

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA SENAI: CENTRO DE TECNOLOGIA DA  
INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL

EDINALDO DA SILVA GOUVEIA

**UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE PERIGOS E OPERABILIDADE  
HAZOP EM UMA CALDEIRA**

Rio de Janeiro

2022



EDINALDO DA SILVA GOUVEIA

**UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE PERIGOS E OPERABILIDADE  
HAZOP EM UMA CALDEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Orientador(a): ALEX VAZZOLER

Rio de Janeiro

2022

## Ficha Catalográfica

Gouveia, Edinaldo da Silva Gouveia

Utilização da técnica de análise de perigos e operabilidade HAZOP em uma caldeira /  
Edinaldo da Silva Gouveia – Rio de Janeiro, 2022.  
80 f.

Orientador: Alex Vazzoler

Tipo do trabalho (Bacharel em Engenharia Química) – Faculdade SENAI  
CETIQT, Riachuelo, Rio de Janeiro, 2022.

1. Segurança de processos. 2. Caldeiras. 3. HAZOP. I. Título.

CDD

EDINALDO DA SILVA GOUVEIA

**UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE ANÁLISE DE PERIGOS E OPERABILIDADE  
HAZOP EM UMA CALDEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Aprovada em:

**Aprovado por:**

---

Orientador: D.Sc, Alex Vazzoler

**Banca Examinadora:**

---

Tanise Mori Flores, M.Sc, SENAI CETIQT

---

Marta Cristina Picardo, D.Sc, SENAI CETIQT

---

André Rodrigues Pereira, D.Sc, UERJ

Rio de Janeiro

2022

Ao nosso Deus.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu Deus, ao meu filho Lohan e ao meu orientador, Professor Alex Vazzoler, por todo suporte prestado, disponibilidade e ensinamentos.

*Deus é*

## RESUMO

Os desastres não são fáceis de prever ou evitar, mas o desafio é identificar e eliminar as condições que levam a acidentes. Neste contexto que a área de segurança de processos tem como propósito sugerir soluções para amenizar tais ocorrências. A implementação dos conceitos de segurança de processos, são medidas essenciais para garantir a operação segura do processo, confiabilidade e integridade, mesmo sob condições de possíveis falhas. Entre as ferramentas utilizadas, destaca-se o HAZOP (Hazard and Operability Study), traduzindo (Estudo de Perigos e Operabilidade), é uma técnica estruturada de análise qualitativa, concebida para identificar perigos e possíveis anomalias de projeto ou na operação de sistemas. Com esta metodologia a objetivou a aplicação em uma simulação de um processo de geração de vapor, envolvendo uma caldeira aquatubular, permitiu através do estudo, avaliar os possíveis cenários de perigos, evidenciar problemas operacionais e consequências, compreender todos os riscos envolvidos e identificação de barreiras para a identificação de novas barreiras preventivas e mitigatórias para a redução de riscos e melhorias no processo.

Palavras-chave: Segurança de processos, caldeiras, HAZOP

## **ABSTRACT**

Disasters are not easy to predict or prevent, but the challenge is to identify and eliminate conditions that lead to accidents. In this context, the purpose of the process safety area is to suggest solusi untuk to alleviate such occurrences. Implementation of process safety concepts are essential measures to ensure the safe operation of the process, reliability and integrity, even under conditions of possible failures. Among the tools used, the HAZOP (Hazard and Operability Study), is a structured technique of qualitative analysis, designed to identify projections. With these methodologies, the objective was to apply it in a simulation of a steam generation process, involving a water tube boiler, it allowed, through the study, to evaluate the possible hazard scenarios, comp evidence preventive and operational problems for the reduction of risks and improvements in the process.

**Keywords:** Process safety, boilers, HAZOP

## LISTA DE FIGURAS

|             |                                                                     |    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 -  | Diagrama do método de análise do HAZOP.....                         | 20 |
| Figura 2 -  | Categorias de risco e o nível de controle necessário.....           | 24 |
| Figura 3 -  | Matriz de Riscos.....                                               | 24 |
| Figura 4 -  | Acidentes com equipamentos pressurizados no Brasil.....             | 27 |
| Figura 5 -  | Desenho esquemático da caldeira flamotubular.....                   | 30 |
| Figura 6 -  | Caldeiras com a) duas b) três e c) quatro passagens.....            | 31 |
| Figura 7 -  | Caldeira flamotubular em corte.....                                 | 32 |
| Figura 8 -  | Desenho esquemático da caldeira aquatubular.....                    | 33 |
| Figura 9 -  | Partes principais da caldeira aquatubular.....                      | 33 |
| Figura 10 - | Partes principais da circulação de gases.....                       | 34 |
| Figura 11 - | Partes principais da circulação de gases.....                       | 35 |
| Figura 12 - | Acessórios do tubulão de vapor.....                                 | 35 |
| Figura 13 - | Principais componentes da caldeira.....                             | 36 |
| Figura 14 - | Componentes básicos para caldeira aquatubular.....                  | 37 |
| Figura 15 - | Componentes básicos para caldeira flamotubular.....                 | 37 |
| Figura 16 - | Controle de combustão simplificado .....                            | 39 |
| Figura 17 - | Controle de combustão série.....                                    | 40 |
| Figura 18 - | Controle de combustão paralelo.....                                 | 41 |
| Figura 19 - | Controle de combustão corrigindo o poder calorífico.....            | 42 |
| Figura 20 - | Controle de combustão paralela com controlador de pressão.....      | 43 |
| Figura 21 - | Etapas do tratamento da falha.....                                  | 44 |
| Figura 22 - | Aplicação da análise falhas na caldeira.....                        | 44 |
| Figura 23 - | Etapas da vida de um componente.....                                | 45 |
| Figura 24 - | Diagrama do método de análise do HAZOP.....                         | 48 |
| Figura 25 - | Planilha HAZOP adaptada.....                                        | 49 |
| Figura 26 - | Matriz de risco para a avaliação de risco dos cenários do HAZOP.... | 49 |
| Figura 27   | Fluxograma de processo.....                                         | 54 |
| Figura 28   | Resultados da classificação.....                                    | 55 |
| Figura 29   | Planilha HAZOP da alimentação de água.....                          | 56 |
| Figura 30   | Planilha HAZOP da alimentação de combustíveis.....                  | 57 |
| Figura 31   | Planilha HAZOP da geração de vapor.....                             | 58 |
| Figura 32   | Planilha HAZOP da alimentação de ar.....                            | 59 |

## LISTA DE TABELAS

|            |                                                |    |
|------------|------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - | Desvios aplicáveis.....                        | 22 |
| Tabela 2 - | Identificação dos nós .....                    | 54 |
| Tabela 3 - | Relação de desvios para cada nó definido ..... | 54 |
| Tabela 4 - | Resultados da classificação de risco.....      | 55 |

## LISTA DE QUADROS

|            |                                            |    |
|------------|--------------------------------------------|----|
| Quadro 1 - | Desvios aplicáveis.....                    | 22 |
| Quadro 2 - | Dados estatísticos por equipamentos 2..... | 25 |
| Quadro 3 - | Acidentes.....                             | 26 |
| Quadro 4 - | Especificações técnicas de projeto.....    | 50 |
| Quadro 5 - | Características técnicas.....              | 50 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |                                                 |
|-------|-------------------------------------------------|
| ABNT  | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| APR   | Análise preliminar de riscos                    |
| ASME  | American Society for Mechanical Engineers       |
| CLP   | Controlador lógico programável                  |
| HAZOP | Hazard and Operability Study                    |
| FIC   | Indicador controlador de vazão                  |
| FT    | Medidor de vazão                                |
| FY    | Relé de conversão                               |
| HIC   | Estação manual de controle                      |
| IBP   | Instituto Brasileiro de Petróleo                |
| ISO   | International Standard Organization             |
| LOPA  | Layer Of Protection Analysis                    |
| NR-13 | Norma Regulamentadora Nº13                      |
| PAR   | Projeto de alteração ou reparo                  |
| PH    | Profissional Habilitado                         |
| PLCS  | Controladores lógicos programáveis              |
| PMOC  | Planejamento de manutenção, operação e controle |
| PMTA  | Pressão máxima de trabalho admissível           |
| PRC   | Registrador e controlador de pressão            |
| PT    | Transmissor de pressão                          |
| SIL   | Análise do nível de integridade de segurança    |
| SIS   | Sistema instrumentado de segurança              |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|   |                                                                            |
|---|----------------------------------------------------------------------------|
| T | Temperatura, [T] = oC, K                                                   |
| V | Volume interno de equipamento mecânico estático, [V] = l ou m <sup>3</sup> |
| A | Área, m <sup>2</sup>                                                       |

## SUMÁRIO

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>                                                                          | 16 |
| 1.1. INTRODUÇÃO                                                                                         | 16 |
| 1.2. OBJETIVOS                                                                                          | 17 |
| 1.2.1. Objetivo Geral                                                                                   | 17 |
| 1.2.2. Objetivos Específicos                                                                            | 18 |
| 1.3. JUSTIFICATIVA                                                                                      | 18 |
| 1.4. DELIMITAÇÃO                                                                                        | 20 |
| <b>CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>                                                               | 20 |
| 2.1. HAZOP                                                                                              | 20 |
| 2.2. ACIDENTES COM CALDEIRAS                                                                            | 25 |
| 2.3. SISTEMAS GERADORES DE VAPOR                                                                        | 28 |
| 2.3.1. Caldeiras em instalações industriais                                                             | 28 |
| 2.3.2. Normas e documentos aplicáveis                                                                   | 28 |
| 2.3.2.1. Normas gerais                                                                                  | 28 |
| 2.3.2.2. Norma regulamentadora (NR-13)                                                                  | 29 |
| 2.3.3. Caldeiras flamotubulares                                                                         | 30 |
| 2.3.4. Principais componentes                                                                           | 36 |
| 2.4. INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DA CALDEIRA                                                              | 38 |
| 2.4.1. Sistemas de controle                                                                             | 38 |
| 2.4.2. Controle de combustão simples                                                                    | 38 |
| 2.4.3. Controle de níveis de série com combustível seguido de ar                                        | 39 |
| 2.4.4. Controle de combustão paralelo com a vazão de combustíveis, ar de combustão e a malha de pressão | 40 |
| 2.4.5. Controle com poder calorífico                                                                    | 41 |
| 2.4.6. Controle de níveis (tubulão, vapor e água)                                                       | 42 |
| 2.5. AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE                                                                           | 43 |

|                                                   |           |
|---------------------------------------------------|-----------|
| 2.6. INSPEÇÕES.....                               | 45        |
| 2.6.1. Inspeções em geral .....                   | 45        |
| 2.6.2. Inspeções em serviço .....                 | 46        |
| 2.6.3. Inspeções em parada.....                   | 47        |
| <b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA .....</b>             | <b>47</b> |
| 3.1 HAZOP.....                                    | 47        |
| <b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b> | <b>55</b> |
| 4.1 RESULTADOS DO HAZOP .....                     | 55        |
| <b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO .....</b>               | <b>60</b> |
| 5.1 CONCLUSÃO.....                                | 60        |
| 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....         | 61        |
| <b>REFERÊNCIAS .....</b>                          | <b>63</b> |
| APÊNDICE – TÍTULO (ELEMENTO OPCIONAL) .....       | 65        |
| ANEXO A – ARRANJO TÉCNICO DA CALDEIRA .....       | 70        |
| ANEXO B – lista de verificação .....              | 71        |

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

Caldeiras são equipamentos projetados para vaporizar água acima da pressão atmosférica em temperatura igual ou superior à sua temperatura de saturação por meio de queima de combustível, ou aquecimento elétrico, em condições controladas. Caldeiras constituem uns dos sistemas de troca de calor mais complexos já desenvolvidos pela humanidade (LORA, 2004).

A função básica de uma caldeira é converter água em vapor para os mais diversos fins, tais como; geração de eletricidade, calefação, aquecimento e principalmente como insumo em processos produtivos de grandes empresas. São equipamentos críticos para o processo produtivo de uma grande empresa e uma falha pode interromper toda uma linha de produção gerando lucro cessante. O investimento em uma caldeira é alto em relação aos das demais instalações e equipamentos, de modo que a sua perda por deterioração ou acidente é totalmente indesejável. Considerando as condições operacionais críticas de pressão e temperatura a que são submetidas, caldeiras estão sujeitas a processos de deterioração importantes que precisam ser acompanhados e controlados. Os materiais e as tecnologias de projeto hoje existentes são levados aos seus limites (BAZZO,1995; LEITE, 2008).

Cheng (2015) apresenta em seu trabalho diversas falhas de equipamentos associados a fatores que podem acarretar inesperadas e catastróficos acidentes. Neste contexto, é fato que estão associados invariavelmente a premissas equivocadas de projeto e sua concepção, falhas operacionais, manutenção e etc. As falhas inesperadas, que não foram consideradas durante a avaliação de risco em processos na fase inicial do projeto, podem ser ignoradas e subestimadas por falta de conhecimento ou pela aplicação incipiente de metodologias de análise de risco. Assim, os especialistas em gestão de risco concordam que prevenir falhas nos processos de fabricação exige reduzir e eliminar quando possível estes fatores. Consequentemente, a identificação e tratamento de falhas durante a concepção e desenho de projetos, tornou-se uma missão para especialistas em risco (CHENG,2015).

Desde o desastre de *Flixborough* em *North Lincolnshire*, na Inglaterra causado por uma explosão em uma fábrica de produtos químicos, intensificando a utilização das técnicas de

análise risco, foi incluído o procedimento *HAZOP* (*Hazard and Operability Study*) para apoiar e determinar falhas que levaram ao incidente (LAWLEY,1995).

Um dos notórios pesquisadores que popularizam a técnica *HAZOP* foi o britânico Trevor Kletz. Para realizar seu trabalho, Kletz aproveitou informações do curso da IChemE (*Institution of Chemical Engineers*) e estruturou uma metodologia padrão Hazop, que vem sendo utilizada até os últimos dias (KLETZ,1983).

Assim, desenvolveu o conceito da metodologia *HAZOP*, como uma técnica básica para identificar os riscos que podem ocorrer ao pessoal, aos equipamentos, ao meio ambiente e/ou aos objetivos da organização (AYYUP,2002).

Define-se perigo como “o resultado da interação inesperada de componentes, ou métodos de operação em condições excepcionais”. Somente a integração do conhecimento dos especialistas envolvidos no controle dos equipamentos, operação, manutenção, engenharia de segurança do trabalho e segurança de processo, podem trazer mais confiabilidade e segurança na planta.

A implementação dos conceitos de segurança de processos, são medidas essenciais para garantir a operação segura do processo, confiabilidade e integridade, mesmo sob condições de possíveis falhas (BERG,2010). Portanto, devido à complexidade de uma caldeira, compreender todos os riscos envolvidos e identificação de barreiras a aplicação do *HAZOP* mostra-se uma metodologia consagrada para a identificação de novas barreiras preventivas e mitigadoras para a redução de riscos e melhorias no processo.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Realizar um estudo de perigo e operabilidade (*Hazard and operability study, HAZOP*) em uma caldeira aquatubular, visando analisar compreender e possibilitar a identificação de barreiras preventivas e mitigadoras para a redução do risco dos cenários avaliados a níveis aceitáveis.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho incluem:

- Realização de um brainstorming com especialistas na área de operação e manutenção de caldeiras;
- Levantamento de cenários de perigo para uma unidade de geração de vapor;
- Aplicar a metodologia *HAZOP* em uma caldeira aquatubular;
- Avaliar os possíveis cenários de perigo;
- Evidenciar os problemas operacionais e suas consequências;
- Listar as barreiras de proteção (e mitigadoras) e suas respectivas ações

### 1.3. JUSTIFICATIVA

Vários elementos fundamentam a realização deste trabalho. De maneira geral, o estudo de problemas associados a segurança de processos industriais tem como base:

- Fatores operacionais, além da frequência e severidade de eventos acidentais;
- Proteção das instalações, das pessoas e do meio ambiente;
- Confiabilidade das camadas preventivas e mitigadoras. Sendo as primeiras, sistemas de proteção que previnem um possível incidente. E as seguintes, sistemas que minimizam danos gerados pelas consequências do respectivo incidente.

Vantagens adicionais incluem menores perdas de produção, redução de custos e gastos com manutenção.

Apesar dos constantes avanços com tecnologias em segurança de processos industriais, a casos e falhas nos sistemas de segurança, que infelizmente resultaram em acidentes graves.

A Norma Regulamentadora (NR-13), aborda a questão da gestão de integridade mecânica de vasos de pressão, tanques e tubulações associadas. Além da periodicidade de inspeção, conforme a categoria do equipamento estático, bem como treinamentos e realização de alguns testes. A norma define como as válvulas de alívio (*RV*, *Relief valves*) e de segurança (*PSV*, *pressure safety valve*) devem operar. Sobre o projeto e construção de vasos de pressão,

tanques e tubulações, as normas de referência mais usuais são as da Sociedade americana de engenheiros mecânicos (*ASME, American Society of Mechanical Engineers*). Estes mostram discontinuidades e defeitos apesar das rotinas de controle de qualidade e inspeção. O que acarreta falhas catastróficas eventuais, levando a acidentes bastante severos.

A norma que rege os projetos de vasos de pressão, nos EUA, é a ASME Seção VIII Divisão 1. Já caldeiras, se baseiam fortemente na ASME Seção I. Apesar de que no Brasil, ASME não seja lei como nos EUA, é a norma mais utilizada para projeto tanto de vasos de pressão quanto de caldeiras. Todavia, deve incorporar todas as exigências da NR 13, esta uma lei do ministério do trabalho.

Além das justificativas acima mencionadas, também podem ser destacadas (CROWL e LOUVAR, 2014):

- Falhas de projeto;
- Falhas na gestão de documentos e de mudanças (*MOC, Management of changes*);
- Falta de conhecimentos técnicos de normas específicas;
- Falha nos históricos operacionais e de manutenção;
- Falta de procedimentos operacionais;
- Falha de inspeções e monitoramento do equipamento;
- Sistema de segurança;
- Instrumentação e controle;
- Conhecimento de barreiras preventivas e mitigadoras;
- Melhorias contínuas do processo.

Cabe salientar, que mesmo cumprindo-se a NR 13, os elementos acima podem levar a falhas catastróficas do sistema de processo. O *HAZOP* não considera a questão da integridade mecânica da caldeira, apenas os desvios de processos e os sistemas de controle e proteção associados a estes desvios. Assume-se que o vaso de pressão (ou a caldeira) tenha a sua integridade assegurada em uma inspeção prévia a operação, e usualmente, a questão da integridade mecânica é incorporada a análise de risco durante a realização das APRs (Avaliação Preliminar de Risco). O nível aceitável de risco, não pode ter como base somente a aplicação de normas e códigos, é preciso uma análise técnica, que busque objetivo das causas, suas consequências e probabilidades de ocorrência dos cenários para fontes de perigos previamente identificadas.

## 1.4. DELIMITAÇÃO

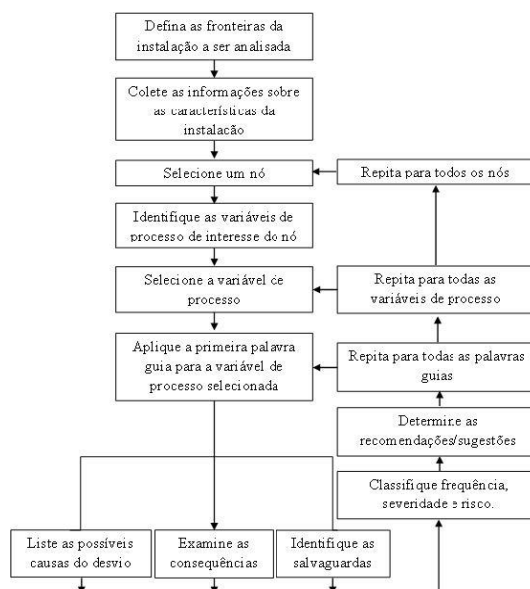
O estudo do *HAZOP* restringe-se a uma análise de processo em uma caldeira aquatubular, delimitada à área de sistema de geração de vapor, instrumentação e controle, e inspeções.

## CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. HAZOP

O *HAZOP* é uma técnica indutiva e estruturada para identificar perigos de processo e potenciais problemas de operação associando, de forma sistemática, um conjunto de palavras guia das variáveis de processo. Para cada desvio identificado são relacionadas suas causas, consequências, são avaliados qualitativamente seus riscos e analisados se os modos de detecção e salvaguardas existentes são suficientes, e caso necessário são propostas medidas adicionais. a Figura 1 ilustra o diagrama do método de análise do *HAZOP*.

Figura 1 – Diagrama do método de análise do *HAZOP*



Fonte: Adaptado de LIHOU 2004.

Para realizar esta análise, deverá ser formada uma equipe multidisciplinar, composta por um líder, que deve possuir um conhecimento elevado na técnica de *HAZOP*, e especialistas de cada área de estudo. Para a compreensão e desenvolvimento da técnica de *HAZOP* existem alguns conceitos fundamentais que devem ser detalhados. São eles:

- Conceitos do estudo: o objetivo do estudo *HAZOP* é identificar e avaliar quaisquer riscos remanescentes em um processo ou operação que não foram contemplados em etapas anteriores do projeto. Este estudo desempenha a função de ferramenta de análise de riscos capaz de proporcionar o entendimento de como estes estão distribuídos no processo. A identificação e avaliação dos riscos permite que soluções sejam desenvolvidas a fim de fornecer informações para que, em etapas subsequentes de análise de risco, seja possível eliminar ou mitigar os danos oferecidos por estes a níveis aceitáveis (CRAWLEY; TYLER, 2015).
- Nós do estudo: pontos do seções do processo, em geral, são subdivisões dos fluxogramas, ponto da tubulação ou um tanque no qual os parâmetros foram definidos no projeto (ALChe, 2008).
- Definições do processo: as definições e conhecimento do processo são imprescindíveis para identificação das variáveis do processo, nesta etapa é realizada o entendimento do projeto, mudanças, procedimentos, fluxogramas, diagramas e estudos anteriores. Após o levantamento destas definições é possível avaliar globalmente e analiticamente a divisão da planta em subsistemas e escolher o ponto do subsistema a ser analisado (VENKATASUBRAMANIAN; VAIDHYANATHAN, 1994).
- Desvios do processo: o desvio é definido através da equipe, relacionando os parâmetros do processo e palavras-guia, que serão utilizadas para qualificar ou quantificar os desvios de cada seção do processo de modo a guiar e estimular a identificação de riscos. Na Tabela 1 faz uma listagem com as definições dos desvios aplicáveis aos sistemas. E no Quadro 1 os desvios possíveis.

Tabela 1 – Desvios aplicáveis

| Palavra guia     | Significado                |
|------------------|----------------------------|
| NÃO, NENHUM      | Ausência total de intenção |
| MENOS, MENOR     | Diminuição quantitativa    |
| MAIS, MAIOR      | Aumento quantitativo       |
| PARTE DE         | Diminuição qualitativa     |
| TAMBÉM, BEM COMO | Acréscimo qualitativo      |
| REVERSO          | Oposto lógico da intenção  |
| OUTRO QUE        | Substituição               |

Fonte: Adaptado de CCPS 2011.

Quadro 1 – Desvios possíveis

| Parâmetros  |          |             |
|-------------|----------|-------------|
| Fluxo       | Pressão  | Temperatura |
| Nível       | Tempo    | Composição  |
| pH          | Agitação | Frequência  |
| Viscosidade | Voltagem | Separação   |

Fonte: Adaptado de CCPS 2011.

- Os arranjos de palavras “guia” e parâmetros evidencia a importância desta etapa no fluxo do estudo *HAZOP*, possibilitando a determinação de causas iniciais, fase sucessora à elaboração dos desvios, trazendo a realidade do processo, caminhando para uma análise mais eficaz (CCPS, 2008).
- Avaliação de causas e consequências: salvaguardas podem ser consideradas camadas de proteção, que são dispositivos, sistemas ou ações capazes de interromper a cadeia de eventos que podem ocorrer a partir de um evento iniciador (AIChE, 2008). Quando alguma falha no controle do processo for encontrada, deve-se recorrer às salvaguardas que são recursos utilizados no processo com o intuito de proteger o sistema e/ou equipamento, visando minimizar a ocorrência das causas e as severidades das

consequências dos desvios listados durante a análise. Esta etapa é fundamental para o levantamento de proteções que possam ser implementadas.

- Barreiras preventivas e mitigadoras: as medidas preventivas evitam o acidente e reduzem a frequência, já as medidas mitigadoras agem após o acidente. reduzem a severidade (ALChe, 2008).
- Análise de riscos: Classificar o risco envolvido para os cenários determinados, a frequência e severidade de cada cenário a fim de possibilitar a avaliação dos riscos oferecidos qualitativamente, é a parte fundamental desta etapa. Esta avaliação é conduzida de forma a garantir informações preliminares a respeito da natureza do evento, sem que métodos quantitativos sejam empregados nesta fase (KLETZ, 1997).

Para avaliação dos riscos os cenários são divididos em categorias e classificados pela frequência e severidade de cada cenário.

Inicialmente são selecionados ‘nós’, a partir dos quais a avaliação procede em todos os sentidos de fluxo possíveis. Montado o cenário, é então realizada uma avaliação do risco a partir de uma estimativa da frequência de ocorrência de eventos indesejados e da severidade de suas consequências. O risco inerente a um determinado cenário é uma função do produto destas duas variáveis, a frequência e a severidade.

As categorias de frequência visam permitir uma avaliação da frequência do cenário acidental, a qual deve ser estimada considerando a atuação das salvaguardas preventivas efetivamente implantadas e operacionais.

As categorias de severidade visam permitir uma avaliação da magnitude das consequências dos efeitos físicos de interesse (sobre pressão, concentração tóxica, radiação e térmica), a qual deve ser estimada, considerando que a presença de salvaguardas mitigadoras existentes reduzirá tal severidade. A partir da Figura 2 é possível compreender as categorias de riscos com seus respectivos níveis de controle.

Figura 2 – Categorias de risco e o nível de controle necessário

| Categoria de risco        | Descrição do nível de controle necessário                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Tolerável (T)</b>      | Não há necessidade de medidas adicionais. A monitoração é necessária para assegurar que os controles sejam mantidos.                                                                                                                                                     |
| <b>Moderado (M)</b>       | Medidas adicionais devem ser avaliadas com o objetivo de obter-se uma redução dos riscos e implementadas aquelas consideradas praticáveis (região ALARP - "As Low As Reasonably Practicable")                                                                            |
| <b>Não Tolerável (NT)</b> | Os controles existentes são insuficientes. Métodos alternativos devem ser considerados para reduzir a probabilidade de ocorrência ou a severidade das consequências, de forma a trazer os riscos para regiões de menor magnitude de riscos (regiões ALARP ou tolerável). |

Fonte: Adaptado de CCPS 2008.

Quando identificados os cenários quanto ao seu risco, esses dados permitem classificar os eventos críticos e consequentemente, estabelecer prioridades para que as medidas sejam capazes de reduzir a categoria do risco. É possível utilizar a matriz de risco para selecionar os cenários que exigirão uma análise mais aprofundada e tolerabilidade destes riscos conforme Figura 3.

Figura 3 – Matriz de Riscos

| Matriz de Risco |                    |               |                |               |               |               |
|-----------------|--------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
|                 |                    | Frequência    |                |               |               |               |
|                 |                    | 5 - Remota    | 4 - Improvável | 3 - Ocasional | 2 - Provável  | 1 - Frequente |
| Consequência    | 1- Catastrófica    | Intermediário | Intermediário  | Alto          | Alto          | Alto          |
|                 | 2 - Severa         | Intermediário | Intermediário  | Intermediário | Alto          | Alto          |
|                 | 3 - Moderada       | Baixo         | Baixo          | Intermediário | Intermediário | Alto          |
|                 | 4- Desprezível     | Baixo         | Baixo          | Baixo         | Intermediário | Intermediário |
|                 | 5 - Negligenciável | Baixo         | Baixo          | Baixo         | Baixo         | Intermediário |

Fonte: Adaptado de CCPS 2008

## 2.2. ACIDENTES COM CALDEIRAS

Apesar das caldeiras serem amplamente utilizadas nas indústrias, ainda existe o risco de acidentes por não seguir os procedimentos de segurança e manutenção adequados. Quando altas pressões são combinadas com altas temperaturas, a energia armazenada no vapor também é alta. Portanto, a liberação desse vapor em caso de ruptura pode ser catastrófica. Os riscos de segurança de caldeiras com vazamento incluem incêndios, explosões, envenenamento devido à exposição a gases tóxicos em produtos de combustão e queimaduras.

As principais causas de falhas, ocasionando acidentes registradas pelo mundo segundo o IBP (Instituto Brasileiro de Petróleo) até ano de 2022 foram:

- Reparos ou modificações executados de forma inadequada;
- Falta de código de projeto e montagem;
- Problemas com a gestão de mudanças;
- Falhas de operação/procedimentos;
- Falha de intertravamento ou dos dispositivos de segurança.

Segue no Quadro 2 os dados estatísticos de acidentes por equipamentos e no Quadro 3 os maiores acidentes do século XX.

Quadro 2 – Dados estatísticos por equipamentos

|                        |        |
|------------------------|--------|
| Tanque atmosférico     | 20%    |
| Tubulações             | 30%    |
| Vasos de pressão       | 15%    |
| Fornos e caldeiras     | 6,00%  |
| Bombas e compressores  | 5,30%  |
| Válvulas seg. Alívio   | 3,40%  |
| Tanque atmosférico     | 20,00% |
| Tubulações             | 30%    |
| Vasos de pressão       | 15%    |
| Fornos e caldeiras     | 6%     |
| Bombas e compressores  | 5%     |
| Válvulas seg. alívio   | 3%     |
| Tanques transportáveis | 2,00%  |
| Outros                 | 18,00% |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Petróleo - IBP 2022.

Quadro 3 – Acidentes

| Ano  | País / Local       | Setor        | Mortos | Feridos   | Equipamento  |
|------|--------------------|--------------|--------|-----------|--------------|
| 1905 | Eua brockton       | Calçados     | 58     | 117       | Caldeira     |
| 1921 | Alem oppau         | Química      | 561    | Nd        | Desconhecido |
| 1947 | Eua texas          | Portuária    | 552    | Nd        | Esfera       |
| 1972 | Brasil dcx         | Refino       | 21     | 49        | Esfera       |
| 1976 | Itália sevezo      | Química      | 200    | 10.000    | Vaso         |
| 1978 | Espanha são carlos | Transporte   | 251    | Nd        | Vaso         |
| 1984 | Mexico cid. Mex.   | Distribuição | 508    | 6.000     | Tubulação    |
| 1984 | India bhopal       | Química      | 4.000  | 300.000   | Tubulação    |
| 1984 | Brasil v.socó      | Distribuição | 400    | Nd        | Tubulação    |
| 1986 | Rússia chernobyl   | Ger. Energia | 93.000 | 1.000.000 | Nuclear      |
| 1992 | Mexico guadalajara | Distribuição | 223    | 1500      | Tubulação    |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Petróleo-IBP 2022.

As principais causas de acidentes no mundo envolvendo caldeiras é do tipo flamotubular. Destes acidentes, as maiores falhas estão em partidas, perda de nível de água e seguido da explosão da fornalha. A Grande parte destes acidentes foram em caldeiras de embarcações e trens, tendo em vistas suas características e dificuldades de inspeções, controles e etc.

O IBP realizou o levantamento de dados de equipamentos pressurizados no Brasil de 2008 até 2012, com as informações na Figura 3 é possível identificar acidentes gravíssimos com diversos tipos de equipamentos pressurizados.

Figura 4 – Acidentes com equipamentos pressurizados no Brasil

| Ano | Localização      | Equipamento            | Empresa                  | Consequências           |
|-----|------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 8   | RIB. PRETO -5P   | Autoclave              | Segmento farmac.         | 3f                      |
| 8   | CAMBIRÁ-PR       | Caldeira               | Não informado            | 1m                      |
| 8   | PRAIA GRANDE-SP  | Panela cocção          | Não informado            | 4 f                     |
| 8   | GUAPÉ-MG         | Vaso carbureto         | Não-informado            | 1m 1f                   |
| 8   | SAMAMBAIA-DF     | Sist. Refrig. Amônia   | Não-informado            | 16 f                    |
| 8   | FURADO-AL        | Duto                   | Petrobras                | 4 m                     |
| 9   | INDAIATUBA-SP    | Mangote                | Metalúrgica              | 49 f                    |
| 9   | ESPIRITO SANTO   | Válvula riser          | Petrobras fpso           | 1m                      |
| 9   | DIADEMA -SP      | Explosão depósito      | Distribuidora PQ         | Materiais               |
| 9   | VOLTA REDONDA    | Explosão a. Forno      | Csn                      | Materiais               |
| 10  | CAPUAVA-SP       | Forno                  | Quattor qb abc           | 2 f                     |
| 10  | CAMAÇARI-BA      | Caldeira recup.        | Fafen-ba                 | 1f                      |
| 10  | S.F. CONDE-BA    | Caldeira               | Refinaria de Conde       | 2f                      |
| 10  | MAUÃ DA SERRA-PR | Caldeira               | Ind. de alimentos        | 1 m                     |
| 10  | BAHIA            | Vaso de pressão        | Uo-ba petrobras          | 1 m                     |
| 10  | BAHIA            | Caldeira               | RLam petrobras           | Materiais               |
| 10  | URUCU-AM         | Duto                   | Uo-am petrobras          | 1 m                     |
| 10  | ARAUCÁRIA-PR     | Caldeira               | Repar petrobras          | Materiais               |
| 10  | CAMPINAS-SP      | Caldeira               | Empresa de alimentos s/n | 5 feridos               |
| 10  | COTIA            | Caldeira               | Lavand. Clandestina      | 1 m                     |
| 10  | ARATÚ-BA         | Tanque amônia          | Fafen-ba                 | Nenhuma                 |
| 10  | CAMAÇARI         | Tub condensado         | Brasxen unib ba          | 1 m 2 f                 |
| 11  | BACIA DE CAMPOS  | Tubul                  | Plataf. Pch              | Incêndio                |
| 11  | DUQUE DE CAXIAS  | Filtro maq. Rot.       | Reduc                    | Incêndio                |
| 11  | S. J. CAMPOS     | Tubul                  | Revap                    | 1 m 2f                  |
| 11  | MACEIÓ           | Vaso pressão           | Braskem cs al            | > 100 f                 |
| 11  | EMBU-SP          | Tanque                 | Nd                       | Incêdio                 |
| 11  | DUQUE CAXIAS     | Vaso pressão           | Nacional gás             | Vazamento               |
| 11  | BLUMENAU-SC      | Boler                  | Hotel plaza              | Materiais               |
| 11  | RIB. PRETO-SP    | Tubul. Gás             | Centro empres.           | 1 f                     |
| 11  | RIO DO BÚ- BA    | Caldeira               | Superaquecimento         | Materiais               |
| 11  | CABIUNAS -RJ     | Tubulação              | Transpetro               | Vazamento               |
| 11  | BACIA CAMPOS     | Tubulação n2           | Petrobras                | 12 f                    |
| 12  | MAR-RN           | Guindaste pub-3        | Petrobras uo-mce         | 1 m                     |
| 12  | MAR-RS           | Psv de monobóia        | Transpetro sul           | Ambientais              |
| 12  | MANUAUS          | Psv para tocha         | Petrobras reman          | Flash e incêndio        |
| 12  | CAMAÇARI         | Trocador calor         | Petrobras fafen-ba       | Flash 1 f               |
| 12  | CUBATÃO          | Forno (desativado)     | Petrobras rpbc           | 1 m                     |
| 12  | TRIUNFO-RS       | Teto tanque flut.      | Braskem unib rs          | Ambientais              |
| 12  | DUQUE DE CAXIAS  | Tubulação de ar 3"     | Petrobras reduc          | Incêndio local.         |
| 12  | PAULÍNIA-SP      | Reator /painel el.     | Rhodia                   | Explosão / 4 f          |
| 12  | BAHIA            | Tanque armazen.        | Petrobras uo- ba         | Explosão / materiais 1f |
| 12  | BAHIA            | Vaso tratador óleo     | Petrobras uo-ba          | Deformação e vazam.     |
| 12  | BAHIA            | Tubul. Enterrada       | Petrobras rlam           | Vazamento benzeno       |
| 12  | R.GRANDE SUL     | Caldeira asf. Caminhão | Desconhecido             | Explosão / 1f           |
| 12  | R.GRANDE SUL     | Caldeira flui. Térmico | Desconhecido             | Incendio materiais      |
| 12  | CABIUNAS-RJ      | Filtro / Vaso pressão  | Transpetro               | Vazamento Gás           |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Petróleo-IBP 2022.

## 2.3. SISTEMAS GERADORES DE VAPOR

### 2.3.1. Caldeiras em instalações industriais

Caldeiras são equipamentos projetados para vaporizar água líquida em pressão acima da atmosférica em temperatura igual ou maior que a temperatura de saturação do vapor nessa pressão por meio de energia térmica cedida em condições controladas (SILVA, 2012).

Caldeiras constituem uns dos sistemas de troca de calor mais complexos já desenvolvidos pela humanidade. A função básica de uma caldeira é converter água em vapor para os mais diversos fins, tais como; geração de eletricidade, calefação, aquecimento e principalmente como insumo em processos produtivos de grandes empresas. São equipamentos críticos para o processo produtivo de uma grande empresa e uma falha pode interromper toda uma linha de produção gerando lucro cessante (BRAMBILLA, 2007).

O investimento em uma caldeira é alto em relação aos das demais instalações e equipamentos, de modo que a sua perda por deterioração ou acidente é totalmente indesejável. Considerando as condições operacionais críticas de pressão e temperatura a que são submetidas, caldeiras estão sujeitas a processos de deterioração importantes que precisam ser acompanhados e controlados.

Um plano de inspeção e manutenção deve ser estabelecido com base nos processos de deterioração esperados. Além disso, deve incorporar as recomendações do catálogo do fabricante ou mesmo de fabricantes de equipamentos similares, bem como experiência de outros usuários (LAGEMANN e SALLES, 2006).

### 2.3.2. Normas e documentos aplicáveis

#### 2.3.2.1. Normas gerais

Existe uma grande quantidade de normas e documentos para os mais diversos objetivos e aplicações ao longo de todo o ciclo de vida de uma caldeira. Assim, existem normas e códigos para fabricação, construção, montagem, inspeção, operação e segurança, de modo que detalhar todas elas seriam objeto de livros inteiros. Portanto, limitaremos aqui a comentar sucintamente

os mais importantes. Detalhes específicos de um ou outro código ou norma serão discutidos e comentados ao longo desta monografia quando necessário.

No Brasil o código ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*), é de longe o mais utilizado, praticamente pela totalidade dos fabricantes brasileiros, apesar da emissão da NB 227 em 1974 pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), (colocar por extenso o significado da sigla) com base na norma ISO/R-831 de 1968.

O projeto da maioria das caldeiras e de utilidades é feito de acordo com o ASME SEC I, que lista todos os materiais aprovados para construção de caldeiras. As especificações de materiais constam no ASME SEC II. As tensões máximas admissíveis para materiais de caldeiras especificados pelo ASME SEC II são baseadas em propriedades dependentes e independentes do tempo.

#### 2.3.2.2. Norma regulamentadora (NR-13)

Essa norma regulamentadora estabelece os requisitos mínimos para gestão da integridade estrutural de caldeiras a vapor, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de armazenamento nos aspectos relacionados à instalação, inspeção, operação e manutenção, os dispositivos de segurança obrigatórios são:

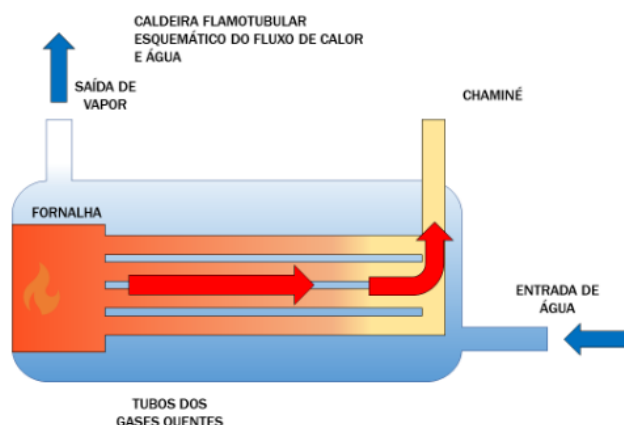
- Válvula de segurança com pressão de abertura igual ou inferior a PMTA (pressão máxima de trabalho admissível), considerando os requisitos do código de projeto;
- Instrumento que indique a pressão do vapor acumulado;
- Sistema de alimentação de água independente do principal, para evitar o superaquecimento por alimentação deficiente, acima das temperaturas de projeto, aplicável a caldeiras de combustível sólido;
- Sistema de drenagem rápida de água, aplicável a caldeiras de recuperação de álcalis;
- Sistema automático de controle do nível de água com intertravamento para evitar o superaquecimento por alimentação deficiente;
- Prontuário da caldeira: documentos e registros do projeto de construção, fornecido pelo fabricante.

- Registro de segurança: registra as ocorrências que influenciam nas condições de segurança da caldeira, bem como a realização das inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária, constando a condição operacional da caldeira;
- Projeto de instalação: é de responsabilidade de PH (profissional habilitado), e deve obedecer aos aspectos de segurança, saúde e meio ambiente previstos nas normas regulamentadoras vigentes.
- Projeto de alteração ou reparo (PAR): concebido ou aprovado por PH, quando as condições de projeto forem modificadas ou quando realizarem reparos que comprometam a segurança da caldeira;
- Relatório de inspeção de segurança: este relatório deve conter, resultados das inspeções contendo dados conclusivos de sua integridade estrutural;
- Certificados de calibração: resultados da calibração, identificando se os instrumentos utilizados que estão aptos para o processo.

### 2.3.3. Caldeiras flamotubulares

Caldeira flamotubular é uma caldeira em que a queima e os gases dela resultantes fluem dentro de tubos. A queima processa-se no interior de um cilindro construído em chapa de aço, com dimensões tais que permitam a combustão completa de modo que, após a mesma, só fluam gases quentes para as demais passagens de gases conforme o desenho esquemático na Figura 5.

Figura 5 – Desenho esquemático da caldeira flamotubular

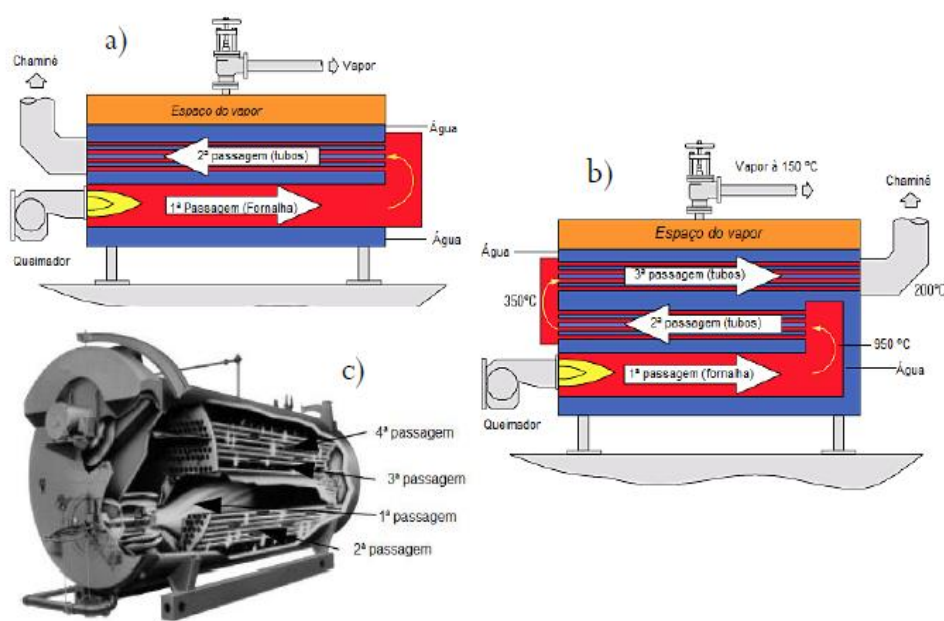


Fonte: Adaptado do BAZZO 1998.

As caldeiras flamotubulares são empregadas geralmente para pequenas capacidades e quando se pretende apenas vapor saturado de baixa pressão.

O feixe tubular, ou tubos de fumaça, é composto de tubos que são responsáveis pela absorção do calor contido nos gases de exaustão usados para o aquecimento da água que ligam o espelho frontal com o posterior, podendo ser de um, dois ou três passes.

Figura 6 - Caldeiras com a) duas b) três e c) quatro passagens

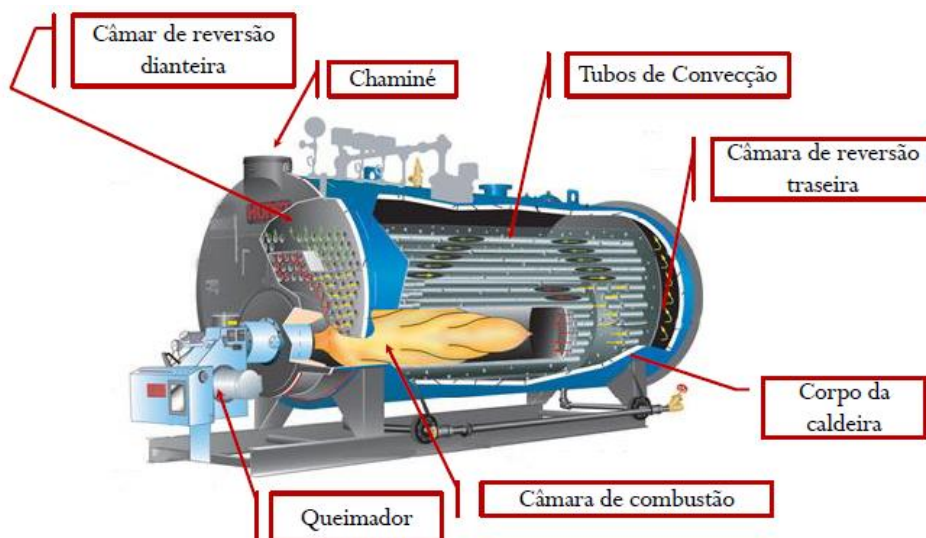


Fonte: SILVA, 2012.

Os tubos são envolvidos pelo casco, que comporta a água, sendo que esta entra, geralmente à temperatura ambiente e sai no estado de vapor.

Na fornalha é onde acontece a troca de calor por radiação e uma pequena parte por convecção, na Figura 4 mostra com detalhes este processo. No seu interior é que ocorre a maior temperatura de todo o gerador de vapor, onde se processa a maior troca de calor de toda a caldeira, chegando a ser mais de 50% do total da caldeira (SILVA, 2012). Na Figura 7 mostra um exemplo de caldeira flamotubular.

Figura 7 – Caldeira flamotubular em corte



Fonte: SILVA, 2012

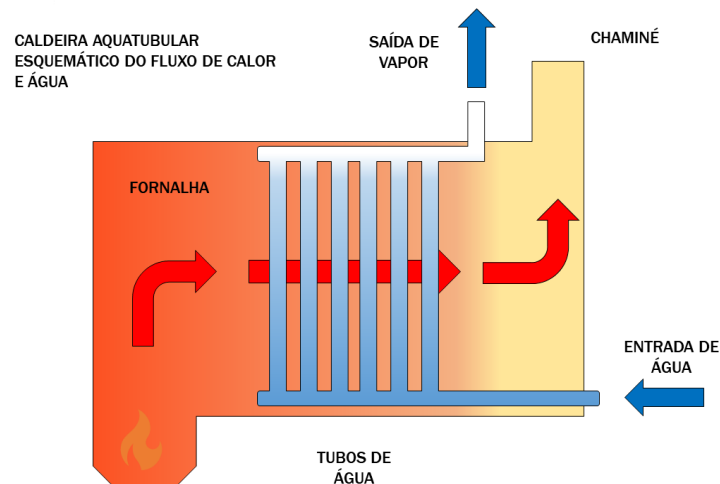
As caldeiras flamotubulares geram somente vapor saturado, não tendo superaquecedor. Normalmente, estão limitadas a uma produção máxima de até 30 toneladas de vapor saturado por hora, a uma pressão máxima de 20 kgf/cm<sup>2</sup>. O limitante para a pressão máxima de operação é a espessura de parede do casco que para pressões maiores o tornaria muito espesso e com um custo inaceitável (BRAMBILLA, 2007). Por gerarem apenas vapor saturado, seu uso está limitado a empresas onde o vapor é utilizado somente para aquecimento.

### 2.1.1. Caldeiras aquatubulares

As caldeiras aquatubulares são aquelas em que a água circula no interior dos tubos enquanto os gases quentes transitam numa câmara de combustão, na Figura 8 mostra em corte esta caldeira. Estas unidades possuem grande capacidade de produção, projetadas para operar em médias e altas pressões. (LAGEMANN; SALLES, 2006; BRAMBILLA, 2007).

A utilização dessas caldeiras mais ampla, pois possuem vasos pressurizados internamente de menores dimensões relativas, viabilizando tecnicamente e economicamente o uso de maiores espessuras e consequentemente de atingir pressões mais elevadas.

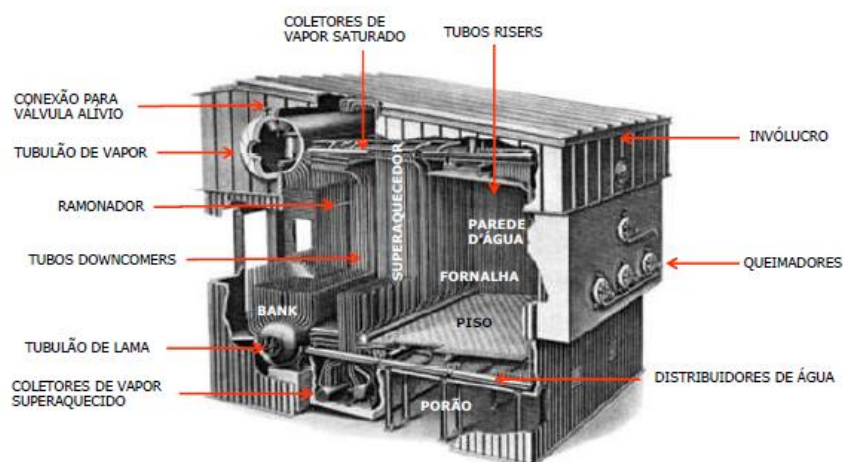
Figura 8 – Desenho esquemático da caldeira aquatubular



Fonte: Adaptado do BAZZO 1998.

As partes principais desta caldeira estão representadas na Figuras 9. Outro ponto importante é que devido a sua concepção de projeto é possível ser incorporado uma seção de superaquecimento do vapor, o que torna possível a utilização do vapor para obtenção de trabalho mecânico através de máquinas de transformação.

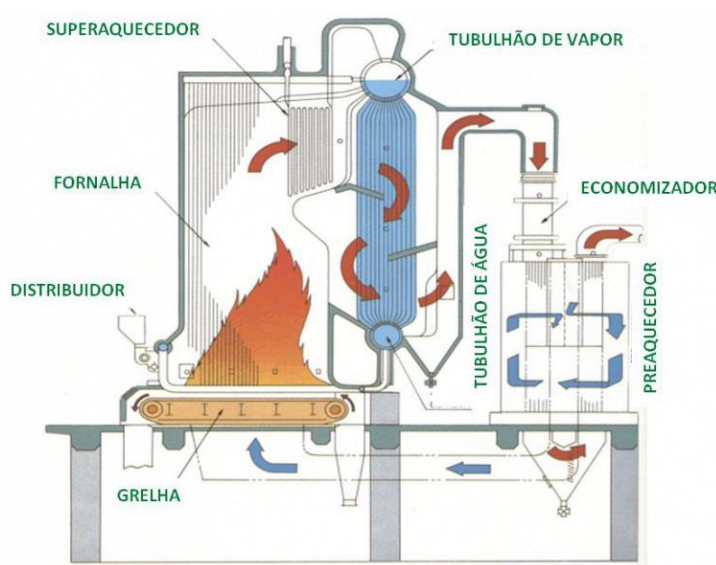
Figura 9 – Partes principais da caldeira aquatubular



Fonte: LAGEMANN; SALLES, 2006.

A circulação dos gases de combustão em uma caldeira é tão importante quanto a circulação de água. Os gases quentes provenientes dos queimadores devem circular pela fornalha para ceder calor aos tubos de parede d'água e risers e em seguida pelo superaquecedor e pelo boiler bank. O boiler bank é o feixe de tubos de geração de vapor e os tubos de descida de água ficam na parede traseira da caldeira. Esses gases passam ainda por equipamentos recuperadores de calor, como o economizador e o pré-aquecedor de ar antes de serem descarregados para a chaminé. Para garantir a passagem dos gases sem caminhos preferenciais e proporcionar a máxima transferência de calor são instaladas chicanas direcionadoras de fluxo conforme a Figura 10 (LAGEMANN; SALLES, 2006; BRAMBILLA, 2007).

Figura 10 – Partes principais da circulação de gases



Fonte: SILVA, 2012

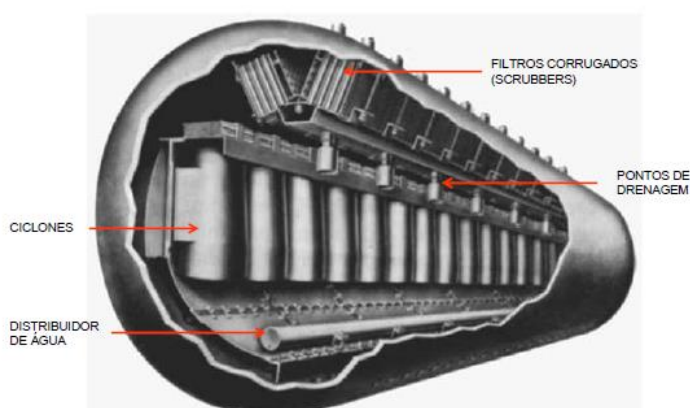
A caldeira aquatubular também tem partida mais rápida, e utiliza uma área proporcionalmente menor para a mesma quantidade de vapor gerado que uma caldeira flamatubular. Porém, como desvantagens, pode-se citar a necessidade de um tratamento meticuloso da água de alimentação, construção complexa, custo elevado, e necessidade de operadores mais qualificados (LAGEMANN; SALLES, 2006).

O tubulão de vapor ou tubulão superior, é um vaso de pressão disposto transversalmente na parte superior da caldeira. É o vaso que recebe e distribui a água para a vaporização nos

tubos risers, além de coletar o vapor saturado e enviá-lo para o superaquecedor. Portanto contém água em equilíbrio com vapor saturado. Existem caldeiras com dois ou mais tubulões, dependendo do projeto e da capacidade de produção, mas não é muito comum. Dentro do tubulão há uma série de filtros e ciclones alinhados para separar as gotículas de água do vapor saturado bem como reter partículas arrastadas e contaminantes sólidos (SILVA, 2012).

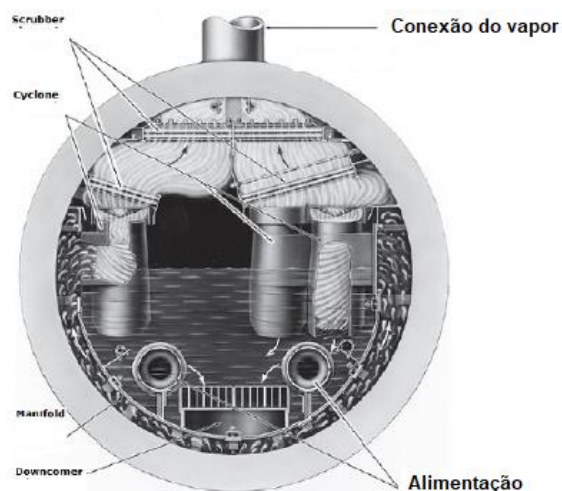
A Figura 11 e 12 mostra um tubulão típico e seus internos, mostrando a separação e filtragem do vapor saturado.

Figura 11 – Partes principais da circulação de gases



Fonte: SILVA, 2012.

Figura 12 – Acessórios do tubulão de vapor



Fonte: SILVA, 2012.

As caldeiras aquatubulares são mais difíceis de serem construídas e necessitam de maior controle na operação. Suas características operacionais são: Alta produção de vapor, chegando a 750 ton/h – normalmente entre 15 e 150 ton/h e alta pressão de operação, normalmente entre 90 kgf/cm<sup>2</sup> a 100 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 2.3.4. Principais componentes

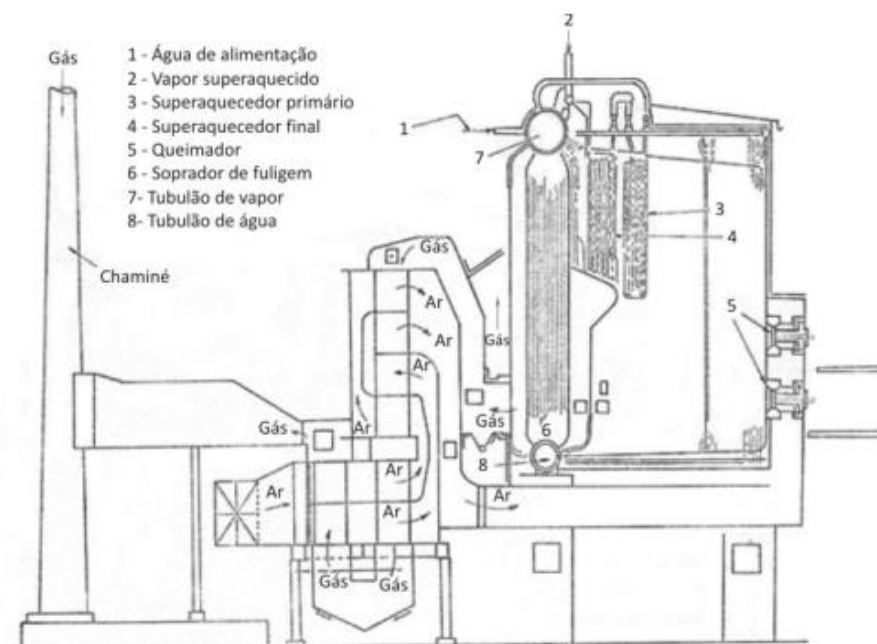
As caldeiras aquatubulares de grande porte e de maior complexidade tem como componentes o cinzeiro, a fornalha, a câmara de combustão, os tubos evaporadores, o superaquecedor, o economizador, o pré-aquecedor de ar, os canais de gases e a chaminé (NOGUEIRA et al, 2005). Na Figura 13, mostra as funções de cada componente em específico. Na Figura 14 mostra o desenho esquemático localizando cada item especificado em uma caldeira aquatubular.

Figura 13 – Principais componentes da caldeira

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cinzeiro                               | Lugar onde se depositam cinzas e ou, eventualmente, restos de combustíveis que atravessam o suporte de queima sem completarem sua combustão.                                                                                                                                                                                         |
| Fornalha                               | Local onde se inicia o processo de queima de combustíveis.                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Câmara de combustão                    | Volume onde se deve consumir todo o combustível antes dos produtos de combustão atingirem e penetrarem no feixe de tubos. Por vezes, confunde-se com a própria fornalha, dela fazendo parte; outras vezes, separa-se completamente.                                                                                                  |
| Tubos evaporadores                     | Correspondem ao vaso fechado e pressurizado com tubos contendo água no seu interior, a qual, ao receber calor, transforma-se em vapor.                                                                                                                                                                                               |
| Superaquecedor                         | Responsável pela elevação da temperatura do vapor saturado gerado na caldeira.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Economizador                           | Componente onde a temperatura da água de alimentação sofre elevação, aproveitando o calor sensível residual dos gases da combustão direcionados à chaminé.                                                                                                                                                                           |
| Pré-aquecedor de ar<br>Canais de Gases | Componente cuja função é aquecer o ar de combustão para introduzi-lo na fornalha, aproveitando o calor sensível dos gases da combustão.<br>São trechos intermediários ou finais de circulação dos gases de combustão até a chaminé. Podem ser de alvenaria ou de chapas de aço, conforme a temperatura dos gases que neles circulam. |
| Chaminé                                | É a parte que garante a expulsão dos gases de combustão com velocidade e altura determinadas para o ambiente e, indiretamente, promove a boa circulação dos gases quentes da combustão através de todo o sistema pelo chamado efeito de tiragem.                                                                                     |

Fonte: NOGUEIRA, 2005.

Figura 14 – Componentes básicos para caldeira aquatubular



Fonte: PÊRA ,1990.

As caldeiras flamotubulares consistem essencialmente de um corpo cilíndrico com dois espelhos fixos nos quais os tubos são mandrilhados ou soldados. A água contida no corpo cilíndrico envolve os tubos enquanto os gases aquecidos circulam pela parte interna dos tubos. Na Figura 15 mostra os componentes básicos desta caldeira.

Figura 15 – Componentes básicos para caldeira flamotubular



Fonte: PÊRA ,1990.

## 2.4. INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE DA CALDEIRA

### 2.4.1. Sistemas de controle

Com a modernização da eletrônicas e dos sistemas de automação e controle, foram incluídos sistemas controladores lógicos programáveis (PLCs) e instrumentação de campo inteligente (*Field-Bus*) e com a utilização de sistemas supervisórios (NOGUEIRA 2005).

As estratégias de controle mais utilizadas são utilizadas no controle de processo - controle feedback simples, controle *feedforward*, *feedforward* combinado com controle feedback, controle em cascata e controle de razão. Nestes conceitos existem cinco estratégias de controle podem ser contempladas (GILMAN 2010).

Existem duas variáveis a serem controladas: a pressão de vapor e o nível do tubulão superior. Tendo a possibilidade de controle complementares como a temperatura do vapor superaquecido, o controle de temperatura no pré-aquecedor de ar e o controle de pressão na câmara de combustão.

A pressão de vapor deve ser mantida numa faixa de variação estreita, uma vez que este vapor é normalmente empregado em equipamentos complexos que precisam operar com grande estabilidade, como é o caso das turbinas. Esta pressão é controlada através da variação do combustível e do ar de combustão, injetados nos queimadores. Nesta estratégia de controle, quanto maior a vazão do combustível e do ar injetado, maior a troca de calor e, portanto, maior a vaporização (BEGA, 2003).

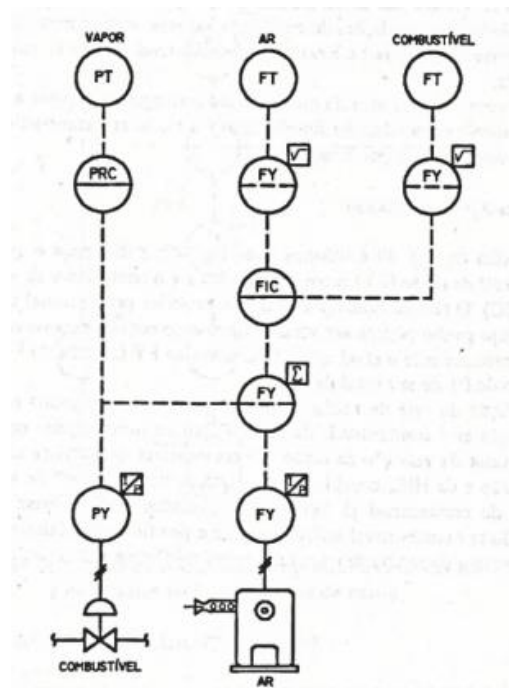
O controle do nível do tubulão superior também deve ser mantido dentro da faixa de trabalho, pois o descontrole pode ocasionar arraste de água ou superaquecimento (BEGA, 2003).

### 2.4.2. Controle de combustão simples

A malha simples é composta por medidores de vazão de ar de combustão e de combustível, um medidor de pressão do vapor e dois relés controladores de pressão de vazão.

Nessa malha, conforme a Figura 16, o sinal de saída do controlador de pressão (PRC) atua diretamente no sistema de alimentação do combustível sólido, enquanto que no *damp*er de ar a atuação é realizada através do somador FY. Este somador FY recebe tanto o sinal do PRC quanto do FIC, que controla a vazão do ar de combustão em função da vazão de vapor (BEGA, 2003).

Figura 16 – Controle de combustão simplificado

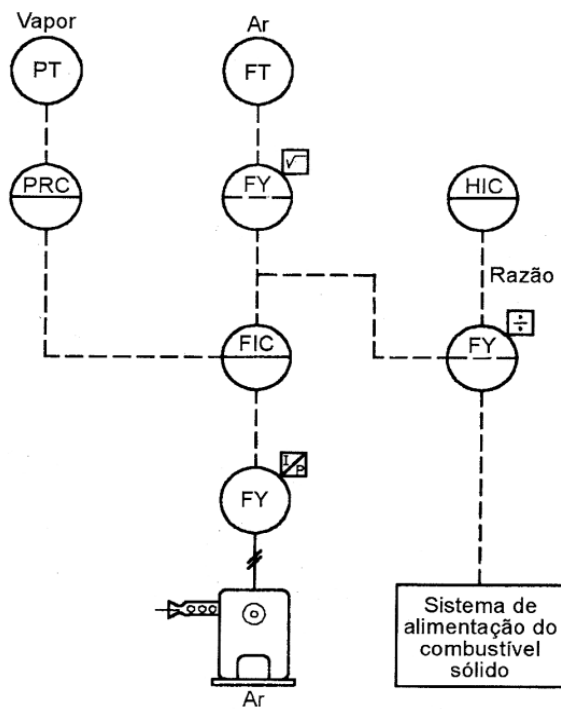


Fonte: BEGA,2003

#### 2.4.3. Controle de níveis de série com combustível seguido de ar

O (PRC) fornece o set-point do (FIC), enquanto o sinal de saída do FT do ar, após passar pelo extrator (FY) e pelo relé de razão (FY), é enviado diretamente para posicionar o sistema de alimentação do combustível, resulta em uma resposta mais lenta a variações de carga conforme a Figura 17.

Figura 17 – Controle de combustão série



Fonte: BEGA,2003.

#### 2.4.4. Controle de combustão paralelo com a vazão de combustíveis, ar de combustão e a malha de pressão

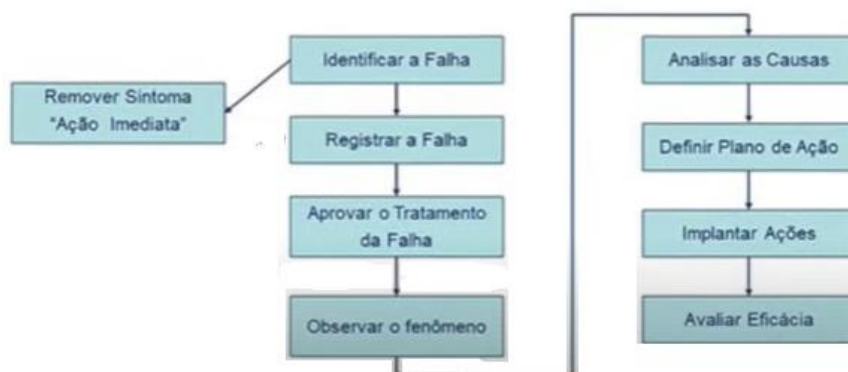
O controlador de vazão de ar de combustão atua no *damper* de ar e o controlador de combustível atua diretamente na válvula de combustível, atuando juntamente com o controlador de pressão. Seque a malha de controle na Figura 18.







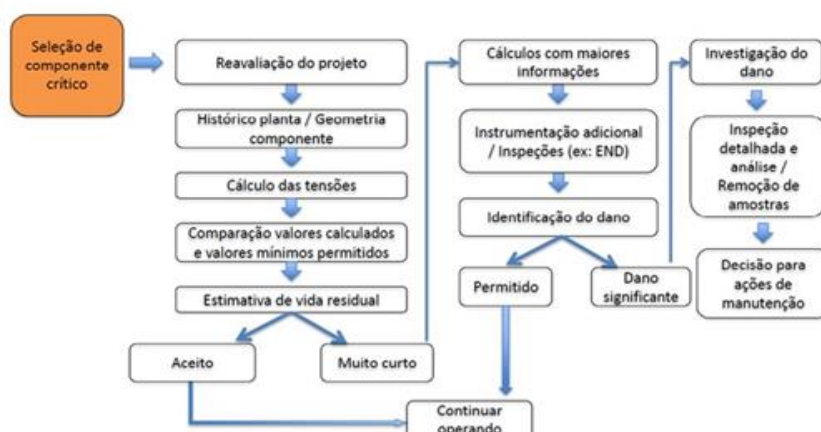
Figura 21 – Etapas do tratamento da falha



Fonte: ZEEMANN, 2020.

A falha é um evento indesejável, pois podem ocorrer perdas e danos ou exposição a riscos. A prevenção de falhas ou a determinação de vida e condição para que a falha ocorra de forma prevista são medidas para o sucesso do projeto. Do ponto de vista operacional uma falha em um equipamento, uma tubulação, uma estrutura ou qualquer tipo de componente, é um não atendimento a um requisito de utilização, que nem sempre ocorre de forma drástica, como uma ruptura (ASM, 1986). Assim, podem ser aplicadas este conceito na análise de falhas em uma caldeira conforme a Figura 22.

Figura 22 – Aplicação da análise falhas na caldeira

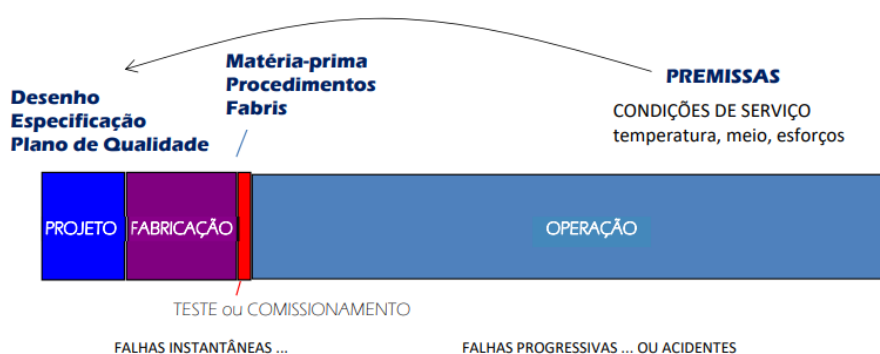


Fonte: FELLIPE, 2015.

As falhas podem ser instantâneas, quando elas ocorrem no momento em que o material excede sua capacidade por ter sido submetido a uma condição extrema, em geral associada a uma carga ou a uma temperatura específica. Já as falhas progressivas são detectadas quando o acúmulo de danos chega a um nível que impede o material de cumprir sua função, em geral após algum tempo de operação em meio ambiente corrosivo; ou que promova desgaste, ou que fragilize o material (BROOKS 1993).

A figura 23 apresenta um esquema que identifica as etapas da vida de um componente em engenharia (projeto, fabricação, teste e operação), mostrando que as premissas de projeto estão relacionadas aos requisitos de operação e que as falhas instantâneas tendem a ocorrer no início da vida e as progressivas após algum tempo de operação.

Figura 23 – Etapas da vida de um componente



Fonte: ZEEMANN, 2020

## 2.6. INSPEÇÕES

### 2.6.1. Inspeções em geral

Pela legislação vigente, conforme norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e Emprego NR-13, toda caldeira deve ser periodicamente inspecionada dentro dos prazos estabelecidos pela norma e em seguida é necessária a manutenção corretiva e preventiva como forma de garantir a integridade das pessoas e das instalações. NBR-12177, da ABNT, estabelece como esta inspeção deve ser realizada. A inspeção deve ser realizada por inspetor credenciado,

treinado e ainda sob a supervisão de um profissional habilitado. Este profissional é aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento da operação, manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras, vasos de pressão e tubulações, em conformidade com a regulamentação profissional existente no país.

A atividade de inspeção requer recursos e equipamentos que podem ser tão simples quanto um martelo de bola ou tão sofisticado quanto câmaras de visão infravermelha e sistemas de obtenção de radiografias digitais. A atividade de inspeção faz uso de equipamentos pessoais simples, ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos.

Características na NR-13 sobre inspeções estabelece:

- Inspeção de segurança inicial: executada no equipamento novo, antes de sua entrada em operação;
- Inspeção de segurança periódica: inspeção executada durante a vida útil do equipamento;
- Inspeção de segurança extraordinária: executada devido a ocorrências que possam afetar a condição física do equipamento;
- Inspeção extraordinária especial: inspeção aplicada para vasos de pressão construídos sem código de projeto.

### **2.6.2. Inspeções em serviço**

Esta inspeção é realizada de acordo com uma rotina escrita que estabelece a periodicidade com que as diversas partes e acessórios da caldeira devem ser inspecionados. Assim, existem rotinas para inspeção diária, semanal e mensal. As informações relevantes identificadas nestas inspeções são anotadas em um livro de registro de segurança, componente essencial do prontuário da caldeira, conforme requisitos da NR-13. As anotações relevantes identificadas na inspeção de rotina incluem, por exemplo, a carga térmica da caldeira, as mudanças do tipo de combustível ocorridas e seus teores de contaminantes, intervenções de manutenção além de eventuais mudanças no processo.

### 2.6.3. Inspeções em parada

A inspeção em parada é aquela realizada com o equipamento fora de operação. Normalmente essas paradas são programadas para atender o prazo legal, ou para realização de alguma manutenção impossível de ser realizada com o equipamento em operação ou ainda em caso de falhas ou avarias que precisam ser corrigidas.

O primeiro passo para uma boa inspeção é levantar o histórico da caldeira. Para uma inspeção bem feita é fundamental conhecer a caldeira objeto de avaliação. Conhecer aqui não significa apenas ter experiência anterior em inspeção de caldeiras ou conhecer os seus processos de deterioração. É fundamental entender como ela funciona e como está inserida no processo como um todo, ou seja, é necessário ter visão global.

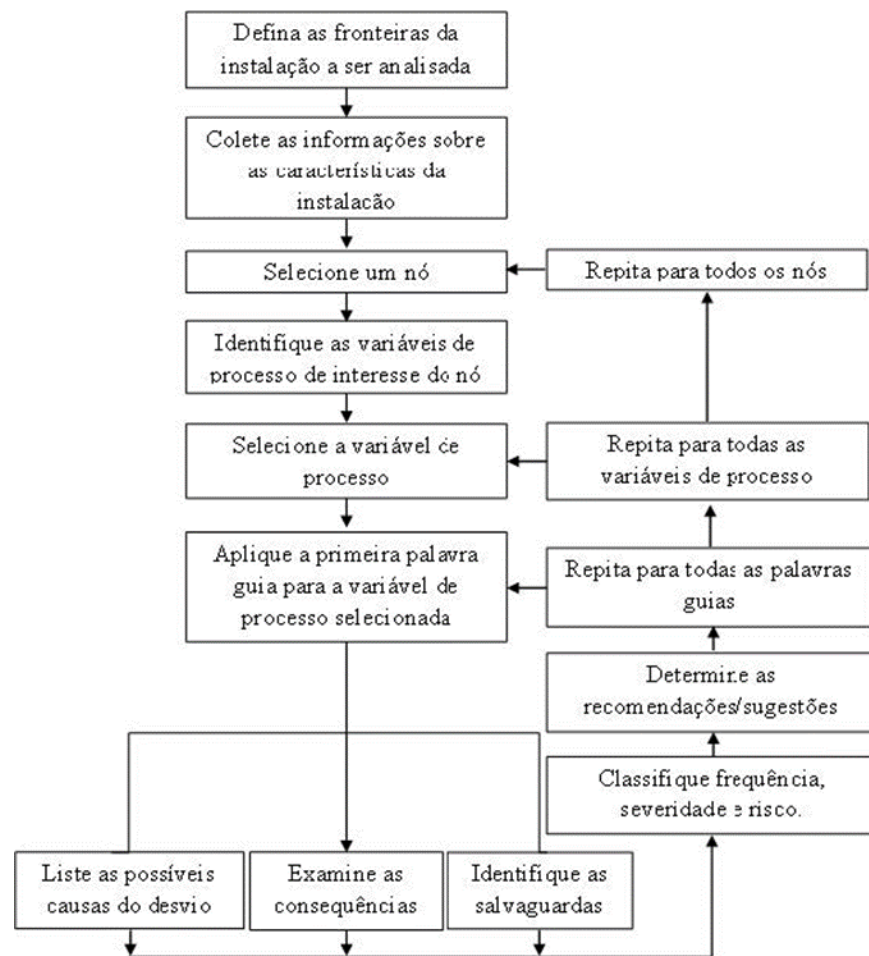
## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

### 3.1 HAZOP

O processo de análise de risco deste trabalho baseia-se em uma simulação da caldeira aquatubular vertical, este tipo de caldeira é amplamente utilizado industrialmente, os dados deste equipamento foram cedidos pela empresa Mitsubishi.

Para a realização do *HAZOP*, o processo foi seguido conforme o diagrama do método proposto por LIHOU (2004). A Figura 24 define o diagrama a ser seguido.

Figura 24 – Diagrama do método de análise do *HAZOP*



Fonte: Adaptado de LIHOU, 2004.

Os dados coletados serão adicionados em uma planilha que apresenta os seguintes itens: nó, parâmetro, palavra guia, causas, consequência, salvaguardas, ações, item/causa, frequência, severidades e risco, a Figura 25 mostra com detalhes a planilha e a matriz de risco na Figura 26.

Figura 25 – Planilha *HAZOP* adaptada

| HAZOP - Hazard and Operability Study |           |              |        |               |                        |       |            |            |            |       |
|--------------------------------------|-----------|--------------|--------|---------------|------------------------|-------|------------|------------|------------|-------|
| Sistema:                             |           | Nó.          |        |               |                        |       |            |            |            |       |
| Subsistema:                          |           |              |        |               |                        |       |            |            |            |       |
| Nº                                   | Parâmetro | Palavra Guia | Causas | Consequências | Salvaguardas           | Ações | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Página 1                             |           |              |        |               |                        |       |            |            |            |       |
| Observações:                         |           |              |        |               | Classificação do Risco |       | Total      |            | Frequência |       |
|                                      |           |              |        |               | RISCO BAIXO            |       |            |            | A          |       |
|                                      |           |              |        |               | INTERMEDIÁRIO          |       |            |            | B          |       |
|                                      |           |              |        |               | RISCO ALTO             |       |            |            | C          |       |
|                                      |           |              |        |               |                        |       |            |            | D          |       |
|                                      |           |              |        |               |                        |       |            |            | E          |       |
|                                      |           |              |        |               | Severidade             |       | Total      |            |            |       |
|                                      |           |              |        |               | 1                      |       |            |            |            |       |
|                                      |           |              |        |               | 2                      |       |            |            |            |       |
|                                      |           |              |        |               | 3                      |       |            |            |            |       |
|                                      |           |              |        |               | 4                      |       |            |            |            |       |
|                                      |           |              |        |               | 5                      |       |            |            |            |       |

Fonte: BS IEC 61882, 2001

Figura 26 – Matriz de risco para a avaliação de risco dos cenários do *HAZOP*

| Matriz de Risco |                   |               |                |               |               |               | Sigla de Risco |       |
|-----------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------|
|                 |                   | Frequência    |                |               |               |               | Cor            | Letra |
|                 |                   | A - Remota    | B - Improvável | C - Ocasional | D - Provável  | E - Frequente |                |       |
| Consequência    | 1- Catastrófica   | Intermediário | Intermediário  | Alto          | Alto          | Alto          |                | T     |
|                 | 2- Severa         | Intermediário | Intermediário  | Intermediário | Alto          | Alto          |                | M     |
|                 | 3- Moderada       | Baixo         | Baixo          | Intermediário | Intermediário | Alto          |                | U     |
|                 | 4- Desprezível    | Baixo         | Baixo          | Baixo         | Intermediário | Intermediário |                |       |
|                 | 5- Negligenciável | Baixo         | Baixo          | Baixo         | Baixo         | Intermediário |                |       |

Fonte: CCPS (2008)

Na etapa de coleta de informações e instalação, foi realizada um levantamento de uma caldeira aquatubular, modelo Monodrum da empresa Mitsubishi, esta são equipadas com grelha do tipo *pin-hole*, rotativa ou vibratória, com mais detalhes do arranjo técnico no Anexo A. São dotadas de um único tubulão de vapor instalado fora do circuito de gases e possuem os superaquecedores e o evaporador, ambos drenáveis e convectivos, instalados em uma cavidade localizada na parte posterior à fornalha, sem a incidência de radiações luminosas. As caldeiras

AMD permitem partidas e paradas mais seguras, com estabilidade de controle de nível de água no tubulão e elevada confiabilidade operacional. As especificações técnicas e as características técnicas desta caldeira estão no Quadro 4 e 5 em sequência.

Quadro 4 – Especificações técnicas de projeto

|                                         |                          |
|-----------------------------------------|--------------------------|
| Tipo de Triagem                         | Balanceada               |
| Tipo de Paredes d'Água                  | Tubos Aletados           |
| Tipo de Grelhado                        | Vibratório / Refrigerado |
| Geração nominal de Vapor                | 60.000 kg/h              |
| Pressão nominal de Vapor                | 42,0 bar g               |
| Pressão Projeto                         | 63,0 bar_g               |
| Temperatura nominal de Vapor            | 420 °C                   |
| Estado do Vapor                         | Superaquecido            |
| Temperatura da água de alimentação      | 110 °C                   |
| Temperatura dos gases ao final          | 180 °C                   |
| Consumo de combustível                  | 17.142 kg/h              |
| Eficiência ao PCI – estimada            | 82,00 ± 1 %              |
| Superfície do Evaporador (Convectores)  | 1.310 m <sup>2</sup>     |
| Superfície projetada da Fornalha        | 750 m <sup>2</sup>       |
| Superfície do Superaquecedor Primário   | 550 m <sup>2</sup>       |
| Superfície do Superaquecedor Secundário | 410 m <sup>2</sup>       |
| Superfície do Economizador              | 2.600 m <sup>2</sup>     |
| Superfície do Grelhado                  | 25 m <sup>2</sup>        |
| Volume da Câmara de Combustão           | 950 m <sup>3</sup>       |

Fonte: MITSUBISHI, 2015

Quadro 5 – Características técnicas

|                                    |                      |
|------------------------------------|----------------------|
| Capacidade da Caldeira             | 60 t/h               |
| Capacidade de vazão de água        | 60 m <sup>3</sup> /h |
| Temperatura da água de alimentação | Até 110 °C           |
| Temperatura da água desaerada      | Até 125 °C           |

|                           |                              |
|---------------------------|------------------------------|
| Pressão de operação       | Até 2,50 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Pressão de projeto        | 3 kgf/cm <sup>2</sup>        |
| Pressão de projeto        | 3 kgf/cm <sup>2</sup>        |
| Pressão de teste          | 4,5 kgf/cm <sup>2</sup>      |
| Volume d'água em operação | 50 m <sup>3</sup>            |
| Nível de oxigênio         | 0,00 – 0,01 ppm              |

Fonte: MITSUBISHI, 2015

O sistema de controle da caldeira possui as seguintes informações:

- Controle de pressão do vapor principal;
- Controle do nível da caldeira a três elementos;
- Controle de temperatura do vapor principal;
- Controle de pressão da fornalha;
- Controle de nível do desaerador;
- Controle de pressão do desaerador;
- Controle da válvula de ventilação do superaquecedor;
- Controle da descarga de fundo intermitente;
- Sistema de sopragem de fuligem;
- Monitoração de variáveis da caldeira.

Variáveis monitoradas da caldeira:

- Controle de pressão do vapor principal;
- Nível do desaerador;
- Pressão no desaerador;
- Vazão do vapor superaquecido;
- Pressão do vapor principal;
- Temperatura do vapor superaquecido antes do superaquecedor;
- Temperatura do vapor superaquecido entrada do superaquecedor secundário;
- Temperatura final do vapor superaquecido na saída da caldeira;
- Vazão de água de alimentação;
- Pressão da água de alimentação;

- Temperatura da água de alimentação antes / após economizador;
- Nível da água no tubulão de vapor;
- Temperatura do ar de combustão na saída do ventilador;
- Temperatura do ar de combustão após o pré aquecedor de ar a gás 1;
- Temperatura dos gases de combustão na saída da caldeira;
- Temperatura dos gases de combustão após o economizador 1;
- Temperatura dos gases de combustão após o pré aquecedor de ar a gás 2;
- Temperatura dos gases de combustão após o economizador 2;
- Temperatura dos gases de combustão após o multiciclone;
- Pressão do ar de combustão saída do ventilador;
- Pressão do ar de combustão após o pré aquecedor de ar a gás 1;
- Pressão na fornalha;
- Pressão dos gases de combustão na saída da caldeira;
- Pressão dos gases de combustão após o economizador 1;
- Pressão dos gases de combustão após o pré aquecedor de ar a gás 2;
- Pressão dos gases de combustão após o economizador 2;
- Pressão dos gases de combustão após o multiciclone;
- Pressão do ar secundário na saída do ventilado;
- Pressão do ar secundário na saída do pré aquecedor de ar a gás 1;
- Temperatura do ar secundário na saída do pré aquecedor de ar a gás 1.

Sistema de intertravamento da caldeira:

- Nível baixo tubulão vapor lado esquerdo;
- Nível baixíssimo tubulão vapor lado direito;
- Parada do ventilador de tiragem induzida;
- Parada do ventilador de ar forçado e secundário;
- Parada do ventilador espargedor;
- Parada pelo botão de emergência.

O sistema de segurança também contém os seguintes alarmes:

- Nível baixo tubulão vapor lado esquerdo;
- Nível baixíssimo tubulão vapor lado direito;
- Nível baixíssimo tubulão vapor lado esquerdo;
- Nível alto no tubulão vapor;
- Pressão alta no vapor superaquecido;
- Pressão alta da fornalha;
- Temperatura baixa do vapor superaquecido;
- Temperatura alta do vapor superaquecido;
- Nível baixo no desaerador;
- Nível baixíssimo no desaerador;
- Pressão alta no desaerador;
- Controle da grelha oscilante.

Além dos alarmes, será monitorada a queda de energia, tendo a disposição um gerador de energia a diesel, para atender exclusivamente o sistema de gerador de vapor

A equipe de avaliação do *HAZOP* foi formada por um grupo de especialistas em NR-13 e caldeiras, com a integração de operadores, técnicos, engenheiros, PH's, professores, inspetores e especialistas em segurança de processos. A partir dos dados coletados de plantas, dados de processo, fluxograma, manuais, brainstorm e *check-list* ou lista de verificação dos equipamentos com a liderança da equipe do autor deste trabalho de conclusão de curso.

Para o brainstorm do *HAZOP*, foi criada uma sala de reunião on-line e um grupo de captação de informações durante duas semanas.

Após as primeiras etapas da especificação técnica, seguimos a integração com a aplicação do método *HAZOP*. O principal objetivo é avaliar qualitativamente os cenários obtidos a partir dos nós, os quais estão explicitados na Tabela 2 e demonstrados na Figura 27 delimitando nas seções do fluxograma de processo, logo definiu-se os desvios na Tabela 3.

Para a realização do *check-list* ou a lista de verificação da caldeira foi aplicado padrão da Petrobrás conforme Anexo B, onde exaustivamente foi aplicado nessa simulação e respondido pela equipe de avaliação.



## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 RESULTADOS DO HAZOP

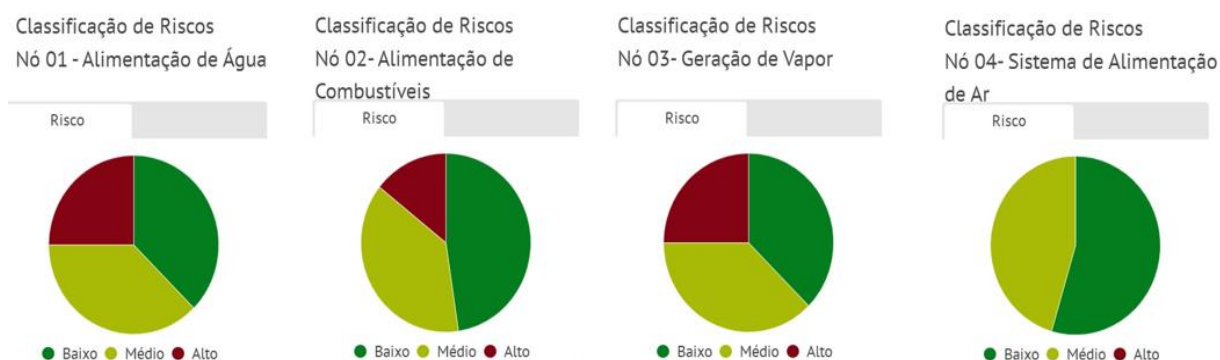
Os resultados da análise do *HAZOP* permitiram a categorização de cada um dos eventos quanto à classificação de risco. Neste cenário, possibilitou a quantidade de riscos de cada nó, trazendo a compreensão dos nós mais críticos do processo a Tabela 04 e a Figura 28. Os resultados completos da análise *HAZOP* que contemplam a avaliação das causas, consequências, salvaguardas, classificações de risco e frequência, encontram-se no Os resultados completos da análise *HAZOP* que contemplam a avaliação das causas,

consequências, salvaguardas, classificações de risco e frequência, encontram-se no Apêndice 1.

Tabela 04 – Resultados da classificação de risco

| Nó                           | Classificação de Risco – Quantidade |       |      |
|------------------------------|-------------------------------------|-------|------|
|                              | Baixo                               | Médio | Alto |
| Alimentação de Água          | 6                                   | 6     | 4    |
| Alimentação de Combustíveis  | 10                                  | 8     | 3    |
| Geração de Vapor             | 46                                  | 21    | 4    |
| Sistema de Alimentação de Ar | 12                                  | 10    | 0    |
| Total                        | 74                                  | 45    | 11   |

Figura 28 – Resultados da classificação de risco



Os resultados mostram o nó de alimentação de água, alimentação de combustíveis e geração de vapor apresentarão risco alto na classificação de risco, isso deve pelo fato do número de causas em comparação com o nó de alimentação de ar. Destacando o nó de geração de vapor apresentando uma quantidade elevada de número de riscos em todos os cenários, direcionando a atenção com 71 causas possíveis. É de grande importância os riscos médios em todos os nós que apresenta uma quantidade elevada e pode ter possibilidades em uma nova classificação, visto que estão sujeitos a uma frequência e da severidade não seja monitorada ou gerenciada de forma ineficiente, ainda sujeito ao agravamento caso não possua salvaguardas ou incapazes de impedir a este evento.

Figura 29 – Planilha HAZOP da alimentação de água

| HAZOP - Hazard and Operability Study |           |              |                                           |            |            |            |       |
|--------------------------------------|-----------|--------------|-------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Nó                                   | Parâmetro | Palavra Guia | Causas                                    | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Nível de água                        | Vazão     | Menor        | 1- Falta de água no reservatório          | 1          | C          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 2- Falha da bomba elétrica                | 2          | C          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 5- Incrustações no sistema de alimentação | 5          | D          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 6- Falha no CLP                           | 6          | D          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 8- Falha operacional                      | 8          | D          | 2          | U     |
|                                      |           |              | 10- Queda de energia                      | 10         | D          | 2          | U     |
| Nível de água                        | Vazão     | Maior        | 2- Falha no CLP                           | 6          | D          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 4- Falha operacional                      | 4          | D          | 2          | U     |
|                                      |           |              | 5- Incrustações no sistema de alimentação | 5          | D          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 6- Sistema de intertravamento com defeito | 6          | D          | 2          | U     |

Podemos destacar na Figura 29, nó de alimentação de água os riscos de nível alto, o parâmetro vazão baixa ou menor, pode ocorrer a diminuição do nível da água da caldeira, e consequentemente o sobreaquecimento e explosão da mesma, devido a queda de energia ou falha operacional que pode sequenciar outras falhas em outro nós específicos ao fornecimento de água ao sistema. No parâmetro vazão alta ou maior, advindo de uma falha operacional ou intertravamento dos sistemas de operação da caldeira ou dos sensores de níveis que possam ativar as salvaguardas essenciais para manter a integridade do sistema ou do equipamento. Outro fato importante é a qualidade da água e o monitoramento das tubulações com inspeções periódicas para avaliação de incrustações, oxidações e vazamentos. Além do cumprimento das manutenções e calibrações regulares nas bombas e dos sistemas auxiliares e do check-ins das

salvaguardas. A maior possibilidade destes eventos atingirem sua respectiva consequência, tal barreira mitigatória que pode aumentar sua frequência. Dessa forma, considerando os cenários de maior risco, na conjectura resultou uma classificação nível alto para a frequência de cenários envolvendo falha operacional, queda de energia e dos sistemas de intertravamento.

Melhorias podem ser implementadas, apesar de obter a menor quantidade de riscos na avaliação. Salvaguardas podem ser propostas, com investimentos em instrumentação na malha da caldeira e treinamentos com os operadores.

O Nó de estudo que representa a alimentação de combustíveis com os dados da planilha da Figura 30. Os riscos de nível alto, o parâmetro vazão baixa ou menor, pode ocorrer a diminuição da alimentação e ocorrer o apagamento da chama e formação de nuvem inflamável com risco de explosão, além dos vazamentos pode ocasionar um incêndio ou desencadear falhas em leituras e de dados da instrumentação e desencadear um processo de falhas possam inativar as salvaguardas, No parâmetro vazão alta ou maior, foi classificada com o risco alto devido a falha operacional que pode acarretar em uma explosão devido ao acúmulo de combustível e na falta, formando uma nuvem inflamável, ocasionando o apagamento da chama e formação de nuvem inflamável com risco de explosão..

Figura 30 – Planilha HAZOP da alimentação de combustíveis

| HAZOP - Hazard and Operability Study |           |              |                                           |            |            |            |       |
|--------------------------------------|-----------|--------------|-------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Nó                                   | Parâmetro | Palavra Guia | Causas                                    | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Alimentação de combustíveis          | Vazão     | Menor        | 1- Falta de combustível no reservatório   | 1          | A          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 3- Falha no analisador de gases           | 3          | C          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 4- Qualidade do combustíveis              | 4          | D          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 5- Vazamento no circuito de alimentação   | 5          | B          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 10- Falha operacional                     | 10         | D          | 2          | U     |
|                                      |           |              | 11- Queda de energia                      | 11         | D          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 12- Vazamentos                            | 12         | D          | 2          | U     |
| Alimentação de combustíveis          | Vazão     | Maior        | 3- Falha no analisador de gases           | 3          | C          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 4- Qualidade do combustíveis              | 4          | D          | 3          | M     |
|                                      |           |              | 8- Falha operacional.                     | 8          | D          | 2          | U     |
|                                      |           |              | 9- Sistema de intertravamento com defeito | 9          | C          | 3          | M     |

Melhorias podem ser implementadas, apesar de obter a menor quantidade e obter uma melhor classificação de riscos na avaliação. Salvaguardas podem ser propostas, com

investimentos em instrumentação na malha com controladores de vazão e sensores de gases externamente e treinamentos com os operadores.

Figura 31 – Planilha *HAZOP* da geração de vapor

| HAZOP - Hazard and Operability Study |             |              |                                                                               |            |            |            |       |
|--------------------------------------|-------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Nó                                   | Parâmetro   | Palavra Guia | Causas                                                                        | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Geração de Vapor                     | Pressão     | Menor        | 1- Alto consumo de vapor                                                      | 1          | E          | 4          | M     |
|                                      |             |              | 7- Vazamento no circuito de alimentação combustível                           | 7          | B          | 1          | M     |
|                                      |             |              | 11- Apagamento da chama                                                       | 11         | B          | 1          | M     |
|                                      |             |              | 16- Falha operacional.                                                        | 16         | C          | 1          | U     |
|                                      |             |              | 17- Queda de energia                                                          | 17         | C          | 2          | M     |
| Geração de Vapor                     | Pressão     | Maior        | 2- Incrustação no sistema de alimentação de combustíveis                      | 2          | C          | 3          | M     |
|                                      |             |              | 3- Obstrução no sistema de saída do vapor                                     | 3          | C          | 3          | M     |
|                                      |             |              | 10- Falha no Pressostato                                                      | 10         | C          | 3          | M     |
|                                      |             |              | 14- Falha operacional                                                         | 14         | C          | 1          | U     |
|                                      |             |              | 16- Excesso de combustíveis                                                   | 16         | B          | 3          | M     |
| Geração de Vapor                     | Temperatura | Menor        | 17- Queda de energia                                                          | 17         | C          | 3          | M     |
|                                      |             |              | 2- Incrustação no sistema de alimentação de combustíveis                      | 2          | C          | 3          | M     |
|                                      |             |              | 5- Apagamento da chama                                                        | 5          | B          | 2          | M     |
|                                      |             |              | 11- Falha no controlador de temperatura                                       | 11         | B          | 2          | M     |
|                                      |             |              | 14- Falha no CLP                                                              | 14         | B          | 2          | M     |
|                                      |             |              | 17- Excesso de alimentação de água                                            | 17         | C          | 4          | M     |
|                                      |             |              | 18- Queda de energia                                                          | 18         | C          | 3          | M     |
| Geração de Vapor                     | Temperatura | Maior        | 19- Falha operacional                                                         | 19         | C          | 1          | U     |
|                                      |             |              | 1- Baixo consumo de vapor                                                     | 1          | E          | 4          | M     |
|                                      |             |              | 2- Incrustação no sistema de alimentação de combustíveis                      | 2          | C          | 3          | M     |
|                                      |             |              | 10- Falha no controlador de temperatura                                       | 10         | B          | 2          | M     |
|                                      |             |              | 11- Inversor de frequência da bomba de alimentação de combustível com defeito | 11         | D          | 2          | M     |
|                                      |             |              | 13- Falha no CLP                                                              | 13         | B          | 2          | M     |
|                                      |             |              | 15- Excesso de combustíveis                                                   | 15         | B          | 2          | M     |
| Geração de Vapor                     | Temperatura | Maior        | 17- Falha operacional                                                         | 17         | C          | 1          | U     |

Destacando o nó de geração de vapor apresentando na Figura 31, mostra uma quantidade elevada de número de riscos em todos os cenários, direcionando e o número de causas possíveis, além de possuir quatro parâmetros, os riscos médios apresenta uma quantidade elevada e pode ter possibilidades em uma nova classificação, visto que estão sujeitos a variações de

temperatura, e que seu controle é primordial, podemos dizer, caso a frequência e a severidade não seja monitorada ou gerenciada de forma ineficiente, ainda sujeito ao agravamento, caso não possua salvaguardas ou incapazes de impedir a este evento. Este nó é que possui maior número de salvaguardas, devido a quantidade e da complexidade de controle deste nó, obtendo 52 salvaguardas em todo sistema, mostrando ser o sistema com maior nível de controle e ações propostas, devido ao a falha operacional que pode acarretar em uma explosão.

Neste nó também possui o maior número de instrumentos de controle, onde a calibrações e manutenções devem ser regularmente executadas, além das inspeções monitorando as possíveis falhas, obedecendo criteriosamente seus prazos e causas que possam trazer novas causas e frequência ao sistema. Salvaguardas podem ser propostas, com investimentos em instrumentação na malha com controladores de temperatura e pressão.

Figura 32 – Planilha HAZOP da alimentação de ar

| HAZOP - Hazard and Operability Study |           |              |                                            |            |            |            |       |
|--------------------------------------|-----------|--------------|--------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Nó                                   | Parâmetro | Palavra Guia | Causas                                     | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Alimentação de Ar                    | Vazão     | Menor        | 3- Falha no analisador de gases            | 3          | B          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 4- Pressão baixa na alimentação            | 4          | B          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 5- Obstrução nas tubulações                | 5          | A          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 6- Vazamento no circuito de alimentação    | 6          | A          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 11- Falha operacional.                     | 11         | C          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 12- Queda de energia                       | 12         | C          | 2          | M     |
| Alimentação de Ar                    | Vazão     | Maior        | 3- Falha no analisador de gases            | 3          | B          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 4- Pressão alta na alimentação             | 4          | B          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 9- Falha operacional.                      | 9          | D          | 2          | M     |
|                                      |           |              | 10- Sistema de intertravamento com defeito | 10         | B          | 2          | M     |

A partir da análise da Figura 32, os eventos do nó alimentação de ar, não apresentou risco alto. Para destacar as causas com maior frequência a obstrução das tubulações e o vazamento no circuito de alimentação, para estas causas, pode ser evidenciado problemas com manutenção e monitoramento, além do plano de inspeções e melhorias no sistema. Concluimos

que as medidas de controle tendo a menor possibilidade destes eventos atingirem sua respectiva consequência, tal barreira mitigatória que diminuem sua frequência.

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO**

### **5.1 CONCLUSÃO**

Ao utilizar análise *HAZOP*, foi possível evidenciar as causas e consequências, bem como as salvaguardas presentes capazes de agir na redução do risco. Foi delimitada a criticidades de cada um dos cenários identificados durante a avaliação e indicações de melhorias no processo.

O resultado do estudo trabalho é possível afirmar que a análise de risco é um fator primordial para o funcionamento seguro em um processo industrial, partindo do pressuposto de conhecer o risco a qual se está exposto que é possível operacionalizar sua mitigação e/ou eliminação. Realça ainda para os riscos categorizados como alto risco, as medidas preventivas e/ou mitigadoras propostas devem ser implementadas e, após isto, acompanhar melhorias no equipamento ou processo para uma categoria menor de frequência e severidade. O estudo do processo como um todo, destacou-se uma visão de gestão de melhoria contínua na caldeira, além de mitigar novos riscos em potencial. A equipe multidisciplinar no estudo da simulação teve a oportunidade em participar de uma avaliação de riscos, integrando todo o conhecimento técnico e em poder criar uma amplitude em conhecer os riscos envolvidos na planta, tornando o processo mais seguro com a elaboração ou revisão em procedimentos operacionais, plano de manutenção, calibrações e inspeções na caldeira.

Os resultados da análise apontaram para os riscos altos apontamentos capazes de manter a eficiência das salvaguardas presentes em cada um dos eventos estivessem em vigor, além de apresentar novos pareceres sobre o sistema de salvaguardas, além de indicações para ações para novas barreiras para diminuir e frequência. A quantidade elevada de risco médio, trazendo a importância em todos os nós que apresenta uma quantidade elevada e que pode ter possibilidades em uma nova classificação, visto que estão sujeitos a uma frequência e da severidade não seja monitorada ou gerenciada de forma ineficiente, ainda sujeito ao agravamento caso não possua salvaguardas ou incapazes de impedir a este evento.

Concluindo o estudo, análise *HAZOP* possibilitou a identificação assertiva dos eventos cujas salvaguardas necessitam de ferramentas de gestão para que suas eficiências sejam mantidas e para a determinação dos riscos envolvidos no processo. A compreensão das consequências que podem resultar em maiores índices de severidade e os cenários que apresentam uma quantidade reduzida de salvaguardas considerando sua severidade. identificação assertiva dos eventos.

A segurança de processo pode trazer benefícios a produtividade, tendo como base a melhoria contínua, aumento da vida útil do equipamento e diminuição de número de falhas no sistema produtivo, além da segurança dos ativos da empresa e de pessoas

Este projeto de final de curso possibilitou um amplo desenvolvimento e aplicabilidade do conhecimento adquirido em todo curso de Engenharia Química alinhado a área de segurança de processos.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para uma análise com maior aprofundamento e maiores resultados, poderá ser aplicado através do *LOPA* (*Layer of protection analysis*), é um método de análise de camadas de proteção tendo maior gerenciamento de riscos com uma avaliação qualitativa após a aplicação do *HAZOP*.

As informações contidas da análise anterior poderão ser utilizadas pelo *LOPA* de modo a conduzir uma nova análise de riscos, baseando-se em estimativas, que possa trazer mais informações acerca das salvaguardas e das camadas de proteções são capazes de mitigar os riscos dos processos.

Utilização da *LOPA* em cenários cujo risco foi considerado não tolerável ou cuja camada de proteção necessite de *SIL* (Análise do nível de integridade de segurança).

- APR (Análise preliminar de riscos) considerando a questão da integridade mecânica dos elementos da planta de geração de vapor:
- PMOC (planejamento de manutenção, operação e controle), tomando como base o *HAZOP* e a APR previamente, proposta.

- Cálculo dos níveis de integridade de segurança em função do *SIS* (Sistema instrumentado de segurança) e demais componentes dos sistemas de controle e instrumentação da caldeira.

## REFERÊNCIAS

- AIChe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS -. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedure**. Center for Chemical Process Safety. Third Edition, 2008.
- ASM HANDBOOK. **Failure Analysis and Prevention**; Volume 11; ASM INTERNATIONAL 1986.
- BEGA, E. A. **Instrumentação Aplicada ao Controle de Caldeiras**, 3. Edição, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003.
- BRAMBILLA P. A. **Inspeção de Caldeiras**; Rio de Janeiro, Universidade Petrobras, 2007.
- BROOKS, C.R.; CHONCHURY, A. **Metallurgical failure analysis**. ISBN 0-07-008078-X-MacGraw-Hill. 1993.
- BS: IEC61882 British Standard: **Hazard and operability studies (HAZOP studies)- Application Guide British Standards Institution**. “This British Standard reproduces verbatim IEC 61882:2001 and implements it as the UK national standard.
- CRAWLEY, Frank; TYLER, Bryan. **HAZOP: Guide to Best Practice: Guidelines to Best Practice for the Process and Chemical Industries**. 3. ed. [S. l.]: Elsevier, 2015. 164 p. ISBN 978-0-323-39460-4.
- CCPS. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. Wiley, 2011.
- CCPS. **Guidelines for hazard evaluation procedures**. 3. ed. New York: John Wiley & Sons., Inc, 2008. 549 p. ISBN 978-0-471-97815-2.
- CROWL, D. A.; LOUVAR, J. F. **Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications**. 3. ed. [S. l.]: Prentice Hall, 2011. 723 p.
- FELLIPE, Luiz. **Avaliação de integridade e extensão de vida das caldeiras na tractebel energia**. [2015]. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/14215316-Avaliacao-de-integridade-e-extensao-de-vida-das-caldeiras-na-tractebel-energia.html>>.
- IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DO PETRÓLEO – **Curso de Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos**. Rio de Janeiro, IBP, 2022.
- GILMAN, G. F. **Boiler control systems engineering**. 2.ed. International Society of Automation. 2010. 217 p.
- KLETZ, T. A. **HAZOP - Past and Future**. Reliability Engineering and System Safety, Leicestershire, v. 55, p. 263-266, 1997.
- LAGEMANN, V.; SALLES, M. **Inspeção de caldeiras**. São Paulo: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás, 2006.
- LAWLEY H.G. **Operability studies and hazard analysis**. Chem Eng Prog. 1974;70(4):45-56.

MITSUBISHI, **Boiler technical specifications**. Japan, 2015.

NOGUEIRA, L. A. H. et al. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

NR-13. **Norma Regulamentadora 13 do Ministério do Trabalho e Emprego. Manual Técnico de Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulação**. Disponível em: <<http://www.mte.gov.br>>. Acesso em: maio de 2017.

PETROBRAS. **N-41597- Pré inspeção dos requisitos legais regulatórios da NR-13 (caldeiras, vasos de pressão e tubulações)**. Rio de Janeiro: Petrobras, 2014.

SANDERS, R. E. **Chemical Process Safety: Learning from Case Histories**. 3. ed. Burlington: Elsevier Inc., 2005. 344 p.

SILVA, H. R. **Inspeção de Caldeiras**. Rio de Janeiro: SENAI, 2012.

SPIRAX SARCO, **Steam Distribution Handout**. England, 2015.

VENKATASUBRAMANIAN, Venkat; VAIDHYANATHAN, Ramesh. **A Knowledge-Based Framework for Automating HAZOP Analysis**. AIChE Journal, [S. l.], v. 40, n. 3, p. 496-505, 1994.

ZEEMANN, A., **Análise de Falhas**. Apostila de Curso de Análise de Falhas. Rio de Janeiro: Tecmetal, 2020.

## APÊNDICE – TÍTULO (ELEMENTO OPCIONAL)

| HAZOP - Hazard and Operability Study |                      |              |                                                |                                            |                                                                                           |                                                                                                    |            |            |            |       |
|--------------------------------------|----------------------|--------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Sistema:                             | Caldeira Aquatubular |              |                                                | Nó. 01                                     |                                                                                           |                                                                                                    |            |            |            |       |
| Subsistema:                          | Alimentação de Água  |              |                                                |                                            |                                                                                           |                                                                                                    |            |            |            |       |
| Nó                                   | Parâmetro            | Palavra Guia | Causas                                         | Consequências                              | Salvaguardas                                                                              | Ações                                                                                              | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Nível de água                        | Vazão                | Menor        | 1- Falta de água no reservatório               | 1-Tubulação pode superaquecer e romper-se. | 1-Alarme de nível baixo                                                                   | 1- Colocar o sistema em manual de alimentação de água para aumentar a vazão da bomba.              | 1          | C          | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 2- Falha da bomba elétrica                     | 2- Danos a caldeira                        | 2- Variador de frequência da bomba de alimentação                                         | 2- Desligar o sistema em automático de alimentação de combustível                                  | 2          | C          | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 3- Vazamento no circuito de alimentação        | 3- Gastos com manutenção corretiva         | 3- Qualidade da água dentro dos padrões                                                   | 3- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar a falha no sistema de instrumentação | 3          | B          | 4          | T     |
|                                      |                      |              | 4- Sensor de nível com defeito                 | 4- Impactos na produção                    | 4- Controlador de nível interrompe a alimentação de cobustível com o nível baixo de água. | 4- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de Produção e Manutenção após o desligamento.       | 4          | B          | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 5- Incrustações no sistema de alimentação      | 5- Explosão                                | 5- Indicador de vazão da linha de vapor consumido                                         |                                                                                                    | 5          | D          | 3          | M     |
|                                      |                      |              | 6- Falha no CLP                                |                                            | 6- inspeções periódicas nas tubulações                                                    |                                                                                                    | 6          | D          | 3          | M     |
|                                      |                      |              | 7- Inversor de frequência da bomba com defeito |                                            | 7- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de água                         |                                                                                                    | 7          | B          | 4          | T     |
|                                      |                      |              | 8- Falha operacional.                          |                                            | 8- Visor manual de nível de água                                                          |                                                                                                    | 8          | D          | 2          | U     |
|                                      |                      |              | 9- Falha na válvula de abertura de alimentação |                                            | 9- Check-List de operação                                                                 |                                                                                                    | 9          | B          | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 10- Queda de energia                           |                                            | 10- Calibração dos instrumentos de medição                                                |                                                                                                    | 10         | D          | 2          | U     |
| Nível de água                        | Vazão                | Maior        | 1- Sensor de nível com defeito                 | 1- Perda de eficiência na combustão        | 1-Alarme de nível alto                                                                    | 1- Colocar o sistema em manual de alimentação de água para diminuir a vazão da bomba.              | 1          | B          | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 2- Falha no CLP                                | 2- Excesso de gás combustível              | 2- Variador de frequência da bomba de alimentação                                         | 2- Desligar o sistema em automático de alimentação de combustível                                  | 6          | D          | 3          | M     |
|                                      |                      |              | 3- Inversor de frequência da bomba com defeito | 3- Danos a caldeira                        | 3- Controlador de nível interrompe a alimentação de combustível com o nível alto de água  | 3- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar a falha no sistema de instrumentação | 3          | B          | 4          | T     |
|                                      |                      |              | 4- Falha operacional                           | 4- Gastos com manutenção corretiva         | 4- Válvula de By-pass do sistema de alimentação é aberta                                  | 4- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.       | 4          | D          | 2          | U     |
|                                      |                      |              | 5- Incrustações no sistema de alimentação      | 5- Impactos na produção                    | 5- Controlador de nível interrompe a alimentação de água.                                 |                                                                                                    | 5          | D          | 3          | M     |
|                                      |                      |              | 6- Sistema de intertravamento com defeito      | 6- Explosão                                | 6- Válvula de purga de gás é aberta                                                       |                                                                                                    | 6          | D          | 2          | U     |
| Observações:                         |                      |              |                                                |                                            | Classificação do Risco                                                                    | Total                                                                                              |            | Frequência | Total      |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            | RISCO BAIXO                                                                               | 6                                                                                                  |            | A          | 0          |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            | INTERMEDIÁRIO                                                                             | 6                                                                                                  |            | B          | 6          |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            | RISCO ALTO                                                                                | 4                                                                                                  |            | C          | 2          |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            |                                                                                           |                                                                                                    |            | D          | 8          |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            |                                                                                           |                                                                                                    |            | E          | 0          |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            | Severidade                                                                                | Total                                                                                              |            |            |            |       |
|                                      |                      |              |                                                |                                            | 1                                                                                         | 0                                                                                                  |            |            |            |       |
| Alimentação de Água                  |                      |              |                                                |                                            | 2                                                                                         | 6                                                                                                  |            |            |            |       |
| Alimentação de Combustíveis          |                      |              |                                                |                                            | 3                                                                                         | 7                                                                                                  |            |            |            |       |
| Geração de Vapor                     |                      |              |                                                |                                            | 4                                                                                         | 3                                                                                                  |            |            |            |       |
| Alimentação de Ar                    |                      |              |                                                |                                            | 5                                                                                         | 0                                                                                                  |            |            |            |       |

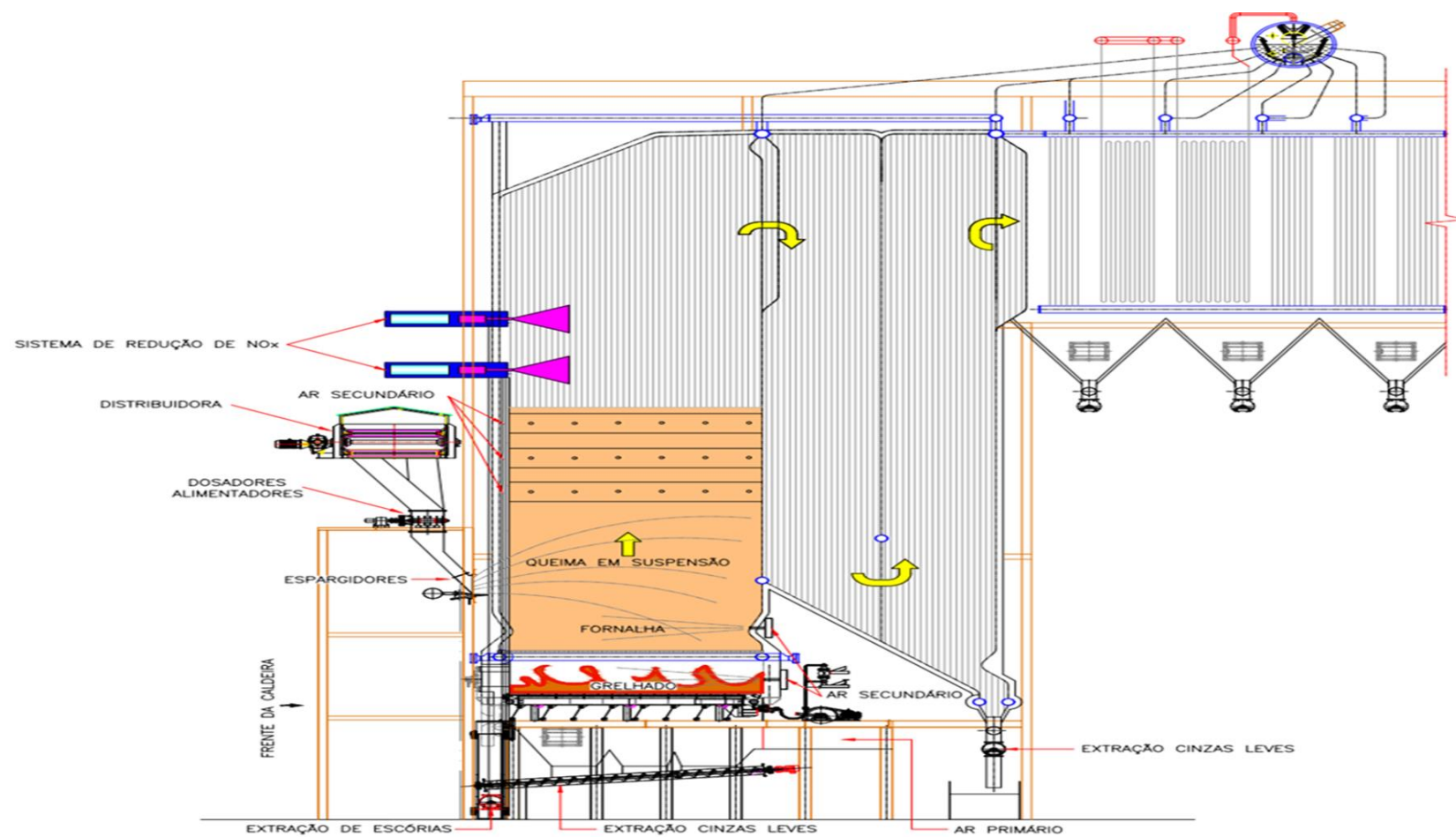
| HAZOP - Hazard and Operability Study |                             |              |                                                                |                                                                         |                                                                                          |                                                                                                               |            |            |            |       |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| Sistema:                             | Caldeira Aquatubular        |              |                                                                | Nó. 02                                                                  |                                                                                          |                                                                                                               |            |            |            |       |
| Subsistema:                          | Alimentação de combustíveis |              |                                                                |                                                                         |                                                                                          |                                                                                                               |            |            |            |       |
| Nó                                   | Parâmetro                   | Palavra Guia | Causas                                                         | Consequências                                                           | Salvaguardas                                                                             | Ações                                                                                                         | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Alimentação de combustíveis          | Vazão                       | Menor        | 1- Falta de combustível no reservatório                        | 1- Resfriamento dos tubos de aquecimento                                | 1- Alarme de nível baixo                                                                 | 1- Colocar o sistema secundário de análises de combustíveis                                                   | 1          | A          | 2          | M     |
|                                      |                             |              | 2- Falha da bomba de alimentação                               | 2- Diminuição de consumo de vapor                                       | 2- Variador de frequência da bomba de alimentação secundária                             | 2- Checar o nível do tanque de combustíveis                                                                   | 2          | C          | 4          | T     |
|                                      |                             |              | 3- Falha no analisador de gases                                | 3- Apagamento da chama, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável        | 3- Analisador de gases secundário                                                        | 3- Trocar para o tanque de emergência de combustíveis                                                         | 3          | C          | 3          | M     |
|                                      |                             |              | 4- Qualidade do combustíveis                                   | 4- Impactos na produção                                                 | 4- Intertravamento interrompe fornecimento de combustível devido a chama apagada         | 4- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 4          | D          | 3          | M     |
|                                      |                             |              | 5- Vazamento no circuito de alimentação                        | 5- Danos a caldeira devido ao resfriamento inadequado                   | 5- Qualidade do combustíveis dentro dos padrões                                          | 5- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 5          | B          | 2          | M     |
|                                      |                             |              | 6- Sensor de nível com defeito                                 | 6- Explosão                                                             | 6- Indicador de vazão da linha de vapor consumido                                        | 6- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 6          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 7- Válvula do sistema de alimentação de combustíveis com falha |                                                                         | 7- inspeções periódicas nas tubulações                                                   |                                                                                                               | 7          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 8- Falha no CLP                                                |                                                                         | 8- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de combustíveis                |                                                                                                               | 8          | B          | 2          | T     |
|                                      |                             |              | 9- Inversor de frequência da bomba com defeito                 |                                                                         | 9- Visor manual de nível de combustível                                                  |                                                                                                               | 9          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 10- Falha operacional                                          |                                                                         | 10- Check-List de operação                                                               |                                                                                                               | 10         | D          | 2          | U     |
|                                      |                             |              | 11- Queda de energia                                           |                                                                         | 11- Calibração dos instrumentos de medição                                               |                                                                                                               | 11         | D          | 2          | M     |
|                                      |                             |              | 12- Vazamentos                                                 |                                                                         | 12- Gerador                                                                              |                                                                                                               | 12         | D          | 2          | U     |
| Alimentação de combustíveis          | Vazão                       | Maior        | 1- Sensor de nível com defeito                                 | 1- Perda de eficiência na combustão                                     | 1- Alarme de nível alto                                                                  | 1- Colocar o sistema secundário de análises de combustíveis                                                   | 1          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 2- Falha da bomba de alimentação                               | 2- Excesso de gás combustível, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável | 3- Variador de frequência da bomba de alimentação secundário                             | 2- Checar o nível do tanque de combustíveis                                                                   | 2          | C          | 4          | T     |
|                                      |                             |              | 3- Falha no analisador de gases                                | 3- Danos a caldeira                                                     | 4- Controlador de nível interrompe a alimentação de combustível com o nível alto de água | 3- Trocar para bomba reserva de alimentação                                                                   | 3          | C          | 3          | M     |
|                                      |                             |              | 4- Qualidade do combustíveis                                   | 4- Gastos com manutenção corretiva                                      | 5- Válvula de By-pass do sistema de alimentação é aberta                                 | 4- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 4          | D          | 3          | M     |
|                                      |                             |              | 5- Válvula do sistema de alimentação de combustíveis com falha | 5- Impactos na produção                                                 | 6- Controlador de nível interrompe a alimentação de combustível                          | 3- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 5          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 6- Falha no controlador de vazão                               | 6- Explosão                                                             | 7- Válvula de purga de gás é aberta                                                      | 4- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 6          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 7- Inversor de frequência da bomba com defeito                 |                                                                         | 8- Check-List de operação                                                                |                                                                                                               | 7          | B          | 3          | T     |
|                                      |                             |              | 8- Falha operacional.                                          |                                                                         | 9- Calibração dos instrumentos de medição                                                |                                                                                                               | 8          | D          | 2          | U     |
|                                      |                             |              | 9- Sistema de intertravamento com defeito                      |                                                                         |                                                                                          |                                                                                                               | 9          | C          | 3          | M     |
| Observações:                         |                             |              |                                                                |                                                                         | Classificação do Risco                                                                   | Total                                                                                                         |            | Frequência | Total      |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         | RISCO BAIXO                                                                              | 10                                                                                                            |            | A          | 1          |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         | INTERMEDIÁRIO                                                                            | 8                                                                                                             |            | B          | 9          |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         | RISCO ALTO                                                                               | 3                                                                                                             |            | C          | 5          |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         |                                                                                          |                                                                                                               |            | D          | 6          |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         |                                                                                          |                                                                                                               |            | E          | 0          |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         | Severidade                                                                               | Total                                                                                                         |            |            |            |       |
|                                      |                             |              |                                                                |                                                                         | 1                                                                                        | 0                                                                                                             |            |            |            |       |
| Alimentação de Água                  |                             |              |                                                                |                                                                         | 2                                                                                        | 7                                                                                                             |            |            |            |       |
| Alimentação de Combustíveis          |                             |              |                                                                |                                                                         | 3                                                                                        | 12                                                                                                            |            |            |            |       |
| Geração de Vapor                     |                             |              |                                                                |                                                                         | 4                                                                                        | 2                                                                                                             |            |            |            |       |
| Alimentação de Ar                    |                             |              |                                                                |                                                                         | 5                                                                                        | 0                                                                                                             |            |            |            |       |

| <b>Sistema:</b>    | <b>Caldeira Aquatubular</b> |              | <b>Nó. 03</b>                                                                 |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               |            |            |            |       |
|--------------------|-----------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|-------|
| <b>Subsistema:</b> | <b>Geração de vapor</b>     |              |                                                                               |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               |            |            |            |       |
| Nó                 | Parâmetro                   | Palavra Guia | Causas                                                                        | Consequências                                                           | Salvaguardas                                                                           | Ações                                                                                                         | Item/Causa | Frequência | Severidade | Risco |
| Geração de Vapor   | Pressão                     | Menor        | 1- Alto consumo de vapor                                                      | 1- Sub-aquecimento da caldeira                                          | 1- Alarme de pressão baixa                                                             | 1- Colocar o sistema o sistema em manual, caso seja falha de automação                                        | 1          | E          | 4          | M     |
|                    |                             |              | 2- Relação de energia gerada pela combustão abaixo do esperado                | 2- Diminuição de consumo de vapor                                       | 2- Indicador de vazão na linha de saída de vapor do sistema                            | 2- Colocar o sistema secundário de análises de combustíveis                                                   | 2          | C          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 3- Falha no analisador de gases                                               | 3- Apagamento da chama, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável        | 3- Indicador de pressão na linha de saída do vapor do sistema                          | 3- Checar o nível do tanque de combustíveis                                                                   | 3          | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 4- Alimentação de água abaixo do esperado                                     | 4- Impactos na produção                                                 | 4- Indicadores de pressão da caldeira                                                  | 4- Trocar para o tanque de emergência de combustíveis                                                         | 4          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 5- Alimentação de água acima do esperado                                      | 5- Danos a caldeira devido ao resfriamento inadequado                   | 5- Válvula de By-pass do sistema de alimentação no nível de água é aberta              | 5- Diminuir o volume de alimentação de água no sistema                                                        | 5          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 6- Vazão de combustível baixa no sistema                                      | 6- Explosão                                                             | 6- Analisador de gases secundário                                                      | 6- Purgar toda a linha do sistema                                                                             | 6          | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 7- Vazamento no circuito de alimentação combustível                           |                                                                         | 7- Intertravamento com o fornecimento de combustível devido a chama apagada            | 7- Trocar para o tanque de emergência de combustíveis                                                         | 7          | B          | 1          | M     |
|                    |                             |              | 8- Vazamento no circuito de alimentação água                                  |                                                                         | 8- Qualidade do combustíveis dentro dos padrões                                        | 8- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 8          | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 9- Falta de ar de combustão                                                   |                                                                         | 9- Inspeções periódicas nas tubulações                                                 | 9- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 9          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 10- Vazamento no circuito de alimentação Ar                                   |                                                                         | 10- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de água                     |                                                                                                               | 10         | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 11- Apagamento da chama                                                       |                                                                         | 11- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de combustíveis             |                                                                                                               | 11         | B          | 1          | M     |
|                    |                             |              | 12- Pressostato com defeito                                                   |                                                                         | 12- Visor manual de nível de combustível                                               |                                                                                                               | 12         | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 13- Válvula do sistema de alimentação de combustíveis com falha               |                                                                         | 13- Check-List de operação                                                             |                                                                                                               | 13         | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 14- Falha no CLP                                                              |                                                                         | 14- Calibração dos instrumentos de medição                                             |                                                                                                               | 14         | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 15- Inversor de frequência da bomba com defeito                               |                                                                         | 15- Gerador                                                                            |                                                                                                               | 15         | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 16- Falha operacional.                                                        |                                                                         | 16- Tanque de emergência de Combustível                                                |                                                                                                               | 16         | C          | 1          | U     |
|                    |                             |              | 17- Queda de energia                                                          |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 17         | C          | 2          | M     |
|                    |                             |              | 18- Vazamentos na saída do sistema                                            |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 18         | B          | 2          | T     |
| Geração de Vapor   | Pressão                     | Maior        | 1- Baixo consumo de vapor                                                     | 1- Sobreaquecimento da caldeira                                         | 1- Alarme de pressão alta                                                              | 1- Colocar o sistema o sistema em manual, caso seja falha de automação                                        | 1          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 2- Incrustação no sistema de alimentação de combustíveis                      | 2- Aumento no consumo de vapor                                          | 2- Apagamento da chama                                                                 | 2- Purgar toda a linha do sistema                                                                             | 2          | C          | 3          | M     |
|                    |                             |              | 3- Obstrução no sistema de saída do vapor                                     | 3- Excesso de gás combustível, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável | 3- Indicador de vazão na linha de saída de vapor do sistema                            | 3- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 3          | C          | 3          | M     |
|                    |                             |              | 4- Falha no analisador de gases                                               | 4- Danos a caldeira                                                     | 4- Abertura da PSV                                                                     | 4- Trocar para bomba reserva de alimentação                                                                   | 4          | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 5- Injetor de combustível com defeito                                         | 5- Possibilidade de arraste de água líquida para a saída de vapor       | 5- Bomba reserva de alimentação                                                        | 5- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 5          | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 6- Alimentação de água abaixo do esperado                                     | 6- Acionamento da PSV                                                   | 6- Variador de frequência da bomba de alimentação secundário                           | 6- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 6          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 7- Alimentação de ar acima do esperado                                        | 7- Gastos com manutenção corretiva                                      | 7- Controlador interrompe a alimentação de combustível devido ao nível alto de pressão |                                                                                                               | 7          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 8- Alimentação de combustível acima do esperado                               | 8- Impactos na produção                                                 | 8- Válvula de By-pass do sistema de ar é aberta                                        |                                                                                                               | 8          | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 9- Válvula do sistema de alimentação de combustíveis com falha                | 9- Explosão                                                             | 9- Inspeções periódicas nas tubulações                                                 |                                                                                                               | 9          | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 10- Falha no Pressostato                                                      |                                                                         | 10- Check-List de operação                                                             |                                                                                                               | 10         | C          | 3          | M     |
|                    |                             |              | 11- Inversor de frequência da bomba de alimentação de combustível com defeito |                                                                         | 11- Calibração dos instrumentos de medição                                             |                                                                                                               | 11         | B          | 3          | T     |
|                    |                             |              | 12- Inversor de frequência da bomba de alimentação de água com defeito        |                                                                         | 12- Válvula de purga de gás é aberta                                                   |                                                                                                               | 12         | B          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 13- Falha no CLP                                                              |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 13         | C          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 14- Falha operacional                                                         |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 14         | C          | 1          | U     |
|                    |                             |              | 15- Excesso de ar de combustão                                                |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 15         | C          | 4          | T     |
|                    |                             |              | 16- Excesso de combustíveis                                                   |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 16         | B          | 3          | M     |
|                    |                             |              | 17- Queda de energia                                                          |                                                                         |                                                                                        |                                                                                                               | 17         | C          | 3          | M     |

|                             |             |       |                                                                               |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               |    |            |       |   |
|-----------------------------|-------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------|-------|---|
| Geração de Vapor            | Temperatura | Menor | 1- Alto consumo de vapor                                                      | 1- Sub-reaquecimento da caldeira                                      | 1- Alarme de temperatura baixa                                            | 1- Colocar o sistema o sistema em manual, caso seja falha de automação                                        | 1  | B          | 4     | T |
|                             |             |       | 2- Incrustação no sistema de alimentação de combustíveis                      | 2- Redução do consumo de vapor                                        | 2- Indicador de temperatura na linha de saída de vapor do sistema         | 2- Purgar toda a linha do sistema                                                                             | 2  | C          | 3     | M |
|                             |             |       | 3- Vazamento no sistema de saída do vapor                                     | 3- Falta de gás combustível, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável | 3- Indicadores de temperatura da caldeira                                 | 3- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 3  | C          | 4     | T |
|                             |             |       | 4- Falha no analisador de gases                                               | 4- Danos a caldeira                                                   | 4- Analisador de gases secundário                                         | 4-Trocar para bomba reserva de alimentação                                                                    | 4  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 5- Apagamento da chama                                                        | 5- Possibilidade de arraste de água líquida para a saída de vapor     | 5- Qualidade do combustíveis dentro dos padrões                           | 5- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 5  | B          | 2     | M |
|                             |             |       | 6- Injetor de combustível com defeito                                         | 6- Impactos na produção                                               | 6- inspeções periódicas nas tubulações                                    | 6- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 6  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 7- Alimentação de água acima do esperado                                      |                                                                       | 7- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de água         |                                                                                                               | 7  | B          | 4     | T |
|                             |             |       | 8- Alimentação de ar abaixo do esperado                                       |                                                                       | 8- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de combustíveis |                                                                                                               | 8  | B          | 4     | T |
|                             |             |       | 9- Alimentação de combustível abaixo do esperado                              |                                                                       | 9- Visor manual de nível de combustível                                   |                                                                                                               | 9  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 10- Válvula do sistema de alimentação de combustíveis com falha               |                                                                       | 10- Check-List de operação                                                |                                                                                                               | 10 | C          | 4     | T |
|                             |             |       | 11- Falha no controlador de temperatura                                       |                                                                       | 11- Calibração dos instrumentos de medição                                |                                                                                                               | 11 | B          | 2     | M |
|                             |             |       | 12- Inversor de frequência da bomba de alimentação de combustível com defeito |                                                                       | 12- Gerador                                                               |                                                                                                               | 12 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 13- Inversor de frequência da bomba de alimentação de água com defeito        |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 13 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 14- Falha no CLP                                                              |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 14 | B          | 2     | M |
|                             |             |       | 15- Falta de ar de combustão                                                  |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 15 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 16- Falta de combustíveis                                                     |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 16 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 17- Excesso de alimentação de água                                            |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 17 | C          | 4     | M |
|                             |             |       | 18- Queda de energia                                                          |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 18 | C          | 3     | M |
|                             |             |       | 19- Falha operacional                                                         |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 19 | C          | 1     | U |
| Geração de Vapor            | Temperatura | Maior | 1- Baixo consumo de vapor                                                     | 1- Sub-reaquecimento da caldeira                                      | 1- Alarme de temperatura alta                                             | 1- Colocar o sistema o sistema em manual, caso seja falha de automação                                        | 1  | E          | 4     | M |
|                             |             |       | 2- Incrustação no sistema de alimentação de combustíveis                      | 2- Aumento do consumo de vapor                                        | 2- Apagamento da chama                                                    | 2- Purgar toda a linha do sistema                                                                             | 2  | C          | 3     | M |
|                             |             |       | 3- Relação de energia gerada pela combustão abaixo do esperado                | 3- Falta de gás combustível, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável | 3- Indicador de temperatura na linha de saída de vapor do sistema         | 3- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 3  | C          | 4     | T |
|                             |             |       | 4- Falha no analisador de gases                                               | 4- Danos a caldeira                                                   | 4- Indicadores de temperatura da caldeira                                 | 4-Trocar para bomba reserva de alimentação                                                                    | 4  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 5- Injetor de combustível com defeito                                         | 6- Impactos na produção                                               | 5- Analisador de gases secundário                                         | 5- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 5  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 6- Alimentação de água abaixo do esperado                                     | 7- Acionamento da PSV                                                 | 6- Qualidade do combustíveis dentro dos padrões                           | 6- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 6  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 7- Alimentação de ar acima do esperado                                        | 8- Explosão                                                           | 7- inspeções periódicas nas tubulações                                    |                                                                                                               | 7  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 8- Alimentação de combustível acima do esperado                               |                                                                       | 8- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de água         |                                                                                                               | 8  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 9- Válvula do sistema de alimentação de combustíveis com falha                |                                                                       | 9- Acionamento automático da bomba reserva de alimentação de combustíveis |                                                                                                               | 9  | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 10- Falha no controlador de temperatura                                       |                                                                       | 10- Visor manual de nível de combustível                                  |                                                                                                               | 10 | B          | 2     | M |
|                             |             |       | 11- Inversor de frequência da bomba de alimentação de combustível com defeito |                                                                       | 11- Check-List de operação                                                |                                                                                                               | 11 | D          | 2     | M |
|                             |             |       | 12- Inversor de frequência da bomba de alimentação de água com defeito        |                                                                       | 12- Calibração dos instrumentos de medição                                |                                                                                                               | 12 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 13- Falha no CLP                                                              |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 13 | B          | 2     | M |
|                             |             |       | 14- Excesso de ar de combustão                                                |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 14 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 15- Excesso de combustíveis                                                   |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 15 | B          | 2     | M |
|                             |             |       | 16- Falta de alimentação de água                                              |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 16 | B          | 3     | T |
|                             |             |       | 17- Falha operacional                                                         |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               | 17 | C          | 1     | U |
| Observações:                |             |       |                                                                               |                                                                       | Classificação do Risco                                                    | Total                                                                                                         |    | Frequência | Total |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       | RISCO BAIXO                                                               | 46                                                                                                            |    | A          | 0     |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       | INTERMEDIÁRIO                                                             | 21                                                                                                            |    | B          | 49    |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       | RISCO ALTO                                                                | 4                                                                                                             |    | C          | 19    |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               |    | D          | 1     |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       |                                                                           |                                                                                                               |    | E          | 2     |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       | Severidade                                                                | Total                                                                                                         |    |            |       |   |
|                             |             |       |                                                                               |                                                                       | 1                                                                         | 6                                                                                                             |    |            |       |   |
| Alimentação de Água         |             |       |                                                                               |                                                                       | 2                                                                         | 9                                                                                                             |    |            |       |   |
| Alimentação de Combustíveis |             |       |                                                                               |                                                                       | 3                                                                         | 35                                                                                                            |    |            |       |   |
| Geração de Vapor            |             |       |                                                                               |                                                                       | 4                                                                         | 21                                                                                                            |    |            |       |   |
| Alimentação de Ar           |             |       |                                                                               |                                                                       | 5                                                                         | 0                                                                                                             |    |            |       |   |

| HAZOP - Hazard and Operability Study |                      |              |                                                                        |                                                                  |                                                                                      |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|--------------------------------------|----------------------|--------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|------------|-------|
| Sistema:                             | Caldeira Aquatubular |              |                                                                        | Nó. 04                                                           |                                                                                      |                                                                                                               |            |                        |            |       |
| Subsistema:                          | Alimentação de Ar    |              |                                                                        |                                                                  |                                                                                      |                                                                                                               |            |                        |            |       |
| Nó                                   | Parâmetro            | Palavra Guia | Causas                                                                 | Consequências                                                    | Salvaguardas                                                                         | Ações                                                                                                         | Item/Causa | Frequência             | Severidade | Risco |
| Alimentação de Ar                    | Vazão                | Menor        | 1- Falha no sistema de alimentação de AR                               | 1- Combustão parcial ou incompleta                               | 1- Alarme de vazão baixa                                                             | 1- Colocar o sistema secundário de análises de combustíveis                                                   | 1          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 2- Sistema de purificação de ar obstruído                              | 2- Formação de fuligem e fumaça                                  | 2- Variador de frequência dos sopradores/compressor                                  | 2- Checar possíveis vazamentos nas tubulações                                                                 | 2          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 3- Falha no analisador de gases                                        | 3- Apagamento da chama, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável | 3- Analisador de gases secundário                                                    | 3- Trocar os elementos filtrantes                                                                             | 3          | B                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 4- Pressão baixa na alimentação                                        | 4- Impactos na produção                                          | 4- Intertravamento interrompe fornecimento de combustível devido a chama apagada     | 4- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 4          | B                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 5- Obstrução nas tubulações                                            | 5- Danos a caldeira devido ao resfriamento inadequado            | 5- Sistema de filtragem reserva                                                      | 5- Trocar para os sopradores/compressores reserva                                                             | 5          | A                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 6- Vazamento no circuito de alimentação                                | 6- Explosão                                                      | 6- Intertravamento interrompe fornecimento de combustível devido a falta de oxigênio | 6- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 6          | A                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 7- Sensor de fluxo de ar com defeito                                   |                                                                  | 7- Qualidade do ar dentro dos padrões                                                | 7- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 7          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 8- Válvula do sistema de alimentação de ar com falha                   |                                                                  | 8- Indicador de vazão da linha de vapor consumido                                    |                                                                                                               | 8          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 9- Falha no CLP                                                        |                                                                  | 9- inspeções periódicas nas tubulações                                               |                                                                                                               | 9          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 10- Inversor de frequência do soprador ou compressor com falha         |                                                                  | 10- Acionamento automático dos sopradores/compressores reservas de alimentação de ar |                                                                                                               | 10         | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 11- Falha operacional.                                                 |                                                                  | 11- Visor manual de fluxo de ar                                                      |                                                                                                               | 11         | C                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 12- Queda de energia                                                   |                                                                  | 12- Check-List de operação                                                           |                                                                                                               | 12         | C                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 13- Calibração dos instrumentos de medição                                           |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 14- Pressostato na tubulação de saída do sistema de filtração                        |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 15- Gerador                                                                          |                                                                                                               |            |                        |            |       |
| Alimentação de Ar                    | Vazão                | Maior        | 1- Falha no sistema de alimentação de AR                               | 1- Combustão parcial ou incompleta                               | 1- Alarme de vazão baixa                                                             | 1- Colocar o sistema secundário de análises de combustíveis                                                   | 1          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 2- Sistema de purificação de ar sem elemento filtrante ou com passagem | 2- Formação de fuligem e fumaça                                  | 2- Variador de frequência dos sopradores/compressor                                  | 2- Checar possíveis obstruções nas tubulações                                                                 | 2          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 3- Falha no analisador de gases                                        | 3- Apagamento da chama, podendo ocorrer uma atmosfera inflamável | 3- Analisador de gases secundário                                                    | 3- Trocar os elementos filtrantes                                                                             | 3          | B                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 4- Pressão alta na alimentação                                         | 4- Impactos na produção                                          | 4- Intertravamento interrompe fornecimento de combustível devido a chama apagada     | 4- Diminuir o volume de vapor gerado                                                                          | 4          | B                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 5- Sensor de fluxo de ar com defeito                                   | 5- Danos a caldeira devido ao resfriamento inadequado            | 5- Sistema de filtragem reserva                                                      | 5- Trocar para os sopradores/compressores reserva                                                             | 5          | C                      | 4          | T     |
|                                      |                      |              | 6- Válvula do sistema de alimentação de ar com falha                   | 6- Explosão                                                      | 6- Qualidade do ar dentro dos padrões                                                | 6- Acionar a equipe de automação ou eletrônica para verificar uma possível falha no sistema de instrumentação | 6          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 7- Falha no CLP                                                        |                                                                  | 7- Indicador de vazão da linha de vapor consumido                                    | 7- Comunicar imediatamente o PH e a Supervisão de produção e Manutenção após o desligamento.                  | 7          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 8- Inversor de frequência do soprador ou compressor com falha          |                                                                  | 8- inspeções periódicas nas tubulações                                               |                                                                                                               | 8          | B                      | 3          | T     |
|                                      |                      |              | 9- Falha operacional.                                                  |                                                                  | 9- Acionamento automático dos sopradores/compressores reservas de alimentação de ar  |                                                                                                               | 9          | D                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              | 10- Sistema de intertravamento com defeito                             |                                                                  | 10- Visor manual de fluxo de ar                                                      |                                                                                                               | 10         | B                      | 2          | M     |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 11- Check-List de operação                                                           |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 12- Calibração dos instrumentos de medição                                           |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 13- Pressostato na tubulação de saída do sistema de filtração                        |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 14- Válvula de By-pass do sistema de alimentação é aberta                            |                                                                                                               |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              | Observações:                                                           |                                                                  |                                                                                      |                                                                                                               |            | Classificação do Risco | Total      |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | RISCO BAIXO                                                                          | 12                                                                                                            |            | A                      | 2          |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | INTERMEDIÁRIO                                                                        | 10                                                                                                            |            | B                      | 16         |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | RISCO ALTO                                                                           | 0                                                                                                             |            | C                      | 3          |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  |                                                                                      |                                                                                                               |            | D                      | 1          |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  |                                                                                      |                                                                                                               |            | E                      | 0          |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | Severidade                                                                           | Total                                                                                                         |            |                        |            |       |
|                                      |                      |              |                                                                        |                                                                  | 1                                                                                    | 0                                                                                                             |            |                        |            |       |
| Alimentação de Água                  |                      |              |                                                                        |                                                                  | 2                                                                                    | 10                                                                                                            |            |                        |            |       |
| Alimentação de Combustíveis          |                      |              |                                                                        |                                                                  | 3                                                                                    | 11                                                                                                            |            |                        |            |       |
| Geração de Vapor                     |                      |              |                                                                        |                                                                  | 4                                                                                    | 1                                                                                                             |            |                        |            |       |
| Alimentação de Ar                    |                      |              |                                                                        |                                                                  | 5                                                                                    | 0                                                                                                             |            |                        |            |       |

## ANEXO A – ARRANJO TÉCNICO DA CALDEIRA



Fonte: MITSUBISHI, 201



|  | <b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b><br><b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br><b>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</b>                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                     |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                     | Nº 41597                                                                            |  |
|                                                                                   | ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS<br>TIPO DE LV : LV PADRÃO<br>ORIGEM: ETM<br>REVISÃO 0 (15/07/2014)<br>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                     |                                                                                     |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO<br>CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA<br>STATUS: DISPONÍVEL<br>IMPRESSÃO: 19/02/2015 |                                                                                     |  |
| ITEM                                                                              | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | PESO                                                                                                                                | R.L.                                                                                |  |
| 9                                                                                 | 155120/0-Vasos de pressão: Os dispositivos de proteção tem possibilidade de serem bloqueados indevidamente quando este não estiver instalado diretamente no vaso?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                               | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 10                                                                                | 155121/0-Vasos de pressão: Está previsto instrumento que indique a pressão de operação instalado diretamente no vaso ou no sistema que o contenha?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                              | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 11                                                                                | 155122/0-Caldeiras: Existe dispositivo de segurança previsto no equipamento ou no sistema no qual ele está inserido?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 12                                                                                | 155123/0-Caldeiras: Os dispositivos de proteção tem possibilidade de serem bloqueados indevidamente?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 13                                                                                | 155124/0-Caldeiras: Existe dispositivo de controle do nível de água de caldeira?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 14                                                                                | 155125/0-Caldeiras: A caldeira está classificada em uma das categorias: A, B ou C?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 15                                                                                | 155126/0-Caldeiras: Está previsto válvula de segurança?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 16                                                                                | 155127/0-Caldeiras: Está previsto injetor ou sistema de alimentação de água independente do principal que evite o superaquecimento por alimentação deficiente, acima das temperaturas de projeto, no caso de caldeiras de combustível sólido não atomizado ou com queima em suspensão?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                          | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 17                                                                                | 155128/0-Caldeiras: Está previsto sistema automático de controle do nível de água com intertravamento que evite o superaquecimento por alimentação deficiente?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                  | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 18                                                                                | 155129/0-A área de caldeira (ambiente aberto) está afastada, no mínimo, 3 metros das áreas a seguir? outras instalações do estabelecimento, - de depósitos de combustíveis, excetuando-se reservatórios para partida com até 2000 l (dois mil litros) de capacidade, - do limite de propriedade de terceiros, - do limite com as vias públicas,<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 19                                                                                | 155130/0-A caldeira tem sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação atendendo às normas ambientais vigentes<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                     | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 20                                                                                | 155131/0-A caldeira (ambiente fechado) possui de sensor para detecção de vazamento de gás quando se tratar de caldeira a combustível gasoso?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                    | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |

|  | <b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b><br><b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br><b>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                     |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                     | <b>Nº 41597</b>                                                                     |  |
|                                                                                   | ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS<br>TIPO DE LV : LV PADRÃO<br>ORIGEM: ETM<br>REVISÃO 0 (15/07/2014)<br>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                     |                                                                                     |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO<br>CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA<br>STATUS: DISPONÍVEL<br>IMPRESSÃO: 19/02/2015 |                                                                                     |  |
| ITEM                                                                              | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | PESO                                                                                                                                | R.L.                                                                                |  |
| 21                                                                                | 155132/0-A caldeira ou vaso de pressão foi submetida (o) TH na fase de fabricação?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 22                                                                                | 155133/0-O laudo do TH na de fabricação foi assinado por um PH?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 23                                                                                | 155134/0-O valor da pressão de teste está na placa de identificação da caldeira ou vaso de pressão<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 24                                                                                | 155135/0-Caso o TH não tenha sido feito na fase de fabricação, o TH foi feito na fase de segurança inicial (equipamento após da vigência desta NR-13) ou inspeção de segurança periódica (equipamento antes da vigência desta NR-13)?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 25                                                                                | 155136/0-Tubulações:Existe dispositivo de segurança previsto no equipamento ou no sistema no qual ele está inserido?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 26                                                                                | 155137/0-A tubulação possui indicador de pressão de operação ?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 27                                                                                | 155138/0-É cumprida a obrigação de manter os dispositivos de indicação de pressão da tubulação em boas condições operacionais?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 28                                                                                | 155139/0-Tubulações: Os dispositivos de proteção tem possibilidade de serem bloqueados indevidamente?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 29                                                                                | 155140/0-É cumprida a obrigação de manter as tubulações de vapor e seus acessórios em boas condições operacionais?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 30                                                                                | 155141/0-Para tubulação foi realizada inspeção de segurança inicial pelo profissional habilitado?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 31                                                                                | 155142/0-É exigido que profissionais habilitados realizem inspeção de segurança extraordinária, nos casos a seguir: a) sempre que a tubulação for danificada por acidente ou outra ocorrência que comprometa a segurança dos trabalhadores, b) quando a tubulação for submetida a reparo provisório ou alterações significativas, capazes de alterar sua capacidade de contenção de fluido, c) antes da tubulação ser recolocada em funcionamento, quando permanecer inativa por mais de 24 (vinte e quatro) meses.<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 32                                                                                | 155143/0-Para tubulação , sistemas de tubulação ou linhas a documentação a seguir está disponível e atualizada ? a) especificações aplicáveis às tubulações ou sistemas, necessárias ao planejamento e execução da sua inspeção, b) fluxograma de engenharia com a identificação da linha e seus acessórios, c) PAR em conformidade com os itens                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |

|  | <b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b><br><b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br><b>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                     |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                     | Nº 41597                                                                            |  |
|                                                                                   | ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS<br>TIPO DE LV : LV PADRÃO<br>ORIGEM: ETM<br>REVISÃO 0 (15/07/2014)<br>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                     |                                                                                     |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO<br>CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA<br>STATUS: DISPONÍVEL<br>IMPRESSÃO: 19/02/2015 |                                                                                     |  |
| ITEM                                                                              | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PESO                                                                                                                                | R.L.                                                                                |  |
| 44                                                                                | 155155/0-A Caldeira possui Certificados de calibração dos dispositivos de segurança?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: O certificado(ou relatório) anexado a documentação deve ser original, com assinatura de PH.(S)                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 45                                                                                | 155156/0-As caldeiras foram instaladas em casa de caldeiras ou em local específico para tal fim, denominado área de caldeiras?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 46                                                                                | 155157/0-A caldeira instalada em ambiente aberto dispõe de pelo menos 2 (duas) saídas amplas, permanentemente desobstruídas, sinalizadas e dispostas em direções distintas?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 47                                                                                | 155158/0-A caldeira instalada em ambiente aberto dispõe 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?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Entende-se por acesso fácil e seguro a presença de escadas e plataformas(S)                                                                                                                                                           | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 48                                                                                | 155159/0-A caldeira instalada em ambiente aberto dispõe de sistema de captação e lançamento dos gases e material particulado, provenientes da combustão, para fora da área de operação atendendo às normas ambientais vigentes?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 49                                                                                | 155160/0-A caldeira instalada em ambiente aberto dispõe de iluminação conforme normas oficiais vigentes?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 50                                                                                | 155161/0-A caldeira instalada em ambiente aberto dispõe sistema de iluminação de emergência caso opere à noite?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 51                                                                                | 155162/0-A casa de caldeiras foi construída de 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, 3,0 m (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 2000 l (dois mil litros) de capacidade?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 52                                                                                | 155163/0-A casa de caldeiras dispõe de ventilação permanente com entradas de ar que não possam ser bloqueadas?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 53                                                                                | 155164/0-A casa de caldeiras dispõe de sensor para detecção de vazamento de gás quando se tratar de caldeira a combustível gasoso?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 54                                                                                | 155165/0-A casa de caldeiras é utilizada para outra finalidade?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <p align="center"><b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b></p> <p align="center"><b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br/>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |      | <p align="center"><b>NP-1</b></p> <p align="center"><b>Nº 41597</b></p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------|
| <p>ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS</p> <p>TIPO DE LV : LV PADRÃO</p> <p>ORIGEM: ETM</p> <p>REVISÃO 0 (15/07/2014)</p> <p>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO</p> <p align="right">RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO<br/>CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA<br/>STATUS: DISPONÍVEL<br/>IMPRESSÃO: 19/02/2015</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |      |                                                                         |
| ITEM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | PESO | R.L.                                                                    |
| 55                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155166/0-A casa de caldeiras dispõe 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?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: Entede-se por acesso fácil e seguro a presença de escadas e plataformas(S)</p>                                                                                                                                                 | 2    | N                                                                       |
| 56                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155167/0-As caldeiras classificadas na categoria A devem possuir painel de instrumentos instalados em sala de controle, construída segundo o que estabelecem as Normas Regulamentadoras aplicáveis?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p>                                                                                                                                                                                                                                                             | 2    | N                                                                       |
| 57                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155168/0-A caldeira possui manual de operação, em língua portuguesa, em local de fácil acesso aos operadores, contendo no mínimo: procedimentos de partidas e paradas, procedimentos e parâmetros operacionais de rotina, procedimentos para situações de emergência, procedimentos gerais de segurança, saúde e de preservação do meio ambiente?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: Este manual pode ser disponibilizado de forma digital, para acesso pelo microcomputador.(S)</p> | 2    | N                                                                       |
| 58                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155169/0-Os instrumentos e controles de caldeiras estão calibrados e em boas condições operacionais?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: Verificar se as PSVs estão lacradas. O lacre não pode estar rompido. O lacre deve ser de material resistente. Os indicadores de pressão devem estar calibrados(S)</p>                                                                                                                                                                        | 2    | N                                                                       |
| 59                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155170/0-A qualidade da água é controlada para compatibilizar suas propriedades físico-químicas com os parâmetros de operação da caldeira categoria A?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2    | N                                                                       |
| 60                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155171/0-As caldeiras foram submetidas a Teste Hidrostático ½ TH em sua fase de fabricação, com comprovação por meio de laudo assinado por PH, e tiveram o valor da pressão de teste afixado em sua placa de identificação?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: Verificar se existe laudo/relatório/certificado que ateste que o TH foi realizado na fábrica. Este laudo deve ser assinado por PH. O valor de TH da placa deve ser o mesmo do TH realizado na fábrica.(S)</p>         | 2    | N                                                                       |
| 61                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155172/0-No caso de não realização do TH na fábrica, foi realizado TH no campo?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2    | N                                                                       |
| 62                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155173/0-Caso a caldeira seja considerada especial, ela atendeu todos itens estabelecidos no item 13.4.4.6 da NR-13?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: Ver item 13.4.4.6 da NR-13(S)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2    | N                                                                       |
| 63                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <p>155174/0-Todos os vasos com cujo produto P.V sejam superiores a 8 (oito), onde P é a pressão máxima de operação em kPa e V o seu volume interno em m3 estão enquadrados na NR-13?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p>                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2    | N                                                                       |

|  | <b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b><br><b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br><b>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                     |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                     | Nº 41597                                                                            |  |
|                                                                                   | ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS<br>TIPO DE LV : LV PADRÃO<br>ORIGEM: ETM<br>REVISÃO 0 (15/07/2014)<br>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                     |                                                                                     |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO<br>CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA<br>STATUS: DISPONÍVEL<br>IMPRESSÃO: 19/02/2015 |                                                                                     |  |
| ITEM                                                                              | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | PESO                                                                                                                                | R.L.                                                                                |  |
| 63                                                                                | Evidência: verificar se existe na documentação emitida cálculo/avaliação de enquadramento(S)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 64                                                                                | 155175/0-Todos os vasos de pressão que contenham fluido da classe A, especificados no item 13.5.1.2 da NR-13, alínea c) e d), independente das dimensões e do produto P.V estão enquadrados na NR-13?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: verificar se existe na documentação emitida avaliação de enquadramento(S)                                                                                                                      | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 65                                                                                | 155176/0-Todos os recipientes móveis com P.V superior a 8 (oito) ou com fluido da classe A, especificados no item 13.5.1.2, alínea c) e d) estão enquadrados na NR-13?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: verificar se existe na documentação emitida avaliação de enquadramento(S)                                                                                                                                                     | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 66                                                                                | 155177/0-Equipamentos como tanques, fornos, trocadores de calor de placas corrugadas, vasos de pressão pertencentes a pacotes de máquinas, etc foram submetidos às inspeções previstas em códigos e normas nacionais ou internacionais a eles relacionados?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Avaliar se os equipamentos não categorizados na NR-13 foram submetidos a inspeção exigida pelo código, norma ou legislação aplicável.(S) | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 67                                                                                | 155178/0-Os vasos de pressão possuem meios contra o bloqueio inadvertido de dispositivo de segurança quando este não estiver instalado diretamente no vaso?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Percorrer a linha da PSV e verificar a existência de bloqueios, tanto a montante como a jusante da PSV. Verificar se existem procedimentos formais (validados pela UO) que permitem bloqueios temporários de válvulas(S)                 | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 68                                                                                | 155179/0-Os vasos possuem instrumento que indique a pressão de operação, instalado diretamente no vaso ou no sistema que o contenha?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Verificar se existem "PI" instalado no vaso ou no sistema(S)                                                                                                                                                                                                    | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 69                                                                                | 155180/0-A placa de identificação encontra-se com todas as informações em português e com as unidades no sistema internacional (SI)?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Todos os campos devem estar no idioma português(S)                                                                                                                                                                                                              | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 70                                                                                | 155181/0-O vaso de pressão possui Registro de Segurança em conformidade com o item 13.5.1.8 da NR-13?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: O registro da inspeção de segurança inicial deve ser anotado no Livro de Registro(S)                                                                                                                                                                                                           | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |
| 71                                                                                | 155182/0-O vaso de pressão foi instalado de modo que todos os drenos, respiros, bocas de visita e indicadores de nível, pressão e temperatura, quando existentes, sejam facilmente acessíveis?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Entende por acesso fácil a presença de escadas e plataformas.(S)                                                                                                                                      | 2                                                                                                                                   | N                                                                                   |  |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p style="text-align: center;"><b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b><br/> <b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br/> <b>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</b></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      | <div style="text-align: center;"> <br/> <b>Nº 41597</b> </div> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS</p> <p>TIPO DE LV : LV PADRÃO</p> <p>ORIGEM: ETM</p> <p>REVISÃO 0 (15/07/2014)</p> <p>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO</p> <p style="text-align: right;">RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO<br/>         CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA<br/>         STATUS: DISPONÍVEL<br/>         IMPRESSÃO: 19/02/2015</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |      |                                                                                                                                                   |
| ITEM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | PESO | R.L.                                                                                                                                              |
| 72                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155183/0-Vasos de pressão que não permitam acesso visual para o exame interno ou externo por impossibilidade física foram submetidos alternativamente a outros exames não destrutivos e metodologias de avaliação da integridade, a critério do PH, baseados em normas e códigos aplicáveis à identificação de mecanismos de deterioração?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: A inspeção de segurança interna só poderá ser substituída em função de impossibilidade física. Atendimentos de prazos e custos não são consideradas pelo MTE como razões para a não realização da inspeção de segurança interna/externa. O laudo dos ENDS que substituíram as inspeções de segurança devem compor o RISI e validados por PH.(S)</p> | 2    | N                                                                                                                                                 |
| 73                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155184/0-A lista de linhas emitida explícita a condição de enquadramento das linhas na NR-13?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: A lista de linhas deve indicar a Classe do Fluido e se a linha está enquadrada ou não no escopo da NR-13.(S)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2    | N                                                                                                                                                 |
| 74                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155185/0-Foi emitido P&amp;ID para todas as linhas do empreendimento?.</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: Os P&amp;IDs determinam a necessidade de dispositivos de segurança e indicadores de pressão.(S)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2    | N                                                                                                                                                 |
| 75                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155186/0-Foi emitido documento (Especificação Técnica, Diretriz Técnica ou outro equivalente) com todas as padronizações empregadas nas tubulações?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: As specs do projeto devem compor o book da tubulação. Serevm de base para serviços futuros que forem executados nas linhas.(S)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2    | N                                                                                                                                                 |
| 76                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155187/0-Foi emitida Memória de Cálculo para as linhas ou sistemas, determinando a sua pressão máxima admissível, nos casos em que existem nos mesmos componentes com as seguintes características: sem classe de pressão definida, com espessura <math>\geq</math> a calcular, segundo a padronização de materiais da linha, componentes não padronizados ou patenteados.</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: A memória de cálculo é essencial para a determinação da PMTA e para ajuste da pressão de abertura da PSV onde ela tiver sido especificada.(S)</p>                                                                                                                                                                   | 2    | N                                                                                                                                                 |
| 77                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155188/0-Foi emitido padrão para identificação das linhas por cores, atendendo a NR-26?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: A identificação por cores deve atender à NR-26. Verificar se foi emitido padrão listando a cor a ser aplicada em função do fluido conduzido. Deve ser aplicada também uma identificação adicional conforme padrão contratual.(S)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2    | N                                                                                                                                                 |
| 78                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | <p>155189/0-Foi emitido Plano de Inspeção?</p> <p>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES</p> <p>Evidência: O plano de inspeção deve ser emitido pela UO, e não afeta a liberação das linhas para atendimento à NR-13. Se tiver sido emitido ele deve ser incorporado ao book de fabricação.(S)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 2    | N                                                                                                                                                 |

|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             |                                                                                                                                                                 |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  | <b>LISTA DE VERIFICAÇÃO</b><br><b>PRÉ INSPEÇÃO DOS REQUISITOS LEGAIS REGULATÓRIOS DA NR-13</b><br><b>(CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES)-41597-0</b>                                                                                                                                                                                             |             |                                                                              |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             | <b>Nº 41597</b>                                                                                                                                                 |  |
|                                                                                   | <b>ESPECIALIDADE: ENGENHARIA / ASSESSORIA / PRÉ INSPEÇÃO DE CONFORMIDADE LEGAL E REGULATÓRIA / MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS MECÂNICOS</b><br><b>TIPO DE LV : LV PADRÃO</b><br><b>ORIGEM: ETM</b><br><b>REVISÃO 0 (15/07/2014)</b><br><b>TIPO DE AVALIAÇÃO : FISCALIZAÇÃO</b>                                                                                 |             |                                                                                                                                                                 |  |
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |             | <b>RESPONSÁVEL TÉCNICO: RAMON RODRIGUES RIBEIRO</b><br><b>CADASTRADOR: MARCIO BARBOSA DE SOUZA</b><br><b>STATUS: DISPONÍVEL</b><br><b>IMPRESSÃO: 19/02/2015</b> |  |
| <b>ITEM</b>                                                                       | <b>DESCRIÇÃO</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>PESO</b> | <b>R.L.</b>                                                                                                                                                     |  |
| 79                                                                                | 155190/0-Foi emitido formulário para o relatório de inspeção conforme requerido pela NR-13?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: A ET de NR-13 contém um modelo para o relatório. A executante deve emitir um formulário similar, que contenha pelo menos todas as informações ali citadas.(S)                  | 2           | N                                                                                                                                                               |  |
| 80                                                                                | 155191/0-As linhas foram pintadas conforme determinado pela NR-26?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Verificar se as linhas no campo estão pintadas de acordo com o especificado, segundo o padrão emitido.(S)                                                                                               | 2           | N                                                                                                                                                               |  |
| 81                                                                                | 155192/0-As linhas foram identificadas conforme padrão contratual?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Verificar se as linhas no campo estão pintadas de acordo com o especificado, segundo o padrão emitido.(S)                                                                                               | 2           | N                                                                                                                                                               |  |
| 82                                                                                | 155193/0-Está sendo emitido o RISI para as linhas que estão sendo aprovadas?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: O Relatório de Inspeção de Segurança Inicial deve ser emitido para todas as linhas que foram enquadradas na NR-13. Esse relatório deve ser necessariamente assinado pelo PH da contratada.(S) | 2           | N                                                                                                                                                               |  |
| 83                                                                                | 155194/0-Estão sendo elaboradas as Pasta dos Sistemas conforme indicado na NR-13?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: As Pastas dos Sistemas devem ser montadas com todos os documentos citados na ET.(S)                                                                                                      | 2           | N                                                                                                                                                               |  |
| 84                                                                                | 155195/0-Foi organizado livro de fabricação (data-book) para a obra de tubulação?<br>Doc. Ref.: NR-13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO e TUBULAÇÕES<br>Evidência: Além das pastas dos sistemas, a NR-13 requer que seja preparado um book de fabricação com todos os documentos pertinentes. Os documentos mínimos exigidos estão listados na ET.(S)       | 2           | N                                                                                                                                                               |  |



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil  
**Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)**  
Certificado de assinatura gerado em 07/07/2022 às 14:38:31 (GMT -3:00)

Edinaldo TCC FINAL ORIENTADOR

 ID única do documento: #afbe9904-f0cb-460c-a745-6c6407c6ae80

Hash do documento original (SHA256): 640a03294d96516be88908c8173ffaac35566c2ed57642f310fd6293a5e979c6

Este Log é exclusivo ao documento número #afbe9904-f0cb-460c-a745-6c6407c6ae80 e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

## Assinaturas (4)

- ✓ **Marta Picardo (Participante)**  
Assinou em 07/07/2022 às 11:40:08 (GMT -3:00)
- ✓ **Alex Vazzoler (Participante)**  
Assinou em 07/07/2022 às 11:40:06 (GMT -3:00)
- ✓ **André Pereira (Participante)**  
Assinou em 07/07/2022 às 16:06:25 (GMT -3:00)
- ✓ **Tanise Mori Flores (Participante)**  
Assinou em 07/07/2022 às 11:54:47 (GMT -3:00)

## Histórico completo

### Data e hora

07/07/2022 às 14:38:31  
(GMT -3:00)

07/07/2022 às 14:40:09  
(GMT -3:00)

### Evento

Alex Vazzoler solicitou as assinaturas.

Marta Picardo (Autenticação: e-mail mcpicardo@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.98.162) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.



**Data e hora**

07/07/2022 às 14:40:06  
(GMT -3:00)

**Evento**

Alex Vazzoler (Autenticação: e-mail vazzoleralex@hotmail.com; IP: 177.38.98.162) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.

07/07/2022 às 14:54:47  
(GMT -3:00)

Tanise Mori Flores (Autenticação: e-mail tmflores@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.98.162) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.

07/07/2022 às 19:06:25  
(GMT -3:00)

André Pereira (Autenticação: e-mail andrerpereir@yahoo.com.br; IP: 201.65.3.182) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10º, §2.