com o objetivo de aprimorar as atividades a serem realizadas durante as inspeções, limpeza e/ou manutenções

preventivas. Também foram criados planos geradores de ordem de serviço no SAP, *software* responsável pela gestão das programações de manutenção, as quais incluem uma lista de atividades detalhada com periodicidade definida juntamente ao Planejamento e Controle da Manutenção da unidade.

Também foi criado um plano para inspeção termográfica do painel elétrico do equipamento, prática que não era realizada até então. Essa técnica de manutenção preditiva objetiva realizar a medição de temperatura da superfície dos componentes elétricos para detectar possíveis anomalias, possibilitando a antecipação de falhas. O plano possui periodicidade mensal e foi integrado à rotina. Essa contramedida foi elaborada para antecipar possíveis aquecimentos nos painéis elétricos que pudessem causar a queima dos motorreductores.

Um ponto que proporcionou resultados positivos para o aumento da confiabilidade foi o maior conhecimento do equipamento, tanto pelos operadores, quanto pelos mantenedores. Todos os envolvidos passaram por treinamentos abrangendo desde LUPs geradas por este projeto até novos planos e atividades implementados. Ademais, os mantenedores receberam treinamento específico dos testes que passaram a ser realizados nas paradas programadas e a acessar o histórico de falhas do equipamento, proporcionando uma análise mais precisa em casos de anormalidade.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre os resultados de antes e depois da aplicação da metodologia FMECA ao equipamento, ficando evidenciado o reflexo das ações implantadas durante este projeto.

Tabela 1 – Resultados relacionados às falhas do trocador automático de rolos antes e depois da aplicação da FMECA.

Item	Antes da FMECA	Depois da FMECA
Quebras (Ocorrências/ano)	7	0
Falhas (Ocorrências/mês)	10	2
MTBF (horas)	131,2	612,3
MTTR (horas)	0,30	0,08
Taxa de falhas – $\lambda$ (horas)	0,012	0,002
Confiabilidade (%)	71	94

Fonte: Elaboração própria, 2024.

Com os planos preventivos sendo executados de maneira assertiva, nota-se o impacto direto quando olhado para a quantidade média de falhas por mês. Antes o equipamento falhava em média 10 vezes ao mês, sendo este número reduzido para 2, impactando diretamente no tempo entre falhas (MTBF), que passou de 131,2 para 612,3 horas. Essa melhora é significativa visto que toda falha do equipamento causa instabilidade no processo e, apesar de nem toda falha gerar parada da máquina de papel, ela gera custos adicionais.

Outro ponto importante a se destacar é que o tempo para o reparo (MTTR) diminuiu de 0,30 para 0,08 horas, ou seja, o tempo gasto para recolocar o equipamento em condições de funcionamento foi reduzido. Isto foi possível devido a capacitação da equipe, tanto na identificação precoce de anomalias pelos operadores, quanto na execução de manutenções pelos manutentores.

Como resultado de todas as melhorias e ganhos, a taxa de confiabilidade do equipamento, que era de 71%, passou a ser de 94%, sendo este um resultado expressivo e que impacta diretamente os custos de manutenção.

Destaca-se também o número de quebras na máquina de papel devido a falhas no equipamento trocador automático de rolos, que no ano de estudo totalizavam 7. Após a implantação das ações elaboradas, esse número foi reduzido a 0, sendo este mais um indicador de sucesso do projeto.

Recalculado o nível de criticidade dos modos de falhas de cada componente, notou-se que o número de componentes considerados como críticos foi reduzido a 0, evidenciando novamente a eficácia da aplicação da metodologia FMECA.

### **Considerações finais**

A fabricação de papel e celulose exige que a indústria possua equipamentos automatizados, para atender à competitividade do mercado. Um exemplo é o trocador automático de rolos, essencial para a rápida troca do papel finalizado, sem que haja pausas na produção. Para garantir a confiabilidade e disponibilidade desses equipamentos, é essencial uma gestão de manutenção avançada que atenda às exigências de funcionalidade e produtividade requeridas.

Este trabalho realizou a aplicação da metodologia FMECA, análise avançada da gestão de manutenção centrada na confiabilidade, proporcionando uma compreensão mais aprofundada do equipamento, seus componentes e possíveis modos de falha. Por meio da implantação de ações preventivas decorrentes da análise, elevou-se significativamente o nível de confiabilidade do equipamento de 71% para 94%, resultando em uma maior disponibilidade operacional e na redução dos custos associados às manutenções corretivas.

Durante a execução do trabalho, identificaram-se claramente as vulnerabilidades do equipamento e as oportunidades de aprimoramento nos planos de manutenção. Destaca-se a implementação de uma rotina semanal de limpeza da faca, que se revelou crucial não apenas para prevenir falhas devido ao acúmulo de cola, mas também para permitir inspeções visuais que podem evitar outras ocorrências.

O desenvolvimento deste trabalho também proporcionou um aprofundamento no entendimento do equipamento, contribuindo para a redução do tempo de reparo (MTTR). A maior atenção dos operadores na detecção de falhas e o aprimoramento das habilidades dos mantenedores resultaram em uma otimização do tempo utilizado nas manutenções corretivas.

Por fim, a aplicação da metodologia FMECA mostrou-se fundamental para a identificação e mitigação de falhas em equipamentos industriais, em particular o trocador automático de rolos. A análise detalhada dos componentes e dos possíveis modos de falha permitiu a implementação de medidas proativas, bem como o desenvolvimento de planos de manutenção mais eficientes. Portanto, fica evidente que a utilização da FMECA desempenha um papel importante na gestão da manutenção industrial, proporcionando uma abordagem sistemática e eficaz para garantir a operação confiável e eficiente dos equipamentos.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994 2002.

BARAN, L. R. **Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada na Redução de Falha: Um Estudo de Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2011.

DHILLON, B. S. **Manutenção, manutenção e confiabilidade para engenheiros**. New York: CRC Press, 2006.

FLORENCE, G.; CALIL, S. J. Uma nova perspectiva no controle dos riscos da utilização de tecnologia médico-hospitalar. **Revista Multiciência**, Campinas, out. 2005.

JAQUES, M. P. *et al.* Aplicação do FMECA no gerenciamento de risco em uma empresa de transporte rodoviário de cargas. **Rc&C - Revista de Contabilidade e Controladoria**, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 1-22, dez. 2010. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/328073722.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2024.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: Função Estratégica**. 3.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

MOUBRAY, J. **RCM II: Manutenção centrada em confiabilidade**. Lutterworth: Aladon LTD, 2000.

SAKURADA, E. Y. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

SPREAFICO, C.; RUSSO, D.; RIZZI, C. A state-of-the-art review of FMEA/FMECA including patents. **Computer Science Review**, v. 25, n. 1, p. 19-28, ago. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosrev.2017.05.002>. Acesso em: 18 maio 2024.