

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO**  
**INDUSTRIAL**  
**CURSO SUPERIOR TECNOLOGIA EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL**

**ANDERSON KCHECINSKI CORREIA**

**TRATAMENTO DE FALHAS DE UMA CALDEIRA DE BIOMASSA**  
**UTILIZANDO A ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS - FMEA:**  
**ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**GUARAPUAVA**

**2017**

**ANDERSON KCHECINSKI CORREIA**

**TRATAMENTO DE FALHAS DE UMA CALDEIRA DE BIOMASSA  
UTILIZANDO A ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS - FMEA:  
ESTUDO DE CASO EM UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial, Coordenação do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Marjorie Maria Belinelli

**GUARAPUAVA**

**2017**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do Paraná**  
Campus Guarapuava

Diretoria de Graduação e Educação Profissional  
Coordenação de Tecnologia em Manutenção  
Industrial  
Tecnologia em Manutenção Industrial



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO DE FALHAS DE UMA CALDEIRA DE BIOMASSA  
UTILIZANDO A ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHAS - FMEA: ESTUDO  
DE CASO EM UMA INDÚSTRIA PAPELEIRA

por

ANDERSON KCHECINSKI CORREIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 05 de dezembro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Manutenção Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Profa. Dra. Marjorie Maria Belinelli  
Orientadora

---

Prof.Msc. Ricardo Vinícius Bubna Biscaia  
Membro Titular

---

Prof. Dr. Marcelo Rodrigues  
Membro Titular

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

## RESUMO

**CORREIA, Anderson Kchecinski.** Tratamento de Falhas de uma Caldeira de Biomassa Utilizando a Análise de Modo e Efeito de Falhas - FMEA: Estudo de Caso em uma Indústria Papeleira. 2017. 116 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção de título de Tecnólogo em Manutenção Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2017.

A Análise de Modo e Efeito de Falha - FMEA é uma das principais ferramentas utilizada para tratamento de falhas pela gestão da manutenção, pois visa garantir a confiabilidade e disponibilidade dos ativos por meio do tratamento dos modos de falhas para evitar a ocorrência ou a reincidência desses. Este trabalho objetiva aplicar a FMEA no tratamento de falhas de uma caldeira de biomassa instalada em uma indústria papeleira localizada na região centro-sul do Paraná. A caldeira está inserida na etapa intermediária do processo, sendo a única fonte de energia térmica que proporciona a secagem do papel na fase de produção, não possuindo backup passivo e/ou ativo. Logo, eventos de falhas que acarretem interrupção no funcionamento da caldeira, afetam diretamente a disponibilidade operacional de toda produção de papel, além de, proporcionarem riscos a integridade física dos trabalhadores e patrimonial da empresa por se tratar de um vaso de pressão (Categoria B - NR 13). Como resultado da aplicação da FMEA, obteve-se : compreensão dos pontos críticos de manutenção e operação da caldeira (árvore funcional), conhecimento dos elementos de máquina que mais afetam a interrupção do funcionamento do ativo e os quais são de difícil acesso para efetuar manutenção (impacto na mantenedibilidade), e o direcionamento da adequada estratégia de manutenção a ser adotada para cada subsistema desse ativo industrial que proporcione garantia da confiabilidade operacional e melhoria do desempenho do processo industrial.

**Palavras-chave:** Gestão da Manutenção. FMEA. Caldeira de Biomassa. Disponibilidade Operacional. NR13

## ABSTRACT

**CORREIA, Anderson Kchecinski.** Treatment of the Biomass Boiler Failures Using Failure Mode and Effect Analysis - FMEA: Case Study in a Paper Mill. 2017. 116 pages. Final course assignment to obtain the Technologist in Industrial Maintenance title- Federal University of Technology - Paraná. Guarapuava, 2017.

The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is one of the main tools used for failures analysis by the maintenance management sector, since it aims to guarantee the industrial assets' reliability and availability by treating the failure modes to avoid their occurrence or recurrence. This work aims to apply the FMEA analysis in the biomass boiler treatment of failures, which is installed in a paper mill located in the south-central region of Paraná. The biomass boiler is installed in the process intermediate of paper production, being the only thermal energy source that provides the paper drying in the production, not having passive and/or active backup. Therefore, failure events that cause biomass boiler operation disruption directly affect the paper production system operational availability, in addition to providing risks to the workers' physical integrity and company property due to the fact that it is a pressure vessel (Category B - NR 13). As a result of the FMEA application, it was obtained: understanding the biomass boiler critical points for maintenance and operation (functional tree), knowledge of the machine elements that most affect the biomass boiler operation interruption and which are difficult to access to perform maintenance (impact on maintainability), and the appropriate maintenance strategy to be adopted for each of the subsystems of this industrial asset, which provides a guarantee of operational reliability and improvement of industrial process performance.

**Keywords:** Maintenance Management. FMEA. Operational Availability. NR13

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Formulário FMEA .....	19
Figura 02 – Protocolo de pesquisa .....	29
Figura 03 – Método do Trabalho .....	34
Figura 04 – Fluxo de fabricação de papel .....	35
Figura 05 – Árvore Funcionam da Caldeira de Biomassa .....	36
Figura 06 – Prédio da caldeira Biomassa e transporte de cavaco .....	40
Figura 07 – Balão, fornalha, ventilação, exaustão e abastecimento de água da caldeira de biomassa.....	41
Figura 08– Gráfico de Pareto dos mecanismos de falhas.....	45
Figura 09 – Gráfico de disponibilidade operacional da caldeira de biomassa .....	48
Figura 10 – Gráfico de disponibilidade operacional da caldeira de biomassa .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Índice de severidade .....	21
Tabela 02 – Índice de ocorrência .....	22
Tabela 03 – Índice de detecção .....	22
Tabela 04 – Histórico de eventos de falhas.....	43
Tabela 05 – Mecanismos de falhas analisados no período 2014-2017.....	44
Tabela 06 – Indicadores de manutenção da caldeira biomassa.....	46
Tabela 07 – Índices de Prioridade de Riscos .....	52
Tabela 08– Classificação de prioridade de RPN .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Sistema de gestão de manutenção .....	14
Quadro 02 – Elementos que compõem o FMEA .....	20
Quadro 03 – indicadores de desempenho de manutenção .....	25
Quadro 04 – Classificação da metodologia .....	28
Quadro 05 – Estudos correlatos .....	31
Quadro 06 – Particularidades do processo produtivo de fabricação de papel.....	36
Quadro 07 – Descrição dos códigos TAG's da caldeira .....	39
Quadro 08 – Formulário FMEA .....	50
Quadro 09 – Formulário FMEA .....	51



## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS.

A(t)	Availability (Disponibilidade)
CMMS	Computerized Maintenance Management System (Sistema Informatizado de Gestão de Manutenção)
FMEA	Análise de Modo e Efeito de Falhas
HAZOP	Hazard and Operability Study - (Análise de Perigos e Operabilidade)
KPa	Quilo Pascal
Kgf/cm <sup>2</sup>	Quilograma por centímetro quadrado
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
MTBF	Mean Time Between Failure (Tempo Médio entre Falhas)
MTTR	Mean Time To Repair (Tempo Médio Para Reparos)
NR	Norma Regulamentadora
O.S.	Ordem de Serviços
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (Manutenção Centrada na Confiabilidade)
RPN	Risk Priority Number (Número de Prioridade de Risco)
TBF	<i>Time Between Failure</i> (Tempo entre Falhas)
TTR	<i>Time To Repair</i> (Tempo para Reparo)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
1.1 TEMA .....	10
1.2 OBJETIVO GERAL .....	10
1.2.1 Objetivos Específicos.....	10
1.3 JUSTIFICATIVA .....	11
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	12
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL .....	14
2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE .....	16
2.3 NR13 - CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO .....	23
2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO .....	24
<b>3 MÉTODOS E MATERIAIS</b> .....	<b>27</b>
3.1 CLASSIFICAÇÕES DA METODOLOGIA.....	27
3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA .....	28
3.3 TRABALHOS CORRELATOS .....	30
<b>4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO</b> .....	<b>31</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	33
4.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE PAPEL E CELULOSE .....	35
4.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	42
4.4 TRATATIVA DOS EVENTOS DE FALHAS – FMEA .....	49
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>53</b>
<b>6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>63</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O papel da manutenção industrial dentro de uma organização está ligado diretamente ao desempenho industrial, impactando na capacidade produtiva, no custo de produção e assim, conseqüentemente, influência nos lucros e na competitividade das atividades industriais.

Para atender a demanda de mercado, as indústrias buscam cada vez mais garantir a disponibilidade e confiabilidade operacional de suas instalações. Para isso as indústrias necessitam gerenciar as causas e efeitos dos eventos de falhas, a fim de definir as estratégias de manutenção adequadas que vise evitar a ocorrências desses eventos e assim obter o máximo desempenho do maquinário.

A metodologia MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) é aplicada na gestão de manutenção industrial para o gerenciamento e identificação de falhas funcionais e potenciais, bem como, seus modos, causas e conseqüências por meio da aplicação da FMEA (Failure Mode and Effect Analysis ) - Análise de Modo e Efeito de Falha.

A FMEA é a principal ferramenta utilizada pela engenharia de manutenção para tratativa de falhas com o objetivo de encontrar medidas que evitem a ocorrência desses eventos, os quais afetem o desempenho do sistema industrial. Na FMEA a prioridade das ações é dada pelo índice RPN (Risk Priority Number) – Número de Prioridade de Risco, que é obtido pelo produto de três variáveis: Ocorrência (O), Severidade (S) e Detecção (D) (SEVERO et. al, 2010; CARPINETTI, 2012; SOUZA, 2014).

O RPN prioriza, de forma decrescente os modos de falha visando apontar às ações corretivas, preventivas e preditivas que reduzem ou até eliminam as causas raízes dos modos de falhas. Enfatiza-se que, apesar do RPN ser de ordem quantitativa, este índice depende da avaliação qualitativa de especialistas para a atribuição de pesos as variáveis que o compõem (BOWLES, 2004).

A FMEA visa garantir a confiabilidade e disponibilidade operacional por meio do tratamento dos modos de falhas com antecedências (potenciais) ou evitar a reincidência (funcionais) dos eventos de falha, proporcionando um direcionamento adequado das estratégias de manutenção.

Assim, este trabalho objetiva aplicar a FMEA para o tratamento das falhas funcionais de uma caldeira de biomassa instalada em uma planta de fabricação papel, com a finalidade de determinar a estratégia de manutenção adequada que vise eliminar e/ou reduzir a ocorrência dos eventos de falhas identificados no histórico de manutenção desse ativo industrial.

## 1.1 TEMA

Aplicar a FMEA no tratamento dos eventos de falhas funcionais ocorridos em uma caldeira biomassa.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

Aplicar a FMEA no tratamento de falhas funcionais de uma caldeira de biomassa, para identificar a estratégia de manutenção adequada à ser adotada.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, faz-se necessário executar os seguintes objetivos específicos:

- Efetuar a revisão da literatura acerca do tema;
- Mapear o processo produtivo da fabricação de papel, o qual está instalada a caldeira de biomassa;
- Analisar o histórico de ventos de falhas ocorridos na caldeira de biomassa;
- Aplicar a FMEA no tratamento dos eventos de falhas;
- Apresentar resultados por meio da estrutura do formulário FMEA, indicando a estratégia de manutenção adequada a ser empregada na caldeira de biomassa.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A gestão de a manutenção industrial objetiva garantir a disponibilidade operacional dos ativos industriais, a qualidade na produção, a entrega no prazo estabelecido pela demanda de mercado, tornando-se um grande diferencial competitivo para as organizações industriais.

Uma das maiores preocupações da gestão da manutenção em relação à confiabilidade e disponibilidade operacional dos ativos industriais, são os eventos de falha, os quais reduzem a capacidade ou interrompem o funcionamento do maquinário, impactando na produtividade do sistema industrial (GUIMARÃES et al., 2012).

Deac et. al (2010), Águas e Al-Rubae (2013) enfatizam que métodos e técnicas de manutenção são cada vez mais desenvolvidos e utilizados para garantir a confiabilidade e, assim evitar os modos de falhas no processo produtivo. A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) é uma metodologia que visa garantir a disponibilidade e confiabilidade operacional dos ativos industriais, de forma que esses possam atender o desempenho para o qual foram projetados, com base na prática de manutenção programada, concentrada na manutenção preventiva e tratativa dos modos de falhas (DHILLON, 2002; HIDALGO ,SOUZA, 2010; DE ALMEIDA et al., 2016).

Arabian e Tavner (2010) salientam que a Análise do Modo e Efeito de Falha - FMEA, é a principal ferramenta usada para o tratamento de falhas, durante a implantação do MCC. A FMEA visa identificar e analisar os modos de falhas potenciais, e funcionais, para avaliar as suas consequências, identificar causas raiz e assim direcionar as atividades adequadas de manutenção para cada modo de falha identificado.

É determinante que a gestão de manutenção industrial estruture um gerenciamento efetivo sobre os efeitos que as falhas causam em seus ativos, para assim tomar as ações assertivas na manutenção do funcionamento do sistema produtivo.

A caldeira de biomassa estudada está inserida na etapa intermediária do processo de fabricação de papel, sendo a única fonte de energia térmica que proporciona a secagem do papel na fase de produção. O vapor saturado resultante

da troca térmica por meio dos cilindros secadores, que é bombeado por meio de tubulações e retorna para o tanque de condensado localizado na caldeira biomassa.

Os eventos de falhas nesse ativo, que ocasionem interrupção do seu funcionamento, interferem diretamente no processo produtivo da planta da indústria. A inoperância da caldeira afeta diretamente a disponibilidade operacional do sistema produtivo.

Ressalta-se que a caldeira de biomassa apresenta ligação em série com o sistema produtivo e não possui backup ativo ou passivo, tornando-se vital para o funcionamento da planta.

Este trabalho visa efetuar a tratativa de falhas na caldeira de biomassa inserida no processo produtivo de papel Kluft, aplicando a FMEA para tratamento de falhas funcionais, visando apontar estratégia de manutenção adequada a ser implantada.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado em seis capítulos, com as seguintes estruturas de tópicos:

- I. Capítulo 1: neste capítulo contempla-se a introdução e justificativa do trabalho tema, objetivo geral e específico, juntamente com a descritiva da estrutura do trabalho;
- II. Capítulo 2: apresenta-se, de forma detalhada, o referencial teórico utilizado no desenvolvimento do trabalho que engloba conceitos de estratégias de manutenção, MCC,
- III. FMEA, NR13 – Caldeiras e vasos de pressão e Indicadores de Manutenção;
- IV. Capítulo 3: contempla-se a classificação da metodologia aplicada para o desenvolvimento da pesquisa e o detalhamento do protocolo de pesquisa;
- V. Capítulo 4: este capítulo apresenta o desenvolvimento do estudo de caso, realizado em uma empresa de papel e celulose, detalhando as etapas de aplicação da FMEA e estrutura do formulário desenvolvido;
- VI. Capítulo 5: Apresenta os resultados por meio da discussão acerca das estratégias de manutenção apontadas na análise de cada modo de falha;

VII. Capítulo 6: Descreve as conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo compreende o detalhamento dos conceitos técnico-científicos aplicados no desenvolvimento desse trabalho, os que compreendem: tipos de manutenção, MCC, FMEA, Indicadores de desempenho.

### 2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A manutenção industrial consiste de uma série de técnicas e ferramentas que visam garantir o bom funcionamento do maquinário empregado em processos industriais por meio da correção de falhas e do restabelecimento das funções dos ativos, e da extensão da vida útil desses (MOBLEY, 2011; RAZAVI, 2015; EMOVON, 2016).

Para Baran (2014), Simei (2015) e Makinde (2016) as atividades de manutenção visam melhorar o desempenho e alcançar os objetivos e metas das organizações. As estratégias, técnicas e metodologias são elementos que estruturam o sistema de gestão de manutenção, sendo as principais: preditiva, corretiva, preventiva, MCC, TPM e Retrofitting. O quadro 01 ilustra esses elementos, com descritivas das particularidades intrínsecas.

Gestão da Manutenção						
	Estratégias			Técnicas	Metodologias	
	Corretiva	Preventiva	Preditiva	Retrofitting	RCM	TPM
Tipo	Emergencial programada	Periódico	Periódico baseado na condição	Reforma	Gerenciamento das falhas	Manut. Autônoma
Características e Recursos	Histórico de falhas; Registros de serviços; Humanos, materiais e financeiros	Rotas de inspeção; Lubrificação; Substituição por tempo de vida útil;	Laudos do estado da condição de elemento de máquina Análise de vibração, ferrografia, análise de óleo, termografia etc.	Automação Atualização de projetos;	Distribuição estatísticas dos eventos de falhas; Análise da probabilidade FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha Indicadores de desempenho Disponibilidade MTBF MTTR Confiabilidade Taxas de falha	Manutenção planejada; Manutenção da qualidade; Melhoria específicas; Controle; Treinamento e educação; Segurança e Higiene; Organização das áreas;

**Quadro 01: Sistema de gestão de manutenção**  
Fonte: Adaptado de ZAIONS (2003)



A manutenção corretiva abrange atividades que visam reestabelecer as condições de funcionamento dos ativos industriais, nas condições para as quais foram projetos. Este tipo de manutenção baseia-se no conceito de reparar o equipamento após a ocorrência do evento de falha (ZAIONS,2003; SOUSA,2011; MARQUES, 2014).

Já a manutenção preventiva é executada objetivando evitar a ocorrências dos eventos de falhas nos ativos industriais, impedindo a interrupção da produtividade. Tem por princípio ações efetuadas em intervalos de tempo pré-determinados, a fim de, manter o processo produtivo operante (DHILLON, 2002; ALABDULKARIM et. al, 2013; BARAN, 2014; SIMEI, 2015)

Kumar, Chaturvedi (2009), e Mobley (2011), definem a manutenção preditiva como o monitoramento regular das condições de operação e manutenção dos ativos industriais por meio de técnicas preditiva como: análise de vibração, termometria, termografia, análise de óleos, ultrassom entre outros.

“A implantação da manutenção preditiva garante a confiabilidade e disponibilidade operacional dos processos produtivos, auxiliando no planejamento das atividades de manutenção e na intervenção dos ativos industriais” (BAIDYA, 2016) .

Uma das técnicas aplicadas na manutenção industrial é o retrofitting, o qual consiste em um processo de reforma ou modernização de um ativo industrial quando esse é considerado tecnicamente ultrapassado ou está com baixo desempenho na sua operação, tornando-se uma opção quando o custo da aquisição de um ativo novo é elevado (CETNAROWSKI, GRAMS, 2014).

Como metodologia da gestão de manutenção tem-se como principais a MCC e TPM. A Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC (Reliability Centered Maintenance) teve início no setor aeronáutico e tornou-se um indispensável nas organizações industriais que desejam eliminar os eventos de falhas para garantir o aumento da disponibilidade operacional e garantir a confiabilidade do processo produtivo.

Para Moubray (2000) e Bloom (2006) , a MCC é a metodologia que tem como foco principal a identificação, análise e prevenção de falhas potenciais e funcionais,

para evitar perdas de qualidade, melhorar o desempenho operacional dos ativos industriais e garantir a integridade física dos colaboradores.

A Manutenção Produtiva Total -TPM (Total Productive Maintenance), que foi difundida no Japão na década de 60, e aplicada no Brasil a partir da década de 80, visa eliminar as perdas dos processos produtivos, por meio da eliminação de causas raízes das quebras e dos defeitos dos ativos industriais. Essa metodologia se sustenta em oito pilares que são: manutenção autônoma; manutenção planejada; manutenção da qualidade; melhoria específica; controle inicial; treinamento e educação; segurança higiene e meio ambiente e áreas administrativas (TPM office).

O pilar da Manutenção Autônoma é fundamentado no comportamento humano para facilitar a manutenção das máquinas e equipamentos, tornando o ambiente de trabalho mais produtivo e garantindo a qualidade do processo produtivo (NETTO, 2008; DA COSTA, 2015).

## 2.2 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

A MCC baseia-se na tratativa dos eventos de falhas, principalmente os que comprometam a segurança ambiental e da vida humana, visando assegurar que os ativos industriais desempenhem as suas funções requeridas para qual foram projetados (MOUBRAY, 2000; SIMEI 2015).

Para Bloom (2006) e Xavier (2015), a aplicação da MCC está pautada na resposta de sete perguntas, as quais são:

- Quais são as funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto presente de operação?
- O que causa cada falha funcional?
- O que acontece quando ocorre a falha?
- De que forma cada falha importa?
- O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha?
- O que deve ser feito se não encontrar uma tarefa proativa apropriada?

As respostas a essas perguntas direcionam o planejamento da implantação da MCC, pois essas questões identificam todos os ativos da organização, conjuntamente com seus padrões de desempenho, possibilitando estabelecer medidas que mantenham o desempenho desejado para a produtividade.

A metodologia MCC direciona a estrutura de planos de manutenção adequados para cada tipo de equipamento considerando: suas funções, causas de falhas e seus efeitos. Também permite definir técnicas de manutenção apropriadas para cada falha com o intuito de evitar a ocorrência (potencial) ou a reincidência (funcional) desses (COELHO, 2015; OPOCENSKA, 2015)

A metodologia MCC classifica as consequências de falhas quanto às exigências de segurança, meio-ambiente e operação. Esta análise auxilia na definição dos objetivos principais de gerenciamento das atividades, focando a atenção da equipe de manutenção em atividades que comprometem a segurança pessoal, ambiental e desempenho do sistema produtivo (COELHO, 2015).

Com a implantação da metodologia MCC visa-se identificar qual tarefa deve ser executada para sanar a causa raiz de cada modo de falha apontado, conduzindo a uma manutenção mais efetiva para cada ativo industrial.

A ferramenta utilizada para a tratativa de falhas durante o desenvolvimento da MCC é a FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) – Análise de Modo e Efeito de Falha. A FMEA permite o gerenciamento da análise de falhas de forma eficiente, pois organiza a identificação e registro do modo e os efeitos das falhas por meio de formulário estruturado.

A FMEA surgiu no ambiente militar, quando o exército americano aplicou essa ferramenta para identificar possíveis falhas em seu equipamento bélico. A MIL-STD-1629 – Military Standard – Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis ( Norma Militar - Procedimento para realização de uma análise de um modo e efeito de falha crítica), descreve a regulamentação do procedimento de análise críticas de modo e efeitos de falhas para garantir a confiabilidade das aeronaves e navios, por meio de tratamento de falhas, utilizando a ferramenta FMEA (DHILLON, 2006; MODARRES, 2009; LIU et.al, 2013; CARLSON, 2014).

De acordo com Liu et. al (2013) e Petrovic (2014), a priorização da execução das ações estabelecidas na FMEA, se dá através do indicador de prioridade de risco RPN (Risk Priority Number ) – Número de Prioridade de Risco. Este é obtido pelo

produto de três variáveis: probabilidade de ocorrências da falha (O), gravidade ou severidade (S) e detectabilidade (D).

Os valores mais elevados do RPN representam altos riscos, indicando que as consequências das falhas são graves ou provocam a interrupção do maquinário e assim, as ações de manutenção devem ser priorizadas para a correção e contenção desses modos de falha (VILLARI, 2011; COUTO, CARVALHO 2015).

A variável severidade (S) indica o impacto que a falha pode ocasionar no processo, sendo atribuído a esta variável valores entre “1” a “10”, (“1” para o melhor e “10” para o pior caso). Essa classificação está relacionada ao efeito que o modo de falha impacta sobre o processo produtivo, podendo interromper ou não seu desempenho funcional. (CARLSON, 2014; LIU et.al ,2014).

Petrovic e Liu et.al (2014) enfatizam que a variável de ocorrência (O) é a probabilidade estatística de que falhas potenciais possam ocorrer, já para a análise de falhas funcionais, a variável ocorrência é identificada pela frequência eventos de falhas. A variável de detecção (D) é indicada pela probabilidade do evento de falha ser detectado por meio da aplicação de técnicas preditivas antes que a falha ocorra (SHARMA, 2005)

A FMEA é estruturada em formulário, o qual compreende informações para identificar a funcionalidade, o modo de falha, efeitos e causas dos eventos de falhas que afetam o item analisado. A Figura 2 apresenta um modelo ilustrativo de um formulário FMEA juntamente com a breve explicação dos elementos que compõem o formulário no Quadro 02.

		① F.M.E.A - ANÁLISE DE MODO DE FALHAS E SEUS EFEITOS ( ) PROJETO DE PRODUTO ( ) PROJETO DO PROCESSO		GERÊNCIA											
		ÁREAS ENVOLVIDAS		FOLHA											
		PRODUTO / PROCESSO		DATA DA ELABORAÇÃO											
		FURNECEDOR		DATA DA PRÓXIMA REVISÃO											
CLIENTE/ REF	②	NOME DO COMPONENTE/ COMPONENTE/ PROCESSO	FUNÇÃO DO COMPONENTE/ PROCESSO	FALHAS POSSÍVEIS		MODO EFEITO(S)	CAUSA(S)	CONITROLES ATUAIS	ATUAL		RECOMEN-DAÇÕES	AÇÃO CORRETIVA		RESULTADO	
				INDÍCES	ÍNDICES				TOMADA	INDÍCES		REVISITOS	O	C	D
③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱

Figura 01: Formulário FMEA  
 Fonte: Adaptado de SOUZA (2012)

1	Tipo de FMEA que será realizado
2	Nome do cliente/ ou referência do setor que será realizado a análise
3	Qual item ou objeto será analisado
4	Nome do componente a qual pertence o item analisado
5	Funções ou características que devem ser atendidas
6	Forma ou modo pelos quais as características ou funções podem deixar de ser atendidas
7	Efeitos ou consequências que o evento da falha tenha sobre o sistema e sobre o funcionamento
8	Causas e condições que podem ser responsáveis pela ocorrência da falha
9	Medidas preventivas e de detecção que tenham sido utilizadas
10	É a probabilidade estatística ou taxa de ocorrência de que a falha possa a vir ocorrer, ou ocorreu
11	O impacto que a falha pode ocasionar no processo
12	É a probabilidade estatística de que a falha possa vir a ser detectada por métodos preventivos antes de ocorrer
13	Índices de prioridade de falhas (RPN), valores mais elevados representam alto riscos
14	Ações recomendadas para a diminuição ou eliminação dos riscos
15	Indica ações tomadas para a eliminação ou redução da falha
16	Esses indicadores tratam-se de uma revisão do formulário FMEA, com periodicidade determinada pela gerência

**Quadro 02: Elementos que compõem o Formulário FMEA**

**Fonte: Adaptado de Handbook Ford (2004).**

Para atribuição de valores para as variáveis: Severidade (S), Ocorrência (O) e Detecção (D), que compõem o índice de priorização de atividades RPN, utilizando-se valores pré-definidos. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam exemplos da classificação dos índices e pesos atribuídos a cada possível evento de falha.

Tabela 01 – Índices de severidade

Efeito	Gravidade do Efeito	S
Falha em atender exigências de segurança ou Legislação	Modo de falha afeta o funcionamento seguro do equipamento ou envolve não conformidades com legislação governamental sem aviso prévio.	10
	Modo de falha afeta o funcionamento seguro do equipamento ou envolve não conformidades com legislação governamental com aviso prévio.	9
Perdas ou degradação das funções primárias	Equipamento inoperável, sem afetar a operação segura do equipamento (perda de função primária).	8
	Equipamento operável, mas com um nível reduzido de desempenho.	7
Perdas das funções secundárias	Equipamento operando, mas itens de conforto inoperável.	6
	Equipamento operável, mas itens de conforto operam em um nível reduzido de desempenho.	5
Incomodo	Aparência ou ruído, equipamento operável apresentando não conformidade visível.	4
	Aparência ou ruído, equipamento operável apresentando não conformidade perceptível.	3
	Aparência ou ruído, equipamento operável apresentando não conformidade imperceptível.	2
Sem defeito	Sem defeitos aparentes	1

Fonte: Adaptado de Handbook Ford (2004).

A variável severidade (S) representa a gravidade que o efeito do modo de falha ocasiona no ativo analisado, podendo seus índices variar de: nenhum defeito aparente até defeitos que venham a interferir nas legislações vigentes do país.

Tomando por exemplo, uma falha que tenha ocorrido, mas que seu modo de falha não interrompa a operação do equipamento, somente reduza seu desempenho, essa falha terá uma classificação de severidade “7” como apresenta a Tabela 01.

**Tabela 02 – Índices de Ocorrências.**

<b>Probabilidade da Falha</b>	<b>Crítérios: índices de eventos de falhas</b>	<b>O</b>
Falhas persistentes	≥100 em mil	10
	50 em mil	9
	20 em mil	8
Falhas frequentes	10 em mil	7
	5 em mil	6
Moderada	2 em mil	5
	1 em mil	4
Baixo	0,5 em mil	3
	0,1 em mil	2
Muito baixo	≤ 0,01 em mil	1

**Fonte: adaptado de Handbook Ford (2004).**

A ocorrência é um índice que corresponde a um número estimado das falhas que ocorrem. A ocorrência pode ser reduzida mediante melhorias nas especificações de engenharia de projetos ou de processo com a intenção de prevenir as causas e reduzir as frequências das falhas.

**Tabela 03 – Índices de detecção.**

<b>Detecção</b>	<b>Probabilidade de Detecção</b>	<b>D</b>
Incerteza absoluta	Não ira /ou não pode detectar uma causa ou mecanismo potencial ou modo de falha	10
Muito remota	Possibilidade muito remota de detectar uma causa o/ mecanismo potencial e modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota de detectar uma causa/ mecanismo potencial e modo de falha.	8
Baixa	Possibilidade baixa de detectar uma causa /mecanismo potencial e modo de falha.	7
		6
Moderada	Possibilidade moderada de detectar uma causa / mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
		4
Alta	Possibilidade alta de detectar uma causa / mecanismo potencial e modo de falha.	3
		2
Quase Certamente	O Controle quase certamente irá detectar uma causa/mecanismo potencial e modo de falha.	1

**Fonte: Adaptado de Handbook Ford (2004).**



A Detecção é a probabilidade de que os sistemas de controle, (manutenção preventivas e preditivas) detectem a falha antes que ela ocorra.

Para a atribuição de valores as variáveis do RPN serão utilizadas nesse trabalho as tabelas 01, 02, e 03, devida a particularidades de as variáveis serem similares as informações e dados coletados na empresa estudo de caso, sendo esses os valores tabelados mais consistentes.

A FMEA visa direcionar o desenvolvimento de um conjunto de ações para reduzir a probabilidade de ocorrência ou reincidência de eventos de falhas. Essa ferramenta possibilita o planejamento das atividades de manutenção de forma eficaz e otimizado, melhorando assim, a qualidade dos serviços prestados pela manutenção e garantindo o pleno desempenho operacional do sistema produtivo.

### 2.3 NR13 - CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO

Pela NR13 (Caldeiras e Vasos de Pressão) define-se vasos de pressão como equipamentos que contem fluidos acumulados em seu interior, com pressões acima da pressão atmosférica.

Caldeiras a vapor são equipamentos utilizados para produzir e acumular vapor em pressões elevadas, e tem grande importância nas indústrias de transformação, fornecendo energia para os processos produtivos (NR13-CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO, 2008).

Caldeira de vapor, também denominada gerador de vapor, se caracteriza pela troca térmica entre o combustível que é queimado em sua fornalha, com a água que circula em seu interior, produzindo assim a ebulição da água em seu interior para geração de vapor. Esse vapor, que resulta do processo do gerador, circula por tubos possibilitando aquecimento, acionamento de máquinas ou geração de potência em geradores elétricos (ALBERICHI, SETA 2013; JOROSKI, DOS ANJOS, 2015).

Mediante a NR13 as caldeiras se classificam por suas pressões de operação como:

- Categoria A: pressão de operação é superior a 1960 KPa (19,98 Kgf/cm<sup>2</sup>);
- Categoria B: caldeira que não se enquadra nas categorias anteriores;

- Categoria C: pressão de operação igual ou inferior a 588 KPa (5,99 Kgf/cm<sup>2</sup>);

A NR 13 (**ANEXO A**) rege que toda a caldeira deve possuir seu manual de operação em local de fácil acesso a seus operadores contendo os seguintes procedimentos:

- Partidas;
- Paradas;
- Parâmetros operacionais de rotina; para situações de emergência; saúde e preservação ao meio ambiente;

Os instrumentos de controle da caldeira devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais, sendo considerados riscos graves qualquer outro tipo de artifício que neutralizem o sistema de controle e segurança. Todo controle de segurança da caldeira deve ser submetido à manutenção preventiva ou preditiva, e também as inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária, que são constituídas por exames internos e externos efetuados no prazo máximo de 12 meses para caldeiras “A”, “B” e “C” (NR13 – CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO, 2008).

A NR 13, visa garantir o pleno funcionamento dos vasos de pressão concomitante com a garantia da integridade física dos funcionários e ativos da empresa.

## 2.4 INDICADORES DE DESEMPENHO

O desempenho efetivo de qualquer organização industrial depende da confiabilidade de seus sistemas produtivos, desempenhado continuamente os melhores níveis de produtividade. Para alcançar e sustentar esses níveis a gestão de manutenção deve monitorar efetivamente e avaliar constantemente seus indicadores de desempenho (MOBLEY, 2011).

Os indicadores de desempenho são medidas que descrevem o quanto uma organização está alcançando suas metas e objetivos, portanto pode ser definida

como medidas para quantificar a eficiência ou a eficácia das atividades de manutenção realizadas (DHILLON, 2002; PARIDA et. al, 2015)

Os principais indicadores de manutenção utilizados pela gestão de manutenção para controle de desempenho são:

- TTR (Time To Repair) - Tempo para Reparo;
- TBF (Time Between Failure) -Tempo entre Falhas;
- MTTR ( Mean Time To Repair) - Tempo Médio entre Falhas;
- MTBF (Mean Time Between Failure) - Tempo Médio entre Falhas;
- Disponibilidade (Availability) - A(t);

O quadro 03 apresenta as equações dos indicadores de desempenho da manutenção.

Indicador	Equação	Sequência
TBF	$TBF = TTO - TTR$	(Eq. 01)
Tempo médio para reparo (MTTR)	$MTTR = \frac{\sum TTR}{N^{\circ} \text{ de falhas}}$	(Eq. 02)
Tempo médio entre falhas (MTBF)	$MTBF = \frac{HORA \text{ EM OPERAÇÃO}}{N^{\circ} \text{ DE FALHAS}}$	(Eq.03)
A(t) Disponibilidade	$A(t) = \frac{MTBF}{MTBF+MTTR} \times 100\%$	(Eq. 04)

**Quadro 03 - Indicadores de desempenho de manutenção**

**Fonte: adaptado de PARIDA (2015).**

Esses indicadores são relacionados ao tempo de falha dos ativos industriais e são importantes na verificação dos resultados das atividades de manutenção, assim como, para avaliar a colaboração das ações da gestão de manutenção com as metas pré-determinadas pela empresa (VAZ, CARAZAS, SOUZA, 2010; PARIDA, 2015).

O TTR é o tempo que a equipe técnica de manutenção leva para recolocar o ativo industrial em condições aceitáveis de operação após uma falha, e está relacionado diretamente com a mantabilidade do maquinário, pois ativos que necessitam de uma quantidade maior de tempo para reparos, geram maiores perdas de produção, como também, gastos com mão de obra técnica (DHILLON, 2006).

O tempo entre as falhas de um ativo industrial – TBF (Time Between Failures), e obtido pela subtração entre o TTO (tempo total em operação) e o TTR, conforme equação 1 (MOBLEY, 2002).

O MTTR (Mean Time to Repair) indica a média aritmética do tempo que a equipe técnica de manutenção leva para repor a máquina em condições de operar desde a falha até o reparo ser dado como concluído e a máquina operar normalmente. Este indicador é obtido pela razão entre o somatório dos TTR's e o número total de falhas em no espaço de tempo avaliado, conforme equação 2 (DHILLON 2006).

O MTBF (Mean Time Between Failures) é definido como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para a operação, pelo número de intervenções corretivas realizadas no equipamento em um período pré-determinado, dado pela equação 3 (DHILLON 2006).

Este índice mostra o comportamento da máquina, mediante as ações de manutenção. Se o valor de MTBF aumentar ao longo do tempo, indica que o número de intervenções corretivas vem diminuindo, e conseqüentemente aumentando o total de horas disponíveis do ativo para a operação (disponibilidade).

Uma vez que tenhamos os valores do MTBF e do MTTR, podemos calcular a disponibilidade que é dada pela seguinte relação disposta na equação 4 (DHILLON 2006).

Os indicadores de desempenho permitem avaliar continuamente as atividades de manutenção que ocorrem em uma empresa. E seus objetivos, são os de acompanhar, avaliar, analisar o processo ou serviços, oferecendo não só a possibilidade de identificação dos processos que não estão em concordância com os objetivos da organização, como também, possibilita a sua melhoria.

### 3 MÉTODOS E MATERIAIS

#### 3.1 CLASSIFICAÇÕES DA METODOLOGIA

Perante a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), essa pesquisa se enquadra na área de avaliação de Engenharias III, com código 30801001, intitulado de Gerência de Produção (CAPES 2017).

Em relação a natureza da pesquisa, ela é aplicada, a qual objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos para o avanço da sociedade, organizações e processos produtivos (GIL 2010; PRODANOV, FREITAS 2013)

Quanto aos objetivos da pesquisa, ela classifica-se como descritiva, pois visa “a identificação, registros e análise das características, fatores ou variáveis relacionadas com o fenômeno ou processo estudado” (PEROVANO, 2014).

Por isso está pesquisa estrutura-se como estudo de caso, pois coleta-se os dados, analisa-se as variáveis relacionada, determina os efeitos resultantes das variáveis sobre o processo ou fenômeno estudado e aponta uma possível solução (PEROVANO, 2014).

Aplica-se como procedimento nesse trabalho: a pesquisa bibliográfica, que consiste em leitura e análise do material já publicado acerca do assunto (periódico e artigos científicos, jornais, monografias, dissertações e teses, entre outras), e a pesquisa documental concentrada: no histórico de falhas, nos manuais técnicos, nos fluxogramas de processo, os quais são fonte de informação oriundas da empresa estudo de caso (SILVA, MENEZES, 2005; PRODANOV, FREITAS, 2013)

Quanto ao modo de levantamento de dados utiliza-se em entrevistas com o quadro técnico de manutenção, observação direta do ativo industrial investigado, conjuntamente com a pesquisa de campo, a qual proporciona apontar as particularidades de funcionamento e modos de falhas da caldeira de biomassa.

A abordagem da pesquisa classifica-se como quantitativa e qualitativa, pois atribui-se pesos as variáveis qualitativas a fim de classificar a priorização dos eventos de falhas (criticidade) ocorridas na caldeira de biomassa (GIL; LAKATOS, 2010; MENEZES, 2013)

A classificação da metodologia aplicada no trabalho está representada no Quadro 04.

QUESITO	CLASSIFICAÇÃO						
	Aplicada	Básica					
Natureza	Aplicada	Básica					
Objetivos	Exploratória	Descritiva	Explicativa				
Procedimentos	Pesquisa Bibliográfica	Pesquisa Documental	Pesquisas Experimentais	Levantamento de dados	Observação Direta	Pesquisa de Campo	Estudo de caso
Abordagem	Pesquisa Quantitativa	Pesquisa Qualitativa					

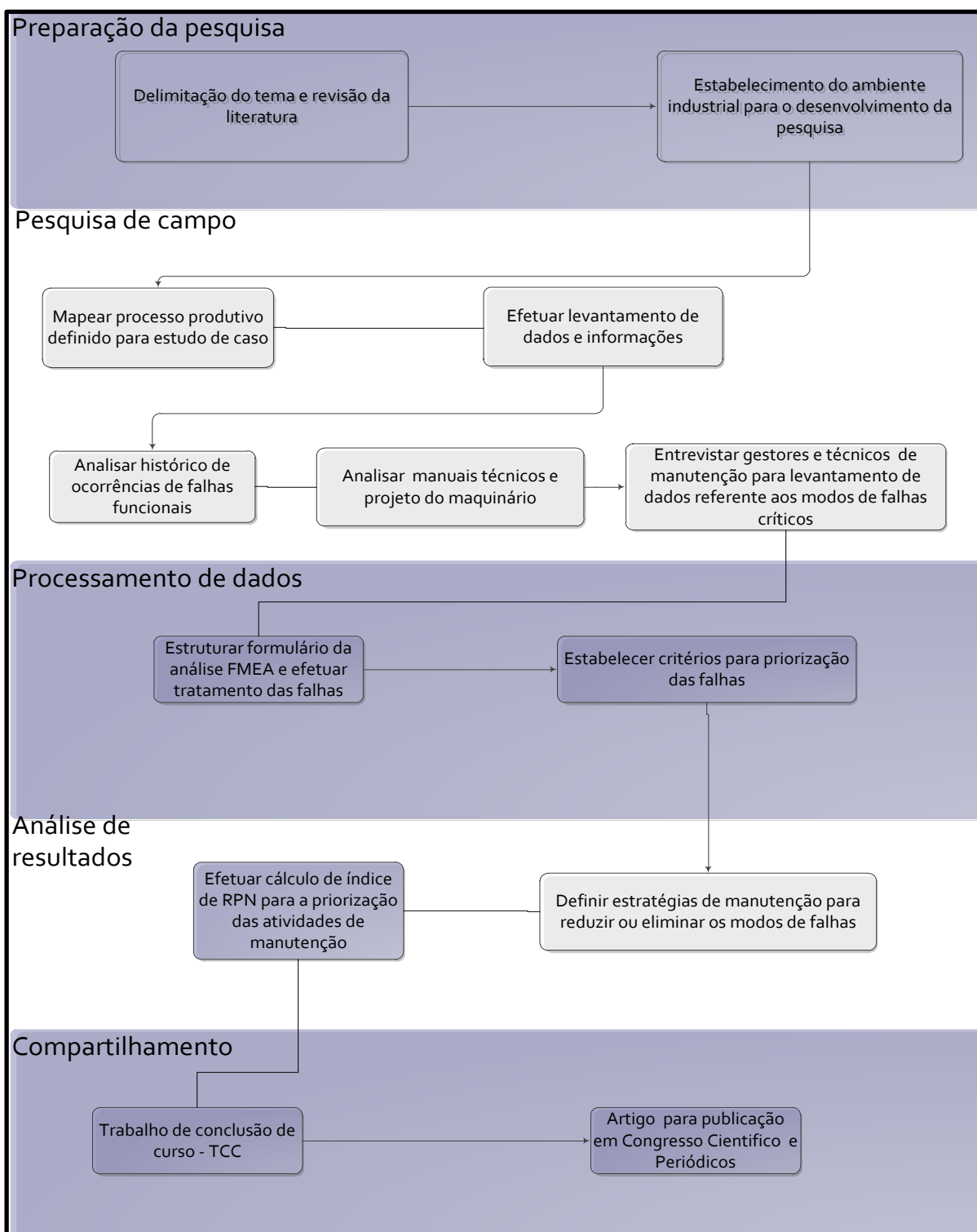
- utilizado  - não utilizado

**Quadro 04 – Classificação da metodologia (resumo)**  
**Fonte: Autoria Própria**

### 3.2 PROTOCOLO DE PESQUISA

A preparação do protocolo de pesquisa determina o modo de tratamento dos dados e informações obtidas e a estrutura do desenvolvimento do trabalho. O protocolo de pesquisa define a conduta adotada para a organização do estudo, conduzindo o pesquisador rumo ao conhecimento, desde sua formulação até o alcance dos objetivos apresentados resultados.

O presente trabalho é estruturado nas seguintes etapas: preparação da pesquisa, pesquisa de campo, processamento de dados, análise de resultados, compartilhamento. A Figura 02 ilustra o protocolo de pesquisa.



**Figura 02: Protocolo de Pesquisa**  
 Fonte: Autoria própria

As etapas contidas no protocolo de pesquisa (Figura 02) são detalhadas a seguir:

- I. Preparação da pesquisa: nesta etapa é definido o problema da pesquisa, e efetuada a revisão da literatura acerca do tema;
- II. Pesquisa de campo: mapear o processo produtivo de papel e celulose e estabelecer as particularidades do funcionamento da caldeira Biomassa, efetuar levantamento de dados e informações, analisar e verificar os registros de histórico de falhas, assim como, realizar entrevistas com os gestores e técnicos referente aos modos de falhas;
- III. Processamento de dados: estruturar o formulário da FMEA, por meio da análise dos modos de falhas e apontamento das estratégias de manutenção adequadas para solução dessas. Também se estabelece critérios para a priorização dos eventos de falhas (variáveis envolvidas no indicador RPN);
- IV. Análise de resultados: nesta fase descreve-se os detalhamentos das estratégias de manutenção adequadas para a eliminação dos modos de falhas analisados, bem como, efetua-se o cálculo do índice de RPN para a priorização das atividades de manutenção assertivas;
- V. Compartilhamento: estrutura escrita do trabalho de Conclusão de Curso para e submissão de artigo científico para publicação em congresso científico (CONEM 2018) e periódico (Revista ESPACIOS).

### 3.3 TRABALHOS CORRELATOS

Este tópico apresenta, no Quadro 05, um comparativo entre estudos correlatos com a pesquisa desenvolvida. Salienta-se que os estudos foram avaliados, para comparação, sob os seguintes aspectos:

- Identificação do sistema industrial: mapeamento ou descrição do processo, pesquisa documental, observação direta do processo produtivo, levantamento de dados com entrevistas/questionários e estudo de caso;
- Variáveis analisadas para o tratamento de falha composto: produtividade, disponibilidade, confiabilidade, taxa de falhas, MTBF, MTTR, histórico de falhas e árvore funcional;



- Ferramentas para tratamento da análise de dados;
- Ferramentas para análise de falhas;

Autor(es)	Aplicação	Identificação do Sistema Industrial				Variáveis analisadas para Tratamento de Falhas							Ferramenta para Análise de dados		Ferramenta para Análise de Falhas		
		Mapeamento e Descrição do Processo	Pesquisa Documental	Levantamento de Dados (Entrevistas)	Estudo de Caso	Produtividade	Disponibilidade Operacional	Confiabilidade R(t)	Taxa de falha	MTBF	MTTR	Histórico de Falhas	Árvore Funcional	CMMS	Software para Análise Estatística	FMECA	FMEA
SEVERO et al. (2010)	Metalúrgica (Fabricação de Transformadores)	X	X	X	X			X				X	X		X		X
VAZ; CARAZAS e SOUZA (2010)	Processo de Laminação à Frio de Alumínio	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X			X
HIDALGO e SOUZA (2010)	Turbina Hidrelétrica	X	X	X	X			X	X			X	X				X
JOROSKI e dos ANJOS (2015)	Indústria Química	X	X	X	X	X			X			X					X
DE ALMEIDA et al. (2016)	Indústria Automotiva	X	X	X	X				X			X	X	X			X
SPADER e ANDRADE (2015)	Indústria de Produtos para Higiene e Limpeza	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X
KCHECINSKI e BELINELLI (2017)	Indústria de Papel e Celulose	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X		X

**Quadro 05: Estudos correlatos**

Fonte: Autoria própria

Severo et al.(2010) encontrou como resultado valores de RPN maiores em falhas de fio de ferramentas de corte, cujo efeito é a não realização do corte do material, afrouxamento da ferramenta externa ou interna e desalinhamento da ferramenta externa, resultante de esforços anormais podendo levar a quebra da ferramenta.

Já, Vaz, Carazas e Souza (2010) obtiveram como resultados: a evolução profissional das pessoas envolvidas no projeto, redução na indisponibilidade do

equipamento, redução dos custos de manutenção, aumento na confiabilidade dos dispositivos, e melhores controles das atividades de manutenções.

Hidalgo e Souza (2010) ressaltam que o FMEA possibilitou a identificação dos componentes críticos, aqueles cuja falha causa uma parada do sistema ou prejudica seu desempenho operacional, sendo útil para o contexto de estabelecimento de políticas de manutenção.

Já, Joroski e dos Anjos (2015) obtiveram resultados que foram: o melhor entendimento do processo, assim como das principais falhas da empresa estudada e que o FMEA pode atuar preventivamente para operação e manutenção de cada equipamento.

De Almeida et al. (2016) apresenta em seu trabalho que promoveu junto à equipe multifuncional da empresa estudada uma nova percepção da ferramenta FMEA. Deixando de ser vista apenas como uma obrigação para cumprimento das normas de qualidade, passando a ser efetivada como uma ferramenta de prevenção as falhas, bem como, um relatórios de análise destas.

Spader e Andrade (2015) identificaram diferentes modos de falha e suas causas potenciais, e oportunidades de melhoria, que foram implantadas pela empresa.

## 4 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO DE CASO

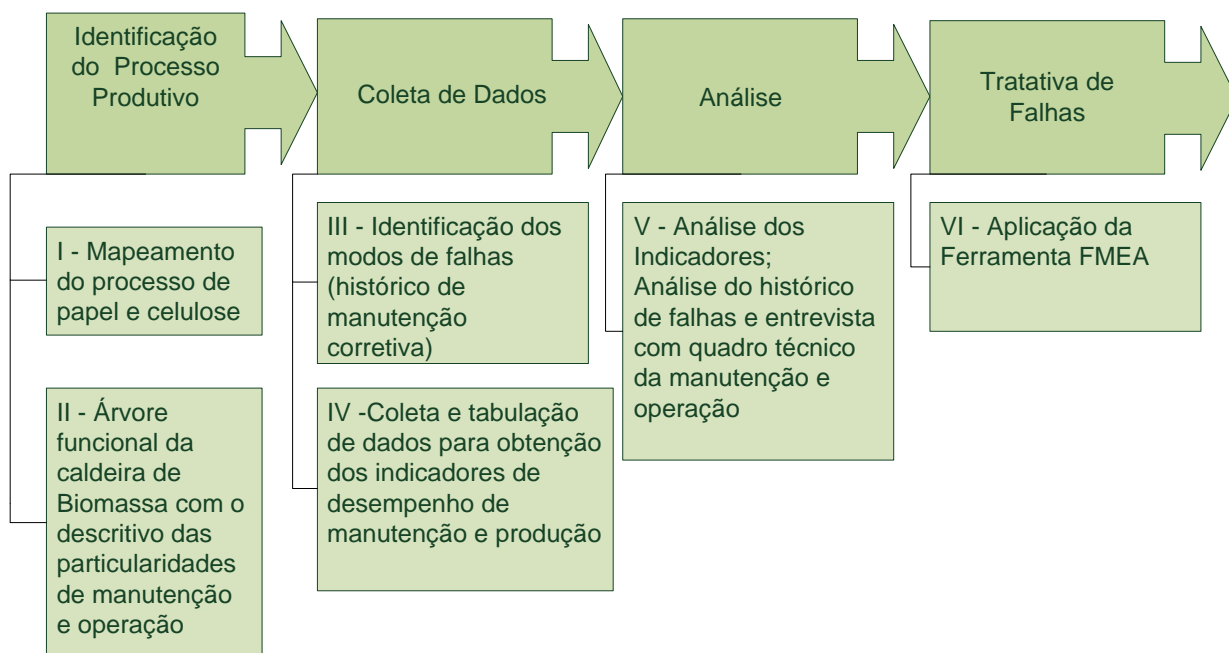
### 4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa de desenvolvimento do estudo de caso é uma indústria do ramo de papel e celulose a qual faz parte de um grupo da indústria de embalagens, que está entre as mais representativas produtoras de chapas e embalagens de papelão ondulado do Brasil.

A empresa situa-se na cidade de Guarapuava, interior do Paraná e agrega 250 empregados diretos. Seu principal produto é o papel Kraft, que é a base fundamental para a fabricação das chapas de papelão e a unidade fabril ocupa uma área total de 46.000 m<sup>2</sup>, com capacidade produtiva é de 2.700 toneladas / mês de bobinas de papel.

A fábrica opera em 4 turnos de 6 horas, com ciclo ininterrupto de 24 horas, e todo papel fabricado e enviado exclusivamente à matriz do grupo localizada no interior de São Paulo. Esta pesquisa fundamenta-se na tratativa de falhas e análise dos indicadores de: disponibilidade, confiabilidade, produtividade da caldeira de biomassa empregada no processo intermediário da fabricação de papel.

A tratativa das falhas funcionais da caldeira de biomassa se justificativa devido a criticidade que este ativo industrial representa no processo fabril de fabricação de papel e celulose da empresa em estudo. A ferramenta aplicada para tratativa de falha é a FMEA, objetivando direcionar as adequadas estratégias e ações de manutenção para, promover a melhoria no desempenho e evitar falhas na caldeira de biomassa. Para desenvolver a tratativa de falhas o presente trabalho se estrutura pelas etapas identificadas na figura 03.

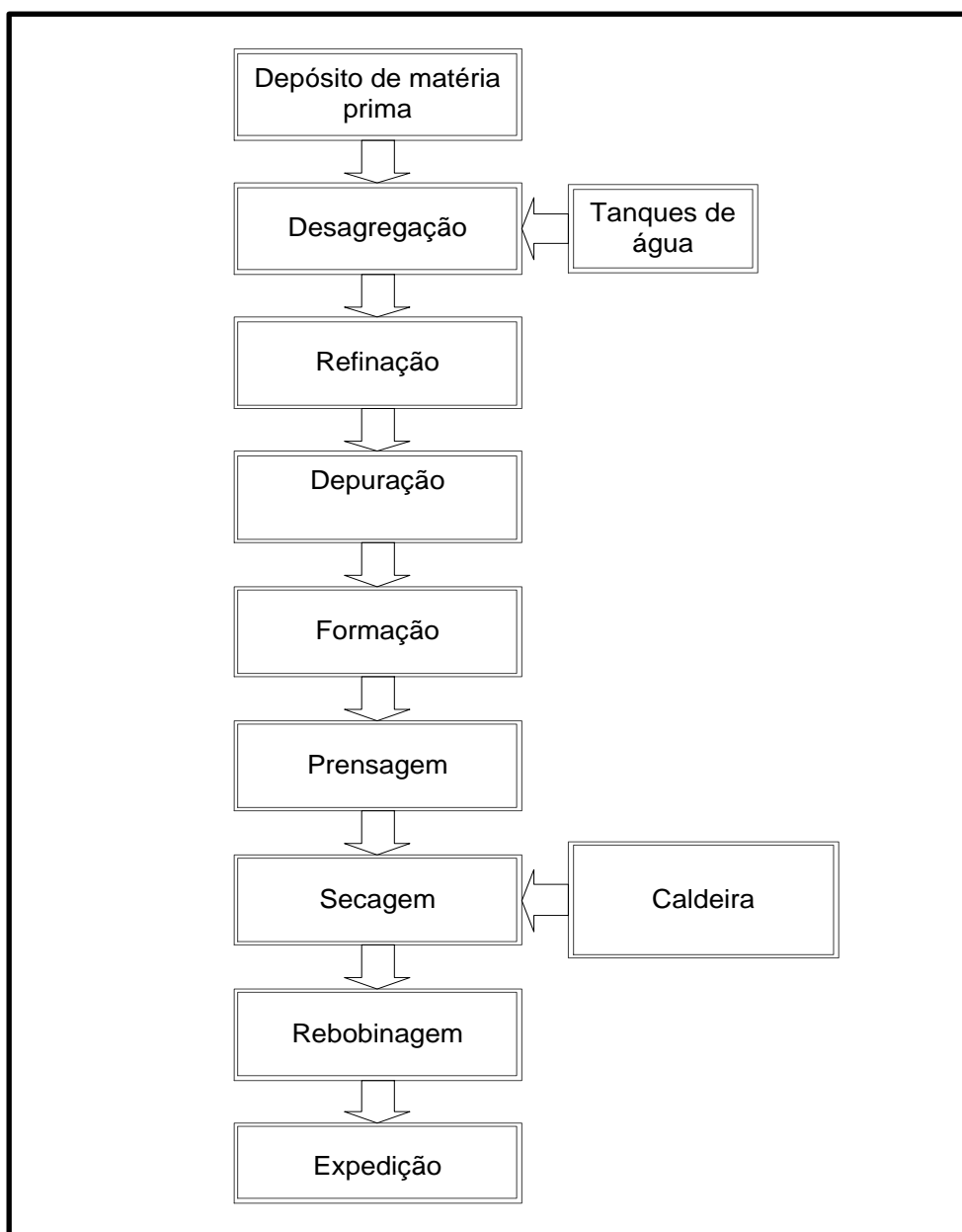


**Figura 03 - Método do trabalho**  
**Fonte: Autoria própria**

- I. Apresentar o processo produtivo de fabricação de papel e celulose, no qual a caldeira de biomassa está inserida;
- II. Estruturar árvore funcional da caldeira para apresentar as características de funcionamento das partes integrantes dessa;
- III. Identificação dos modos de falhas por meio da tabulação das informações do histórico de falhas da caldeira biomassa no período entre 2014 - 2017;
- IV. Coletar e tabular dados para obtenção dos indicadores de desempenho de manutenção e produtividade;
- V. Analisar os indicadores de desempenho, assim como, realizar entrevistas com o quadro técnico responsável pela operação e manutenção da caldeira de biomassa;
- VI. Aplicação da ferramenta FMEA para tratativa dos eventos de falha funcionais oriundas do histórico de falhas da caldeira de biomassa;

## 4.2 MAPEAMENTO DO PROCESSO DE PAPEL E CELULOSE

Para entender as particularidades do processo de fabricação de papel no qual a Caldeira Biomassa está instalada, estrutura-se o mapeamento desse processo e descrição de suas particularidades. A Figura 04 a apresenta o fluxo desse processo:



**Figura 04 – Fluxo de fabricação de papel**  
**Fonte: Autoria própria**

A planta de fabricação de papel e celulose da empresa divide-se em onze processos de produção, sendo estes detalhados no quadro 06:

<b>Processo</b>	<b>Particularidades da produção</b>
Depósito de matéria prima	Este processo comportando todo o material é utilizado na fabricação de papel;
Desagregação	A matéria prima oriunda de papel reciclável passa pelo processo de desagregação das fibras utilizada para a fabricação de papel;
Tanques de água	Este processo consiste no armazenamento de água que é adicionado a desagregação para soltar as fibras de papel, também ajuda no transporte da massa pelos tubos;
Refinação	As fibras obtidas processo de desagregação são separadas e limpas no processo de refinação e segue para o processo de depuração;
Depuração	Neste processo a massa de papel já limpa é depurada, onde é classificado o tamanho das fibras, que fica armazenada em tanques esperando para ser utilizada na formação;
Formação	Na formação a massa já classificada entra nos rolos formadores, que são responsáveis por fazer o entrelaçamento das fibras de papel dando origem a uma manta de papel com o formato de sua largura;
Prensagem	Neste processo a manta de papel já formada recebe um esmagamento que retira o excesso da água adquirida nos processos anteriores, obriga também as fibras entrelaçadas a se conformarem entre si;
Secagem	Na secagem a folha de papel passa por diversos cilindros secadores que tem vapor saturado circulando em seu interior, a troca térmica entre a folha úmida e a circunferência do papel proporciona a secagem do papel;
Caldeira	A caldeira fornece toda a energia térmica necessária para a secagem do papel;
Rebobinagem	Neste processo a folha de papel é enrolada em bobinas com diâmetros pré-estabelecidos, embalada e armazenada em seguida;
Expedição	Na expedição as bobinas armazenadas são carregadas e enviadas ao cliente pelo setor de logística;

**Quadro 06: Particularidades do processo produtivo de papel**

**Fonte: Autoria própria**

A caldeira de biomassa está inserida na etapa intermediária do processo de fabricação de papel, (Figura 04), sendo a única fonte de energia térmica que proporciona a secagem do papel na fase de produção. O vapor saturado resultante da troca térmica por meio dos cilindros secadores, é bombeado por meio de tubulações e retorna para o tanque de condensado localizado na caldeira biomassa.

Os eventos de falhas nesse ativo, que ocasionem interrupção do seu funcionamento, interferem diretamente no processo produtivo da planta da indústria.

A inoperância da caldeira afeta diretamente a disponibilidade operacional do sistema produtivo.

Ressalta-se que a caldeira de biomassa apresenta ligação em série com o sistema produtivo e não possui backup ativo ou passivo, tornando-se vital para o funcionamento da planta. O fluxo do processo produtivo presente na Figura 04 mostra a ligação dos componentes do maquinário em série e a posição da caldeira de biomassa no processo.

Assim, a aplicação da FMEA para tratativa dos eventos de falhas ocorridos na caldeira de biomassa justifica-se por:

- I. As ocorrências de falhas nesse ativo podem ocasionar riscos de ordem catastróficas, caso seu sistema de segurança ou controle falhem;
- II. A máquina opera em tempo integral, dificultando a execução de manutenção preventiva e preditiva, sendo possíveis somente ações de manutenção quando é realizado testes hidrostáticos (NR-13), este fato corrobora no aumento de falhas.
- III. Não possui backup ativo e/ou passivo, ocasionando indisponibilidade na planta industrial caso haja ocorrência de falhas;

A caldeira estudada enquadra-se, conforme normativa NR13, na categoria “B”, fabricada em novembro de 2000, modelo HBFS-15, tipo do gerador de vapor “flamo tubular” com pressão máxima de trabalho permitida de 10 kgf/cm<sup>2</sup>, e capacidade produtiva de 15000 Kg/h de vapor saturado a 185 °C.

Por se tratar de um ativo industrial de suma importância para o processo produtivo em estudo, qualquer interrupção em seu funcionamento acarretará na interrupção total da planta fabril. Durante seu funcionamento, a caldeira de biomassa está submetida `a pressões extremas e oscilantes, necessitam de um rigoroso controle para que suas variáveis estejam dentro dos padrões aceitáveis de projeto.

Para controle dos pontos críticos, em relação a geração de falhas, estruturase a árvore funcional na Figura 05, para a compreensão dos componentes da caldeira biomassa e a interação entre eles durante funcionamento.

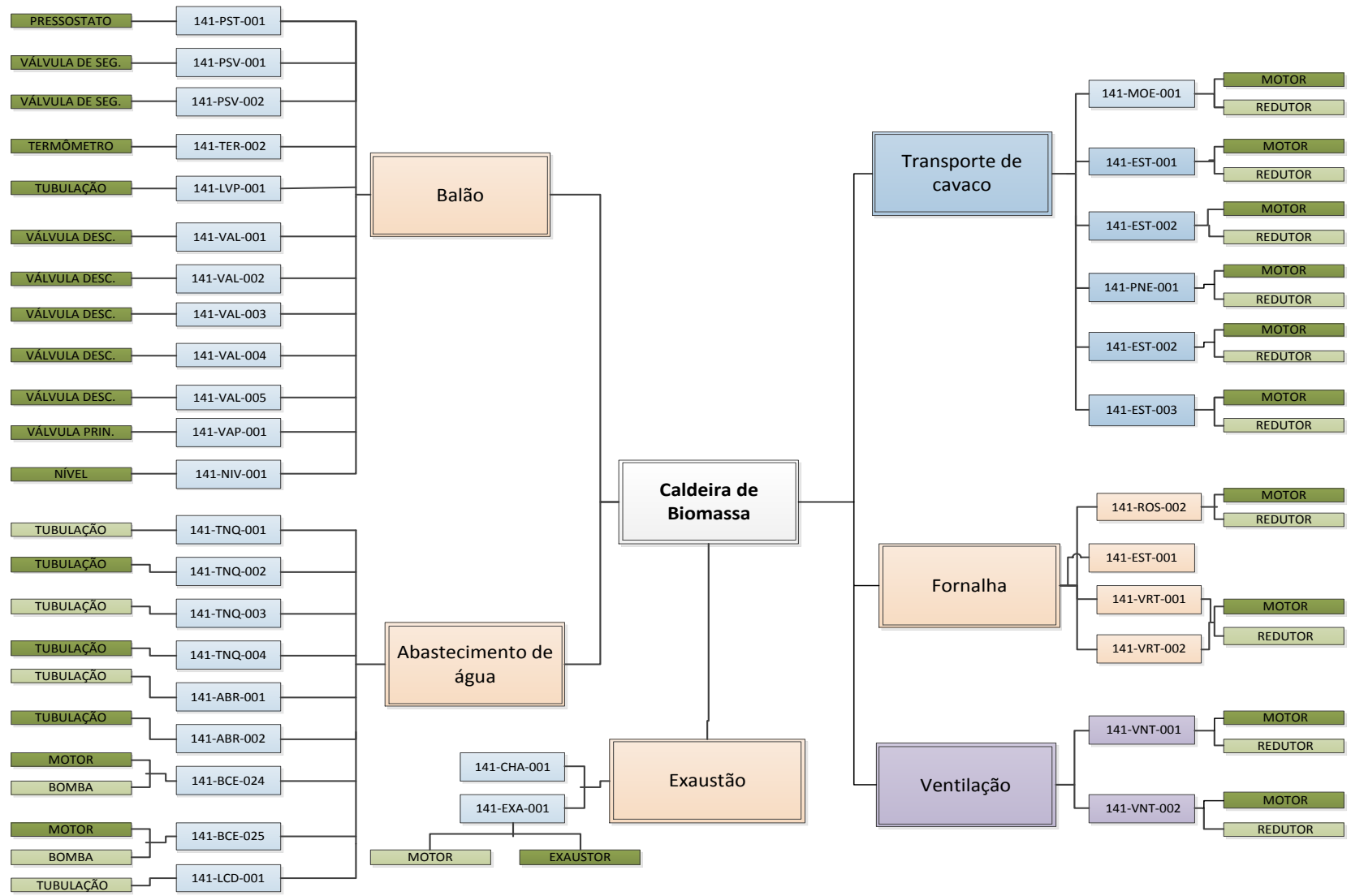


Figura 05- Árvore funcional da Caldeira de Biomassa (estudo de caso)  
 Fonte: Autoria própria



Para a melhor compreensão da árvore funcional da caldeira biomassa contida na Figura 05, se apresenta no Quadro 07 o tagueamento dos componentes do sistema térmico no qual a caldeira de biomassa está integrada.

<b>TAG</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
141-ABR-001	ABRANDADOR 01
141-ABR-002	ABRANDADOR 02
141-BCE-024	BOMBA DE AGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA
141-BCE-025	BOMBA DE AGUA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA
141-CHA-001	CHAMINÉ
141-EST-001	CORREIA TRANSPORTADORA 01
141-EST-002	CORREIA TRANSPORTADORA 02
141-EST-003	CORREIA TRANSPORTADORA 03
141-EXA-001	EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA
141-LCD-001	LINHA DE CONDENSADO
141-LVP-001	LINHA DE VAPOR
141-MOE-001	MOEGA MD/35
141-NIV-001	INDICADOR DE NIVEL
141-PNE-001	PENEIRA DE DISCO
141-PSV-001	VALVULA DE SEGURANÇA
141-PSV-002	VALVULA DE SEGURANÇA
141-PST-001	PRESSOSTATO DA CALDEIRA
141-ROS-001	ROSCA DE CAVACO DA PENEIRA DE DISCO
141-ROS-002	ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA
141-TNQ-001	TANQUE DE AGUA FRESCA PARA OS ABRANDADORES
141-TNQ-002	TANQUE DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA (TANQUE DE NIVEL)
141-TNQ-003	TANQUE T-S SITEMA DE ABRANDAMENTO DE ÁGUA DA CALDEIRA
141-TNQ-004	TANQUE DE DESCARGA DE FUNDO
141-TER-001	TERMÔMETRO
141-VAL-001	VÁLVULA 01 DE DESCARGA DE FUNDO
141-VAL-002	VÁLVULA 02 DE DESCARGA DE FUNDO
141-VAL-003	VÁLVULA 03 DE DESCARGA DE FUNDO
141-VAL-004	VÁLVULA 04 DE DESCARGA DE FUNDO
141-VAL-005	VÁLVULA 05 DE DESCARGA DE FUNDO
141-VAP-001	VÁLVULA PRINCIPAL DA CALDEIRA (SAÍDA DE VAPOR)
141-VNT-001	VENTILADOR DE AR SECUNDÁRIO SLH-355
141-VNT-002	VENTILADOR DE AR PRIMÁRIO SLN-800
141-VRT-001	VÁLVULA ROTATIVA 01
141-VRT-002	VÁLVULA ROTATIVA 02

**Quadro 07 – Descrição dos códigos TAG's**

**Fonte: Autoria própria**

A árvore funcional da caldeira é constituída por seis subsistemas principais que a compõem, os quais são: transporte de cavaco, balão, fornalha, ventilação, exaustão de gases e abastecimento de água. As figuras 07 e 08 ilustram esses sistemas da caldeira de biomassa.



**Figura 06 – (a) Prédio da Caldeira de Biomassa e (b) Transporte de cavaco da Caldeira de Biomassa**  
**Fonte: Autoria própria**

No prédio da caldeira de biomassa (figura 06 a) está alocado o balão da caldeira e os seus instrumentos de controle, bem com os painéis de comando e potência. O transporte de cavaco ilustrado na figura 06 (b) apresenta as esteiras

transportadoras que propiciam a alimentação da biomassa, que é levado do pátio até a fornalha (figura 07 b).

Os gases oriundos da queima da biomassa são forçados pelos ventiladores (figura 07 c) a passar pelos tubos existentes no balão da caldeira (figura 07 a), proporcionando a troca de calor entre as paredes dos tubos e a água que preenche o balão da caldeira, a qual é abastecida pelas bombas (figura 07 e).

O exaustor (figura 07 d) retira os gases oriundos da queima da biomassa no interior da caldeira para a atmosfera



**Figura 07 – (a) Balão da Caldeira de Biomassa, (b) Fornalha da Caldeira de Biomassa, (c) Ventilação da caldeira de biomassa, (d) Exaustão da Caldeira de Biomassa e (e) Abastecimento de água da Caldeira de Biomassa**

**Fonte: Aatoria própria**

A estrutura da caldeira apresenta as seguintes características na sua construção e funcionamento:

- Vários pontos de lubrificação expostos;
- Presença desgaste em dutos de ar (causado pelo transporte de fuligem oriunda da queima da biomassa em sua fornalha);
- Dilatações térmicas e transporte de fluidos em temperaturas e pressões elevadas.

Os elementos de máquina que compõem os sistemas e subsistemas da caldeira sofrem com a temperatura em quase todo o processo de geração de vapor (tubulações e dutos de ar), fator que acelera o processo de corrosão dos ativos industriais.

Além da alta temperatura os elementos de máquinas como: chaminés, exaustor, correias transportadoras e de acionamento, redutores, motor e rolamentos sofrem com a degradação devido a sua exposição à umidade e resíduos depositados pelo transporte de cavaco, sendo essa degradação um dos mecanismos que mais ocasionam eventos de falhas do maquinário.

### 4.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Para possibilitar a tratativa de falhas foi estruturado o histórico de falhas da caldeira de biomassa correspondente ao período entre 2014 – 2017. A tabela 04 ilustra a parte inicial do histórico, sendo disponível o histórico completo no **APÊNDICE A**.

Após tabular os dados referentes ao histórico de falhas, o qual foi efetuado a avaliação dos modos de falhas ocorridos entre 2014 – 2017 para filtragem e melhoria das informações com a finalidade de aumentar a consistência desses para tratativa de falhas. Assim, os modos de falhas foram agrupados em classes de mecanismos de falhas, os quais presentes na Tabela 05.

**Tabela 04 - Histórico dos Eventos de Falhas – Caldeira de Biomassa (2014-2017)**

DATA	TAG	DESCRIÇÃO TAG	OS	DESCRIÇÃO DA O.S	TTR	Interrupção do Funcionamento	
						SIM	NÃO
03/01/2014	141-VAL-001	Válvula de descarga de fundo 01 da caldeira	90	Trocar válvula de descarga 01 da caldeira	0,83		X
06/01/2014	141-VAL-001	Válvula de descarga de fundo 01 da caldeira	91	Eliminar vazamento na válvula de descarga 01 da caldeira	0,33		X
12/01/2014	141-TNQ-004	Motor da bomba do tanque 04	112	Curto circuito no cabo de saída do motor	1,85		X
16/01/2014	141-LVP-001	Linha de vapor da caldeira	129	Eliminar vazamentos na linha de vapor	0,83	X	
20/01/2014	141-VIN-001	Visor de nível da caldeira	157	Trocar junta do visor de nível da caldeira	1,67		X
23/01/2014	141-VAL-002	Válvula de descarga de fundo 02 da caldeira	151	Trocar junta da válvula 02 de descarga de fundo da caldeira	0,33		X
29/01/2014	141-VAL-003	Válvula de descarga de fundo 03 da caldeira	145	Vazamento na junta da válvula de descarga de fundo 03 da caldeira	0,58		X
07/02/2014	141-VAL-001	Válvula de descarga de fundo 01 da caldeira	138	Eliminar vazamento da válvula de descarga de fundo 01 da caldeira	0,42		X
11/02/2014	141-VAL-003	Válvula de descarga de fundo 03 da caldeira	146	Trocar válvula 03 de descarga de fundo, não fecha	2,33	X	
11/02/2014	141-PNE-001	Peneira de disco da caldeira de biomassa	158	Trocar correias da peneira de disco	0,33		X
24/02/2014	141-VIN-001	Visor de nível da caldeira	137	Vazamento no visor de nível da caldeira de biomassa	0,25		X
07/03/2014	141-VIN-001	Visor de nível da caldeira	396	Verificar defeito no controlador de nível de água da caldeira	3,22	X	
11/03/2014	141-LVP-001	Linha de vapor da caldeira	325	Eliminar vazamento de vapor na caldeira	1,00	X	
12/03/2014	141-LCD-001	Linha de condensado da caldeira biomassa	346	Trocar tubulação do condensado da caldeira	10,00	X	
16/03/2014	141-EXA-001	Exaustor de gases da caldeira biomassa	417	Desarmou o disjuntor de comando	0,17	X	
27/03/2014	141-PEL-001	Painel elétrico da caldeira biomassa	401	Desarmou o disjuntor de comando da caldeira biomassa	0,33	X	
02/04/2014	141-VAL-004	Válvula de descarga de fundo 04 da caldeira	424	Trocar junta da válvula de descarga 04 da caldeira	0,42		X
10/04/2014	141-VAL-004	Válvula de descarga de fundo 04 da caldeira	428	Trocar válvula de descarga 04	0,83		X
10/04/2014	141-EXA-001	Exaustor de gases da caldeira biomassa	431	Soldar pinos do 'damper' do exaustor	1,00		X
15/04/2014	141-EST-001	Esteira transportadora 01 da caldeira	246	Regulagem da bica de cavaco da esteira 01	0,17		X
15/04/2014	141-ROS-002	Rosca dosadora de cavaco da caldeira	255	Manutenção da rosca dosadora da caldeira	2,00	X	
16/04/2014	141-ROS-002	Rosca dosadora de cavaco da caldeira	258	Trocar bucha e rolamento na rosca dosadora da caldeira	1,50		X
22/04/2014	141-PNE-001	Peneira de disco da caldeira de biomassa	252	Quebrou a rosca helicoidal da peneira de disco	4,83		X
06/05/2014	141-LCD-001	Linha de condensado da caldeira biomassa	222	Eliminar vazamento na tubulação de condensado	0,58		X
09/05/2014	141-EST-001	Esteira transportadora 01 da caldeira	447	Trocar rolos de retorno da correia transportadora	5,00		X

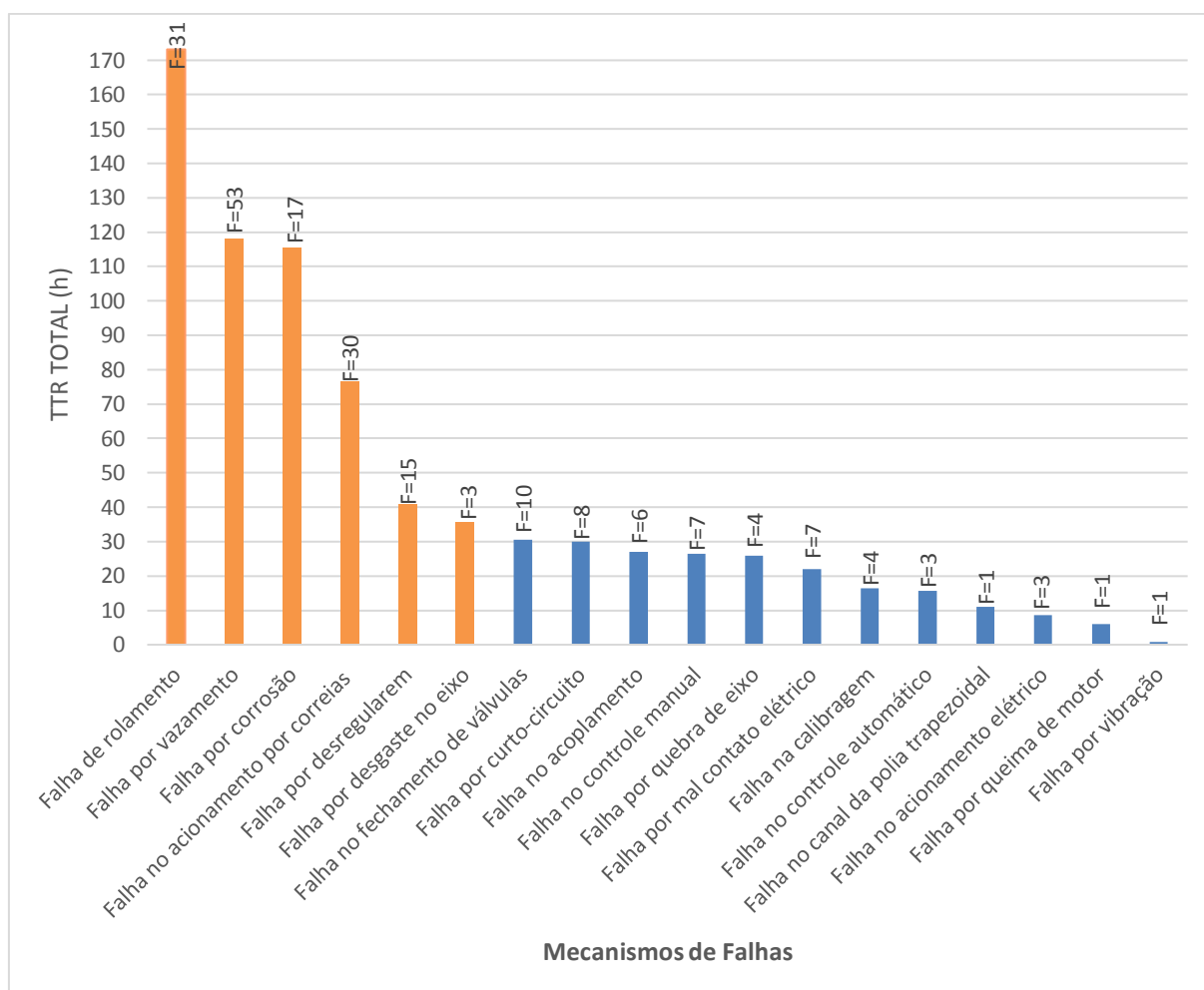
Fonte: Autoria própria

**Tabela 05 – Mecanismo de falhas analisados no período de 2014-2017 –Caldeira de Biomassa**

Mecanismo de Falhas	Frequência de mecanismos de falhas em cada Subistemas						Frequência (F)	TTR Total (h)
	Transporte de cavaco	Fornalha	Balão	Ventilação	Exaustão	Abastecimento de água		
01 Falha no acionamento por correias	18	7	0	2	3	0	30	76,58
02 Falha no acionamento elétrico	0	0	0	0	0	3	3	8,66
03 Falha no acoplamento	3	2	0	0	0	1	6	26,96
04 Falha na calibragem	0	0	3	0	0	1	4	16,50
05 Falha no controle manual	1	3	3	0	0	0	7	26,50
06 Falha no controle automático	1	2	0	0	0	0	3	15,71
07 Falha por corrosão	3	7	0	0	2	5	17	115,33
08 Falha por curto-circuito	2	0	0	1	1	3	8	29,91
09 Falha no canal da polia trapezoidal	0	0	0	0	1	0	1	11,00
10 Falha por desgaste no eixo	2	1	0	0	0	0	3	35,50
11 Falha no fechamento de válvulas	0	0	8	0	2	0	10	30,50
12 Falha por mal contato elétrico	4	0	1	1	0	1	7	22,08
13 Falha por queima de motor	0	0	0	0	1	0	1	6,00
14 Falha por quebra de eixo	3	1	0	0	0	0	4	25,83
15 Falha por desregularem	14	1	0	0	0	0	15	40,83
16 Falha de rolamento	19	7	0	0	3	2	31	173,16
17 Falha por vazamento	6	3	26	0	0	18	53	118,13
18 Falha por vibração	0	0	0	0	1	0	1	0,83

Fonte: Autoria própria

A Figura 08 relaciona, de forma gráfica, dados de TTR total para cada grupo de mecanismo de falhas identificado na Tabela 5.



**Figura 08 – Gráfico de Pareto dos mecanismos de falhas 2014 -2017**  
**Fonte: Autoria própria**

Analisando o gráfico da figura 08, identifica-se que:

- O mecanismo que acarretou maior frequência de falhas na caldeira de biomassa, foi falha por vazamento, acumulando 53 interrupções no funcionamento no ativo entre os anos de 2014-2017;
- Os mecanismos de falhas: por rolamento e acionamento por correias apresentaram uma frequência de 61 eventos de falhas na caldeira de biomassa, totalizando juntos 249,74h de indisponibilidade no sistema produtivo;
- Os mecanismos de maior impacto na disponibilidade da caldeira de biomassa, devido tempo para reparo, foram: falha por rolamento (173,16h), falha por vazamento (118,13h), falha por corrosão (115,33 h) e falha no acionamento por

correias (76,58h). O somatório de TTR desses mecanismos (483,2h) representam aproximadamente 62% do tempo total gasto para reparos na caldeira (780,01h) no período analisado.

Com base nos dados do histórico de falhas e de produtividade, obteve-se os indicadores de desempenho. Os indicadores referentes ao monitoramento da eficiência das atividades de manutenção estão expostos na Tabela 06.

**Tabela 06 – Indicadores de manutenção da caldeira de biomassa** (Início)

<b>Mês</b>	<b>MTTR (h)</b>	<b>MTBF (h)</b>	<b>A(t)</b>	<b>Frequência de Falhas</b>
Janeiro 2014	0,83	719,17	99,88%	1
Fevereiro 2014	2,33	702,95	99,95%	1
Março 2014	2,94	141,05	97,96%	3
Abril 2014	2,00	718,00	99,72%	2
Mai 2014	0,00	720,00	100,00%	1
Junho 2014	1,25	718,75	99,83%	0
Julho 2014	1,11	238,89	99,54%	4
Agosto 2014	1,17	358,84	99,68%	2
Setembro 2014	8,24	94,62	91,99%	4
Outubro 2014	0,00	720,00	100,00%	0
Novembro 2014	8,00	352,00	97,78%	2
Dezembro 2014	7,00	713,00	99,03%	1
Janeiro 2015	1,00	359,00	99,72%	3
Fevereiro 2015	0,00	720,00	100,00%	0
Março 2015	5,71	354,29	98,41%	2
Abril 2015	4,00	712,00	99,44%	1
Mai 2015	0,00	720,00	100,00%	0
Junho 2015	2,42	717,58	99,66%	4
Julho 2015	2,00	718,00	99,72%	2
Agosto 2015	7,73	352,26	97,85%	2
Setembro 2015	0	720	100,00%	0
Outubro 2015	0	720	100,00%	0
Novembro 2015	0	720	100,00%	0
Dezembro	5	609,6	98,45 %	3
Janeiro 2016	1	719,00	99,86%	1
Fevereiro 2016	4,83	235,17	97,99%	5
Março 2016	6	234,00	97,50%	8
Abril 2016	4	716,00	99,44%	8
Mai 2016	7,75	352,25	97,85%	8
Junho 2016	3,5	716,50	99,51%	3
Julho 2016	0	720,00	100,00%	0
Agosto 2016	0	720,00	100,00%	0

(Continua)

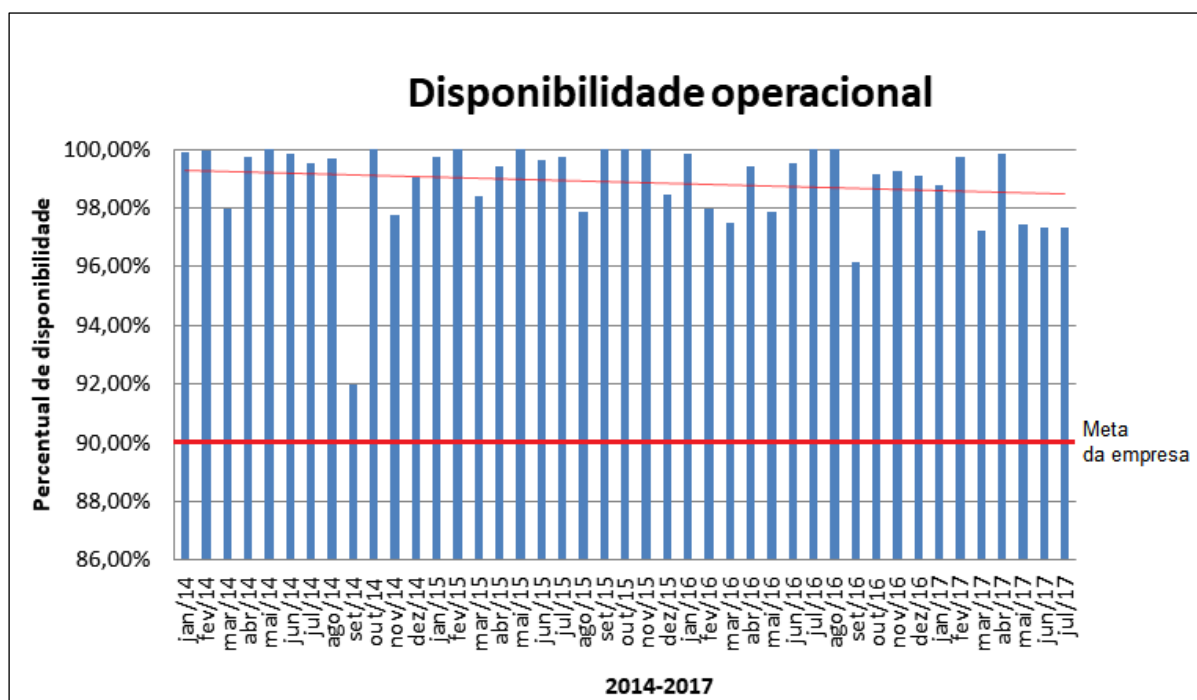


(Conclusão)

Mês	MTTR (h)	MTBF (h)	A(t)	
Setembro 2016	13,75	346,25	96,18%	6
Outubro 2016	2,00	238,00	99,17 %	2
Novembro 2016	2,10	239,12	99,25%	3
Dezembro 2016	2,17	237,83	99,10%	3
Janeiro 2017	2,89	237,11	98,80%	4
Fevereiro 2017	1,83	718,17	99,75%	3
Março 2017	10,00	350,00	97,22%	4
Abril 2017	1,00	719,00	99,86%	2
Mai 2017	6,13	231,83	97,43%	6
Junho 2017	6,33	233,67	97,36%	6
Julho 2017	6,47	233,53	97,31%	4

**Fonte: Autoria própria**

Na Tabela 06 é possível verificar que nos meses de: junho e outubro de 2014, fevereiro, maio, outubro e novembro de 2015 e julho e agosto de 2016 a disponibilidade operacional da caldeira alcançou 100% devido à ausência de falhas. Porém os meses de setembro e março de 2014, bem como, os meses de agosto de 2015 e setembro de 2016, ocorreram falhas que ocasionaram indisponibilidade operacional deste ativo, sendo que nesses meses os principais mecanismos de falhas ocorridos foram: falhas no fechamento de válvulas, falhas de rolamento, falhas por vazamentos e falha por quebra de eixo. A Figura 09 apresenta o gráfico com a tendência da disponibilidade operacional da caldeira de biomassa no período entre 2014-2017.

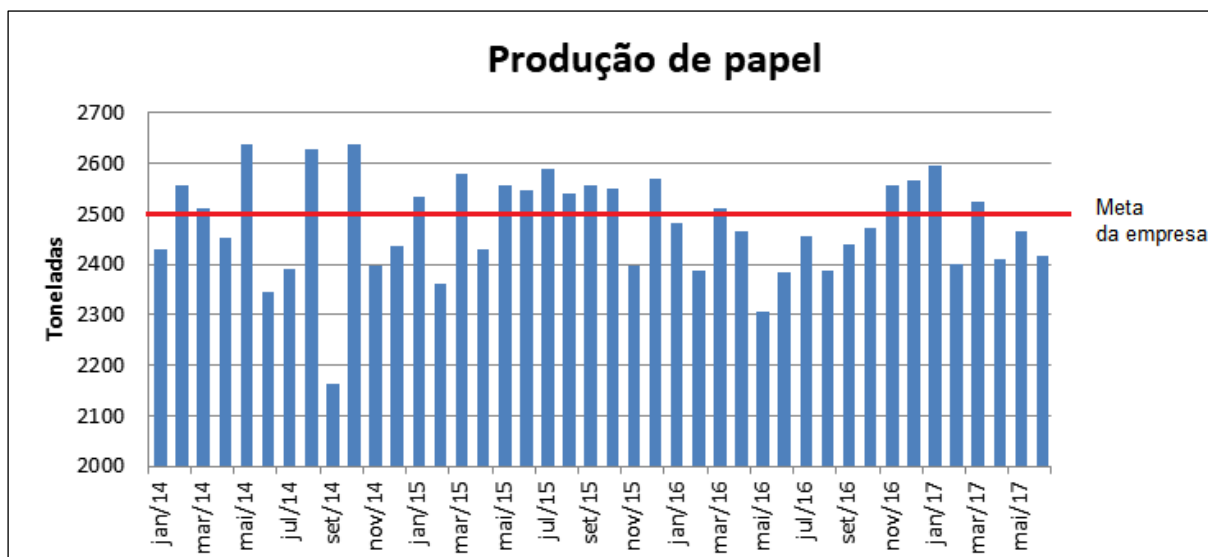


**Figura 09 - Gráfico de Disponibilidade Operacional da Caldeira de Biomassa**  
**Fonte: Autoria própria**

No gráfico da Figura 09 verifica-se que em setembro de 2014 a caldeira de biomassa apresentou sua menor disponibilidade (92%) no período analisado. Isto se deve pelo fato do TTR nesse mês chegar a 57,6h para reparo de falhas relacionadas á:

- Falha de acoplamentos;
- Falha de rolamentos;
- Falha de acionamentos por correias;
- Falha de vazamentos;
- Falha no canal da polia trapezoidal;

A indisponibilidade da caldeira de biomassa reflete diretamente nos índices de produção. O gráfico presente na Figura 09 apresenta a produtividade da empresa em estudo no período entre 2014-2017.



**Figura 10 - Gráfico de produção de papel 2014-2017**

Fonte: Empresa estudo de caso

O gráfico de produção de papel fornecido pela empresa estudo de caso onde indica os meses do período 2014-2017 em relação à produção em tonelada de papel. Nota-se no mês de setembro de 2014 a baixa produção da empresa, coincidindo com o gráfico de disponibilidade operacional representada graficamente na Figura 09. Entrevistando os colaboradores do departamento de Planejamento e Controle de Produção (PCP), a meta da empresa é de 2500 toneladas/mês, que é alcançada em 19 dos 42 meses estudados.

Se comparado os gráficos das figuras 10 e 11 nota-se que a disponibilidade da caldeira de biomassa afeta consideravelmente a produção de papel da empresa estudo de caso.

#### 4.3 TRATATIVA DOS EVENTOS DE FALHAS – FMEA

Por meio da análise dos dados e informações oriundos: dos indicadores de desempenho, do histórico de falhas, da descrição das OS's, da observação direta do funcionamento e modo de manutenção da caldeira e de entrevistas com o quadro técnico responsável pela manutenção e operação da caldeira, foi possível aplicar a FMEA na tratativa de falhas funcionais da caldeira de biomassa. Os Quadros 06 e 07 ilustram a parte inicial do formulário referente a FMEA desenvolvida, sendo toda a análise disponível no **APENDICE B**.

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 101						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 14/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existente	Proposta	
Exaustão	141-EXA-001-Exaustor de gases	Exaurir gases queimados no interior da fornalha, com volume de 50.000 m³/h e pressão de 240 mm.c.a	Ruptura da correia	Parada do dispositivo por completo, e consequentemente parada da caldeira de biomassa.	Desalinhamento das polias, polias desgastadas, ação de agentes climáticos.	4	9	2	72	Nenhuma	Realizar alinhamento com aparelho a laser, para obter o melhor paralelismo entre as polias. Por se tratar de um ativo que fica exposto a ações climáticas, realizar inspeções visuais na correia em um período de 15 dias.	Técnico de Manutenção Mecânica

Quadro 08 – Formulário FMEA

Fonte: Autoria própria

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 102						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 14/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existente	Proposta	
Transporte de cavaco	141-EST-003 Esteira transportadora de cavaco 03	Transportar cavaco para a rosca dosadora da caldeira biomassa, não menos que 12m³/h	Ruptura da correia	Gera transtornos e aumenta a dificuldade de alimentação da caldeira; Necessidade de mais colaboradores para realização manual da alimentação da caldeira	Polias desgastadas e temperaturas elevadas devido a sua posição elevada acima da fornalha	2	5	2	20	Nenhuma	Realizar retífica dos canais das polias, bem como alinhamento com aparelho a laser, para obter o melhor paralelismo entre as polias. Por se tratar de um ativo que fica exposto a temperaturas elevadas realizar inspeções visuais na correia em um período de 15 dias.	Técnico de Manutenção Mecânica

Quadro 09 – Formulário FMEA  
Fonte: Autoria própria

Os modos de falhas que ocorreram na cadeira de biomassa no período entre os anos 2014-2017 foram analisados para cada dos subsistemas principal que compõem a árvore funcional da caldeira.

A maior dificuldade para obter as informações para tratamento dos modos de falhas se deu pelo fato de que, embora a empresa tenha um CMMS (Computerized Maintenance Management System) para auxiliar no gerenciamento das informações das atividades de manutenção, as descrições das OS's eram deficientes. Assim, foi necessária pesquisa de campo e entrevista com o quadro técnico de manutenção e operação da caldeira de biomassa para melhorar a consistência das informações e assim possibilitar uma análise de falhas confiável.

As informações coletadas sobre as funções de cada subsistema da caldeira de biomassa e os efeitos que as falhas ocasionam no funcionamento da caldeira, foram utilizadas também foram importantes para atribuir os pesos a variável severidade utilizada no cálculo de RPN. Os pesos da variável detecção foram determinados juntamente com os técnicos e gestores de manutenção por meio de entrevistas, que relataram a dificuldade em se detectar a falha com técnicas preditivas.

A tabela 07 detém valores do indicador de RPN, que auxilia na tomada de decisão quanto ao efeito dos riscos calculados no formulário FMEA.

**Tabela 07 – Índices de Grau de Prioridade de Risco**

<b>Efeito</b>	<b>Risco</b>	<b>RPN</b>
Catastróficos	Riscos de explosão, riscos ao patrimônio, riscos à integridade física e risco ao Meio Ambiente	≥ 500
Grandes perdas	Paralisação total da capacidade produtiva da organização, grande quantidade de mão-de-obra, manutenção complexa dos equipamentos, custos elevados.	101-500
Redução da produção	Paralisação parcial da produtividade, manutenção do equipamento de fácil execução, custos baixos.	51-100
Nulo	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução.	≤ 50

**Fonte: Autoria própria**

Mediante a tabela 07, os efeitos das falhas analisados no FMEA foram agrupados pelo seu grau de risco, possibilitando uma melhor identificação da prioridade das tratativas de falhas. Podendo assim, a gestão de manutenção direcionar seus esforços as falhas que mais impactam no processo produtivo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Durante a análise do histórico de falhas da caldeira de biomassa (período entre 2014-2017) foram encontradas OS's com preenchimento incompleto, faltando dados e/ou informações como: peças e/ou materiais utilizados, descritivo das atividades, causa das falhas, tempo de execução e tempo de espera do técnico para manutenção. Para melhorar a consistência dessas informações foi necessária pesquisa de campo e entrevista com o quadro técnico para formar uma base de dados mais confiável para tomada de decisão, a qual exposta no **APÊNDICE – A**.

Salienta-se que as entrevistas com o corpo técnico de manutenção e operacional da indústria foi realizada de modo informal, por meio de conversas sobre a operação, atividades da manutenção, e dificuldades encontradas para a realização de tarefas da manutenção.

Aliado ao histórico de falhas com as informações refinadas, foi construído o mapeamento do processo produtivo e da árvore funcional para melhorar o entendimento das funcionalidades e manutenção do ativo, e as consequências que os pontos críticos do ativo afetam o sistema industrial quando falham. Através da elaboração da árvore funcional, foi possível relacionar as funções dos componentes dos subsistemas servindo de base para a execução do FMEA.

A caldeira de biomassa tem em seu histórico de falhas um alto índice de falhas em equipamentos rotativos, os quais foram responsáveis pela maior frequência das interrupções desse ativo. Um dos fatores que ocasionam este tipo de modo de falha, é a forma deficiente na verificação das condições dos rolamentos, que é realizado com a aplicação do estetoscópio, assim não apontando um parâmetro consistente para monitorar a vibração, dificultando a tomada de decisão no tempo adequado para intervenção. Foi sugerido, durante o desenvolvimento desse estudo, que a empresa adquirisse um coletor para análise de vibração (com treinamento para os técnicos) ou a contratação de uma empresa terceirizada para realizar as medições de forma correta.

Enfatizando a deficiência da manutenção preditiva na caldeira, durante o desenvolvimento da FMEA, verificou-se falha devido fratura do eixo do motor de acionamento do exaustor de gases da caldeira (141-EXA-001), modo de falha que agregou índice RPN mais elevado devido a severidade da falha. A causa dessa falha foi o tensionamento excessivo da correia que acarretou na fratura do eixo e

consequentemente interrupção total do sistema produtivo de papel, sendo essa falha evitada com um monitoramento adequado dos parâmetros relacionados a vibração do sistema rotativo e da tensão aplicada na correia ao longo da operação da caldeira de biomassa.

Para os mecanismos de falhas por: rolamentos, acionamento por correias, por vazamento e por corrosão, os quais representam maior frequência de eventos e indisponibilidade na caldeira de biomassa foram apontadas necessidade aplicação de ações como:

- Análise de vibração;
- Verificação de espessuras das paredes dos tubos por ultrassom;
- Inspeções periódicas entre 15 e 30 dias;
- Alinhamento por aparelho “*laser*”;

Também, durante o estudo de campo, identificou-se que a atividade preventiva para caldeira de biomassa limita-se as lubrificações mensais e reparos executados durante a parada anual para realização dos testes hidrostáticos (NR 13). Conforme o quadro técnico da empresa isto se deve à falta de mão de obra alocada na manutenção e operação no setor de utilidades, local de instalação da caldeira.

Os quadros técnicos de operadores e mantenedores da caldeira de biomassa auxiliaram nas informações para melhoria da base do histórico de falhas (descrição das OS) bem como participaram do processo de tratativa de falhas para atribuição dos pesos as variáveis que compõe o índice RPN, provendo maior consistência na priorização das atividades de manutenção para sanar os modos de falha mais críticos. A tabela 08 apresenta a classe crescente das falhas priorizadas pelo RPN encontrado no FMEA.

**Tabela 08– Classificação de Prioridade de RPN**

<b>TAG</b>	<b>RPN</b>	<b>Risco</b>	<b>Classificação</b>
141-EXA-001 Exaustor de gases	140	Paralisação total da capacidade produtiva da organização, grande quantidade de mão-de-obra, manutenção complexa dos equipamentos, custos elevados.	1
141-LCD-001 Linha de condensado	105	Paralisação total da capacidade produtiva da organização, grande quantidade de mão-de-obra, manutenção complexa dos equipamentos, custos elevados.	2
141-EXA-001 Exaustor de gases	100	Paralisação parcial da produtividade, manutenção do equipamento de fácil execução, custos baixos.	3

(continua)



(Conclusão)

TAG	RPN	Risco	Classificação
141-LVP Linha de Vapor	84	Paralisação parcial da produtividade, manutenção do equipamento de fácil execução, custos baixos.	4
141-EXA-001 Exaustor de gases	72	Paralisação parcial da produtividade, manutenção do equipamento de fácil execução, custos baixos.	5
141-ABR-001 Abrandador 01	54	Paralisação parcial da produtividade, manutenção do equipamento de fácil execução, custos baixos.	6
141-BCE-024 Bomba de alimentação da Caldeira	48	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução.	7
141-ROS-002 Rosca dosadora de cavaco	36	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	8
141-BCE-024 Bomba de alimentação da Caldeira	32	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução.	9
141-ABR-002 Abrandador 02	30	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução.	10
141-VAL-003 Válvula 03 de descarga de fundo	30	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	11
141-VAL-002 Válvula 02 de descarga de fundo	28	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	12
141-VNI-001 Visor de nível da caldeira	24	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	13
141-PST-001	20	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	14
141-TNQ-004 Tanque de descarga de fundo	12	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	15
141-TNQ-001 Tanque de alimentação de condensado	6	Não afeta a capacidade produtiva da organização, serviços de fácil execução	16

**Fonte: Autoria própria**

O resultado da FMEA permitiu identificar os subsistemas e TAG's mais críticos da caldeira de biomassa, aqueles cuja falha ocasiona interrupções no funcionamento da caldeira, afetando o desempenho no sistema produtivo de papel e celulose. As ações propostas na análise para tratativa de falhas estabelecem a adequada estratégia de manutenção a ser adotada para cada subsistema da caldeira, auxiliando no planejamento e controle dos recursos humanos, materiais e financeiros da manutenção.

## 6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

### 6.1 CONCLUSÃO

O presente trabalho objetivou a aplicação da FMEA na tratativa dos modos de falhas funcionais apontados no histórico de falhas (período de 2014-2017) de uma caldeira de biomassa, identificando os pontos críticos desse ativo industrial e causas raízes dos modos de falhas, visando auxiliar a gestão de manutenção em suas tomadas de decisões e recomendações do tipo de técnica de manutenção há ser aplicada na contenção dos mecanismos de falhas identificados.

Estruturou-se o mapeamento do processo de fabricação de papel e a árvore funcional da caldeira, facilitando a análise das falhas por meio das particularidades de funcionamento e operação e estrutura mecânica e elétrica dos subsistemas da caldeira detalhados no mapeamento e na árvore.

O mapeamento contendo as particularidades de cada processo envolvido na fabricação de papel mostrou, de forma sucinta, a importância da caldeira de biomassa no processo de secagem do papel durante a sua fabricação, o que facilitou a avaliação dos eventos de falhas da caldeira em relação ao impacto das falhas no sistema fabril. A árvore funcional da caldeira de biomassa representada de forma gráfica facilitou a visualização de cada subsistema e seus dispositivos, compondo assim a funcionalidade do processo de geração de vapor, que facilitou a identificação de cada um dos componentes analisado no FMEA.

Na FMEA dos subsistemas principais da caldeira de biomassa, ressalta-se que as maiorias das falhas tratadas podem ser reduzidas ou eliminadas com a aplicação de técnicas preditivas como: análise de vibração e ultrassom, assim como um correto gerenciamento de atividades preventivas de lubrificação e inspeções quinzenais nos equipamentos, além das ações já realizadas anualmente durante o teste hidrostático da caldeira.

A participação do quadro técnico de manutenção e operação da caldeira de biomassa no processo de entrevista e no desenvolvimento da FMEA proporcionou interação entre os setores de manutenção e operação e gerou senso de responsabilidade desses em manter a disponibilidade operacional desse ativo, pois houve um maior entendimento das consequências e causas raízes dos modos de falha no ativo e no sistema produtivo em geral, em relação a perda de produtividade

que afeta o faturamento da empresa e o risco de explosão que pode afetar a integridade humana e patrimonial.

A tratativa de falhas por meio do formulário FMEA provou-se eficaz para caldeira de biomassa, pois evidenciou as funções os subsistemas e suas particularidades conjuntamente com modos, efeitos e causas dos eventos de falhas, proporcionando a priorização do modo de falha para tomada de decisão.

A tratativa de falha por meio da ferramenta FMEA desenvolvida possibilita a melhoria no planejamento e controle das atividades de manutenção pois apresenta as adequadas estratégias de manutenção a serem aplicadas para cada subsistema que compõe a caldeira de biomassa, visando na redução e/ou eliminação dos eventos de falhas analisados, e assim proporcionar disponibilidade e confiabilidade ao sistema fabril.

## 6.2 RECOMENDAÇÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação da continuação desse trabalho propõe-se:

- Aplicar a FMEA em outros ativos industriais que impactam diretamente na disponibilidade operacional do sistema industrial com: cilindros secadores, prensas e formas utilizadas no processo de fabricação de papel.
- Aplicar a análise de risco, utilizando ferramentas como HAZOP (Hazard and Operability Study) -Análise de perigos e operabilidade, para verificar os perigos e problemas na manutenção e operação da caldeira de biomassa, visto que se trata de um vaso de pressão que pode acarretar perigo a integridade física e ao patrimônio da empresa ao sinal de qualquer condição anormal de operacionalidade ou reparo.
- Acompanhar indicadores de manutenção e produtividade e avaliar se as ações da FMEA estão sendo eficazes no aumento de disponibilidade e produtividade e assim aplicar metodologia FMEA-Fuzzy para verificar a consistência da priorização dos modos de falhas e assertividades das ações de manutenção propostas.

## REFERÊNCIAS

ÁGUAS, André Gonçalves. **Otimização de um sistema online de detecção de falhas em motores de indução**. 2013. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.

ALBERICHI, Mariano; SERTA, Roberto. **Estudo das Instalações e Operações de caldeira de uma Indústria do Estado do Paraná, sob ótica da NR-13 e NR-28**. 2013. Monografia de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR

ALABDULKARIM, Abdullah A.; BALL, Peter D.; TIWARI, Ashutosh. Applications of simulation in maintenance research. **World Journal of Modelling and Simulation**, v. 9, n. 1, p. 14-37, 2013.

AL-RUBAE, Layth Abed Hasnawi. **Maximizing the Lifespan of Hydraulic Power Plants with Application of the Integrated Preventive Maintenance Program**. 2013. Doctoral thesis . Eastern Mediterranean University (EMU).

ARABIAN-HOSEYNABADI, H.; ORAEE, Hashem; TAVNER, P. J. Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 32, n. 7, p. 817-824, 2010.

BARAN, Leandro Roberto; FILHO, Jaime Ramos; PIECHNICKI, Ademir Stefano; PIECHNICKI, Flávio. **Transferência de Tecnologia no processo de implantação do pilar de manutenção planejada**. Revista SODEBRAS - Volume 9 nº 102 – Junho de 2014.

BAIDYA, Rahul et al. Strategic maintenance technique selection using combined quality function deployment, the analytic hierarchy process and the benefit of doubt approach. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, p. 1-14, 2016.

BLOOM, Neil B. Reliability centered maintenance. **New York: Mac Graw-Hill**, 2006.

BOWLES, John. An Assessment of RPN Prioritization in a Failure Modes Effects and Criticality Analysis. **Journal of the IEST**, v. 47, n. 1, p. 51-56, 2004

CARPINETTI, Luiz Cesar RIBEIRO. **Gestão da qualidade: Conceitos e técnicas**. São Paulo: Atlas S.A, 2012

CETNAROWSKI, Enrique; GRAMS, Cassiano A. **Retrofit em Máquinas Industriais: estudo de caso**. 2013. 61. f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior em Tecnologia em Mecatrônica Industrial), Departamentos Acadêmicos de Eletrônica e Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2014.

COELHO, Ricardo Miguel Gonçalves. A manutenção nos órgãos de corte da rede aérea de média tensão: aplicação de metodologia RCM II. 2015.

COUTO, Mariana Praes; CARVALHO, Alessandra Lopes. Utilização do FMEA para análise de processos administrativos em uma instituição de ensino superior. **Percursos Acadêmicos**, p. 445-472, 2015.

DE ALMEIDA, Marco Aurélio Pimenta et al. Uma proposta de adaptação e implantação do FMEA em uma empresa do setor automotivo brasileiro. **Revista ESPACIOS Vol. 37 (Nº 07) Ano 2016**, 2016.

DA COSTA, Rogério Santos et al. Desafios da Administração Estratégica para a Implantação da TPM (Manutenção Produtiva Total) na Indústria de Embalagens de Latas de Alumínio para Bebidas no Brasil. **Sistema & Gestão**, v. 10, n. 3, p. 370-383, 2015.

DA SILVA, Ricardo Luís Alves; SOARES, Paulo Renato Ferreira Targino; DA SILVA, Ana Karla Batista. Análise de risco utilizando a ferramenta FMEA em um gerador de vapor. **Associação Brasileira de Engenharia de Produção**, Rio de Janeiro, 2008.

DEAC, Vasile et al. The Modern Approach to Industrial Maintenance Management. **Informatics Economic**, v. 14, n. 2, p. 133, 2010.

DHILLON, Balbir S. **Engineering maintenance: a modern approach**. CRC press, 2002.

DHILLON, Balbir S. **Maintainability, maintenance, and reliability for engineers**. CRC press, 2006.

EMOVON, Ikuobase; NORMAN, Rosemary Anne; MURPHY, Alan John. Elements of maintenance system and tools for implementation within framework of Reliability Centred Maintenance-A review. **Journal of Mechanical Engineering and Technology (JMET)**, v. 8, n. 2, p. 1-34, 2016

HIDALGO, Erick M. Portugal; DE SOUZA, Gilberto F. Martha. ANÁLISE DO TIPO FMEA APLICADA NA DIAGNOSE DE FALHAS NOS SISTEMAS HIDRAULICOS DE REGULADORES DE VELOCIDADE DA TURBINA FRANCIS, **CONEM VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA** Campina Grande – Paraíba, agosto de 2010.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas v. 5, 2010

GUIMARÃES, Leonardo Miranda; NOGUEIRA, Cássio Ferreira; DA SILVA, Margarete Diniz Brás. MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: IMPLEMENTAÇÃO DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM). **exacta**, v. 5, n. 1, 2012.

JOROSKI, Vinicius Tiago. DOS ANJOS, Rui André Maggi. **Estudo de caso: Implementação do método FMEA em um sistema de caldeiraria de uma**

**empresa de Produtos Químicos**. 2015. Monografia. Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Federal do Paraná.

KUMAR, Edwin Vijay; CHATURVEDI, S. K.; DESHPANDÉ, A. W. Maintenance of industrial equipment: Degree of certainty with fuzzy modelling using predictive maintenance. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 26, n. 2, p. 196-211, 2009.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. Fundamentos da metodologia científica. In: **Fundamentos da metodologia científica**. Altas, 2010.

LIU, Hu-Chen; LIU, Long; LIU, Nan. Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. **Expert systems with applications**, v. 40, n. 2, p. 828-838, 2013.

LIU, Hu-Chen; YOU, Jian-Xin; YOU, Xiao-Yue. Evaluating the risk of healthcare failure modes using interval 2-tuple hybrid weighted distance measure. **Computers & Industrial Engineering**, v. 78, p. 249-258, 2014.

NETTO, Wady Abrahão Cury. **A IMPORTÂNCIA E A APLICABILIDADE DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM) NAS INDÚSTRIAS**. 2008. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA.

MARQUES, Jorge Ferreira. **Aplicação da metodologia TRIZ e da manutenção autônoma em atividades de manutenção industrial**. 2014. Tese de Doutorado.

MAKINDE, Olasumbo Ayodeji et al. Establishment of the best maintenance practices for optimal reconfigurable vibrating screen management using decision techniques. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 33, n. 8, p. 1239-1267, 2016.

MODARRES, Mohammad; KAMINSKIY, Mark P.; KRIVTSOV, Vasiliy. **Reliability engineering and risk analysis: a practical guide**. CRC press, 2009.

MOBLEY, R. Keith. **An introduction to predictive maintenance**. Butterworth-Heinemann, 2002.

MOBLEY, R. Keith. **Maintenance fundamentals**. Butterworth-Heinemann, 2011.

MOUBRAY, John. **Manutenção centrada em confiabilidade**. 2. ed. Lutterworth: Aladon Ltd, 2000.

OPOCENSKA, H. A. N. A.; HAMMER, MILOS. Contribution to maintenance issues in company practice. **MM Science Journal**, v. 12, p. 748-755, 2015.

PEROVANO, D.G Manual de metodologia científica: para segurança pública e defesa social. 1ª ed. São Paulo: Juruá Editora, 2014.

PARIDA, Aditya et al. Performance measurement and management for maintenance: a literature review. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 21, n. 1, p. 2-33, 2015.

PETROVIĆ, Dejan V. et al. Risk assessment model of mining equipment failure based on fuzzy logic. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 18, p. 8157-8164, 2014.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

RAZAVI, Behnam. **Decision analysis models for aircraft engine maintenance planning using discrete event simulation**. 2015. Tese de Doutorado. University of British Columbia.

ZAIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel**. 2003.

SEVERO, Ricardo Ferreira; ROMANO, Leonardo Nabaes; CAMARGO, M.N; LINHARES, J.C Aplicação de FMEA em uma máquina rebordeadora de tanques. In: **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Campina Grande- Paraíba, agosto 2010.

SHARMA, Rajiv Kumar; KUMAR, Dinesh; KUMAR, Pradeep. Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 22, n. 9, p. 986-1004, 2005.

SILVA, Edna Lúcia; MENEZES, Estela Muzkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, 2005.

SIMEI, Luís Carlos. **A Manutenção centrada na Confiabilidade como ferramenta de planejamento de manutenção de equipamentos moveis pesados**. III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento. Universidade Taubaté. São Paulo, 2015.

SOUZA, Katarine Lara Silva de. **Aplicação do método FMEA no Restaurante Superperto Gourmet**. SOUZA, Monografia (Graduação em Administração) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.

SOUZA, João Pedro Ribeiro de. **Organização do sistema de manutenção em empresa de lavanderia industrial**. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica da Universidade do Milho, Braga 2011

VAZ, André Portugal; CARAZAS, Fernando Jesus Guevara; SOUZA, GFM. Aplicação das ferramentas de gestão de manutenção baseadas em manutenção centrada em confiabilidade em um laminador desbastador. In: **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**. Campina Grande- Paraíba, agosto 2010.

VILLARI, Bruno Domiciano et al. **Sistematização de problemas e propostas de melhorias da aplicação do FMEA no processo de desenvolvimento de produtos**. 2011. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO.

XAVIER, Francisco José Cavalcante. **MANUTENÇÃO COMO ATIVIDADE DE GESTÃO E ESTRATÉGIA: UM ESTUDO NA EMPRESA ALFA DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Pará.



## **ANEXOS**

## ANEXO A - NR 13 Caldeiras e vasos de Pressão

## NR-13 CALDEIRAS E VASOS DE PRESSÃO

Publicação

[Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978](#)

Alterações/Atualizações

[Portaria SSMT n.º 12, de 06 de junho de 1983](#)14/06/83 [Portaria](#)[SSMT n.º 02, de 08 de maio de 1984](#)07/06/84 [Portaria SSST n.º 23,](#)[de 27 de dezembro de 1994](#)

Rep.: 26/04/95

[Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008](#)

(Redação dada pela Portaria SSST n.º 23, de 27 de dezembro de 1994).

## 13.1 Caldeiras a Vapor - Disposições Gerais.

13.1.1 Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, excetuando-se os refervedores e equipamentos similares utilizados em unidades de processo.

13.1.2 Para efeito desta NR, considera-se "Profissional Habilitado" aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento operação e manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras e vasos de pressão, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País.

13.1.3 Pressão Máxima de Trabalho Permitida - PMTP ou Pressão Máxima de Trabalho Admissível - PMTA é o maior valor de pressão compatível com o código de projeto, a resistência dos materiais utilizados, as dimensões do equipamento e seus parâmetros operacionais.

13.1.4 Constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens:

- a) válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior a PMTA;
- b) instrumento que indique a pressão do vapor acumulado;
- c) injetor ou outro meio de alimentação de água, independente do sistema principal, em caldeiras combustível sólido;
- d) sistema de drenagem rápida de água, em caldeiras de recuperação de álcalis;
- e) sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema que evite o superaquecimento por alimentação deficiente.

13.1.5 Toda caldeira deve ter afixada em seu corpo, em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- a) fabricante;
- b) número de ordem dado pelo fabricante da caldeira;

- c) ano de fabricação;
- d) pressão máxima de trabalho admissível;
- e) pressão de teste hidrostático;
- f) capacidade de produção de vapor;
- g) área de superfície de aquecimento;
- h) código de projeto e ano de edição.

13.1.5.1 Além da placa de identificação devem constar, em local visível, a categoria da caldeira, conforme definida no subitem 13.1.9 desta NR, e seu número ou código de identificação.

13.1.6 Toda caldeira deve possuir, no estabelecimento onde esteve instalada, a seguinte documentação, devidamente atualizada:

- a) "Prontuário da Caldeira", contendo as seguintes informações:
  - código de projeto e ano de edição;
  - especificação dos materiais;
  - procedimentos utilizados na fabricação, montagem, inspeção final e determinação da PMTA;
  - conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira; - características funcionais;
  - dados dos dispositivos de segurança;
  - ano de fabricação;
  - categoria da caldeira;
- b) "Registro de Segurança", em conformidade com o subitem 13.1.7;
- c) "Projeto de Instalação", em conformidade com o item 13.2;
- d) "Projetos de Alteração ou Reparo", em conformidade com os subitens 13.4.2 e 13.4.3;
- e) "Relatórios de Inspeção", em conformidade com os subitens 13.5.11, 13.5.12 e 13.5.13.

13.1.6.1 Quando inexistente ou extraviado, o "Prontuário da Caldeira" deve ser reconstituído pelo proprietário, com responsabilidade técnica do fabricante ou de "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, sendo imprescindível a reconstituição das características funcionais, dos dados dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para determinação da PMTA.

13.1.6.2 Quando a caldeira for vendida ou transferida de estabelecimento, os documentos mencionados nas alíneas "a", "d", e "e" do subitem 13.1.6 devem acompanhá-la.

13.1.6.3 O proprietário da caldeira deverá apresentar, quando exigido pela autoridade competente do Órgão Regional do Ministério do Trabalho, a documentação mencionada no subitem 13.1.6.

13.1.7 O "Registro de Segurança" deve ser constituído de livro próprio, com páginas numeradas, ou outro sistema equivalente onde serão registradas:

- a) todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança da caldeira;
- b) as ocorrências de inspeções de segurança periódicas e extraordinárias, devendo constar o nome legível e assinatura de "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, e de operador de caldeira presente na ocasião da inspeção.

13.1.7.1 Caso a caldeira venha a ser considerada inadequada para uso, o "Registro de Segurança" deve conter tal informação e receber encerramento formal.

13.1.8 A documentação referida no subitem 13.1.6 deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores, do pessoal de manutenção, de inspeção e das representações dos trabalhadores e do empregador na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA, devendo o proprietário assegurar pleno acesso a essa documentação.

13.1.9 Para os propósitos desta NR, as caldeiras são classificadas em 3 categorias, conforme segue:

- a) caldeiras da categoria A são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 Kgf/cm<sup>2</sup>);
- b) caldeiras da categoria "C" são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 KPa (5.99 Kgf/cm<sup>2</sup>) e o volume interno é igual ou inferior a 100 litros;
- c) caldeiras da categoria "B" são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores.

## 13.2 Instalação de Caldeiras a Vapor

13.2.1 A autoria do "Projeto de Instalação" de caldeiras a vapor, no que concerne ao atendimento desta NR, é de responsabilidade de "Profissional Habilitado", conforme citado no subitem 13.1.2, e deve obedecer aos aspectos de segurança, saúde e meio ambiente previstos nas Normas Regulamentadas, convenções e disposições legais aplicáveis.

13.2.2 As caldeiras de qualquer estabelecimento devem ser instaladas em "Casa de Caldeiras" ou em local específico para tal fim, denominado "Área de Caldeiras".

13.2.3 Quando a caldeira for instalada em ambiente aberto, a "Área de Caldeiras" deve satisfazer aos seguintes requisitos:

- a) estar afastada de, no mínimo, 3 (três) metros de:
  - outras instalações do estabelecimento;
  - de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para

- partida com até 2000  
(dois mil) litros de  
capacidade;
- do limite de  
propriedade de  
terceiros; - do limite  
com as vias públicas;
- b) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;
  - c) dispor de acesso fácil e seguro, necessário à operação e à manutenção da caldeira, sendo que, para guarda-corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;
  - d) ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação atendendo às normas ambientais vigentes;
  - e) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes;-
  - f) ter sistema de iluminação de emergência caso operar à noite.

13.2.4 Quando a caldeira estiver instalada em ambiente fechado, a "Casa de Caldeiras" deve satisfazer aos seguintes requisitos: [\(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008\)](#)

- a) constituir prédio separado, construído de material resistente ao fogo, podendo ter apenas uma parede adjacente a outras instalações do estabelecimento, porém com as outras paredes afastadas de, no mínimo, 3 (três) metros de outras instalações, do limite de propriedade de terceiros, do limite com as vias públicas e de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para partida com até 2.000 (dois mil) litros de capacidade;
- b) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;
- c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;
- d) dispor de sensor para detecção de vazamento de gás quando se tratar de caldeira a combustível gasoso. e) não ser utilizada para qualquer outra finalidade;
- f) dispor de acesso fácil e seguro, necessário à operação e à manutenção da caldeira, sendo que, para guarda-corpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;
- g) ter sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão para fora da área de operação, atendendo às normas ambientais vigentes;
- h) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes e ter sistema de iluminação de emergência.

13.2.5 Constitui risco grave e iminente o não-atendimento aos seguintes requisitos:

- a) para todas as caldeiras instaladas em ambiente aberto, as alíneas "b" , "d" e "f" do subitem 13.2.3 desta NR;
- b) para as caldeiras da categoria "A" instaladas em ambientes fechados, as alíneas "a", "b", "c", "d", "e", "g" e "h" do subitem 13.2.4 desta NR; [\(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008\)](#)
- c) para as caldeiras das categorias "B" e "C" instaladas em ambientes fechados, as alíneas "b", "c", "d", "e", "g" e "h" do subitem 13.2.4 desta NR. [\(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008\)](#)

13.2.6 Quando o estabelecimento não puder atender ao disposto nos subitens 13.2.3 ou 13.2.4, deverá ser elaborado "Projeto Alternativo de Instalação", com medidas complementares de segurança que permitam a atenuação dos riscos.

13.2.6.1 O "Projeto Alternativo de Instalação" deve ser apresentado pelo proprietário da caldeira para obtenção de acordo com a representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento.

13.2.6.2 Quando não houver acordo, conforme previsto no subitem 13.2.6.1, a intermediação do órgão regional do MTb poderá ser solicitada por qualquer uma das partes, e, persistindo o impasse, a decisão caberá a esse órgão.

13.2.7 As caldeiras classificadas na categoria "A" deverão possuir painel de instrumentos instalados em sala de controle, construída segundo o que estabelecem as Normas Regulamentadoras aplicáveis.

### 13.3 Segurança na Operação de Caldeiras.

13.3.1 Toda caldeira deve possuir "Manual de Operação" atualizado, em língua portuguesa, em local de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo:

- a) procedimentos de partidas e paradas;
- b) procedimentos e parâmetros operacionais de rotina;
- c) procedimentos para situações de emergência;
- d) procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente.

13.3.2 Os instrumentos e controles de caldeiras devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais, constituindo condição de risco grave e iminente o emprego de artifícios que neutralizem sistemas de controle e segurança da caldeira.

13.3.3 A qualidade da água deve ser controlada e tratamentos devem ser implementados, quando necessários para compatibilizar suas propriedades físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira.

13.3.4 Toda caldeira a vapor deve estar obrigatoriamente sob operação e controle de operador de caldeira, sendo que o não atendimento a esta exigência caracteriza condição de risco grave e iminente.

13.3.5 Para efeito desta NR será considerado operador de caldeira aquele que satisfizer pelo menos uma das seguintes condições:

- a) possuir certificado de "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" e comprovação de estágio (b) prático conforme subitem 13.3.11;
- b) possuir certificado de "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" previsto na NR 13 aprovada pela Portaria 02, de 08/05/84;
- c) possuir comprovação de pelo menos 3 (três) anos de experiência nessa atividade, até 08 de maio de 1984.

13.3.6 O pré-requisito mínimo para participação como aluno, no "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" é o atestado de conclusão do 1º grau.

13.3.7 O "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" deve, obrigatoriamente:

- a) ser supervisionado tecnicamente por "Profissional Habilitado" citado no subitem 13.1.2;
- b) ser ministrado por profissionais capacitados para esse fim;
- c) obedecer, no mínimo, ao currículo proposto no Anexo I-A desta NR.

13.3.8 Os responsáveis pela promoção do "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras" estarão sujeitos ao impedimento de ministrar novos cursos, bem como a outras sanções legais cabíveis, no caso de inobservância do disposto no subitem 13.3.7.

13.3.9 Todo operador de caldeira deve cumprir um estágio prático, na operação da própria caldeira que irá operar, o qual deverá ser supervisionado, documentado e ter duração mínima de:

- a) caldeiras da categoria A: 80 (oitenta) horas;
- b) caldeiras da categoria B: 60 (sessenta) horas;
- c) caldeiras da categoria C: 40 (quarenta) horas.

13.3.10 O estabelecimento onde for realizado o estágio prático supervisionado, deve informar previamente à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento:

- a) período de realização do estágio;
- b) entidade, empresa ou profissional responsável pelo "Treinamento de Segurança na Operação de Caldeiras";
- c) relação dos participantes do estágio.

13.3.11 A reciclagem de operadores deve ser permanente, por meio de constantes informações das condições físicas e operacionais dos equipamentos, atualização técnica, informações de segurança, participação em cursos, palestras e eventos pertinentes.

13.3.12 Constitui condição de risco grave e iminente a operação de qualquer caldeira em condições diferentes das previstas no projeto original, sem que:

- a) seja reprojetaada levando em consideração todas as variáveis envolvidas na nova condição de operação;
- b) sejam adotados todos os procedimentos de segurança decorrentes de sua nova classificação no que se refere a instalação, operação, manutenção e inspeção.

#### 13.4 Segurança na Manutenção de Caldeiras

13.4.1 Todos os reparos ou alterações em caldeiras devem respeitar o respectivo código do projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a:

- a) materiais;
- b) procedimentos de execução;
- c) procedimentos de controle de qualidade;
- d) qualificação e certificação de pessoal.

13.4.1.1 Quando não for conhecido o código do projeto de construção, deve ser respeitada a concepção original da caldeira, com procedimento de controle do maior rigor prescrito nos códigos pertinentes.

13.4.1.2 Nas caldeiras de categorias "A" e "B", a critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, podem ser utilizadas tecnologia de cálculo ou procedimentos mais avançados, em substituição aos previstos pelos códigos de projeto.

13.4.2 "Projetos de Alteração ou Reparo" devem ser concebidos previamente nas seguintes situações:

- a) sempre que as condições de projeto forem modificadas;
- b) sempre que forem realizados reparos que possam comprometer a segurança.

13.4.3 O "Projeto de Alteração ou Reparo" deve:

- a) ser concebido ou aprovado por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2;
- b) determinar materiais, procedimentos de execução, controle de qualidade e qualificação de pessoal.

13.4.4 Todas as intervenções que exijam mandrilamento ou soldagem em partes que operem sob pressão devem ser seguidas de teste hidrostático, com características definidas pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2.

13.4.5 Os sistemas de controle e segurança da caldeira devem ser submetidos à manutenção preventiva ou preditiva.

#### 13.5 Inspeção de Segurança de Caldeiras



13.5.1 As caldeiras devem ser submetidas a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária, sendo considerado condição de risco grave e iminente o não atendimento aos prazos estabelecidos nesta NR.

13.5.2 A inspeção de segurança inicial deve ser feita em caldeiras novas, antes da entrada em funcionamento, no local de operação, devendo compreender exames interno e externo, teste hidrostático e de acumulação.

13.5.3 A inspeção de segurança periódica, constituída por exames interno e externo, deve ser executada nos seguintes prazos máximos:

- a) 12 (doze) meses para caldeiras das categorias "A", "B" e "C";
- b) 12 (doze) meses para caldeiras de recuperação de álcalis de qualquer categoria;
- c) 24 (vinte e quatro) meses para caldeiras da categoria "A", desde que aos 12 (doze) meses sejam testadas as pressões de abertura das válvulas de segurança;
- d) 40 (quarenta) meses para caldeiras especiais conforme definido no item 13.5.5.

13.5.4 Estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme estabelecido no Anexo II, podem estender os períodos entre inspeções de segurança, respeitando os seguintes prazos máximos:

- a) 18 meses para caldeiras de recuperação de álcalis e as das categorias "B" e "C";  
(Alterada pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)
- b) 30 (trinta) meses para caldeiras da categoria "A".

13.5.5 As caldeiras que operam de forma contínua e que utilizam gases ou resíduos das unidades de processo, como combustível principal para aproveitamento de calor ou para fins de controle ambiental podem ser consideradas especiais quando todas as condições seguintes forem satisfeitas:

- a) estiverem instaladas em estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos" citado no Anexo II;
- b) tenham testados a cada 12 (doze) meses o sistema de intertravamento e a pressão de abertura de cada válvula de segurança;
- c) não apresentem variações inesperadas na temperatura de saída dos gases e do vapor durante a operação;
- d) exista análise e controle periódico da qualidade da água;
- e) exista controle de deterioração dos materiais que compõem as principais partes da caldeira;
- f) seja homologada como classe especial mediante:
  - acordo entre a representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento e o empregador;
  - intermediação do órgão regional do MTb, solicitada por qualquer uma das partes quando não houver acordo;
  - decisão do órgão regional do MTb quando persistir o impasse.

13.5.6 Ao completar 25 (vinte e cinco) anos de uso, na sua inspeção subsequente, as caldeiras devem ser submetidas a rigorosa avaliação de integridade para

determinar a sua vida remanescente e novos prazos máximos para inspeção, caso ainda estejam em condições de uso.

13.5.6.1 Nos estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", citado no Anexo II, o limite de 25 (vinte e cinco) anos pode ser alterado em função do acompanhamento das condições da caldeira, efetuado pelo referido órgão.

13.5.7 As válvulas de segurança instaladas em caldeiras devem ser inspecionadas periodicamente conforme segue:

- a) pelo menos uma vez por mês, mediante acionamento manual da alavanca, em operação, para caldeiras das categorias "B" e "C";
- b) desmontando, inspecionando e testando em bancada as válvulas flangeadas e, no campo, as válvulas soldadas, recalibrando-as numa frequência compatível com a experiência operacional da mesma, porém respeitando-se como limite máximo o período de inspeção estabelecido no subitem 13.5.3 ou 13.5.4, se aplicável para caldeiras de categorias "A" e "B".

13.5.8 Adicionalmente aos testes prescritos no subitem 13.5.7, as válvulas de segurança instaladas em caldeiras deverão ser submetidas a testes de acumulação, nas seguintes oportunidades:

- a) na inspeção inicial da caldeira;
- b) quando forem modificadas ou tiverem sofrido reformas significativas;
- c) quando houver modificação nos parâmetros operacionais da caldeira ou variação na PMTA;
- d) quando houver modificação na sua tubulação de admissão ou descarga.

13.5.9 A inspeção de segurança extraordinária deve ser feita nas seguintes oportunidades:

- a) sempre que a caldeira for danificada por acidente ou outra ocorrência capaz de comprometer sua segurança;
- b) quando a caldeira for submetida à alteração ou reparo importante capaz de alterar suas condições de segurança;
- c) antes de a caldeira ser recolocada em funcionamento, quando permanecer inativa por mais de 6 (seis) meses;
- d) quando houver mudança de local de instalação da caldeira.

13.5.10 A inspeção de segurança deve ser realizada por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, ou por "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", citado no Anexo II.

13.5.11 Inspecionada a caldeira, deve ser emitido "Relatório de Inspeção", que passa a fazer parte da sua documentação.

13.5.12 Uma cópia do "Relatório de Inspeção" deve ser encaminhada pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, num prazo máximo de 30 (trinta)

dias, a contar do término da inspeção, à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento.

13.5.13 O "Relatório de Inspeção", mencionado no subitem 13.5.11, deve conter no mínimo:

- a) dados constantes na placa de identificação da caldeira;
- b) categoria da caldeira;
- c) tipo da caldeira;
- d) tipo de inspeção executada;
- e) data de início e término da inspeção;
- f) descrição das inspeções e testes executados;
- g) resultado das inspeções e providências;
- h) relação dos itens desta NR ou de outras exigências legais que não estão sendo atendidas; i) conclusões;
- j) recomendações e providências necessárias;
- k) data prevista para a nova inspeção da caldeira;
- l) nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2 e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção.

13.5.14 Sempre que os resultados da inspeção determinarem alterações dos dados da placa de identificação, a mesma deve ser atualizada.

## 13.6 Vasos de Pressão - Disposições Gerais

13.6.1 Vasos de pressão são equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna ou externa.

13.6.1.1 O campo de aplicação desta NR, no que se refere a vasos de pressão, está definido no Anexo III.

13.6.1.2 Os vasos de pressão abrangidos por esta NR estão classificados em categorias de acordo com o Anexo IV.

13.6.2 Constitui risco grave e iminente a falta de qualquer um dos seguintes itens:

- a) válvula ou outro dispositivo de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à PMTA, instalada diretamente no vaso ou no sistema que o inclui;
- b) dispositivo de segurança contra bloqueio inadvertido da válvula quando esta não estiver instalada diretamente no vaso;
- c) instrumento que indique a pressão de operação.

13.6.3 Todo vaso de pressão deve ter afixado em seu corpo em local de fácil acesso e bem visível, placa de identificação indelével com, no mínimo, as seguintes informações:

- a) fabricante;
- b) número de identificação;
- c) ano de fabricação;
- d) pressão máxima de trabalho admissível;
- e) pressão de teste hidrostático;
- f) código de projeto e ano de edição.

13.6.3.1 Além da placa de identificação, deverão constar, em local visível, a categoria do vaso, conforme Anexo IV, e seu número ou código de identificação.

13.6.4 Todo vaso de pressão deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalado, a seguinte documentação devidamente atualizada:

- a) "Prontuário do Vaso de Pressão" a ser fornecido pelo fabricante, contendo as seguintes informações: - código de projeto e ano de edição;
  - especificação dos materiais;
  - procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final e determinação da PMTA; - conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil; - características funcionais;
  - dados dos dispositivos de segurança;
  - ano de fabricação; - categoria do vaso;
- b) "Registro de Segurança" em conformidade com o subitem 13.6.5;
- c) "Projeto de Instalação" em conformidade com o item 13.7;
- d) "Projeto de Alteração ou Reparo" em conformidade com os subitens 13.9.2 e 13.9.3;
- e) "Relatórios de Inspeção" em conformidade com o subitem 13.10.8.

13.6.4.1 Quando inexistente ou extraviado, o "Prontuário do Vaso de Pressão" deve ser reconstituído pelo proprietário com responsabilidade técnica do fabricante ou de "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, sendo imprescindível a reconstituição das características funcionais, dos dados dos dispositivos de segurança e dos procedimentos para determinação da PMTA.

13.6.4.2 O proprietário de vaso de pressão deverá apresentar, quando exigida pela autoridade competente do órgão regional do Ministério do Trabalho, a documentação mencionada no subitem 13.6.4.

13.6.5 O "Registro de Segurança" deve ser constituído por livro de páginas numeradas, pastas ou sistema informatizado ou não com confiabilidade equivalente onde serão registradas:

- a) todas as ocorrências importantes capazes de influir nas condições de segurança dos vasos;

b) as ocorrências de inspeção de segurança.

13.6.6 A documentação referida no subitem 13.6.4 deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores do pessoal de manutenção, de inspeção e das representações dos trabalhadores e do empregador na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes - CIPA, devendo o proprietário assegurar pleno acesso a essa documentação inclusive à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento, quando formalmente solicitado.

### 13.7 Instalação de Vasos de Pressão

13.7.1 Todo vaso de pressão deve ser instalado de modo que todos os drenos, respiros, bocas de visita e indicadores de nível, pressão e temperatura, quando existentes, sejam facilmente acessíveis.

13.7.2 Quando os vasos de pressão forem instalados em ambientes fechados, a instalação deve satisfazer os seguintes requisitos: [\(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008\)](#)

- a) dispor de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas e dispostas em direções distintas;
- b) dispor de acesso fácil e seguro para as atividades de manutenção, operação e inspeção, sendo que, para guardacorpos vazados, os vãos devem ter dimensões que impeçam a queda de pessoas;
- c) dispor de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas;
- d) dispor de iluminação conforme normas oficiais vigentes;
- e) possuir sistema de iluminação de emergência.

13.7.3 Quando o vaso de pressão for instalado em ambiente aberto, a instalação deve satisfazer as alíneas "a", "b", "d" e "e" do subitem 13.7.2.

13.7.4 Constitui risco grave e iminente o não atendimento às seguintes alíneas do subitem 13.7.2:

- "a", "c" "d" e "e" para vasos instalados em ambientes [fechados](#); [\(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008\)](#)
- "a" para vasos instalados em ambientes abertos;
- "e" para vasos instalados em ambientes abertos e que operem à noite.

13.7.5 Quando o estabelecimento não puder atender ao disposto no subitem 13.7.2 deve ser elaborado "Projeto Alternativo de Instalação" com medidas complementares de segurança que permitam a atenuação dos riscos.

13.7.5.1 O "Projeto Alternativo de Instalação" deve ser apresentado pelo proprietário do vaso de pressão para obtenção de acordo com a representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento.

13.7.5.2 Quando não houver acordo, conforme previsto no subitem 13.7.5.1, a intermediação do órgão regional do MTb poderá ser solicitada por qualquer uma das partes e, persistindo o impasse, a decisão caberá a esse órgão.

13.7.6 A autoria do "Projeto de Instalação" de vasos de pressão enquadrados nas categorias "I", "II" e "III", conforme Anexo IV, no que concerne ao atendimento desta NR, é de responsabilidade de "Profissional Habilitado", conforme citado no subitem 13.1.2, e deve obedecer aos aspectos de segurança, saúde e meio ambiente previstos nas Normas Regulamentadoras, convenções e disposições legais aplicáveis.

13.7.7 O "Projeto de Instalação" deve conter pelo menos a planta baixa do estabelecimento, com o posicionamento e a categoria de cada vaso e das instalações de segurança.

### 13.8 Segurança na Operação de Vasos de Pressão

13.8.1 Todo vaso de pressão enquadrado nas categorias "I" ou "II" deve possuir manual de operação próprio ou instruções de operação contidas no manual de operação de unidade onde estiver instalado, em língua portuguesa e de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo:

- a) procedimentos de partidas e paradas;
- b) procedimentos e parâmetros operacionais de rotina;
- c) procedimentos para situações de emergência;
- d) procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente.

13.8.2 Os instrumentos e controles de vasos de pressão devem ser mantidos calibrados e em boas condições operacionais.

13.8.2.1 Constitui condição de risco grave e iminente o emprego de artifícios que neutralizem seus sistemas de controle e segurança.

13.8.3 A operação de unidades que possuam vasos de pressão de categorias "I" ou "II" deve ser efetuada por profissional com "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processos", sendo que o não atendimento a esta exigência caracteriza condição de risco grave e iminente.

13.8.4 Para efeito desta NR será considerado profissional com "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" aquele que satisfizer uma das seguintes condições:

- a) possuir certificado de "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" expedido por instituição competente para o treinamento;
- b) possuir experiência comprovada na operação de vasos de pressão das categorias "I" ou "II" de pelo menos 2 (dois) anos antes da vigência desta NR.

13.8.5 O pré-requisito mínimo para participação, como aluno, no "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" é o atestado de conclusão do 1º grau.

13.8.6 O "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" deve obrigatoriamente:

- a) ser supervisionado tecnicamente por "Profissional Habilitado" citado no subitem 13.1.2;
- b) ser ministrado por profissionais capacitados para esse fim;
- c) obedecer, no mínimo, ao currículo proposto no Anexo I-B desta NR.

13.8.7 Os responsáveis pela promoção do "Treinamento de Segurança na Operação de Unidades de Processo" estarão sujeitos ao impedimento de ministrar novos cursos, bem como a outras sanções legais cabíveis, no caso de inobservância do disposto no subitem 13.8.6.

13.8.8 Todo profissional com "Treinamento de Segurança na Operação de Unidade de Processo" deve cumprir estágio prático, supervisionado, na operação de vasos de pressão com as seguintes durações mínimas: a) 300 (trezentas) horas para vasos de categorias "I" ou "II";  
b) 100 (cem) horas para vasos de categorias "III", "IV" ou "V".

13.8.9 O estabelecimento onde for realizado o estágio prático supervisionado deve informar previamente à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento:

- a) período de realização do estágio;
- b) entidade, empresa ou profissional responsável pelo "Treinamento de Segurança na Operação de Unidade de Processo";
- c) relação dos participantes do estágio.

13.8.10 A reciclagem de operadores deve ser permanente por meio de constantes informações das condições físicas e operacionais dos equipamentos, atualização técnica, informações de segurança, participação em cursos, palestras e eventos pertinentes.

13.8.11 Constitui condição de risco grave e iminente a operação de qualquer vaso de pressão em condições diferentes das previstas no projeto original, sem que:

- a) seja reprojeto levando em consideração todas as variáveis envolvidas na nova condição de operação;
- b) sejam adotados todos os procedimentos de segurança decorrentes de sua nova classificação no que se refere à instalação, operação, manutenção e inspeção.

13.9 Segurança na Manutenção de Vasos de Pressão

13.9.1 Todos os reparos ou alterações em vasos de pressão devem respeitar o respectivo código de projeto de construção e as prescrições do fabricante no que se refere a:

- a) materiais;
- b) procedimentos de execução;
- c) procedimentos de controle de qualidade;
- d) qualificação e certificação de pessoal.

13.9.1.1 Quando não for conhecido o código do projeto de construção, deverá ser respeitada a concepção original do vaso, empregando-se procedimentos de controle do maior rigor, prescritos pelos códigos pertinentes.

13.9.1.2 A critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, podem ser utilizadas tecnologias de cálculo ou procedimentos mais avançados, em substituição aos previstos pelos códigos de projeto.

13.9.2 "Projetos de Alteração ou Reparo" devem ser concebidos previamente nas seguintes situações:

- a) sempre que as condições de projeto forem modificadas;
- b) sempre que forem realizados reparos que possam comprometer a segurança.

13.9.3 O "Projeto de Alteração ou Reparo" deve:

- a) ser concebido ou aprovado por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2;
- b) determinar materiais, procedimentos de execução, controle de qualidade e qualificação de pessoal;
- c) ser divulgado para funcionários do estabelecimento que possam estar envolvidos com o equipamento.

13.9.4 Todas as intervenções que exijam soldagem em partes que operem sob pressão devem ser seguidas de teste hidrostático, com características definidas pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, levando em conta o disposto no item 13.10.

13.9.4.1 Pequenas intervenções superficiais podem ter o teste hidrostático dispensado, a critério do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2.

13.9.5 Os sistemas de controle e segurança dos vasos de pressão devem ser submetidos à manutenção preventiva ou preditiva.

## 13.10 Inspeção de Segurança de Vasos de Pressão

13.10.1 Os vasos de pressão devem ser submetidos a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária.



13.10.2 A inspeção de segurança inicial deve ser feita em vasos novos, antes de sua entrada em funcionamento, no local definitivo de instalação, devendo compreender exame externo, interno e teste hidrostático, considerando as limitações mencionadas no subitem 13.10.3.5.

13.10.3 A inspeção de segurança periódica, constituída por exame externo, interno e teste hidrostático, deve obedecer aos seguintes prazos máximos estabelecidos a seguir:

a) para estabelecimentos que não possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme citado no Anexo

II:

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I	1 ANO	3 ANOS	6 ANOS
II	2 ANOS	4 ANOS	8 ANOS
III	3 ANOS	6 ANOS	12 ANOS
IV	4 ANOS	8 ANOS	16 ANOS
V	5 ANOS	10 ANOS	20 ANOS

b) para estabelecimentos que possuam "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme citado no Anexo II:

Categoria do Vaso	Exame Externo	Exame Interno	Teste Hidrostático
I	3 ANOS	6 ANOS	12 ANOS
II	4 ANOS	8 ANOS	16 ANOS
III	5 ANOS	10 ANOS	a critério
IV	6 ANOS	12 ANOS	a critério
V	7 ANOS	a critério	a critério

13.10.3.1 Vasos de pressão que não permitam o exame interno ou externo por impossibilidade física devem ser alternativamente submetidos a teste hidrostático, considerando-se as limitações previstas no subitem 13.10.3.5.

13.10.3.2 Vasos com enchimento interno ou com catalisador podem ter a periodicidade de exame interno ou de teste hidrostático ampliada, de forma a coincidir com a época da substituição de enchimentos ou de catalisador, desde que esta ampliação não ultrapasse 20% do prazo estabelecido no subitem 13.10.3 desta NR.

13.10.3.3 Vasos com revestimento interno higroscópico devem ser testados hidrostaticamente antes da aplicação do mesmo, sendo os testes subseqüentes substituídos por técnicas alternativas.

13.10.3.4 Quando for tecnicamente inviável e mediante anotação no "Registro de Segurança" pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, o teste hidrostático pode ser substituído por outra técnica de ensaio não-destrutivo ou inspeção que permita obter segurança equivalente.

13.10.3.5 Considera-se como razões técnicas que inviabilizam o teste hidrostático:

- a) resistência estrutural da fundação ou da sustentação do vaso incompatível com o peso da água que seria usada no teste;
- b) efeito prejudicial do fluido de teste a elementos internos do vaso;
- c) impossibilidade técnica de purga e secagem do sistema;
- d) existência de revestimento interno;
- e) influência prejudicial do teste sobre defeitos sub-críticos.

13.10.3.6 Vasos com temperatura de operação inferior a 0°C e que operem em condições nas quais a experiência mostre que não ocorre deterioração, ficam dispensados do teste hidrostático periódico, sendo obrigatório exame interno a cada 20 (vinte) anos e exame externo a cada 2 (dois) anos.

13.10.3.7 Quando não houver outra alternativa, o teste pneumático pode ser executado, desde que supervisionado pelo "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, e cercado de cuidados especiais por tratar-se de atividade de alto risco.

13.10.4 As válvulas de segurança dos vasos de pressão devem ser desmontadas, inspecionadas e recalibradas por ocasião do exame interno periódico.

13.10.5 A inspeção de segurança extraordinária deve ser feita nas seguintes oportunidades:

- a) sempre que o vaso for danificado por acidente ou outra ocorrência que comprometa sua segurança;
- b) quando o vaso for submetido a reparo ou alterações importantes, capazes de alterar sua condição de segurança;
- c) antes de o vaso ser recolocado em funcionamento, quando permanecer inativo por mais de 12 (doze) meses;
- d) quando houver alteração do local de instalação do vaso.

13.10.6 A inspeção de segurança deve ser realizada por "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2 ou por "Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos", conforme citado no Anexo II.

13.10.7 Após a inspeção do vaso deve ser emitido "Relatório de Inspeção", que passa a fazer parte da sua documentação.

13.10.8 O "Relatório de Inspeção" deve conter no mínimo:

- a) identificação do vaso de pressão;
- b) fluidos de serviço e categoria do vaso de pressão;
- c) tipo do vaso de pressão;
- d) data de início e término da inspeção;
- e) tipo de inspeção executada;
- f) descrição dos exames e testes executados;
- g) resultado das inspeções e intervenções executadas;
- h) conclusões;
- i) recomendações e providências necessárias;
- j) data prevista para a próxima inspeção;
- k) nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do "Profissional Habilitado", citado no subitem 13.1.2, e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção.

13.10.9 Sempre que os resultados da inspeção determinarem alterações dos dados da placa de identificação, a mesma deve ser atualizada.

## ANEXO I-A

### CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE CALDEIRAS"

#### 1- NOÇÕES DE GRANDEZAS FÍSICAS E UNIDADES

Carga Horária: 4 horas

- 1.1 - Pressão
  - 1.1.1 - Pressão atmosférica
  - 1.1.2 - Pressão interna de um vaso
  - 1.1.3 - Pressão manométrica, pressão relativa e pressão absoluta
  - 1.1.4 - Unidades de pressão
- 1.2 - Calor e Temperatura
  - 1.2.1 - Noções gerais: o que é calor, o que é temperatura
  - 1.2.2 - Modos de transferência de calor
  - 1.2.3 - Calor específico e calor sensível
  - 1.2.4 - Transferência de calor a temperatura constante
  - 1.2.5 - Vapor saturado e vapor superaquecido
  - 1.2.6 - Tabela de vapor saturado

#### 2- CALDEIRAS - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Carga horária: 08 horas

- 2.1 - Tipos de caldeiras e suas utilizações
- 2.2 - Partes de uma caldeira
  - 2.2.1 - Caldeiras flamotubulares
  - 2.2.2 - Caldeiras aquotubulares
  - 2.2.3 - Caldeiras elétricas

- 2.2.4 - Caldeiras a combustíveis sólidos
- 2.2.5 - Caldeiras a combustíveis líquidos
- 2.2.6 - Caldeiras a gás
- 2.2.7 - Queimadores
- 2.3 - Instrumentos e dispositivos de controle de caldeiras
  - 2.3.1 - Dispositivo de alimentação
  - 2.3.2 - Visor de nível
  - 2.3.3 - Sistema de controle de nível
  - 2.3.4 - Indicadores de pressão
  - 2.3.5 - Dispositivos de segurança
  - 2.3.6 - Dispositivos auxiliares
  - 2.3.7 - Válvulas e tubulações
  - 2.3.8 - Tiragem de fumaça

### 3- OPERAÇÃO DE CALDEIRAS

Carga horária: 12 horas

- 3.1 - Partida e parada
- 3.2 - Regulagem e controle
  - 3.2.1 - de temperatura
  - 3.2.2 - de pressão
  - 3.2.3 - de fornecimento de energia
  - 3.2.4 - do nível de água
  - 3.2.5 - de poluentes
- 3.3 - Falhas de operação, causas e providências
- 3.4 - Roteiro de vistoria diária
- 3.5 - Operação de um sistema de várias caldeiras
- 3.6 - Procedimentos em situações de emergência

### 4- TRATAMENTO DE ÁGUA E MANUTENÇÃO DE CALDEIRAS

Carga horária: 8 horas

- 4.1 - Impurezas da água e suas conseqüências
- 4.2 - Tratamento de água
- 4.3 - Manutenção de caldeiras

### 5- PREVENÇÃO CONTRA EXPLOSÕES E OUTROS RISCOS

Carga horária: 4 horas

- 5.1 - Riscos gerais de acidentes e riscos à saúde
- 5.2 - Riscos de explosão

### 6. LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Carga horária: 4 horas

- 6.1 - Normas Regulamentadoras
- 6.2 - Norma Regulamentadora 13 - NR 13

## ANEXO I-B

## CURRÍCULO MÍNIMO PARA "TREINAMENTO DE SEGURANÇA NA OPERAÇÃO DE UNIDADES DE PROCESSO"

## 1- Noções de grandezas físicas e unidades Carga horária: 4 (quatro) horas

- 1.1 - Pressão
  - 1.1.1 - Pressão atmosférica
  - 1.1.2 - Pressão interna de um vaso
  - 1.1.3 - Pressão manométrica, pressão relativa e pressão absoluta
  - 1.1.4 - Unidades de pressão
- 1.2 - Calor e temperatura
  - 1.2.1 - Noções gerais: o que é calor, o que é temperatura
  - 1.2.2 - Modos de transferência de calor
  - 1.2.3 - Calor específico e calor sensível
  - 1.2.4 - Transferência de calor a temperatura constante
  - 1.2.5 - Vapor saturado e vapor superaquecido

## 2- EQUIPAMENTOS DE PROCESSO

Carga horária estabelecida de acordo com a complexidade da unidade, mantendo um mínimo de 4 horas por item, onde aplicável.

- 2.1 - Trocadores de calor
- 2.2 - Tubulação, válvulas e acessórios
- 2.3 - Bombas
- 2.4 - Turbinas e ejetores
- 2.5 - Compressores
- 2.6 - Torres, vasos, tanques e reatores
- 2.7 - Fornos
- 2.8 - Caldeiras

## 3- ELETRICIDADE

Carga horária: 4 horas

## 4- INSTRUMENTAÇÃO

Carga horária: 8 horas

## 5- OPERAÇÃO DA UNIDADE

Carga horária: estabelecida de acordo com a complexidade da unidade

- 5.1 - Descrição do processo
- 5.2 - Partida e parada
- 5.3 - Procedimentos de emergência
- 5.4 - Descarte de produtos químicos e preservação do meio ambiente
- 5.5 - Avaliação e controle de riscos inerentes ao processo

## 5.6 - Prevenção contra deterioração, explosão e outros riscos

### 6- PRIMEIROS SOCORROS

Carga horária: 8 horas

### 7- LEGISLAÇÃO E NORMALIZAÇÃO

Carga horária: 4 horas

## ANEXO II

### REQUISITOS PARA CERTIFICAÇÃO DE "SERVIÇO PRÓPRIO DE INSPEÇÃO DE EQUIPAMENTOS"

Antes de colocar em prática os períodos especiais entre inspeções, estabelecidos nos subitens 13.5.4 e 13.10.3 desta NR, os "Serviços Próprios de Inspeção de Equipamentos" da empresa, organizados na forma de setor, seção, departamento, divisão, ou equivalente, devem ser certificados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) diretamente ou mediante "Organismos de Certificação" por ele credenciados, que verificarão o atendimento aos seguintes requisitos mínimos expressos nas alíneas "a" a "g". Esta certificação pode ser cancelada sempre que for constatado o não atendimento a qualquer destes requisitos:

- a) existência de pessoal próprio da empresa onde estão instalados caldeira ou vaso de pressão, com dedicação exclusiva a atividades de inspeção, avaliação de integridade e vida residual, com formação, qualificação e treinamento compatíveis com a atividade proposta de preservação da segurança;
- b) mão-de-obra contratada para ensaios não-destrutivos certificada segundo regulamentação vigente e para outros serviços de caráter eventual, selecionada e avaliada segundo critérios semelhantes ao utilizado para a mão-de-obra própria;
- c) serviço de inspeção de equipamentos proposto possuir um responsável pelo seu gerenciamento formalmente designado para esta função;
- d) existência de pelo menos 1 "Profissional Habilitado", conforme definido no subitem 13.1.2;
- e) existência de condições para manutenção de arquivo técnico atualizado, necessário ao atendimento desta NR, assim como mecanismos para distribuição de informações quando requeridas;
- f) existência de procedimentos escritos para as principais atividades executadas; existência de aparelhagem condizente com a execução das atividades propostas.

## ANEXO III

1 - Esta NR deve ser aplicada aos seguintes equipamentos:

- a) qualquer vaso cujo produto "P.V" seja superior a 8 (oito), onde "P" é a máxima pressão de operação em kPa e "V" o seu volume geométrico interno em m<sup>3</sup>, incluindo:
  - permutadores de calor, evaporadores e similares;

- vasos de pressão ou partes sujeitas a chama direta que não estejam dentro do escopo de outras NR, nem do item

13.1 desta NR;

- vasos de pressão encamisados, incluindo refervedores e reatores; - autoclaves e caldeiras de fluido térmico que não o vaporizem;

- b) vasos que contenham fluido da classe "A", especificados no Anexo IV, independente das dimensões e do produto "P.V".

2 - Esta NR não se aplica aos seguintes equipamentos:

- a) cilindros transportáveis, vasos destinados ao transporte de produtos, reservatórios portáteis de fluido comprimido e extintores de incêndio;
- b) os destinados à ocupação humana;
- c) câmara de combustão ou vasos que façam parte integrante de máquinas rotativas ou alternativas, tais como bombas, compressores, turbinas, geradores, motores, cilindros pneumáticos e hidráulicos e que não possam ser caracterizados como equipamentos independentes;
- d) dutos e tubulações para condução de fluido;
- e) serpentinas para troca térmica;
- f) tanques e recipientes para armazenamento e estocagem de fluidos não enquadrados em normas e códigos de projeto relativos a vasos de pressão;
- g) vasos com diâmetro interno inferior a 150 (cento e cinquenta) mm para fluidos das classes "B", "C" e "D", conforme especificado no Anexo IV.

## ANEXO IV

### CLASSIFICAÇÃO DE VASOS DE PRESSÃO

1 - Para efeito desta NR, os vasos de pressão são classificados em categorias segundo o tipo de fluido e o potencial de risco.

1.1 - Os fluidos contidos nos vasos de pressão são classificados conforme descrito a seguir:

CLASSE "A": - fluidos inflamáveis;

- combustível com temperatura superior ou igual a 200° C;
- fluidos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a 20 ppm;
- hidrogênio; - acetileno.

CLASSE "B": - fluidos combustíveis com temperatura inferior a 200° C;

- fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a 20 (vinte) ppm;

CLASSE "C": - vapor de água, gases asfixiantes simples ou ar comprimido;

CLASSE "D": - água ou outros fluidos não enquadrados nas classes "A", "B" ou "C", com temperatura

superior a 50°C.

1.1.1 - Quando se tratar de mistura, deverá ser considerado para fins de classificação o fluido que apresentar maior risco aos trabalhadores e instalações, considerando-se sua toxicidade, inflamabilidade e concentração.

1.2 - Os vasos de pressão são classificados em grupos de potencial de risco em função do produto "PV", onde "P" é a pressão máxima de operação em Mpa e "V" o seu volume geométrico interno em m<sup>3</sup>, conforme segue:

GRUPO 1 -	PV ≥ 100
GRUPO 2 -	PV < 100 e PV ≥ 30
GRUPO 3 -	PV < 30 e PV ≥ 2.5
GRUPO 4 -	PV < 2.5 e PV ≥ 1
GRUPO 5 -	PV < 1

Declara,

1.2.1 - Vasos de pressão que operem sob a condição de vácuo deverão enquadrar-se nas seguintes categorias: -

categoria I: para fluidos inflamáveis ou combustíveis;

- categoria V: para outros fluidos.

1.3 - A tabela a seguir classifica os vasos de pressão em categorias de acordo com os grupos de potencial de risco e a classe de fluido contido.

### CATEGORIAS DE VASOS DE PRESSÃO

CLASSE DE FLUIDO	GRUPO DE POTENCIAL DE RISCO				
	1	2	3	4	5
	P.V ≥ 100	P.V < 100 P.V ≥ 30	P.V < 30 P.V ≥ 2,5	P.V < 2,5 P.V ≥ 1	P.V < 1
	CATEGORIAS				
"A" - Fluido inflamável, combustível com temperatura igual ou superior a 200 °C - Tóxico com limite de tolerância ≤ 20 ppm - Hidrogênio - Acetileno (Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)	I	I	II	III	III



<p>“B”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combustível com temperatura menor que 200 °C</li> <li>- Tóxico com limite de tolerância &gt; 20 ppm</li> </ul>	I	II	III	IV	IV
<p>“C”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vapor de água</li> <li>- Gases asfixiantes simples</li> <li>- Ar comprimido</li> </ul>	I	II	III	IV	V
<p>“D”</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Outro Fluido</li> </ul> <p>(Alterado pela Portaria SIT n.º 57, de 19 de junho de 2008)</p>	II	III	IV	V	V

Notas:

- a) Considerar volume em m<sup>3</sup> e pressão em MPa;
- b) Considerar 1 MPa correspondente à 10,197 Kgf/cm<sup>2</sup>.

## APÊNDICE

## APÊNDICE A- Histórico de Falhas 2014 – 2017

Histórico de Falhas 2014 -2017							(início)	
Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	Interrupção do Processo		
						SIM	NÃO	
03/01/2014	141-VAL-001	91	TROCAR VALVULAS DE DESCARGA 01 DA CALDEIRA	47,2	0,83		X	
06/01/2014	141-VAL-001	90	VAZAMENTO NA VALVULA DE DESCARGA 01 DA CALDEIRA BIOMASSA	71,2	0,33		X	
12/01/2014	141-TNQ-004	112	CURTO CIRCUITO NO CABO DE SAIDA DO MOTOR QUEIMOU UM FUZIVEL	143,7	1,85		X	
16/01/2014	141-LVP-001	129	ELIMINAÇÃO DE VAZAMENTO NA LINHA DE VAPOR	94,2	0,83	X		
20/01/2014	141-VIN-001	157	TROCA DE JUNTA DO VISOR DA CALDEIRA	95,2	1,67		X	
23/01/2014	141-VAL-002	151	TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA	70,3	0,33		X	
29/01/2014	141-VAL-003	145	VAZAMENTO NA JUNTA DE VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA BIOMASSA	143,7	0,58		X	
07/02/2014	141-VAL-001	138	JUNTA DA VALVULA NUMERO 01 DA CALDEIRA BIOMASSA	215,4	0,42		X	
11/02/2014	141-VAL-003	146	TROCA DE VALVULA 03	95,6	2,33	X		
11/02/2014	141-PNE-001	158	TROCAR CORREIAS DA PENEIRA DE DISCOS	5,8	0,33		X	
24/02/2014	141-VIN-001	137	VAZAMENTO NO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA BIOMASSA	311,7	0,25		X	
07/03/2014	141-VIN-001	396	VERIFICAR DEFEITO NO CONTROLADOR DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA DE BIOMASSA	263,8	3,22	X		
11/03/2014	141-LVP-001	325	ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA CALDEIRA	92,8	1,00	X		
12/03/2014	141-LCD-001	346	TROCAR TUBULAÇÃO DO CONDENSADO DA CALDEIRA	23,0	10,00	X		
16/03/2014	141-EXA-001	417	DESARMOU DISJUNTOR DE COMANDO	86,0	0,17	X		
27/03/2014	141-PEL-001	401	DESARMOU DISJUNTOR DE COMANDO DA CALDEIRA	263,8	0,33	X		
10/04/2014	141-EXA-001	431	SOLDAR PINOS DO DAMPER DO EXAUSTOR	20,8	1,00		X	
15/04/2014	141-EST-001	246	REGULAGEM NA BICA DE CAVACO CALDEIRA	119,0	0,17		X	
15/04/2014	141-ROS-002	255	MANUTENÇÃO DA ROSCA DOSADORA DA CALDEIRA	3,4	2,00	X		
16/04/2014	141-ROS-002	258	TROCAR BUCHA E ROLAMENTO NA ROSCA DOSADORA DA PENEIRA DE DISCO	22,0	1,50		X	
06/05/2014	141-LCD-001	222	SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO	331,2	0,58		X	

(continua)

Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	(continuação)	
						Interrupção do Processo	
						SIM	NÃO
09/05/2014	141-EST-001	447	TROCA DE ROLINHOS DA CORREIA DE CAVACO	71,4	5,00		X
12/06/2014	141-VIN-001	503	TROCAR VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA	811,0	4,00		X
13/06/2014	141-EXA-001	507	TROCAR CORREIAS	20,0	1,25	X	
13/06/2014	141-TNQ-002	523	REVISAR COMANDO ELETRICO DO CONTROLE DE NIVEL DE DÁGUA DA CALDEIRA	18,0	3,50		X
16/06/2014	141-TNQ-001	521	FAZER MANUTENÇÃO NA VALVULA SOLENOIDE DA CAIXA DÁGUA DA CALDEIRA	68,5	2,50		X
17/06/2014	141-MOE-001	515	REGULAR BANDEJA DOSADORA DE CAVACO	21,5	1,00		X
20/06/2014	141-TNQ-002	530	EFETUAR REPAROS NO COMANDO DO MOT-0049	71,0	2,00		X
01/07/2014	141-VNT-001	628	MANUTENÇÃO NOS CABOS DO MOTOR ELÉTRICO DO VENTILADOR PRIMÁRIO	262,0	1,50		X
04/07/2014	141-VIN-001	642	MANUTENÇÃO NO VISOR DE NIVEL DA CAIXA DÁGUA	70,5	3,50		X
04/07/2014	141-TNQ-001	654	FAZER MANUTENÇÃO NO COMANDO DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA BIOMASSA	1,3	2,67	X	
15/07/2014	141-VAL-002	678	TROCAR VÁLVULA DE DESCARGA 02 DA CALDEIRA BREMER	261,3	0,42	X	
23/07/2014	141-VAL-003	713	TROCA DE JUNTA E VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA BIOMASSA	191,6	0,25	X	
24/07/2014	141-MOE-001	724	TROCAR CORREIAS DA ROSCA DA MOEGA DA CALDEIRA	23,8	1,00		X
31/07/2014	141-VIN-001	752	TROCAR VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA	167,0	3,00		X
31/07/2014	141-EST-003	753	TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA CORREIA TRANSPORTADORA DE ALIMENTAÇÃO DO SILO	4,2	0,50		X
06/08/2014	141-VIN-001	804	SOLDAR TUBULAÇÃO DE NIVEL DE ÁGUA DA CALDEIRA	143,5	0,33	X	
07/08/2014	141-ROS-002	806	TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO	23,7	2,00	X	
07/08/2014	141-TNQ-003	818	Trocar visor do tanque do abrandador	8,9	2,00		X
04/09/2014	141-EXA-001	940	TROCAR CORREIAS DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA	670,0	1,17	X	
08/09/2014	141-LCD-001	959	ELIMINAR VAZAMENTO DE CONDENSADO	94,8	1,00		X
16/09/2014	141-ROS-002	918	TROCAR CALHA DA ROSCA DOSADORA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	191,0	8,00	X	
16/09/2014	141-EXA-001	927	TROCA DO MOTOR DEVIDO A RUIDOS NO ROLAMENTO	11,2	18,00	X	
16/09/2014	141-MOE-001	928	TROCAR CALHA DE SAÍDA DA MOEGA PARA CORREIA	3,6	2,00	X	

(continua)

Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	(continuação)	
						Interrupção do Processo	
						SIM	NÃO
16/09/2014	141-MOE-001	930	TROCAR OS ROLAMENTOS DE ACIONAMENTO DA MOEGA	2,3	6,00		X
16/09/2014	141-MOE-001	931	TROCAR OS ROLAMENTOS DO REDUTOR DE ACIONAMENTO DA MOEGA	1,7	7,00		X
16/09/2014	141-MOE-001	932	TROCAR AS CORREIAS DO ACIONAMENTO DA ROSCA DA MOEGA ( 3 CORREIAS B-56)	12,2	1,00		X
17/09/2014	141-ROS-002	1017	REVISAR REDUTOR DE ACIONAMENTO DA ROSCA DOSADORA	23,0	7,00	X	
17/09/2014	141-ETJ-001	917	TROCA DOS ESTOJOS DE SEGURANÇA DA FORNALHA	5,0	4,00	X	
17/09/2014	141-EXA-001	926	TROCA DE ROLAMENTO DO EIXO DO EXAUSTOR DE TIRAGEM E TROCA DE POLI A DO EIXO	15,2	9,00	X	
17/09/2014	141-PNE-001	999	REVISAR PENEIRA DE DISCO	12,6	18,00		X
18/09/2014	141-PSV-001	1006	TROCA DE JUNTA DA VALVULA DE SEGURANÇA DA CALDEIRA BIOMASSA	6,0	3,00	X	
18/09/2014	141-VAP-001	1007	TROCA DE JUNTA DA VALVULA PRINCIPAL	4,5	5,00	X	
18/09/2014	141-VIN-001	934	VERIFICAR ELETRODOS DE NIVEL DE AGUA DA CALDEIRA BIOMASSA	9,7	9,00	X	
20/09/2014	141-VAP-001	1026	TROCA DE VALVULAS DA CALDEIRA	39,0	7,50	X	
21/09/2014	141-EXA-001	1027	TROCA DO MOTOR DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA	16,5	2,00	X	
24/09/2014	141-EXA-001	1028	RETIFICAR POLIAS	70,0	11,00	X	
30/09/2014	141-EST-002	1077	TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 02	133,0	0,33		X
06/10/2014	141-VRT-003	1151	REVISÃO NO REDUTOR DA VALVULA ROTATIVA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	143,7	6,00		X
22/10/2014	141-PNE-001	1299	TROCAR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA	378,0	8,00		X
28/10/2014	141-VRT-003	1489	REVISAR REDUTOR DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA	136,0	8,00		X
04/11/2014	141-ROS-001	1537	TROCAR ROLAMENTO DA ROSCA EXTRATORA DA PENEIRA DE DISCO	160,0	1,50		X
04/11/2014	141-VIN-001	1538	MODIFICAÇÃO DO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA	4,7	4,00	X	
26/11/2014	141-LCD-001	1081	ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA DESCARGA DE FUNDO	524,0	12,00	X	
02/12/2014	141-ROS-001	1654	TROCAR CORREIA DA ROSCA DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA	132,0	1,00		X
23/12/2014	141-PNE-001	1727	TROCA DE EIXO DE ACIONAMENTO DA PENEIRA	503,0	5,00		X
23/12/2014	141-VIN-001	1728	TROCA DE UNIÃO DO VISOR DE NIVEL	10,6	2,00	X	

(continua)

**Histórico de Falhas 2014 -2017**

**(continuação)**  
**Máq. Parada**

<i>Data</i>	<i>TAG</i>	<i>Os</i>	<i>Descrição da O.S</i>	<i>TBF</i>	<i>TTR</i>	<i>SIM</i>	<i>NÃO</i>
13/01/2015	141-ROS-002	1966	AJUSTAR BANDEJA DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA	497,0	2,00		X
13/01/2015	141-VNT-001	1968	TROCAR CORREIAS DO VENTILADOR DE AR PRIMÁRIO	16,7	1,50	X	
26/01/2015	141-LAC-001	2044	ELIMINAR VAZAMENTO DE AR NA LINHA DE AR COMPRIMIDO NA CALDEIRA BIOMASSA	310,5	1,50		X
28/01/2015	141-BCE-024	1996	TROCAR ACOPLAMENTO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	46,5	0,83		X
28/01/2015	141-BCE-024	2055	MANUTENÇÃO CORRETIVA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BREMER	19,6	8,00		X
29/01/2015	141-LCD-001	2066	ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA TUBULAÇÃO DE CONDENSADO	16,0	3,00		X
30/01/2015	141-VAL-003	2065	ELIMINAR VAZAMENTO DE VAPOR NA VALVULA 03 DE DESCARGA	21,0	0,50	X	
23/02/2015	141-VAL-005	2307	TROCAR VALVULA DE DESCARGA 05 DA CALDEIRA	575,5	1,25		X
12/03/2015	141-ROS-001	2551	TROCA DE CORREIA DE ACIONAMENTO DA ROSCA DE CAVACO DA PENEIRA DE DISCO	406,8	1,33		X
16/03/2015	141-ROS-002	2578	TROCAR CORREIA DA ROSCA DOSADORA DA CALDEIRA	94,7	0,92	X	
25/03/2015	141-EXA-001	2605	INSTALAR PISTÃO DO DAMPER DO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA	215,1	10,50	X	
02/04/2015	141-EST-001	2647	ESTICAR CORREIA TRANSPORTADORA 01	181,5	2,50		X
29/04/2015	141-BCE-024	2701	REVISAR MOTOR MOT-0049	645,5	8,00	X	
30/04/2015	141-EXA-001	2938	REGULAR POSICIONADOR DO DAMPER DO EXAUSTOR DA CALDEIRA BIOMASSA	16,0	5,00		X
08/05/2015	141-EXA-001	2923	REGULAR O POSICIONADOR DO DAMPER DO EXAUSTOR DA CALDEIRA DE BIOMASSA	187,0	3,00		X
11/05/2015	141-PNE-001	2949	TROCAR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCO DA CALDEIRA	69,0	5,00		X
30/05/2015	141-EST-001	3192	VERIFICAR PROBLEMA NO FIM DE CURSO DA CORREIA DE CAVACO 01	451,0	3,17		X
02/06/2015	141-VAL-001	3207	TROCAR JUNTA DA VALVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA	68,8	1,50		X
09/06/2015	141-LCD-001	3229	SOLDAR TUBULAÇÃO DO CONDENSADO DA CALDEIRA BIOMASSA	166,5	2,42	X	
09/06/2015	141-ROS-002	3411	ELIMINAR VAZAMENTO DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO	6,5	1,47		X
15/06/2015	141-VIN-001	3431	TROCAR JUNTA DO VISOR DE NIVEL DA CALDEIRA	20,1	0,67		X
15/06/2015	141-ROS-001	3432	TROCA DE ROLAMENTOS DA ROSCA DA PENEIRA DE DISCO	7,9	2,50		X
15/06/2015	141-EST-001	3433	TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO	8,7	2,00		X

**(continua)**

Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	(continuação)	
						Interrupção do Processo	
						SIM	NÃO
23/07/2015	141-ABR-002	3736	ELIMINAR VAZAMENTO DO ABRANDADOR 02	911,6	2,00	X	
29/07/2015	141-LCD-001	3753	SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA CALDEIRA BIOMASSA	142,0	2,00		X
12/08/2015	141-VAL-001	4004	TROCAR JUNTA DA VÁLVULA DE DESCARGA DA CALDEIRA 01	334,0	6,83		X
18/08/2015	141-VRT-003	4063	VÁLVULA ROTATIVA ESTAVA VIRANDO SÓ UM LADO	137,2	4,47	X	
20/08/2015	141-ABR-001	4017	ELIMINAR VAZAMENTO NO ABRANDADOR 01	43,5	11,00	X	
01/09/2015	141-EST-002	4112	RECUPERAR PONTEIRA DO ROLO MOTRIZ DA CORREIA TRANSPORTADORA	277,0	2,00		X
05/09/2015	141-EST-001	4308	VERIFICAR DESALINHAMENTO NA CORREIA 01	94,0	4,00		X
08/09/2015	141-EST-003	4128	TROCAR ROLAMENTO DO ROLO MOTRIZ DA CORREIAS TRANSPORTADORAS 03 DA CALDEIRA	68,0	6,50		X
16/09/2015	141-MOE-001	4328	TROCAR CORREIA DO REDUTOR DE ACIONAMENTO DA MOEGA	185,5	0,50		X
28/09/2015	141-LCD-001	4377	SOLDAR TUBULAÇÃO DE CONDENSADO DA CALDEIRA	287,5	9,00		X
02/10/2015	141-EST-001	4605	AJUSTE NO FIM DE CURSO DA CORREIA TRANSPORTADORA 01 E 02	87,0	9,00		X
05/10/2015	141-EST-003	4567	TROCAR CORREIA DE ACIONAMENTO DA CORREIA TRANSPORTADORA 03 DA CALDEIRA DE BIOMASSA	63,0	1,00		X
15/10/2015	141-ROS-002	4603	TROCAR ACOPLAMENTO DE CORRENTE DA CALDEIRA BIOMASSA	239,0	2,00		X
16/11/2015	141-PEL-001	4841	TROCAR ELETROCALHAS DA CALDEIRA BIOMASSA	766,0	1,17		X
04/12/2015	141-PST-001	5122	ELIMINAR VAZAMENTO NO PRESSOSTATO DA CALDEIRA BIOMASSA	430,8	1,00	X	
17/12/2015	141-VAP-001	5156	TROCAR JUNTA DA ENTRADA DE AGUA DA CALDEIRA BIOMASSA	309,5	4,00	X	
31/12/2015	141-EXA-001	5217	QUEIMOU MOTOR DO EXAUSTOR DA CALDEIRA	332,0	6,00	X	
26/01/2016	141-PST-001	5529	ELIMINAR VAZAMENTO DO SIFÃO DO PRESOSTATO DA CALDEIRA	618,0	1,00	X	
24/02/2016	141-ABR-001	5903	TROCAR ABRANDADOR-01	695,0	6,50	X	
24/02/2016	141-ABR-002	5904	TROCAR ABRANDADOR -02	7,9	2,00	X	
24/02/2016	141-EST-003	5906	USINAR POLIA DA CORREIA TRANSPORTADORA-03	1,0	1,00	X	
25/02/2016	141-ETJ-001	5893	SUBSTITUIR ESTOJOS DE SEGURANÇA	23,0	3,50	X	
27/02/2016	141-ABR-001	6147	ELIMINAR VAZAMENTOS	44,5	1,50	X	
07/03/2016	141-VRT-003	6203	RETIRAR E REVISAR REDUTOR DAS VALVULAS ROTATIVAS	214,5	5,00		X

(continua)

Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	(continuação)	
						Interrupção do Processo	
						SIM	NÃO
07/03/2016	141-VRT-003	6204	ADAPTAR REDUTOR RED-0025 NO LUGAR DO RED-0012	1,2	7,00		X
08/03/2016	141-VRT-003	6211	TROCAR MOTOR DA VALVULA ROTATIVA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA	17,0	7,00	X	
11/03/2016	141-ROS-004	6236	DEFEITO ELÉTRICO NO MOTOR DA ROSCA DE CINZA 04	65,0	3,50		X
14/03/2016	141-PST-001	6325	TROCAR PRESSOSTATO DA CALDEIRA BIOMASSA	68,5	9,00	X	
16/03/2016	141-MOE-001	6264	MANUTENÇÃO NA ROSCA DOSADORA DA MOEGA " CALDEIRA BIOMASSA"	39,0	2,00	X	
22/03/2016	141-MOE-001	6302	ESTICAR CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO	142,0	3,00		X
22/03/2016	141-TER-001	6304	TROCAR TERMOMETRO DOS DUTOS DE AR DA CALDEIRA BIOMASSA	5,9	3,50		X
05/04/2016	141-ROS-001	6174	VAZAMENTOS NO REDUTOR RED-0004 (CheckList CHK-CAL.)	332,5	0,50		X
05/04/2016	141-EST-002	6175	VERIFICAR VAZAMENTOS NO REDUTOR RED-0007 (CheckList CHK-CAL.)	20,6	0,58		X
05/04/2016	141-ROS-002	6176	VERIFICAR VAZAMENTO NO REDUTOR RED-0009	5,5	0,42		X
05/04/2016	141-EXA-001	6178	VERIFICAR VIBRAÇÃO NO EXAUSTOR DE TIRAGEM DA CALDEIRA	6,0	0,83		X
15/04/2016	141-ROS-002	6582	SUBSTITUIR ROSCA DOSADORA DE CAVACO DA CALDEIRA BIOMASSA	239,2	16,50		X
19/04/2016	141-VIN-001	6607	TROCAR VISOR	79,5	4,00		X
22/04/2016	141-EST-002	6617	FAZER MANUT. NO REDUTOR RED-0007	68,0	10,00		X
27/04/2016	141-ABR-001	6664	VERIFICAR DEFEITO NOS MANOMETROS DOS ABRANDADORES DA CALDEIRA	110,0	4,00	X	
05/05/2016	141-VNT-001	6698	SUBSTITUIR RELÉ DE TEMPO DO VENTILADOR PRIMÁRIO	188,0	3,50	X	
13/05/2016	141-EST-003	6973	COSTURAR CORREIA DA ESTEIRA TRANSPORTADORA 03	188,5	3,00		X
17/05/2016	141-ROS-002	6979	TROCA DE ROSCA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA	93,0	12,00	X	
18/05/2016	141-PNE-001	6984	TROCAR ROLAMENTOS DA PENEIRA DE DISCOS	12,0	5,00		X
18/05/2016	141-ROS-002	6985	ENCHIMENTO DOS HELICOIDAIS DA ROSCA DOSADORA DE CAVACO	1,4	18,00		X
24/05/2016	141-EST-002	7007	ADPTAÇÃO DE ACOPLAMENTO NO ROLO DA CORREIA TRANSPORTADORA 02	126,0	17,83		X
27/05/2016	141-MOE-001	7028	ELIMINAR VAZAMENTO DE CAVACO	54,0	4,00		X
07/06/2016	141-EST-003	7298	FAZER MANUTENÇÃO NA CORREIA TRANSPORTADORA DE CAVACO	260,0	1,50		X
17/06/2016	141-TNQ-004	7349	TROCAR TUBO DE SEGURANÇA DA SAÍDA DO TANQUE DE DESCARGA DE FUNDO ( TNQ-004) "CANALETA"	238,5	2,00	X	

(continua)



Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	(continuação)	
						Interrupção do Processo	
						SIM	NÃO
17/06/2016	141-LCD-001	7350	SOLDAR TUBO DE RETORNO DE CONDENSADO	10,0	1,50	X	
27/07/2016	141-VRT_003	7786	SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA	958,5	1,00		X
29/08/2016	141-MOE-001	8135	SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA MOEGA MD/35	71,0	4,00		X
19/09/2016	141-PNE-001	8436	SUBSTITUIR ROLAMENTO DA PENEIRA DE DISCOS	500,0	7,00		X
27/09/2016	141-MOE-001	8480	SUBSTITUIR CALHA DA ROSCA TRANSPORTADORA DE CAVACO	185,0	11,50	X	
27/09/2016	141-PNE-001	8481	FAZER MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS	7,7	9,00		X
27/09/2016	141-VRT-003	8493	REMOVER VÁLVULAS ROTATIVAS 03 PARA REVISÃO	3,0	15,50	X	
27/09/2016	141-EXA-001	8494	SOLDAR CHAPA NO DUTO DE AR DO EXA-001	6,1	7,50	X	
29/09/2016	141-PNE-001	8502	MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS	40,5	1,50		X
30/09/2016	141-VAL-005	8508	MANUTENÇÃO NAS VÁLVULAS DE DESCARGA 05 DE FUNDO DA CALDEIRA	22,5	9,00	X	
30/09/2016	141-MOE-001	8514	SOLDAR BATEDOR NA ROSCA DA MOEGA MD/35	5,4	1,50		X
03/10/2016	141-MOE-001	8699	MANUTENÇÃO NA BANDEJA DA MOEGA MD/35	70,5	6,00		X
04/10/2016	141-VNT-001	8719	SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DO VENTILADOR PRIMÁRIO DA CALDEIRA	18,0	1,50	X	
07/10/2016	141-PNE-001	8745	MANUTENÇÃO ELÉTRICA NA PENEIRA DE DISCOS	70,5	9,92		X
10/10/2016	141-MOE-001	8756	AJUSTAR BANDEJA DOSADORA DA MOEGA MD/35	62,1	3,50		X
14/10/2016	141-VRT-003	8783	FIXAR BASE DO REDUTOR	92,5	2,00	X	
14/10/2016	141-EST-001	8784	SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS	14,8	3,00		X
14/10/2016	141-MOE-001	8787	SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA BANDEJA	9,0	0,75		X
21/10/2016	141-PEL-001	8820	VERIFICAR ACIONAMENTO DAS CORREIAS TRANSPORTADORAS	167,3	3,50		X
21/10/2016	141-VRT-003	8824	TROCAR POLIA DO MOTOR DE 100 mm PARA 120 mm	1,3	2,50	X	
27/10/2016	141-VRT-003	8859	SUBSTITUIR POLIA DO MOTOR DE ACIONAMENTO DA VÁLVULA ROTATIVA-003	141,5	6,75		X
07/11/2016	141-PEL-001	8929	SUBSTITUIR COMANDO AUTOMATICO DA BOMBA DO POÇO ARTESIANO	257,3	3,00		X
09/11/2016	141-PEL-001	8958	SUBSTITUIR DISJUNTOR COM MAL CONTATO	45,0	3,50	X	
13/12/2016	141-PNE-001	9494	MANUTENÇÃO NA PENEIRA DE DISCOS	812,5	1,00	X	
29/12/2016	141-VRT-003	9563	SUBSTITUIR ACOPLAMENTO DA VALVULA ROTATIVA	383,0	1,00	X	

(continua)

Data	TAG	Os	Descrição da O.S	TBF	TTR	(continuação)	
						Interrupção do Processo	
						SIM	NÃO
30/12/2016	141-LCD-001	9575	SOLDAR TUBULAÇÃO DE VAPOR CONDENSADO	23,0	4,50	X	
03/01/2017	141-EST-001	9790	SUBSTITUIR ROLAMENTOS DOS ROLINHOS	91,5	0,17		X
11/01/2017	141-CHA-001	9820	SUBSTITUIR PARTE DO CHAMINÉ DA CALDEIRA BIOMASSA	191,8	7,17	X	
12/01/2017	141-TNQ-004	9840	ELIMINAR VAZAMENTO DA TUBULAÇÃO DE ESCOAMENTO DO TANQUE	16,8	0,17	X	
30/01/2017	141-LCD-001	9924	SOLDAR TUBULAÇÃO DE ENTRADA DE CONDENSADO DA CALDEIRA	431,8	1,33	X	
14/02/2017	141-MOE-001	10187	SUBSTITUIR CONTACTOR DA MOEGA MD/35	358,7	1,83	X	
16/02/2017	141-EST-002	10195	SUBSTITUIR CORREIA DE ACIONAMENTO	46,2	12,50		X
24/02/2017	141-EXA-001	10253	TENSIONAR CORREIA DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR DE TIRAGEM	179,5	1,00		X
15/03/2017	141-CAL-001	10240	SUBSTITUIR PORTAS DA CALDEIRA BIOMASSA	455,0	18,00	X	
30/03/2017	141-CAL-001	10591	SUBSTITUIR VEDAÇÃO DA PORTA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA BIOMASSA	342,0	2,00	X	
30/03/2017	141-MOE-001	10592	SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTOS	5,2	2,00		X
30/03/2017	141-ROS-002	10600	SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO DA ROSCA DOSADORA	2,8	2,00		X
07/04/2017	141-EXA-001	10837	SUBSTITUIR JOGO O DE CORREIAS DE ACIONAMENTO DO EXAUSTOR	190,0	1,00	X	
19/04/2017	141-VAL-005	10892	SUBSTITUIR JUNTA DE VEDAÇÃO DA VÁLVULA ( 05 )	287,0	2,00		X
10/05/2017	141-BCE-025	11183	MANUTENÇÃO NO CIRCUITO ELÉTRICO DA BOMBA DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	502,0	12,50	X	
11/05/2017	141-MOE-001	10173	SUBSTITUIR FIM DE CURSO DA MOEGA MD/35	11,5	5,50		X
12/05/2017	141-LVP-001	11197	SUBSTITUIR JUNTAS DE VEDAÇÃO DE VAPOR	18,5	8,00	X	
24/05/2017	141-EST-003	11244	SUBSTITUIR JOGO DE CORREIAS DE ACIONAMENTO	280,0	1,00		X
29/05/2017	141-ROS-002	11272	SOLDA NO CILO DE ALIMENTAÇÃO DA CALDEIRA	119,0	4,00	X	
31/05/2017	141-EST-001	11219	REVISAR ROLINHOS DA CORREIA TRANSPORTADORA 01	44,0	14,00		X
08/06/2017	141-EST-002	11526	SUBSTITUIR CORREIAS DE ACIONAMENTO (B-48) 2 unid.	178,0	3,00		X
08/06/2017	141-PNE-001	11529	SUBSTITUIR ROLAMENTO	4,2	7,00	X	
12/06/2017	141-TNQ-002	11527	ELIMINAR VAZAMENTO NO FLANGE DE ENTRADA DA CALDEIRA	89,0	2,00	X	
12/06/2017	141-MOE-001	11539	SOLDAR BATENTE NO FIM DA ROSCA DA MOEGA	0,4	4,00		X

(continua)

<i>Data</i>	<i>TAG</i>	<i>Os</i>	<i>Descrição da O.S</i>	<i>TBF</i>	<i>TTR</i>	<i>(conclusão)</i>	
						<i>Interrupção do Processo</i>	
						<i>SIM</i>	<i>NÃO</i>
14/06/2017	141-EST-002	11562	REMOVER REDUTOR PARA REVISÃO	44,0	10,00	X	
23/06/2017	141-EST-001	11599	ALINHAR ROLO MOVIDO DA CORREIA 01	206,0	5,00		X
18/07/2017	141-VAL-002	11891	MANUTENÇÃO NA VÁLVULA DE DESCARGA 02	595,0	6,00	X	
19/07/2017	141-LCD-001	11893	ELIMINAR VAZAMENTO DO TUBO DE CONDENSADO NA CALDEIRA BREMER	18,0	13,00	X	
22/07/2017	141-ABR-001	11902	MANUTENÇÃO NO SISTEMA DE ABRANDADORES	59,0	0,40	X	
25/07/2017	141-EST-001	11912	REVISAR ROLINHOS DA CORREIA TRASPORTADORA DE CAVACO	71,6	2,00		X

**Fonte: Aatoria própria**

## APÊNDICE B – FORMULÁRIO FMEA

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 100						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 14/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Exaustão	141-EXA-001- Exaustor de gases	Exaurir gases queimados no interior da fornalha, com volume de 50.000 m³/h e pressão de 240 mm.c.a	Ruptura da correia	Parada do dispositivo por completo, e consequentemente parada da caldeira de biomassa.	Desalinhamento das polias, polias desgastadas, ação de agentes climáticos.	4	9	2	72	Nenhuma	Realizar alinhamento com aparelho a laser, para obter o melhor paralelismo entre as polias. Por se tratar de um ativo que fica exposto a ações climáticas, realizar inspeções visuais na correia em um período de 15 dias.	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM- PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 101						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 14/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Transporte de cavaco	141-EST-003 Esteira transportadora de cavaco 03	Transportar cavaco para a rosca dosadora da caldeira biomassa, não menos que 12m³/h	Ruptura da correia	Gera transtornos e aumenta a dificuldade de alimentação da caldeira; Necessidade de colaboradores para realização manual da alimentação da caldeira	Polias desgastadas e temperaturas elevadas devido a sua posição elevada acima da fornalha	2	5	2	20	Nenhuma	Realizar retifica dos canais das polias, bem como alinhamento com aparelho a laser, para obter o melhor paralelismo entre as polias. Por se tratar de um ativo que fica exposto a temperaturas elevadas realizar inspeções visuais na correia em um período de 15 dias.	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)							
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 102							
						DATA DE ELABORAÇÃO: 14/09/2017							
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável	
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RP N	Existentes	Propostas		
Transporte de cavaco	141- ROS-002 Rosca dosadora de cavaco	Depositar uniformemente o cavaco nas válvulas rotativas, não menos que 12 m³/h	Ruptura da correia	Paralisação do abastecimento de cavaco no interior da fornalha reduz o rendimento da eficiência calórica da caldeira e proporciona um trabalho manual de abastecimento de biomassa	Temperaturas elevadas devido a sua posição elevada acima da fornalha	3	6	2	36	Nenhuma	Devido a sua Instalação em uma posição de elevadas temperaturas esse ativo necessita de uma verificação semanal para a verificação de suas condições de trabalho. Substituição de correias por correntes de acionamento, a qual não romperia devido ao ataque das condições de temperaturas. spray” nas correntes	Técnico de Manutenção Mecânica	

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 103						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 14/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Exixtentes	Propostas	
Transporte de cavaco	141-VRT-003 Válvula rotativa	Transportar o cavaco para o interior da caldeira e impedir o retorno de gases oriundos da queima da biomassa no interior da caldeira	Ruptura da correia	Paralização do componente impedindo a passagem da biomassa para dentro da caldeira	Ressecamento pelo aquecimento excessivo da queima da biomassa	1	5	2	10	Nenhuma	Substituição de correias por correntes de acionamento, a qual não romperia devido ao ataque das condições de temperaturas elevadas, sendo necessária uma lubrificação semanal por "spray" nas correntes.	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 104						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 18/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENSÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Transporte de cavaco	141-ROS-002 Rosca dosadora de cavaco	Depositar uniformemente o cavaco nas válvulas rotativas, não menos que 12 m <sup>3</sup> / h	Rolamento quebrado	Paralisação do abastecimento de cavaco no interior da fornalha, reduzindo o rendimento da eficiência calórica da caldeira; Dificuldade na alimentação da biomassa no interior da fornalha	Lubrificação ineficiente; Acumulo de sujeira no mancal de rolamento	2	3	3	18	Inspeção semanal com Estetoscópio	Reduzir o tempo de reposição de lubrificante no equipamento. Realizar análise de vibração mensal para verificação das condições do rolamento. .Realizar limpeza semanalmente no mancal de rolamento para remover o acumulo de materiais oriundos do processo.	Técnico de Manutenção Mecânica  Lubrificador



CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 105						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 18/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Exaustão	141-EXA-001 Exaustor de gases	Exaurir gases queimados no interior da fornalha, com volume de 50.000 m³/h e pressão de 240 mm.c.a	Rolamento com ruído	Diminuição da eficiência energética da caldeira, e até a parada da caldeira completo	Desgaste causado pela fuligem sobre o rotor do exaustor Vedações dos mancais ressecadas; Tensionamento excessivo das correias de acionamento Lubrificação ineficiente	2	9	4	72	Inspeção semanal com Estetoscópio	Realização de limpeza semanal nos mancais de rolamento. Usar equipamento a laser para o alinhamento das polias Utilização de instrumentos para medir o tencionamento da correia a cada troca realizada .Realizar análise de vibração mensalmente para avaliar as condições do rolamento.	Lubrificador Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 106						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 18/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existente	Propostas	
Transporte de cavaco	141-MOE-001 Moega de cavaco	Retirar a biomassa do pátio, não menos que 12 m <sup>3</sup> / h e transportar até as correias de classificação de cavaco queimadas na caldeira.	Rolamento quebrado	Diminuição da extração de material, provocando a parada do equipamento, gerando transtorno no método de alimentação da caldeira a qual será feita de forma manual	Poluentes oriundos do transporte de cavaco, depositados sobre o mancal de rolamento	1	4	2	8	Inspeção semanal com estetoscópio	<p>Limpeza nos mancais de rolamento quinzenalmente para remover o excesso de material depositado sobre o mancal de rolamento.</p> <p>Realizar análise de vibração mensalmente para avaliar as condições do rolamento</p> <p>Reduzir o período de relubrificação dos rolamentos para 15 dias.</p>	Lubrificador Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 107						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 19/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existente	Propostas	
Fornalha	141- VRT-003 Válvula rotativa	Transportar o cavaco para o interior da caldeira e impedir o retorno de gases oriundos da queima da biomassa no interior da caldeira	Rolamento quebrado	Paralização do componente impedindo a passagem da biomassa até a fornalha; Alimentação da caldeira será feita de forma manual;	Temperatura elevada sobre o mancal de rolamento,	1	3	2	6	Inspeção semanal com estetoscópio	Redução do tempo de intervalo de lubrificação. Substituir o lubrificante por um lubrificante que atenda as especificações de temperatura de trabalho do rolamento. Realizar termometria no mancal de rolamento para acompanhar seus níveis de Definir alarmes de temperatura para a eventual troca do rolamento.	Lubrificador Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 108						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 19/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Abastecimento de água	141-ABR-001 Abrandador 01	Armazena e filtra a água utilizada na caldeira de biomassa, retendo os sólidos contidos na água.	Vazamento na tubulação de saída do abrandador 01	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumenta a quantidade de incrustações no interior da caldeira;</li> <li>- Corrosão na estrutura da tubulação do abrandador e da caldeira</li> <li>- Reduz a eficiência do tratamento da água</li> </ul>	Abrasão dos minérios na parede do reservatório	6	6	3	54	Nenhuma	Ensaio não destrutivo, como ultrassom, para a verificação dos desgastes internos da parede do reservatório. Instalar manômetros de verificação de possíveis entupimentos dos filtros utilizados para a filtragem dos sólidos existentes na água,	Lubrificador Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 109						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 19/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Abastecimento de água	141-ABR-002 Abrandador 02	Armazena e filtra a água utilizada na caldeira de biomassa, retendo os sólidos contidos na água	Vazamento no reservatório do abrandador 02	- Aumenta a quantidade de incrustações no interior da caldeira; - Corrosão na estrutura da tubulação do abrandador e da caldeira - Reduz a eficiência do tratamento da água;	Abrasão dos sólidos, principalmente sílica, na parede do reservatório, ocasionando desgaste estrutural	2	5	3	30	Nenhuma	Ensaio não destrutivo, como ultrassom, para a verificação dos desgastes internos da parede do reservatório Instalar manômetros para verificação de possíveis entupimentos dos filtros utilizados para a filtragem dos sólidos existentes na água, através de pressões diferenciais.	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 110						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 20/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
bastecimento de água	141-LCD-001 Linha de condensado	Transportar o condensado que retorna do processo de secagem do papel	Vazamento na tubulação	-Perda de condensado na alimentação da caldeira; - Diminuição da eficiência energética; - Ocasiona uma maior quantidade de água fria injetada na reposição de água da caldeira; - Aumento da quantidade de energia gasta para o aquecimento da água	Tubulações sem isolamento, térmico; Tubulações em contato com meios corrosivos; Desgaste interno do tubo, devido ao arraste de sólidos existentes no condensado;	7	3	5	105	Nenhuma	Realizar instalação dos isolamentos térmicos dos tubos, para minimizar a influencia das ações climáticas na oxidação dos tubos. Realizar medições com ultrassom em um período semestral, para acompanhar o desgaste interno dos tubos..	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM- PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 111						
						'DATA DE ELABORAÇÃO: 20/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Abastecimento de água	141-BCE-024 Bomba de alimentação da caldeira	Injetar água no interior da caldeira biomassa com pressão de 15 bar e volume de 19 m³/h	Rolamento com ruído	- Perda da eficiência energética da caldeira de biomassa - Paralisação da injeção de água no interior da caldeira biomassa;	Lubrificante fora dos padrões exigidos, quanto a limite de rotação;	2	8	3	48	Nenhuma	Lubrificar os rolamentos com lubrificante específico para alta rotação, em um período de 30 dias na quantidade de 6 gramas. Realizar análise de vibração mensalmente Realizar termografia ou termometria para acompanhar a temperatura do rolamento e criar alarmes para temperaturas elevadas.	Lubrificador Técnico de Manutenção Mecânica

Subsistema		Dispositivo		Função		FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável				
						Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas					
CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001						FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS			ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)										
						ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO			FOLHA: 112										
									DATA DE ELABORAÇÃO: 20/09/2017										
BALÃO		141-LVP-001 Linha de vapor		Transportar vapor saturado até a máquina de papel, não menos que 13.000 Kg/h a uma pressão de 9,5 Kgf/cm <sup>2</sup>		Vazamento na tubulação		Diminuição da eficiência de secagem do papel		Corrosão interna dos tubos por "pit", golpes de Aríete		3    4    7    84		Nenhuma		Realizar inspeções das paredes dos tubos com ultrassom para acompanhar desgastes. Instalar juntas de expansão para evitar a vibração das tubulações Realizar trocas das juntas de vedação de válvulas e flanges em período mínimo de 6 meses.		Técnico de Manutenção Mecânica	



CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 113						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 20/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Balão	141-PST-001 Pressostáto da caldeira	Controlar a pressão da caldeira por meio de diferencial de pressão	Vazamento na conexão	Controle ineficiente da variável de pressão	Rosca espanadas nas conexões	2	5	2	20	Nenhuma	Realizar aperto correto com o uso de torquímetro	Técnico de Manutenção Mecânica
	141-PSV-001 Válvula de Segurança	Garantir a segurança de que o excesso de pressão da caldeira seja aliviado a atmosfera, não menos que 12 Kgf/cm <sup>2</sup>	Vazamento nos flanges	Diminuição na confiabilidade de controle de segurança de pressão	Aperto dos parafusos de forma ineficiente, provocando a passagem de vapor entre os flanges	1	8	3	24	Nenhuma	Realizar aperto correto com o uso de torquímetro	Técnico de Manutenção Mecânica
	141-VIN-001	Visualizar o nível de água da caldeira	Vazamento	Verificação incorreta do real valor de nível de água da caldeira	Espanamento da rosca de conexão; Erro de montagem; - Aperto excessivo;	4	3	2	24	Nenhuma	Realizar aperto correto com o uso de torquímetro para calibrar o aperto das conexões	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 114						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 21/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Abastecimento de água	141-TNQ-001 Tanque de alimentação de condensado da caldeira	Abastecer a água da caldeira biomassa	Vazamento nos flanges	Diminuição do nível de água no interior do reservatório	Envelhecimento do material da junta; - Ressecamento da junta devido ao calor;	1	3	2	6	Nenhuma	Realizar a troca da junta em um período mínimo de 6 meses. Realizar apertos dos parafusos com o uso de torquimetro.	Técnico de Manutenção Mecânica
	141-TNQ-004	Permitir que a descarga de fundo da caldeira não saia de forma direta, diminuindo assim o ruído causado pela descarga,	Vazamento na tubulação	Aumento do ruído da descarga e dispersão de partículas sólidas	- Corrosão interna dos tubos causado por partículas sólidas; - Meio externos corrosivos;	2	3	2	12	Nenhuma	Realizar inspeções das paredes dos tubos com ultrassom para acompanhar desgastes.	Técnico de Manutenção Mecânica  Projetos

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)							
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM- PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 115				DATA DE ELABORAÇÃO: 21/09/2017			
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável	
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas		
BALÃO	141-VAL-002 Válvula de descarga de fundo	Eliminar as partículas solidas depositadas no fundo da caldeira	Válvula dando passagem	Diminuição da pressão interna da caldeira, causando uma ineficiência energética.	Interior da válvula desgastado pelas partículas que saem em grande velocidade causada pela descarga da pressão	2	7	2	28	Nenhuma	Realizar a instalação de filtros para reter as partículas sólidas Retirar e desmontar válvulas para vistorias nas sedes das válvulas em um período de 12 meses	Técnico de Manutenção Mecânica	
	141-VAL-003 Válvula de descarga de fundo	Eliminar as partículas solidas depositadas no fundo da caldeira	Válvula não fecha por completo	Diminuição da pressão interna da caldeira, causando uma ineficiência energética.	Interior da válvula desgastado pelas partículas que saem em grande velocidade causada pela descarga da pressão	3	5	2	30	Nenhuma	Realizar a instalação de filtros para reter as partículas sólidas. Retirar e desmontar válvulas para vistorias nas sedes das válvulas em um período de 12 meses	Técnico de Manutenção Mecânica	

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson kchecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 116						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 21/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
Balão	141-VAL-001 Válvula principal de saída	Permite ou restringe a passagem de vapor saturado para o processo produtivo	Válvula não fecha	Diminuição da pressão interna da caldeira, causando uma ineficiência energética	Termino da vida útil das sedes da válvula perdendo sua capacidade de restringir a passagem de vapor	1	7	2	14	Nenhuma	Retirar e desmontar válvulas para vistorias nas sedes das válvulas em um período de 12 meses	Técnico de Manutenção Mecânica
FORNALHA	141-VRT-003 Válvula rotativa 03	Transportar o cavaco para o interior da caldeira e impedir o retorno de gases oriundos da queima da biomassa no interior da caldeira	Válvula não vira	Paralização do componente impedindo a passagem da biomassa para o interior da fornalha	-Desgaste do eixo, tolerâncias de aperto fora de tolerâncias; -folga excessiva do acoplamento:	2	6	1	12	Nenhuma	Realizar medições de eixos e alojamentos de acoplamento com uso de um micrometro para evitar que o conjunto eixo e acoplamento desgastem prematuramente.	Técnico de Manutenção Mecânica

CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL-001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS				ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)						
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO				FOLHA: 117						
						DATA DE ELABORAÇÃO: 22/09/2017						
Subsistema	Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
			Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
EXAUSTÃO	141-EXA-001 Exaustor de gases	Exaurir gases oriundos da queima da biomassa no interior da fornalha, com volume de 50.000 m³/h e pressão de 240 mm.c.a	Quebra do eixo do motor	Paralização súbita da caldeira biomassa, pois não proporciona nenhuma retirada dos gases oriundos da queima dos gases na fornalha	Tensionamento excessivo das correias trapezoidais;	2	10	7	140	Nenhum	Realizar medições de tensionamento das correias com medidor de tensão, após cada troca de correias. Realizar alinhamento com alinhador a laser para obter o melhor alinhamento das polias	Técnico de Manutenção Mecânica

Subsistema		Dispositivo	Função	FALHAS			ÍNDICES				AÇÃO DE CONTENÇÃO		Responsável
				Modo	Efeito	Causa (S)	O	S	D	RPN	Existentes	Propostas	
CALDEIRA BIOMASSA 141-CAL- 001		FMEA - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E SEUS EFEITOS			ELABORADO POR: Anderson khecinski (Programador de Manutenção)								
		ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO / PCM-PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO			FOLHA: 118								
					DATA DE ELABORAÇÃO: 22/09/2017								
EXAUSTÃO	141-EXA-001 Exaustor de gases	Exaurir gases oriundos da queima da biomassa no interior da fornalha, com volume de 50.000 m <sup>3</sup> /h e pressão de 240 mm.c.a	Queima do motor	Paralisação súbita da caldeira biomassa, pois não proporciona nenhuma retirada dos gases oriundos da queima dos gases na fornalha	-Eixo gasto no acento do rolamento; -Tensionamento excessivo das correias trapezoidais	2	10	5	100	Nenhuma	Realizar medições de tencionamento das correias com medidor de tensão, após cada troca de correias. Realizar alinhamento com alinhador a laser para obter o melhor alinhamento das polias. Realizar análise de vibração dos rolamentos em um período de 30 dias.	Técnico de Manutenção Mecânica	