



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ**  
**CAMPUS TERESINA CENTRAL**  
**BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**LAYSA LAYARA PIRES DE CARVALHO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO CÓDIGO ASME E NR 13: o acompanhamento de  
inspeção e da elaboração de prontuário de uma caldeira mista**

**TERESINA**  
**2025**

LAYSA LAYARA PIRES DE CARVALHO

ANÁLISE COMPARATIVA DO CÓDIGO ASME E NR 13: o acompanhamento de  
inspeção e da elaboração de prontuário de uma caldeira mista

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como exigência parcial para  
obtenção do diploma do Curso de  
Engenharia Mecânica do Instituto Federal  
de Educação, Ciência e Tecnologia do  
Piauí, Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Me. Edivaldo Feitosa  
Pereira Filho.

Coorientador: Prof. Me. Edivaldo Feitosa  
Pereira.

TERESINA

2025

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**

---

Carvalho, Laysa Layara Pires de  
C331a      Análise comparativa do Código ASME e NR 13 : o acompanhamento de  
inspeção e da elaboração de prontuário de uma caldeira mista / Laysa Layara  
Pires de Carvalho. - 2025.  
74 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica)  
- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus  
Teresina Central, 2025.

Orientador : Prof Me. Edivaldo Feitosa Pereira Filho.

Coorientador : Prof Me. Edivaldo Feitosa Pereira .

1. Caldeira. 2. Inspeção. 3. NR 13. 4. ASME I. I.Título.

CDD - 620

---

**Elaborado por Maria Rosismar Farias CRB 3/631**

LAYSA LAYARA PIRES DE CARVALHO

ANÁLISE COMPARATIVA DO CÓDIGO ASME E NR 13: o acompanhamento de  
inspeção e da elaboração de prontuário de uma caldeira mista

Trabalho de Conclusão de Curso  
(monografia) apresentado como exigência  
parcial para obtenção do diploma do Curso  
de Bacharelado em Engenharia Mecânica  
do Instituto Federal de Educação, Ciência  
e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina  
Central.

APROVADA EM: 31/ 07/ 2025.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. Edivaldo Feitosa Pereira Filho  
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

---

Prof. Me. Edivaldo Feitosa Pereira Filho  
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Jayna Kátia Dionisio dos Santos  
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

---

Prof. Dr. José Wéliton Nogueira Júnior  
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

À minha família, por ser meu alicerce.

Aos professores, pela orientação.

E a todos que acreditaram em mim, e me fizeram continuar nessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente, em primeiro lugar, a Deus por ter me sustentado nos momentos mais difíceis, me dado forças quando pensei em desistir e me concedido a possibilidade de chegar até aqui. Sem a Sua graça, nada disso seria possível.

Aos meus pais, Maria da Cruz e Luís Pires, meu amor e gratidão eternos. Vocês foram meu apoio, minha base, meu abrigo. Tudo o que sou carrego do que aprendi com vocês: dignidade, esforço e coragem. Obrigada por nunca soltarem a minha mão.

A minha irmã, Cindy, que esteve ao meu lado em tantos momentos, me auxiliando em tudo o que pôde (e também me enchendo o saco em quase tudo que podia), deixo meu carinho especial. No fim, sua presença tornou o processo mais leve e, certamente, mais suportável.

Aos meus avôs, já falecidos, Antônio Pires e Antônio Dantas, que mesmo ausentes fisicamente continuam sendo parte da minha força e da minha história. Levo comigo os ensinamentos e o orgulho de tudo o que eles representaram. Eles foram e sempre serão uma base firme e uma fonte de inspiração.

Agradeço também aos meus sobrinhos e afilhados, Antony e Joaquim, que são alegria em forma de gente pequena. Eles me lembram diariamente o sentido da vida: amor, leveza e esperança no futuro, e me ensinaram que a vida pode sim ser mais leve.

Ao meu namorado, que cresceu junto comigo durante essa caminhada. Obrigada por estar presente com paciência, por me fortalecer, me incentivar e apoiar em absolutamente tudo, que foi meu porto seguro em cada etapa.

Aos meus orientadores, minha sincera gratidão pela orientação dedicada e pelo exemplo de compromisso com a Engenharia. Admiro a forma como valorizam cada detalhe técnico e ético da profissão, o que tornou este percurso ainda mais enriquecedor.

Aos meus professores que, ao longo do curso, transmitiram conhecimento, apoio e palavras de incentivo: meu sincero agradecimento. Vocês fizeram mais do que ensinar — ajudaram a construir o meu caminho.

E, por fim, aos amigos e irmãos que a vida me deu dentro e fora do IFPI: obrigada pelos conselhos, pelas risadas, pela escuta e pela presença. Em cada um de vocês, levo uma parte dessa conquista.

## RESUMO

O presente trabalho aborda a temática de inspeção de caldeiras e elaboração de prontuário sob a ótica do Código ASME Seção I e Seção VIII, em comparação com a Norma Regulamentadora brasileira NR-13. Diante da importância das caldeiras a vapor para os processos industriais e dos riscos associados ao seu uso, o estudo visa analisar criticamente os requisitos normativos aplicáveis à integridade estrutural, segurança operacional e documentação técnica desses equipamentos. A metodologia do trabalho baseia-se na revisão teórica das normas, descrição técnica dos principais elementos das caldeiras e a análise de um estudo de caso real de uma caldeira mista com combustível a utilizada em uma indústria de rações, bem como o cálculo base para conferência da espessura mínima das chapas do costado e espelhos como também e da pressão máxima de trabalho admissível. O trabalho também propõe um checklist técnico para guiar rotinas de trabalho que deverão ser seguidas para facilitar as inspeções conforme os critérios da NR 13 e da ASME estudados, reforçando a necessidade de padronização e confiabilidade na operação das caldeiras.

**Palavras-chave:** caldeira; inspeção; NR13; ASME I; ASME VIII; segurança.

## **ABSTRACT**

This study addresses the inspection of boilers and the preparation of technical documentation from the perspective of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sections I and VIII, in comparison with the Brazilian Regulatory Standard NR-13. Considering the importance of steam boilers in industrial processes and the risks associated with their operation, the research aims to critically analyze the regulatory requirements related to structural integrity, operational safety, and technical documentation of such equipment. The methodology is based on a theoretical review of the applicable standards, a technical description of the main components of boilers, and the analysis of a real case study involving a mixed-fuel boiler used in an animal feed industry, including the base calculations for verifying the minimum thickness of shell and end plates, as well as the maximum allowable working pressure. The study also proposes a technical checklist to guide work routines to be followed during inspections, according to the criteria established by NR-13 and ASME, reinforcing the need for standardization and reliability in boiler operation.

**Keywords:** boiler; inspection; NR-13; ASME I; ASME VIII; safety.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Esquema básico de caldeira flamotubular.....                                     | 18 |
| Figura 2- Esquema básico de uma caldeira aquatubular.....                                  | 19 |
| Figura 3- Esquema de uma caldeira mista.....                                               | 20 |
| Figura 4- Principais formatos de vaso de pressão .....                                     | 20 |
| Figura 5- Representação de um tubulão típico e seus internos .....                         | 22 |
| Figura 6- Desenho típico de paredes soldadas e membranada .....                            | 23 |
| Figura 7- Representação de componentes básicos da caldeira .....                           | 26 |
| Figura 8- Representação dos tubos de uma caldeira .....                                    | 26 |
| Figura 9 - Representação básica de uma válvula de segurança .....                          | 28 |
| Figura 10- Imagem da tabela de limites físico-químicos para uma caldeira aquotubular ..... | 45 |
| Figura 11- Fotografia da Caldeira Metalcone, a ser estudada .....                          | 48 |
| Figura 12- Placa de identificação da Caldeira .....                                        | 49 |
| Figura 13- Fotografia da fornalha e cinzeiro da Caldeira Metalcone .....                   | 51 |
| Figura 14- Fotografias do manômetro 01 da Caldeira Metalcone .....                         | 52 |
| Figura 15- Fotografias do manômetro 02 da Caldeira Metalcone .....                         | 52 |
| Figura 16- Fotografias do manômetro 03 da Caldeira Metalcone .....                         | 52 |
| Figura 17- Fotografias do pressostato da Caldeira Metalcone .....                          | 53 |
| Figura 18 - Fotografia dos manômetros e pressostatos na caldeira .....                     | 53 |
| Figura 19- Fotografia do termômetro usado no exaustor .....                                | 53 |
| Figura 20- Fotografia de detalhes do indicador de nível da caldeira Metalcone .....        | 54 |
| Figura 21- Fotografia das válvulas de segurança da caldeira Metalcone .....                | 54 |
| Figura 22- Imagens da válvula de segurança 01 .....                                        | 55 |
| Figura 23- Imagens da válvula de segurança 02 .....                                        | 55 |
| Figura 24- Detalhes das motobombas da caldeira .....                                       | 56 |
| Figura 25- Injetor de água da caldeira Metalcone .....                                     | 56 |
| Figura 26- Detalhe das medidas da espessura do espelho frontal .....                       | 58 |
| Figura 27- Detalhe das medidas da espessura do espelho traseiro .....                      | 58 |
| Figura 28- Detalhe das medidas da espessura da chapa da caixa de fuligem .....             | 59 |
| Figura 29- Detalhe das medidas da espessura do corpo cilíndrico .....                      | 59 |
| Figura 30- Detalhe das medidas da espessura dos tubos da fornalha .....                    | 59 |
| Figura 31- Imagens de checklist de inspeção .....                                          | 65 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1- Componentes básicos de uma caldeira .....                                 | 25 |
| Tabela 2- Coeficiente de eficiência conforme o grau de inspeção em soldas .....     | 40 |
| Tabela 3- Tabela comparativa entre NR 13 e ASME.....                                | 46 |
| Tabela 4- Caracterização técnica da caldeira .....                                  | 49 |
| Tabela 5- Dados da Caldeira Metalcone para cálculo de espessura mínima e PMTA ..... | 60 |
| Tabela 6- Memorial de cálculo- Costado .....                                        | 61 |
| Tabela 7- Memorial de cálculo para espelho dianteiro/traseiro.....                  | 61 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASME The American Society of Mechanical Engineers

IFPI Instituto Federal Do Piauí

NR Norma Regulamentadora

NBR Norma Brasileira Regulamentadora

PMTP Pressão Máxima de Trabalho Permitida

PH Profissional Habilitado

## LISTA DE SÍMBOLOS

C acréscimo mínimo para roscas e estabilidade estrutural (ASME I- PG-27.4.3);

D diâmetro externo do cilindro;

E eficiência da junta soldada (ASME I PG-27.4.1);

e fator de espessura para extremidades de tubos expandidos (ASME I- PG-27.4.4);

J Joules

P pressão máxima de trabalho admissível (ASME I- PG-21);

R raio interno do cilindro (para tubos, o raio interno é determinado pelo raio externo menos a espessura nominal da parede), somado a qualquer porção de C que se aplique ao raio interno;

S valor de tensão admissível máxima na temperatura de projeto do metal, conforme tabelas especificadas em PG-23 (ASME I- PG-27.4.2);

Sb valor de tensão admissível do metal base, na temperatura de projeto, conforme tabelas do PG-23, para tubos bimetálicos onde se deseja considerar a resistência do revestimento (ASME I- PG-27.4.10);

Sc valor de tensão admissível na temperatura de projeto do metal de revestimento (*clad metal*), conforme Seção II, Parte D, Subparte 1, Tabela 1A ou 1B, para tubos bimetálicos com resistência do revestimento considerada (ASME I PG-27.4.10);

t espessura mínima requerida (ASME I PG-27.4.7);

y coeficiente de temperatura ( ASME I PG-27.4.6).

## SUMÁRIO

|          |                                                                                                                                  |           |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                           | <b>13</b> |
| <b>2</b> | <b>CALDEIRAS: UM PANORAMA GERAL .....</b>                                                                                        | <b>16</b> |
| 2.1      | HISTÓRICO DOS VASOS DE PRESSÃO E RELEVÂNCIA PARA OS DIAS ATUAIS.....                                                             | 16        |
| 2.2      | MODALIDADES DE CALDEIRAS.....                                                                                                    | 17        |
| 2.3      | ELEMENTOS DE CALDEIRA .....                                                                                                      | 21        |
| <b>3</b> | <b>TIPOS DE INSPEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE CALDEIRAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE USO DA NR13 E O USO DO ASME... 30</b>         |           |
| 3.1      | NR13.....                                                                                                                        | 30        |
| 3.1.1    | Conceito .....                                                                                                                   | 30        |
| 3.1.2    | Aplicação em inspeções – a prática brasileira .....                                                                              | 34        |
| 3.2      | CÓDIGO ASME .....                                                                                                                | 35        |
| 3.2.1    | Código ASME VIII.....                                                                                                            | 36        |
| 3.2.2    | Código ASME I .....                                                                                                              | 37        |
| 3.2.3    | Emprego em inspeções .....                                                                                                       | 38        |
| 3.3      | COMPARATIVO: NR13 VERSUS ASME VIII.....                                                                                          | 43        |
| <b>4</b> | <b>CASO CONCRETO: AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE INTEGRIDADE FÍSICA DE CALDEIRA DE BIOMASSA EM CONFORMIDADE COM ASME I E VIII .....</b> | <b>47</b> |
| <b>5</b> | <b>CHECKLIST: UM GUIA DE INSPEÇÃO CONFORME ASME I E VIII .....</b>                                                               | <b>64</b> |
| <b>6</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                                                                                                           | <b>68</b> |
|          | <b>REFERÊNCIA.....</b>                                                                                                           | <b>70</b> |
|          | <b>ANEXO I .....</b>                                                                                                             | <b>7</b>  |

## 1 INTRODUÇÃO

No cenário do século atual, a questão energética é uma das problemáticas mais pesquisadas em dois principais âmbitos: meio alternativo de produção e aumento da eficiência energética dos métodos já utilizados. Um desses métodos é a geração de vapor produzida por caldeiras e seu potencial energético.

O vapor desempenha papel fundamental em diversos setores industriais, que se originou do surgimento das caldeiras a vapor, que foi considerada um dos componentes responsáveis pelo avanço da Revolução Industrial no século XVIII, visto que, como supracitado, o vapor assumiu um papel importantíssimo para o funcionamento de muitos dos processos industriais. (ELETROBRÁS; PROCEL, 2013; SGCIE, 2019). E desde então as caldeiras à vapor estão sendo aprimoradas, buscando melhorar sua eficiência por questões ambientais e econômicas. (CRUZ et al., 2022).

O uso do vapor transcende a aplicação industrial e se mostra importante em diversos outros setores, como frigoríficos, hospitais, lavanderias, hotéis e indústrias de transformação fornecendo energia térmica para aquecimento, esterilização, conservação de alimentos, dentre outros.

Assim, o vapor é indispensável em alguns processos industriais, no qual se elenca três principais usos desses geradores de vapor: destinado ao aquecimento; destinado a movimentação; e, limpeza e esterilização.

Desta forma, enuncia-se caldeiras a vapor, também conhecidas como geradores de vapor d'água (GV), como equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia (combustíveis), sendo assim, o equipamento responsável pela combustão com a consequente produção de vapor. Tais equipamentos podem ser classificados de diversas maneiras, conforme as normas regulamentadoras, critérios operacionais e construtivos, tipo de combustível consumido e tipo de circulação de fluidos térmicos. (SENAI, 2015; PERA, 1990).

A sua classificação quanto ao fluido circulante divide-se em caldeiras flamotubulares (nas quais os gases quentes circundam no interior dos tubos), caldeiras aquatubulares (onde a água circula dentro dos tubos e é aquecida

externamente) (PERA, 1990), e, as caldeiras mistas (no caso de união de itens operacionais e de funcionamento).

Quando se trata de pressão de operação, elas podem ser de baixa, média ou alta pressão. Além disso, também se classificam quanto ao tipo de combustível (biomassa, gás, óleo, entre outros), à posição de instalação (verticais ou horizontais) e ao nível de automação. (MARTELLI, 1998). A multiplicidade de categorização permite que as caldeiras sejam adaptadas a aplicações específicas na indústria, na geração de energia e em sistemas térmicos diversos.

Diante da relevância da temática que circunda essas máquinas, surgiu a necessidade da sistematização de algumas normas para a regulamentação da fabricação, instalação, manuseio, manutenção e inspeção de caldeiras em todo mundo, sendo essencial a observância delas, especialmente das apontadas a seguir:

- Normas Regulamentadoras do Governo Federal:
  - NR-13 – Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento;
  - NR-26 – Sinalização de Segurança;
- Portaria 537/2015, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO.
- Portaria 582/2015, do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO.
- ABNT NBR ISO 16528-1 Caldeiras e Vasos de Pressão – Requisitos de desempenho.
- Código ASME e suas seções.
- NBR 12177-1 - caldeiras flamotubulares.
- NBR 11096/ 1990 - Caldeira estacionária aquotubular e flamotubular a vapor.

Muito embora exista uma extensa regularização no que tange aos vasos de pressão, esse ainda é um ponto de dificuldade aos Engenheiros Mecânicos, especialmente no que diz respeito a inspeção e a manutenção. Todavia, a observância de tais normas é crucial, visto a potencialidade de riscos inerentes a esses vasos.

Por isso, negligenciar tais aspectos pode ocasionar acidentes graves e até fatais, além da onerosidade material, diante do considerável valor desses maquinários. Mesmo com a subnotificação, os dados da Previdência Social, entre

2016 e 2020, registraram 337 acidentes de trabalho relacionados aos vasos de pressão, dentre os quais 22,26% correspondem aos óbitos confirmados, o que denota a essencialidade da temática abordada no presente trabalho. (MACIEL, 2023).

Diante disso, para alcançar o objetivo geral do estudo visa desenvolvido de um estudo comparativo das normas sobre caldeiras, para análise de suas convergências e insuficiências, bem como o desenvolvimento de uma inspeção em caso concreto e a elaboração de seu prontuário, faz-se essencial a abordagem da NR 13, que visa a regulamentação de vasos de pressão no Brasil, e, o comparativo ao Código ASME, que possui aplicabilidade global e reconhecimento internacional. Concomitantemente à análise do histórico dos vasos de pressão, das categorias de caldeiras e seus componentes básicos.

Assim, como supramencionado, além de analisar as responsabilidades do fabricante e do inspetor no decorrer do processo de instalação e inspeção, o trabalho estuda a elaboração de um prontuário e relatório, o que visa identificar um passo a passo completo e seguro para a liberação de pleno funcionamento do vaso de pressão em questão, unindo o que diz a norma regulamentadora brasileira e os principais pontos de segurança do ASME VIII.

Posteriormente a enunciação teórica e legal sobre caldeiras, este trabalho propõe uma análise de caso concreto, no tópico 4, onde é explicitada a vistoria, inspeção e confecção de relatório de uma caldeira mista de biomassa, dentro de uma indústria de fabricação de rações animais, sendo utilizado tal equipamento para a secagem e peletização por meio do vapor saturado seco.

No referido capítulo é feita a pormenorização dos detalhes da inspeção, demonstrando a essencialidade do manejo de alguns serviços para a manutenção da segurança, eficiência e operacionalidade da caldeira, bem como os quesitos e cálculos seguidos pelos responsáveis técnicos em conformidade com a ASME.

O último capítulo, intitulado de 5. Checklist: um guia de inspeção conforme ASME I e VIII, demonstra uma tabela com os aspectos relevantes da referida normativa, com fito de auxiliar nas inspeções e relatórios, bem como trazer maior segurança e eficiência para as caldeiras.



## 2 CALDEIRAS: UM PANORAMA GERAL

O uso do vapor remonta os primórdios da humanidade, 150 a.C., mas foi com a revolução industrial que o uso do vapor se tornou indispensável para vários setores, especialmente o industrial, visto a alta demanda populacional, a expansão de conhecimento e a corrida expansionista em busca de descobertas inovadoras. Na contemporaneidade, a relevância do vapor só se intensifica, isto porque, a questão energética é essencial para os meios de produção, sendo, portanto, essencial a análise de sua aplicação. Assim, esta seção tem por objetivo primordial a compreensão do histórico dos vasos de pressão e sua relevância, bem como a exploração dos conceitos, das modalidades e dos componentes das caldeiras.

### 2.1 HISTÓRICO DOS VASOS DE PRESSÃO E RELEVÂNCIA PARA OS DIAS ATUAIS

O termo vaso de pressão designa de forma genérica todos os recipientes estanques com capacidade de manter um fluido pressurizado, o que abrange elementos em diversos setores desde uso doméstico e diário até processos industriais mais complexos, por exemplo: panela de pressão e reatores nucleares (TELLES, 2007, p. 1).

Sublinha-se que vasos de pressão são comumente chamados de *equipamentos de processo*, isto porque estão presentes, em sua maioria, em indústrias de processo (àquelas nas quais há a transformação de materiais sólidos e fluídos ou àquelas que fazem armazenamento, manuseio e distribuição de fluídos).

Tais equipamentos necessitam de confiabilidade e durabilidade, visto que, de modo geral, se submetem a regime contínuo, estão conectados à uma cadeia contínua entre equipamentos diversos, possuem um risco elevado - oriundo do manuseio de fluídos inflamáveis, tóxicos, explosivos ou utilização de temperatura e pressão elevadas, além do custo elevado de aquisição (TELLES, 2007,p.1 - 2).

Os vasos de pressão subdividem-se em duas grandes classes: os não sujeitos à chama (que contempla vasos de armazenamento e de acumulação; torres de destilação fracionada, retificação, absorção, dentre outros; reatores diversos; esferas

de armazenamento de gases; e, trocadores de calor) e os sujeitos à chama (subdivididos em caldeiras e fornos).

Historicamente, a utilização do vapor d'água remonta 150 a.C., contudo, a primeira patente de máquina a vapor para uso industrial aconteceu em 1769 pelo escocês James Watt, diante da necessidade de substituição da fonte de calor utilizada (queima de combustível fóssil), e, a partir desta conquista o vapor tornou-se indispensável para diversos setores industriais. (BRAMBILLA, 2001, p.8)

Especificamente, no que concerne a geração de vapor ou aquecimento de água, o subtipo de vasos de pressão que se destaca são as caldeiras, sendo, o cerne deste estudo. Caldeira é “um trocador de calor que trabalha com pressão superior à pressão atmosférica, produzindo vapor a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer” (ELETROBRÁS, 2005). Da mesma maneira, Pera (1990, p. 11) conceitua caldeiras da seguinte maneira:

Gerador de Vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica (combustível), ar e fluído vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível. (PERA, 1990).

A utilização em larga escala de caldeiras centra-se tanto na disponibilidade da água, quanto no alto calor específico.

## 2.2 MODALIDADES DE CALDEIRAS

Há uma multiplicidade de classificação de caldeiras, que se dá em razão da multiplicidade de formas que são apresentadas.

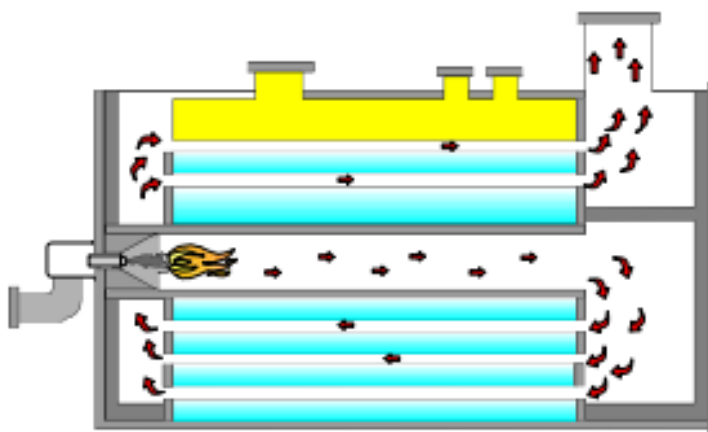
A primeira classificação centra-se na disposição da água em relação aos gases, podendo ser flamotubulares, aquatubulares e mistas. Nas flamotubulares “os gases quentes circulam pelos tubos de troca, transferindo o calor para a água” (SPIRAX SARCO BRASIL, p. 58), e, estão ligadas à baixas capacidade de produção e pressão. Ao passo que nas caldeiras aquatubulares “a água circula pelos tubos entre dois vasos comunicantes, recebendo calor dos gases quentes gerados no queimador” (SPIRAX SARCO BRASIL, p. 58), e, estão ligadas à altas pressões e conseqüentemente maior

produção. Já as caldeiras mistas são conhecidas por unir as duas formas anteriores de transferência de calor.

Tal classificação é de extrema relevância para a compreensão das caldeiras, sendo essencial pormenorizar suas características, conforme segue abaixo:

- Caldeiras Flamotubulares: nesse tipo de caldeira, os gases quentes da combustão passam dentro de tubos que são imersos em água. E a sua transferência de calor ocorre diretamente através das paredes dos tubos para a água circundante. Nessa classificação, destaca-se características como: um design compacto, construção simples, e aplicações industriais de pequeno a médio porte, nas quais necessitam-se de pressões moderadas e taxas de produção de vapor. (BAZZO, 1995; PERA 1990; MARTELLI, 1998).

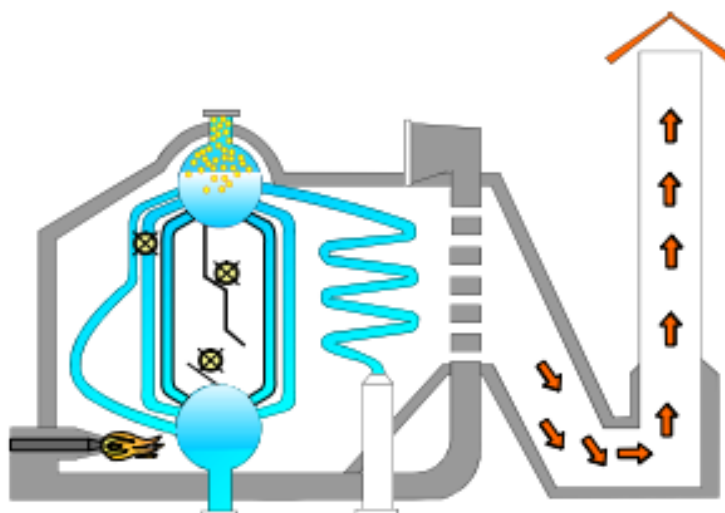
Figura 1- Esquema básico de caldeira flamotubular.



Fonte: SPIRAX SARCO BRASIL, p. 58

- Caldeiras Aquatubulares: a água circula dentro dos tubos e é aquecida pelos gases quentes da combustão que passam por fora dos tubos. Esse funcionamento permite que elas operem em pressões mais elevadas e produzam vapor em maior quantidade. No geral, as caldeiras aquatubulares são maiores e mais complexas se comparadas com as caldeiras flamotubulares. São encontradas em aplicações industriais de grande porte, na qual necessita-se de altas pressões e capacidades de produção de vapor. (BAZZO, 1995; PERA 1990; MARTELLI, 1998).

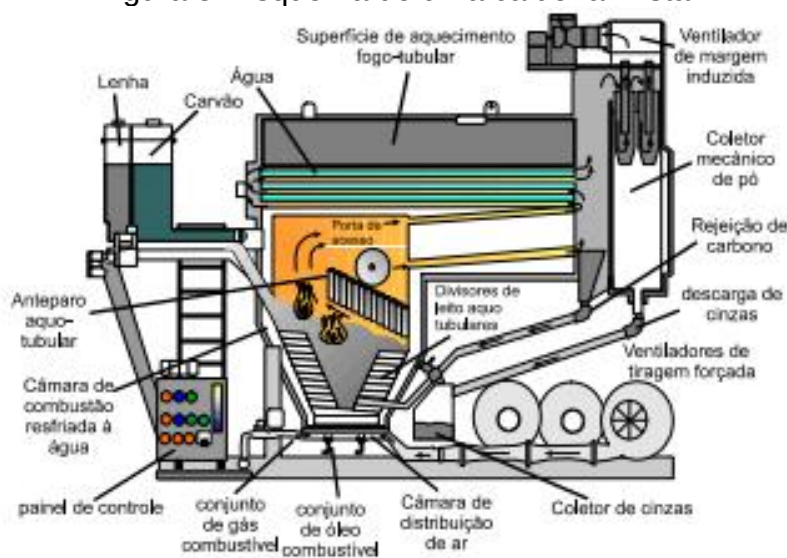
Figura 2- Esquema básico de uma caldeira aquatubular.



Fonte: SPIRAX SARCO BRASIL, p. 59

- Caldeiras Mistas: como dito anteriormente, se combinam características de caldeiras flamotubulares e aquatubulares em um único sistema. Há uma seção de tubos de água e uma seção de tubos de fumaça, o que permite a utilização eficiente do espaço e a otimização da transferência de calor. Utiliza-se esse tipo de caldeira em uma variedade de aplicações industriais, nas quais necessitam-se de requisitos específicos de pressão, capacidade de vapor e espaço disponível. Além disso, elas oferecem uma combinação de características das caldeiras flamotubulares e aquatubulares, adaptando-se mais facilmente às necessidades específicas do processo.

Figura 3- Esquema de uma caldeira mista.

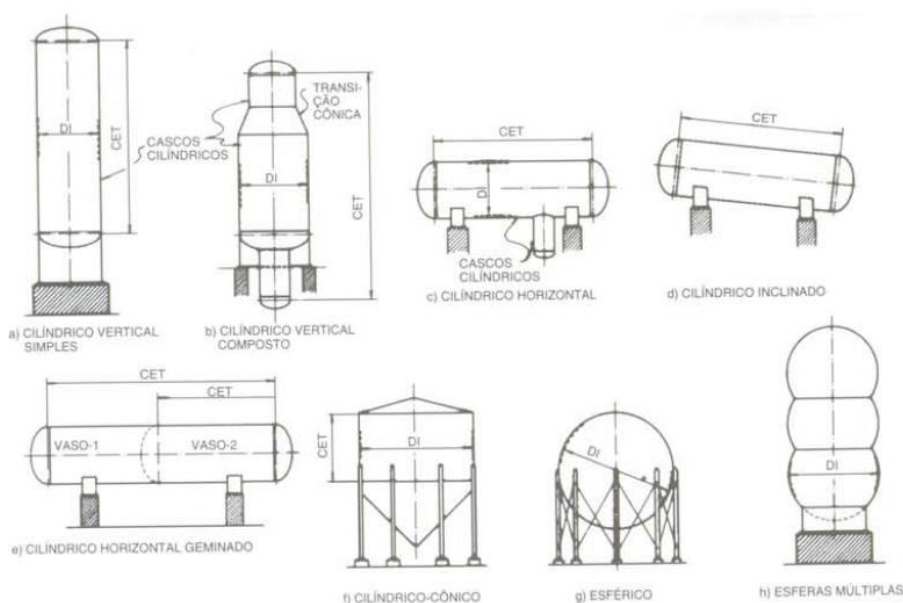


Fonte: SPIRAX SARCO BRASIL, p. 59

Já no que concerne a forma de energia empregada no aquecimento, tem-se: as que utilizam combustíveis (sólidos, líquidos ou gasosos), as elétricas (jatos-de água, eletrodos submersos, resistores) e as caldeiras de recuperação (gases de outros processos).

Da perspectiva da montagem existem os subtipos pré-montadas ou compacta(s) e as montadas em campo. Além dos tipos de classificação quanto ao posicionamento, como vertical e horizontal.

Figura 4- Principais formatos de vaso de pressão.



Fonte: Telles, 2007.

Em análise à modalidade de sustentação, subdivide-se em auto-sustentadas, suspensas e de sustentação mista.

Em relação à forma de circulação de água no interior da caldeira, é possível averiguar dois tipos: a natural e a forçada.

No que diz respeito ao processo de extração dos gases de combustão e a remoção para a atmosfera são classificadas como de tiragem natural, tiragem forçada e tiragem balanceada ou induzida.

O tipo de caldeira a ser considerada no caso concreto, é uma caldeira mista que usa como combustível a biomassa, dessa forma, caracteriza-se como um equipamento utilizado para a geração de vapor ou água quente a partir da combustão de diferentes tipos de resíduos orgânicos, geralmente renováveis. Como visto anteriormente, elas também se subdividem quanto ao tipo de grelha utilizada (fixa, móvel ou rotativa) e ao regime de combustão (leito fixo, leito fluidizado e leito em suspensão), que possui influência direta na eficiência térmica e na adequação ao tipo de combustível. (ABNT NBR 15569, 2008).

No caso de biomassa, os combustíveis empregados variam conforme a disponibilidade regional e as características físico-químicas, podendo incluir bagaço de cana-de-açúcar, cavacos de madeira, cascas de arroz, serragem e outros resíduos. A utilização de biomassa como fonte energética contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, alinhando-se a políticas de sustentabilidade e eficiência energética. (MARTINS, 2017).

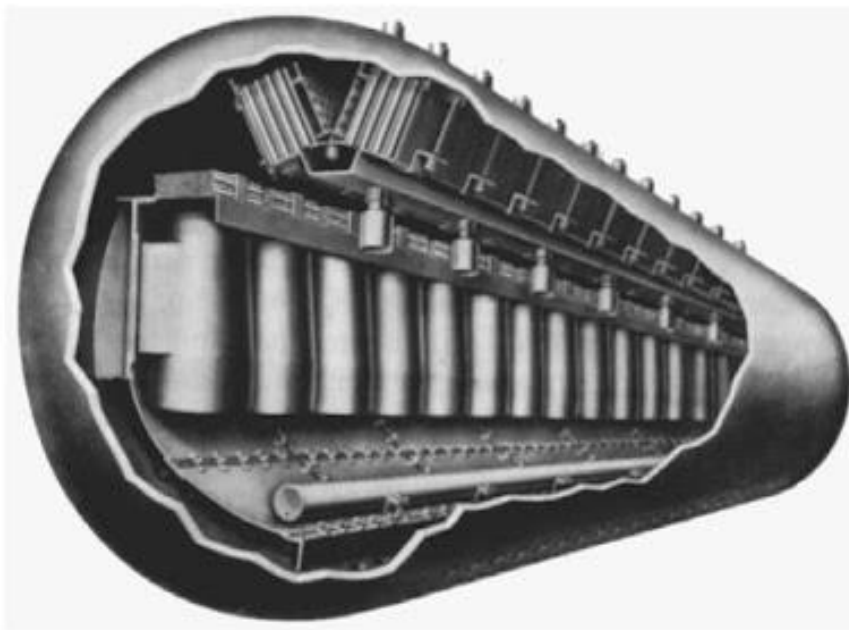
## 2.3 ELEMENTOS DE CALDEIRA

As caldeiras possuem diversos elementos estruturais e acessórios que garantem a sua integridade e bom funcionamento. No que se refere a caldeira mista, tem-se componentes de caldeiras do tipo aquotubular e do tipo flamotubular, como descrito no tópico acima, nesta seção, conceituam-se e destacam-se os principais elementos.

Um dos componentes principais é o tubulão superior ou de vapor, sendo um vaso localizado na parte superior da caldeira que recebe e distribui água de alimentação para as paredes de vaporização, em equilíbrio com o vapor saturado.

(BRAMBILLA, 2001, p. 21). Nessa seção há um sistema de filtros separadores que objetivam a retenção de partículas líquidas ou sólidas do vapor saturado.

Figura 5- Representação de um tubulão típico e seus internos.



Fonte: BRAMBILLA, 2001.

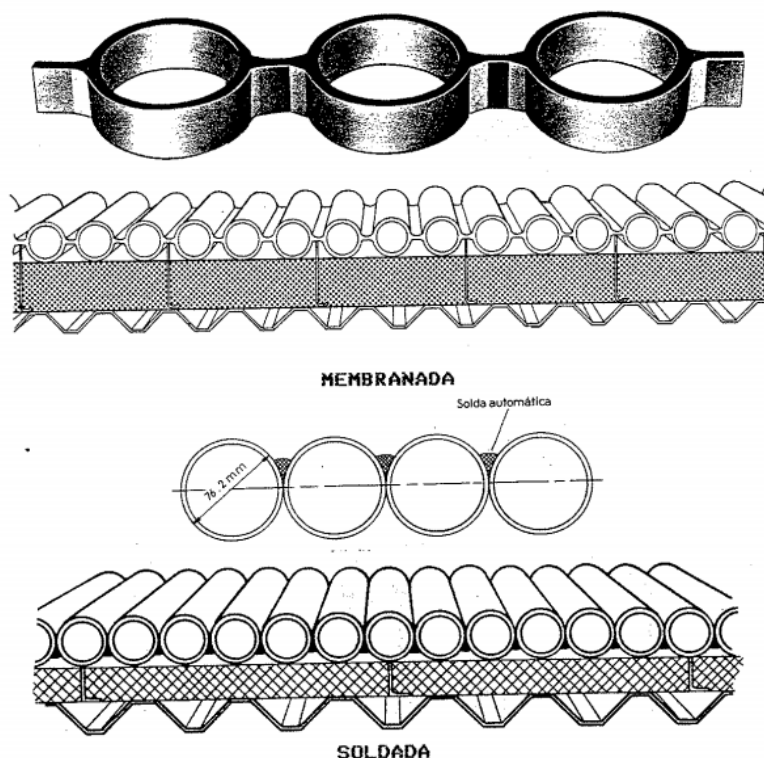
Os tubulões mencionados são fabricados em aço carbono (no geral, ASTM A-515 ou ASTM A-518) ou aço microligado para caldeiras que poderão ser expostas a grandes diferenciais de temperatura. Da mesma maneira, os tubulões, nas construções modernas, são soldados, o que exige uma atenção especial. Ademais, no geral, os tubulões passam por um processo de mandrilagem, no qual a espessura do tubulão tende a ser maior para compensar a maior tensão aplicada na área, no processo de fixação nos espelhos, para caldeiras de até  $60 \text{ kgf/cm}^2$ . As mandrilagens devem ser inspecionadas a fim de verificar a existência de vazamentos e trincas.

Em seguida são analisadas as bocas de visitas que nos tubulões costumam ser elípticas e com auto vedação, pelo artifício da tampa ser interna ao tubulão e ter como auxiliar a pressão do fluido para aperto e vedação. Em todos esses elementos existe uma junta de vedação, que em serviço está submetida à grande pressão resultante do aperto dos parafusos e esforço cisalhante provocado pela pressão interna do fluido. Além da resistência aos esforços mencionados, as juntas de vedação, em regra, podem sofrer deformação elástica, resistir às ações corrosivas do meio e ao diferencial de pressão e temperatura.

Nas caldeiras aquatubulares existe um vaso de pressão na parte inferior, com dimensões menores, chamados de tubulão inferior, que opera com água e tem a função de distribuir água aquecida e concentrar sólidos através de uma extração de fundo, com auxílio do processo de deposição.

Os tubos que interligam ambos tubulões formam as paredes de água, e nesse espaço se forma a câmara de combustão, na qual ocorre a geração de vapor saturado controlado. No geral, esses componentes são fabricados de aço-carbono, ou ligas, em casos especiais, e são projetadas de forma membranadas com tubos aletados ou soldados, de modo a absorver maior quantidade de calor e garantir a estanqueidade. (BRAMBILLA, 2001).

Figura 6- Desenho típico de paredes soldadas e membranada.



Fonte: BRAMBILLA, 2001, p. 24.

Já os superaquecedores são componentes em forma de serpentina que auxiliam nas superfícies de troca térmica para elevar o superaquecimento do vapor e ganho de energia. Ao passo que os coletores e distribuidores, que estão fixados nos tubos, possuem a finalidade de coletar e distribuir de forma homogênea o fluido.

Outro item que se deve destacar são os queimadores, equipamentos destinados a introduzir o combustível e ar dentro da fornalha para que se mantenha



uma combustão controlada. E alguns componentes desses equipamentos são alterados conforme o tipo de combustível usado. Ademais, são necessários um registro de ar (que regula o fluxo de ar), difusor, maçarico (por onde é injetado combustível devidamente atomizado, em caso de caldeira óleo e gás), e bloco refratário (entrada da fornalha, contribui para aumentar a eficiência da combustão).

Os componentes comentados são envoltos do corpo (costado) e casco, sendo assim, considera-se como estrutura principal que contém os tubos por onde passam os gases quentes, transferindo calor para a água circundante, e é responsável por suportar a pressão interna gerada pelo vapor d'água. Os principais tipos de costado de caldeira incluem costado de tubos de fogo, costado de tubos de água e costado de tubos de água e fogo, se assemelhando na teoria aos tubulões.

A estrutura destacada é envolta em um revestimento térmico, projetado para fornecer isolamento térmico, minimizando a perda de calor e mantendo a temperatura ideal dentro da caldeira, desempenha um papel crucial na eficiência e segurança operacional da caldeira.

Na parte elétrica geral, destacam-se o quadro de energia e quadro de comando, que são componentes essenciais responsáveis pelo controle e distribuição da energia elétrica para operação e monitoramento dos sistemas da caldeira, como controle de temperatura, pressão e segurança.

Já em uma caldeira flamotubular do tipo gás, a câmara de combustão, é o espaço onde o combustível e o ar são misturados e queimados, gerando calor para aquecer os tubos da caldeira, em resumo, é onde ocorre a combustão controlada para produzir energia térmica.

É imprescindível que o volume de água nas caldeiras permaneça constante, sendo assim, são utilizadas bombas centrífugas, de acordo com BAZZO (1995): “A água de alimentação é forçada por bombas centrífugas de alta pressão e, necessariamente, com vazão sempre superior a capacidade de produção de vapor da caldeira”. Dessa maneira, a bomba deve conter um dispositivo de acionamento que seja ativado sempre que o nível de água for inferior ao mínimo necessário. Frisa-se ainda que essas bombas têm fácil manutenção.

Visto o fluxo constante de água é necessário a admissão de um dispositivo alimentador auxiliar de caldeiras para situações de falta de energia elétrica, sendo empregado um injetor de água. A água de alimentação da caldeira deve ser, a cada

instante, igual à produção de vapor, e em instalações onde a alimentação de água é efetuada por controle manual, deve-se identificar corretamente a quantidade de água a se adicionar.

Destaca-se a chaminé, uma estrutura vertical que permite a saída dos gases de combustão para a atmosfera após passarem pelos tubos da caldeira, contribuindo para o processo de ventilação e exaustão. Ademais, tem-se o barrilete que atua como elemento interno responsável pela distribuição da mistura de água e vapor, facilitando a circulação térmica e a eficiência da troca de calor (adaptado de BAZZO, 1995; PERA, 1990). Em resumo, os componentes clássicos de uma caldeira são conceituados conforme Pera (1990), e representados pela figura 7:

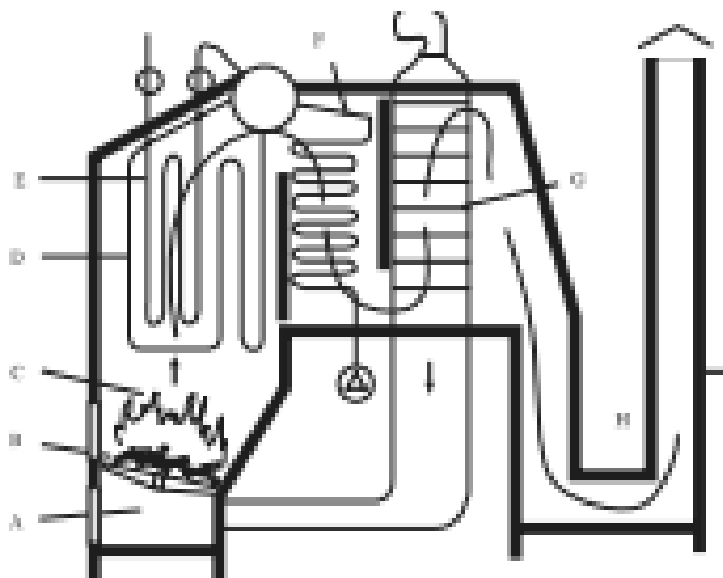
Tabela 1- Componentes básicos de uma caldeira.

| COMPONENTES CLÁSSICOS DE UMA CALDEIRA |                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) Cinzeiro                           | Lugar onde se depositam cinzas e ou, eventualmente, restos de combustíveis que atravessam o suporte de queima sem completarem sua combustão                                                                                          |
| b) Fornalha                           | Local onde se inicia o processo de queima seja de combustíveis sólidos (líquidos ou gasosos).                                                                                                                                        |
| c) Câmara de combustão                | Volume onde se deve consumir todo o combustível antes de os 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. |
| d) Tubos evaporadores                 | Correspondem ao vaso fechado e pressurizado com tubos contendo água no seu interior, a qual ao receber calor, transforma-se em vapor.                                                                                                |
| e) Superaquecedor                     | Responsável pela elevação da temperatura do vapor saturado gerado na caldeira.                                                                                                                                                       |
| f) Economizador                       | Componente onde a temperatura da água de alimentação sofre elevação, aproveitando o calor sensível residual dos gases da combustão direcionados à chaminé.                                                                           |
| g) Pré aquecedor de ar                | Componente cu a função é aquecer o ar de combustão para introduzi-lo na fornalha, aproveitando o calor sensível dos gases da combustão.                                                                                              |
| h) Canais de gases                    | 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 circular.                                            |

|            |                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| i) Chaminé | E 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. |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

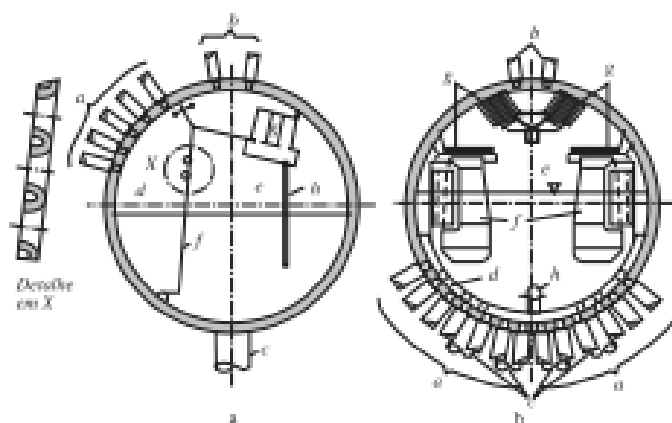
Fonte: Pera, 1990; Autor, 2025.

Figura 7- Representação de componentes básicos da caldeira.



Fonte: Pera, 1990.

Figura 8- Representação dos tubos de uma caldeira.



- |                         |                             |
|-------------------------|-----------------------------|
| a - tubos de sobrecarga | b - tubos de vapor saturado |
| c - tubos de queda      | d - câmara de descarga      |
| e - câmara de vapor     | f - ciclone                 |
| g - chapas de choque    | h - tubo de descarga        |

Figura 5.2 - Cortes em duas seções de um tubulão de vapor

Fonte: BRAMBILLA, 2001.

A figura 8 representa as seções de um tubulão, demonstrando alguns tubos que vem a compor o tubulão principal e os espelhos do mesmo.

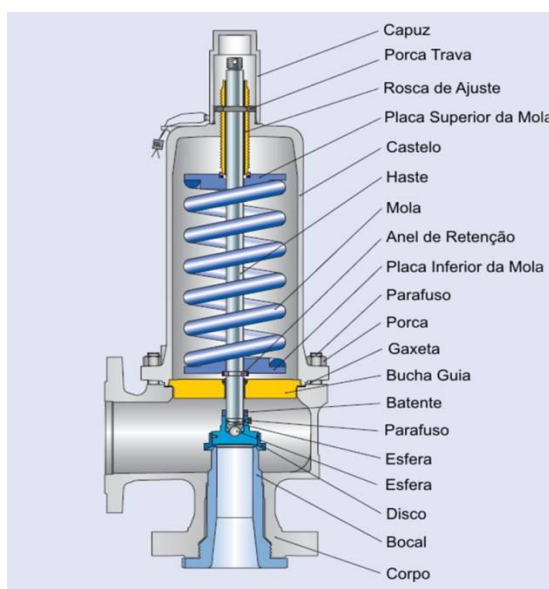
Alguns itens e acessórios apresentam-se obrigatórios por norma (NR13) e outros são adicionados para melhor funcionamento do sistema, como:

- Manômetro: é um instrumento de medição que tem a finalidade de registrar a pressão que o vapor exerce no interior da caldeira.
- Pressostato: atua em conjunto com os queimadores ou com alimentadores de combustível, e mantém a pressão dentro de uma faixa admissível de operação.
- Termômetro: instrumento indispensável e responsável por monitorar a temperatura do controle do fluído gerado dentro da caldeira, garantindo que ela permaneça dentro de limites seguros de operação, a fim de evitar sobreaquecimento, fadiga térmica e falhas estruturais. Além disso, o controle de temperatura permite ajustes no fornecimento de calor e auxilia na regulação da pressão interna, o que influencia diretamente na eficiência. De acordo com a NR-13, toda caldeira deve possuir, obrigatoriamente, um termômetro instalado na linha de saída de vapor ou na parte superior do vaso, em local de fácil visualização pelo operador.
- Indicador de nível de água (garrafa de nível): é um dispositivo de segurança fundamental nas caldeiras, utilizado para permitir o monitoramento contínuo do nível da água dentro do equipamento, a fim de garantir uma operação segura e eficiente, que previne falhas graves como superaquecimento das superfícies expostas e explosão por funcionamento a seco. Estes indicadores podem ser tubo de vidro, coluna reflexiva, sensores eletromecânicos ou transmissores eletrônicos, sendo comumente mais encontrados o de tubo de vidro, ou garrafa de nível. Esse é um sistema de controle de nível de água feito junto com a bomba de alimentação, em caldeiras com produção inferior a 50 ton/h de vapor, no qual são utilizados eletrodos de aço inoxidável, tanto para nível inferior como superior, em que se aproveita-se a condutividade elétrica da água, para acionar ou desarmar a alimentação. A NR-13 exige a presença de pelo menos um sistema de leitura direta e um de leitura remota em todas as caldeiras, enquanto a ASME Seção I, parágrafo PG-60, especifica os requisitos essenciais para os dispositivos de medição de nível, indicando que todas as caldeiras devem

possuir no mínimo dois indicadores independentes, sendo um deles visível ao operador.

- **Válvula de segurança:** as válvulas de segurança protegem equipamentos que atuam nos processos cuja pressão de operação pode ultrapassar sua máxima pressão admissível de trabalho, estas são utilizadas como um dos últimos dispositivos de segurança em uma planta, e, em caso de falha, os equipamentos por ela protegidos podem ser danificados, oferecendo risco de morte para as pessoas que trabalham no local. Devendo-se projetá-las adequadamente, bem como instalar e manter, seguindo sempre critérios normativos estabelecidos, posto que o desrespeito a uma destas premissas, fará com que a válvula de segurança seja considerada inexistente. A quantidade e o local de instalação das válvulas de segurança deverão atender aos códigos ou normas técnicas aplicáveis, como por exemplo, a API RP 520 (Dimensionamento, seleção e instalação de dispositivos de alívio de pressão em refinarias), API RP 521 (Guia para sistemas de despressurização e alívio de pressão), entre outras. Podemos citar alguns dos seus componentes essenciais para seu funcionamento: capuz, garfo, contra porca, parafuso de regulagem, suporte de mola, mola, haste, alavanca, castelo, guia, anel de regulagem (superior e inferior), corpo, bocal, disco.

Figura 9- Representação básica de uma válvula de segurança.



Fonte: Santini, 2015.

- Outras válvulas: têm como função interromper ou regular a passagem de um fluido, segundo Martelli (1998), pode ser: de retenção (usadas para evitar o refluxo), de extração de fundo ou dreno (permite a retirada de impurezas da água que se deposita no fundo do tambor de vapor), de descarga lenta (tem como função assegurar uma perfeita vedação no sistema), solenoide (comandada eletricamente, assim, abre ou fecha para a passagem de um fluido), de alívio (utilizada para retirar o excesso de pressão no aquecedor de óleo das caldeiras).

### 3 TIPOS DE INSPEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE CALDEIRAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE USO DA NR 13 E O USO DO ASME

O intuito central desta seção consiste no entendimento das normas e regulamentações que regem o dimensionamento, instalação e inspeção dos vasos de pressão, em especial caldeiras, bem como os tipos de inspeções realizadas comumente nesses elementos.

#### 3.1 NR13

A NR-13, Norma Regulamentadora 13, é uma legislação brasileira do Ministério do Trabalho que estabelece requisitos e documentações para a instalação, operação, inspeção e manutenção de caldeiras, vasos de pressão e tubulações, com o objetivo de estabelecer requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural de caldeiras. Esta regulamentação visa segurança ocupacional, inspeções periódicas, documentação obrigatória, adequação às condições locais, bem como treinamento e qualificação do operador.

##### 3.1.1 Conceito

Esta norma, como supracitada, é objeto de regulamentação nacional, que visa a segurança e saúde dos trabalhadores, através de requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural de caldeiras.

A NR 13 deverá ser aplicada em caldeiras com pressão de operação superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm<sup>2</sup>), em vasos de pressão cujo produto *pressão máxima versus volume* (P.V) seja superior a 8 (oito), e em vasos de pressão que contenham fluidos da classe A, independente de P.V, em recipientes móveis com P.V superior a oito, ou com fluidos da classe A, em tubulações que contenham fluidos de classe A ou B conectados a caldeiras ou vasos de pressão supracitados, e em tanques metálicos de armazenamento, com diâmetro externo maior do que três metros, capacidade nominal acima de vinte mil litros, e que contenham fluidos de classe A ou B.

Segundo o Ministério do Trabalho, são considerados fluidos de classe A os: fluidos inflamáveis, combustíveis com temperatura superior ou igual a duzentos graus

Celsius (200 °C), fluidos tóxicos com limite de tolerância igual ou inferior a vinte partes por milhão (20 ppm), hidrogênio e acetileno; e de classe B os: fluidos combustíveis com temperatura inferior a duzentos graus Celsius (200 °C) e fluidos tóxicos com limite de tolerância superior a vinte partes por milhão (20 ppm).

Esta norma classifica caldeiras considerando a pressão de operação e o volume interno da seguinte maneira: categoria A (atua com uma pressão de operação igual ou superior a 1960 Kpa, com um volume superior a 100 L), e, categoria B (cuja pressão de operação esteja entre 60 Kpa e 1960 Kpa, com um volume interno superior a 100 L).

A disposição normativa ressalta a condição de risco grave e iminente (RGI), que nasce de qualquer descumprimento previsto na referida NR, que possa gerar acidente ou doença (com lesão grave à integridade física do trabalhador). Neste tópico, o legislador explicitou algumas situações geradoras de RGI, são elas: I) uso dos equipamentos sem dispositivos de pressão que estejam ajustados com a pressão de abertura igual ou superior a pressão máxima de trabalho admissível - PMTA, sem considerar a calibração; II) atraso na inspeção periódica da caldeira; III) bloqueio do dispositivo de segurança, seja ele inadvertido ou intencional, sem justificativa técnica; IV) ausência de dispositivo de controle do nível da água; V) operação de equipamento com deterioração atestada e recomendação de sua retirada; e, VI) operador que não atenda aos requisitos estabelecidos na NR.

A referida legislação reforça a relevância das inspeções periódicas, entretanto, abre uma exceção para os casos em que haja motivo de força maior, desde que com justificativa formal ao sindicato dos trabalhadores da categoria, a análise técnica e as medidas de contingência para mitigação de riscos, pode ser adiada em até 6 (seis) meses do previsto para a inspeção de segurança.

Ainda, denomina Profissional Legalmente Habilitado - PLH aquele que é engenheiro e possui competência determinada em lei para atuar nos projetos, acompanhamento de operação e manutenção, inspeção e supervisão de caldeiras e vasos de pressão e tubulações.

Na sequência, a NR 13 explicita que os Projetos de Alteração ou Reparo - PAR, devem observar os códigos de projeto e pós construção, bem como o manual do fabricante, e, caso não seja conhecido o código de projeto, deve ser respeitada a concepção original do referido equipamento. Além disso, frisa que a tecnologia pode



ser utilizada diferente da expressa no código de projeto, desde que mais avançados. Ademais, são duas as hipóteses que a supramencionada regra aponta para a ocorrência de PAR: condições de projeto forem modificadas ou quando necessário reparos que possam comprometer a segurança.

Adicionalmente, sublinha-se que o PAR deve ser feito ou aprovado por PLH, deve “determinar materiais, procedimentos de execução, controle de qualidade e qualificação de pessoal” (NR 13, 2022) e deve ser divulgado.

Os exames e testes dos dispositivos de que trata a NR 13 devem ser sempre executados em condições de segurança tanto para os executores quanto para os operadores. Tais exames e testes são exigidos sempre que as intervenções precisem de mandrilamento ou soldagem.

Para garantir a integridade do trabalhador, a NR 13 estabelece algumas iniciativas de comunicação e segurança, que vão além da Lei 8.213 de 24 de julho de 1991 e da Lei Nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977, como o dever do empregador de comunicar à autoridade regional competente a ocorrência de vazamento, incêndio ou explosão envolvendo equipamentos abrangidos caso ocorra a morte de trabalhador(es), internação hospitalar ou eventos de grande proporção. A comunicação desse fato deverá ocorrer até o segundo dia útil e conter as informações do empregador (razão social, endereço, local, etc), a descrição do ocorrido, nomes de vítimas e cópia do último relatório de inspeção, juntamente com cópia da Comunicação de Acidente de Trabalho - CAT.

Para melhor assegurar a segurança de todos os que manipulam a caldeira, medidas de segurança são obrigatórias, dentre elas destaca-se alguns acessórios citados anteriormente, como:

a válvula de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à Pressão Máxima de Trabalho Admissível, um instrumento que indique a pressão do vapor acumulado (manômetro), um injetor ou sistema de alimentação de água independente do principal, nas caldeiras de combustível sólido ou com queima em suspensão, um sistema dedicado de drenagem rápida de água em caldeiras de recuperação de álcalis, com ações automáticas após acionamento pelo operador; e um sistema automático de controle do nível de água com intertravamento que evite o superaquecimento por alimentação deficiente. (BRASIL, NR 13, 2023).

A norma regulamenta que a descrição do vaso de pressão a ser trabalhado deverá ser afixada no seu próprio corpo, contendo nome do fabricante, número de ordem do fabricante, ano de fabricação, pressão máxima de trabalho admissível (PTMA), pressão de teste hidrostático, capacidade de produção de vapor, código de projeto e ano de edição, bem como a categoria da caldeira conforme a NR 13.

Segundo a NR-13 (NR 13, 2022), toda caldeira deve possuir, no local de instalação, a documentação técnica atualizada, composta pelo prontuário fornecido pelo fabricante (com dados de projeto, materiais, PMTA, desenhos, dispositivos de segurança e categoria), registro de segurança, projetos de instalação, alterações e reparos, relatórios de inspeção e certificados de calibração dos dispositivos de segurança.

O registro de segurança da caldeira conforme norma deverá ser um livro com páginas numeradas, pastas ou sistema com segurança, no qual serão registradas todas as ocorrências que possam influenciar na segurança da caldeira, bem como as inspeções diárias e técnicas, juntamente com a assinatura do operador e/ou do responsável técnico.

No item 13.4.2.3 da NR 13, constam medidas de instalação da caldeira, a qual deverá ser três metros afastada de quaisquer outras instalações, tais como depósitos de combustíveis, de propriedade de terceiro e de via pública. A mesma deverá dispor de duas saídas amplas desobstruídas em direções distintas, garantindo também fácil acesso para operação e manutenção. A localização da instalação deverá dispor de iluminação, conforme as normas vigentes, bem como iluminação de emergência. Além disso, é obrigatório possuir um sistema de exaustão ou captação e lançamento de gases e resíduos da combustão para fora da área de operação e que não venha a ferir as leis ambientais.

Logo em seguida, a NR comenta sobre a segurança de operação da caldeira, destacando a necessidade de informações básicas em manual em língua portuguesa, como partidas, paradas, parâmetros, situações de emergência, e procedimentos gerais de segurança.

A inspeção de segurança inicial deve ser obrigatoriamente realizada em caldeiras novas antes da entrada em funcionamento, no local definitivo de instalação, incluindo exame interno, teste de estanqueidade e exame externo. Além disso, todas as caldeiras devem ser submetidas ao teste hidrostático (TH) durante sua fabricação,

com laudo assinado por profissional legalmente habilitado (PLH) e valor da pressão de teste afixado na placa de identificação. Na ausência dessa comprovação, o TH deve ser realizado durante a inspeção inicial (se fabricada após 2 de maio de 2014) ou, para caldeiras anteriores a essa data, conforme decisão técnica do responsável técnico até a próxima inspeção periódica.

As inspeções periódicas, conforme a NR 13, devem ser realizadas nos seguintes prazos: 12 meses para caldeiras das categorias A e B; 15 meses para caldeiras de recuperação de álcalis; e até 24 meses para caldeiras da categoria A, desde que as válvulas de segurança sejam testadas aos 12 meses.

As válvulas de segurança devem ser desmontadas, inspecionadas e calibradas com frequência compatível com o plano de manutenção, sendo testadas a cada 12 meses em caldeiras com sistema instrumentado de segurança (SIS) e acionadas manualmente mensalmente em caldeiras da categoria B que operam sem tratamento de água (exceto para fluido térmico).

### **3.1.2 Aplicação em inspeções – a prática brasileira**

No cenário atual, as inspeções de vaso de pressão, em especial de caldeiras, seguem a normativa exposta no tópico anterior. Dessa forma, o responsável técnico ou inspetor inicia com a observação da presença da placa de identificação, conforme os itens 13.1.5.1 e 13.1.9 da norma, bem como a presença da documentação exigida no item 13.1.6, que determina que esteja presente no estabelecimento da instalação: o prontuário da caldeira, registro de segurança, projeto de instalação e reparo e o relatório de inspeção.

Em caldeiras novas (antes de iniciado o funcionamento), no local de operação, deverá ser realizada inspeção de segurança inicial, como se determina o item 13.5.2 da NR, devendo compreender exame interno e externo, teste hidrostático e de acumulação.

As inspeções periódicas, devem ser realizadas nos períodos descritos no tópico anterior, e deverá ser realizado exame interno, teste hidrostático, se aplicável e exame externo. E as inspeções extraordinárias são obrigatórias quando houver: alteração de local da caldeira, intervenção estrutural (soldas, troca de componentes),

acidente/incidente com o equipamento, tempo superior a 12 meses sem funcionamento.

Após a verificação de documentação, realiza-se a parada e a preparação do equipamento, que consiste em desligar e resfriar a caldeira, em seguida, esvaziar e limpar os componentes internos, e, por fim providenciar acesso seguro ao interior da caldeira (escadas, EPI, ventilação). Feito isso, poderá ser realizado o exame interno para a avaliação visual e técnica das partes internas, como: corrosão, trincas, incrustações, espessura da parede, além da verificação das costuras de solda, tubos, cabeçotes.

Quando aplicável, realiza-se o teste hidrostático, que deverá pressurizar a caldeira com água a 1,5 vezes a pressão máxima de trabalho admissível, a fim de verificar se há vazamentos ou deformações. Da mesma forma, efetua-se a análise da verificação dos itens obrigatórios determinados pela NR 13 (válvula de segurança, manômetro, injetor ou outro meio de alimentação de água, dreno, sistema de indicação para controle do nível de água ou outro sistema) e sua adequação ao sistema, bem como funcionamento pleno. Além do exame externo, com a observação dos demais componentes visíveis da caldeira, como isolamento térmico, válvulas, condições de montagem e suporte estrutural, para posteriormente emissão de relatórios e registros.

### 3.2 Código ASME

A ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) é uma organização técnica e normativa fundada nos Estados Unidos em 1880, que possui como principal objetivo promover o avanço da engenharia mecânica, em especial no que se trata da segurança dos equipamentos sob pressão e sua operação. Com reconhecimento internacional, a organização desenvolve e publica o “*Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)*”, ou como já mencionado, “o código ASME”, utilizado mundialmente para o projeto, fabricação, inspeção e certificação de caldeiras, no qual é estabelecido os requisitos mínimos para garantir a integridade estrutural dos equipamentos, com foco na prevenção de falhas mecânicas, acidentes industriais e riscos à vida humana, que muito embora, não seja obrigatório no Brasil, é frequentemente adotada por indústrias e responsáveis técnicos que operam com altos padrões de segurança.

### 3.2.1 Código ASME VIII

O ASME Seção VIII (ou ASME VIII), como próprio nome explicita é uma seção do código de caldeiras e vasos de pressão da ASME – *American Society of Mechanical Engineers*, uma das normas mais relevantes internacionalmente para o dimensionamento, projeto, fabricação e inspeção de equipamentos pressurizados. Este é de extrema relevância para o trabalho, expondo dessa maneira, uma forma mais detalhada de cálculo de chapas, bem como tipos de processos e materiais recomendáveis.

A ASME VIII, é dividida conforme as regras e itens trabalhados, e a divisão I trata de caldeiras de potência (*power boilers*), ou seja, caldeiras que operam com pressões superiores a 15 psi (103 kPa) para vapor e/ou temperaturas acima de 120°C para água superaquecida, incluindo caldeiras de geração de vapor em centrais termoelétricas, caldeiras industriais de grande porte e equipamentos auxiliares como economizadores, superaquecedores e aquecedores de ar, quando fazem parte da caldeira. (ASME VIII, 2023).

No escopo desta Divisão, vasos de pressão são recipientes para contenção de pressão obtida por uma fonte externa ou aplicação de calor fornecido direta ou indiretamente.

A divisão inicia com subseção A “Parte UG”, na qual tratam-se os requisitos gerais aplicáveis a todos os vasos de pressão, e a subseção B, os requisitos específicos aplicáveis aos métodos utilizados na fabricação de vasos de pressão, que compreende procedimentos de soldagem, forjamento e brasagem. Seguidos da subseção C, constituídas de conteúdos sobre o uso de cada material recomendado (como aços de alta liga, ferro fundido dúctil, dentre outros) e a tabela de valores de tensão admissível para cada uma dessas classes.

### 3.2.2 Código ASME I

ASME Seção I do *Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC)* trata especificamente das caldeiras de potência (Power Boilers), ou seja, equipamentos projetados para gerar vapor sob pressões superiores a 15 psig (1,03 bar). Esta seção é uma das mais antigas e completas do código da ASME, e estabelece regras

rigorosas para o projeto, fabricação, inspeção, testes e dispositivos de segurança aplicáveis, de modo mais específico, às caldeiras.

Bem como na seção VIII, é possível encontrar critérios de espessura mínima da parede, os requisitos de teste hidrostático e ensaios não destrutivos, além das normas para válvulas de segurança, manômetros e documentação obrigatória. Da mesma maneira, é utilizado como referência em projetos industriais de alta criticidade.

Os requisitos apresentados nessa seção se aplicam aos seguintes: caldeira de força, caldeiras de água de alta pressão e alta temperatura, aquecedores de fluido térmico em fase líquida e peças e acessórios desses itens. Em PG-2 ainda se define como: caldeiras nas quais o vapor é gerado a uma pressão superior a 15 psig (100 kPa) para uso externo a si próprio e caldeiras de água de alta temperatura destinadas à operação em pressões superiores a 160 psig (1,1 MPa) e/ou temperaturas superiores 120°C.

O parágrafo PG-27 da ASME Seção I estabelece os requisitos de cálculo da espessura mínima dos componentes de caldeiras sujeitos à pressão interna, como cascos cilíndricos, cabeçotes, tampos, tubos e partes planas reforçadas, sendo fundamental para assegurar que todos os elementos estruturais da caldeira sejam dimensionados com segurança.

Além disso, nessa seção, nos tópicos PG 67 a 73, enuncia-se quanto aos dispositivos de segurança obrigatórios em caldeira de potência para integridade operacional e proteção dos usuários. Dessa forma, explicita-se que cada caldeira deve ser equipada com no mínimo uma válvula de segurança, sendo exigido um número maior quando a capacidade de alívio de uma só válvula for insuficiente para descarregar toda a geração de vapor, como será melhor descrito nos tópicos seguintes.

Além disso, as válvulas devem ser do tipo acionadas por mola, com alívio direto e abertura rápida, adequadas à pressão e capacidade e o seu dimensionamento é feito com base na capacidade de geração de vapor (lb/h ou kg/h) e na PMTA, utilizando coeficientes especificados pela ASME.

Ademais, no tópico PG 60 indica-se os instrumentos obrigatórios como:

- Manômetro que deve estar localizado de forma visível e indicando claramente a pressão interna, recomenda-se que diâmetro mínimo do mostrador é de 127

mm (5 polegadas), e o limite máximo da escala deve ser entre 1,5 a 2 vezes a PMTA calculada.

- Indicador de nível de água que pode ser uma coluna de vidro ou visor tipo tubular.
- Termômetro (indicador de temperatura) que é obrigatório em caldeiras de água quente e deve estar instalado na linha de saída de água para monitoramento da temperatura de operação e proteção contra superaquecimento.

Ademais, nessa seção também se exige um rigoroso processo de documentação técnica e certificação, são obrigatórios pelo código: o formulário P-2, principal documento do prontuário da caldeira, que contém todos os dados de projeto, materiais utilizados, pressão e temperatura de operação, número de série, inspeções realizadas e assinaturas do fabricante e do inspetor autorizado que será preenchido durante a fabricação; a marcação e identificação da caldeira (PG 106); e a inspeção final e certificação ASME “S”, que exige uma vistoria final por um “Authorized Inspector”, credenciado pela National Board que na verificação correta cumprimento dos requisitos emitirá o carimbo ASME “S” (Stamp), que valida sua conformidade com o código.

### **3.2.3 Emprego em inspeções**

O ASME, bem como a NR 13, descreve as responsabilidades de projeto e inspeção de vasos de pressão, destacando no tópico UG- 90 (ASME VIII, DIV.1) as obrigações do fabricante do vaso, como sendo ele totalmente responsável por assegurar que o vaso em questão seja construído conforme os requisitos do código e pelo fornecimento de todas as informações do vaso em questão. Além disso, essa responsabilidade inclui a seleção de materiais conforme o código (ASME SECTION II), a execução correta dos processos de fabricação, como soldagem, conformação e montagem, a aplicação e realização de todos os testes exigidos (como ensaios não destrutivos e teste hidrostático), as marcações e a identificação final do vaso, incluindo a aplicação do selo ASME e a emissão do “manufacturer’s data report” com a assinatura do responsável técnico e do inspetor autorizado.

Ademais, no mesmo tópico supracitado define-se as obrigações do inspetor (responsável técnico), que se responsabiliza pela verificação de conformidade do vaso

segundo os requisitos do código estudado. Assim, é dever do responsável técnico: I) conferir se os processos de fabricação estão em consonância com as normativas; II) acompanhar e analisar os documentos dos ensaios exigidos; e, III) realizar a inspeção visual a fim de confirmar se os materiais utilizados estão certificados e em conformidade. Por fim, é de suma importância a assinatura no certificado de inspeção.

Os primeiros testes são realizados durante a fabricação e após a instalação, antes que se coloque a caldeira em pleno funcionamento, no ASME VIII explicita-se em UG-84 os requisitos para a realização de ensaios de impacto Charpy em materiais utilizados na fabricação, com o objetivo de verificar a tenacidade do material em diferentes temperaturas, reduzindo o risco de fratura frágil, sendo especialmente aplicados em vasos que operam em temperaturas abaixo de  $-29^{\circ}\text{C}$ , com caráter obrigatório (exigido em UG20 (f)), e pode ser solicitado para materiais de alta espessura, soldas críticas e algumas classes de aço carbono e baixa liga.

Ademais, o código direciona como se realiza o ensaio de impacto, que consiste em submeter 03 (três) corpos de prova à ruptura por impacto, que deverão ser retirados do mesmo material do vaso em questão. E os resultados deste ensaio devem atingir valor mínimo de energia de 20J.

Após a instalação e com pleno funcionamento, além dos exames visuais, internos e externos, que são realizados nos vasos de pressão, alguns testes podem ser realizados durante a inspeção de acordo com a necessidade avaliada pelo responsável técnico. Os exames poderão ser ensaios destrutivos e não destrutivos como teste de estanqueidade (na PMTA atestada para detecção de vazamentos), teste hidrostático, ultrassom (verificação da espessura atual das chapas metálicas para potencial comparação), e, líquido penetrante (na extensão dos espelhos dianteiro e traseiro pelo lado do fogo, para a identificação de possíveis trincas).

A ASME VIII, na seção UG-27, aborda a respeito da espessura mínima exigida para vasos de pressão interna, assim, para cascas cilíndricas destacam-se as seguintes fórmulas:

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P} \quad (1)$$

$$P = \frac{SEt}{R + 0,6t} \quad (2)$$



Para tensão circunferencial, essas fórmulas, (1) e (2), serão aplicadas quando a espessura não exceder a metade do raio interno, ou quando P não exceder o valor 0,385SE.

$$t = \frac{PR}{2SE - 0,4P} \quad (3)$$

$$P = \frac{2SEt}{R + 0,4t} \quad (4)$$

(3) e (4) são aplicados para tensão longitudinal quando a espessura não exceder a metade do raio interno, ou quando P não exceder o valor 1,25 SE.

Adiciona-se à espessura mínima calculada um valor de sobre corrosão, como tolerância, assim, será utilizado:

$$t_{final} = t_{mínima} + S_c. \quad (5)$$

Nas quais t é a espessura mínima, R é o raio interno do cilindro, P a pressão interna, S a tensão admissível básica do material, E o coeficiente de eficiência de solda e  $S_c$  é sobresspessura para corrosão. A tensão admissível básica do material, S, é função da temperatura de projeto do tanque e é obtida nas tabelas do código ASME para os materiais aceitos pelo mesmo. Deste modo, utiliza-se o coeficiente de eficiência das juntas soldadas, E, conforme o código, depende do grau de inspeção adotado, como consta na Tabela abaixo.

Tabela 2- Coeficiente de eficiência conforme o grau de inspeção em soldas.

| Grau de inspeção    | Coeficiente de Eficiência |
|---------------------|---------------------------|
| Radiografia total   | 1                         |
| Radiografia parcial | 0,85                      |
| Sem radiografia     | 0,7                       |

Fonte: Autor, 2025.

No ASME I, também encontram-se fórmulas para cálculos de espessura mínima e PMTA, bem como exposto em Araújo *et al* (2019), a espessura requerida do casco cilíndrico é dada em PG - 27.2.2 (6):

$$t = \frac{PD}{2SE + 2YP} + C \quad (6)$$

Com D o diâmetro externo do cilindro, E a eficiência, P a pressão máxima de trabalho admissível, S é a tensão admissível à tração, e y é o coeficiente de temperatura. E a pressão máxima admissível dada por:

$$P = \frac{2SEt}{D - 2yt} \quad (7)$$

Além disso, é no ASME I, que se encontram as fórmulas de verificação para os espelhos (PG 46.1), no qual se reconhece a espessura mínima por:

$$t = p \frac{\sqrt{P}}{SC} + C \quad (8)$$

Onde, C admite diferentes valores conforme aplicação:

C = 2.1 para estais soldados ou estais parafusados através de placas com espessura não superior a 7/16 pol. (11 mm) e extremidades rebitadas.

C = 2.2 para estais soldados ou estais parafusados através de placas com espessura superior a 7/16 pol. (11 mm) e extremidades rebitadas.

C = 2.5 para estais parafusados através de placas e instalados com porcas simples na parte externa da placa ou com porcas internas e externas, omitindo arruelas.

C = 2.8 para suportes com cabeças não inferiores a 1,3 vezes o diâmetro dos suportes aparafusados através de placas ou com encaixe cônico e com as cabeças formadas.

C = 3.2 para suportes equipados com porcas internas e externas e arruelas externas cujo diâmetro das arruelas não seja inferior a  $0,4p$  e espessura não inferior a  $t$ .

$p$  = passo máximo medido entre linhas retas que passam pelos centros dos tirantes nas diferentes fileiras, cujas linhas podem ser horizontais e verticais, ou radiais e circunferenciais, pol. (mm). (ASME I, 2023).

Ademais, o tópico PG-46.1 da ASME Seção I estabelece os critérios para compensação de aberturas feitas em partes sob pressão da caldeira (como cascos, cabeçotes ou tampos). Sempre que uma abertura é feita, é necessário repor a resistência perdida, garantindo que o componente continue suportando a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) com segurança.

O trecho UG-99 do ASME Seção VIII - 1, estabelece os requisitos para testes hidrostáticos em vasos de pressão, realizados antes da entrada em operação ou após reparos significativos. A apresentação do teste é, em verdade, requerida pelo ASME com o objetivo de verificar a integridade estrutural do vaso sob pressão, assegurando que ele suporta a pressão de projeto sem vazamentos ou deformações.

Dessa maneira, estabelece-se que a pressão de teste deve ser no mínimo 1,3 vezes a Pressão Máxima Admissível de Trabalho (PMTA), ajustada pela relação entre as tensões admissíveis à temperatura de teste e à temperatura de projeto, sendo utilizado como fluido de teste preferencialmente a água, salvo em casos específicos onde seu uso é impraticável.

No que concerne especificamente às caldeiras, o ASME I, visando assegurar que o referido equipamento suporta a PMTA com margem de segurança, exige e demonstra a imprescindibilidade da realização de teste hidrostático após a fabricação e antes de iniciado o uso.

Portanto, o ASME I normatiza, em seu parágrafo PG-99, que o referido teste deve ser feito por meio da submissão da caldeira a uma pressão de teste igual a 1,5 vezes a PMTA, utilizando água limpa com temperatura mínima de 21°C e inferior à temperatura de ebulição. Para que se tenha resultado positivo na verificação acima, é essencial que não haja vazamentos visíveis e a manutenção dos elementos estruturais inspecionados visualmente. Salutar destacar que o manômetro precisa estar instalado no ponto mais alto do sistema, bem como a pressão de teste deve ser mantida por tempo suficiente, almejando a leitura precisa e a estabilidade do equipamento.

Para a realização do teste, o vaso deve ser preenchido completamente com o fluido, eliminando todo o ar. E, a pressão deve ser aumentada gradualmente até atingir o valor de teste, mantida por um período mínimo, e posteriormente reduzida para inspeção visual que será realizada para detectar vazamentos, deformações ou falhas nas soldas e conexões.

Além disso, o ASME menciona a temperatura para realização do teste, que para minimizar o risco de fratura frágil, estabelece que a temperatura mais fria do metal durante o teste hidrostático deve ser pelo menos 17°C mais quente do que a temperatura admissível de trabalho do vaso e nunca deve ser mais fria do que ela.

Já no tópico seguinte, UG-100 do ASME VIII -1, estabelece os requisitos para a execução do teste pneumático, como uma alternativa ao teste hidrostático, para a verificação da estanqueidade. Esse teste só será realizado quando o teste hidrostático não for praticável, e deverá ter uso justificado pelo responsável técnico no relatório de inspeção.

Destarte, se estabelece condições para realização do teste pneumático, como a pressurização com ar, nitrogênio ou outro gás inerte, para isso, a pressão de ensaio deve ser 1,1 vezes a pressão máxima de trabalho admissível. Para a operação deve ser tomada medidas rigorosas de segurança, como barreiras de proteção, evacuação da área e monitoração constante. Durante o teste uma inspeção visual deve ser realizada para a verificação da integridade.

O código exige que todos os vasos de pressão sejam protegidos contra sobrepressão por meio de dispositivos adequados para alívio, principalmente válvulas de segurança ou válvulas de alívio, e são detalhados em tópicos na seção UG - 140 da seção XIII, na atual versão, e anteriormente a 2021, era tratadas na seção UG - 125 a UG -137 da seção VIII.

A válvula recomendada deve ser capaz de aliviar a pressão antes que o vaso ultrapasse 10% acima da PMTA, e em caso de vasos expostos a fontes externas de calor, essa capacidade pode ser ainda maior. Estes dispositivos, conforme código, deverão ser testados, calibrados e certificados por um laboratório autorizado, exigindo-se assim uma placa de identificação, que inclua pressão de abertura, vazão, fabricante e número de série.

Além disso, o ASME determina que as válvulas deverão ser instaladas diretamente no vaso, ou em tubulações o mais próximo possível, não sendo permitido o uso de válvulas de bloqueio entre o vaso e a válvula de segurança. Ademais, após o ajuste final dessa válvula, ela deverá ser lacrada para evitar quaisquer manipulações, e seu ponto de abertura deve coincidir com a PMTA, exceto em diferentes especificações de projeto.

### 3.3 COMPARATIVO: NR13 *VERSUS* ASME VIII

A inspeção de caldeiras é um processo crucial para garantir a integridade estrutural e a segurança dos equipamentos de vapor, e como já visto, tanto o ASME VIII Divisão I quanto a NR 13 abordam o tema com enfoques e responsabilidades diferenciadas, com pontos convergentes e divergentes.

Como mencionado, o ASME é uma norma internacional voltada para projeto, fabricação e certificação de vasos de pressão, e trata como uma parte do processo de construção do equipamento: a inspeção. Nessa perspectiva, a inspeção deverá ser conduzida por um Inspetor Autorizado, que acompanha a fabricação desde a seleção dos materiais até a emissão do relatório “Manufacturer’s Data Report”. O ASME, é pontual, técnico e descreve todas as exigências de cálculo e seleção de material para a caldeira.

A NR 13, Norma Regulamentadora, possui enfoque voltado para a fiscalização contínua da operação e manutenção da caldeira no território brasileiro,

regulamentando a inspeção periódica como obrigatória, realizada por um profissional legalmente habilitado (PLH), com registro no conselho de classe, o CREA. A norma é mais descritiva e documentadora quando se compara ao código internacional, dessa maneira, trata-se dos deveres do PLH e do proprietário do vaso de pressão, bem como os direitos do operador que visam garantir maior segurança.

Dessa forma, o ideal seria tratar ambas normativas como complementares, o que permitiria uma análise mais abrangente da integridade da caldeira. Com ciência, analisa-se algumas convergências e itens complementares.

Isto posto, no item 13.1.4 da NR 13, é estabelecido que a falta de qualquer um dos itens obrigatórios poderá constituir risco grave e iminente, exigindo a presença da válvula de segurança como um desses itens, que deverá ser ajustada para valor inferior ou igual a PMTA, e ser adequadamente projetada, instalada e mantida, e na ausência de uma dessas adequações a válvula poderá ser considerada inexistente. O local de instalação e quantidade utilizada devem atender a necessidade de projeto e as normas vigentes.

Enquanto isso, o ASME I determina que toda caldeira deve ter no mínimo duas válvulas de segurança, e se tiver menos de 46,5 m<sup>2</sup> de área de superfície de aquecimento, uma única válvula é permitida desde que seja capaz de descarregar totalmente a geração de vapor da caldeira. Bem como na NR13, o código apresenta requisitos principais, como a conexão diretamente ao vaso ou ao coletor de vapor, ser calibrada para abrir a uma pressão não superior à PMTA, e certificadas e testadas por órgãos autorizados e possuir selo ASME. Assim, isso é confirmado e reforçado na seção XIII (anteriormente redigido na seção VIII) que afirma todo vaso de pressão deve possuir ao menos um dispositivo de alívio de pressão adequadamente dimensionado, e em casos em que um único dispositivo não seja suficiente deverá ser instalado duas unidades e a soma das capacidades deve garantir a proteção completa.

Cientes que a qualidade da água também é um fator determinante para a vida útil e eficiência operacional das caldeiras, a NR no seu item 13.4.3.3 determina que esta qualidade deve ser controlada e tratamentos devem ser implementados quando necessário para comparação com parâmetros de operação da caldeira, que são determinados pelo fabricante.

Da mesma forma, o ASME apresenta por meio do documento de consenso intitulado *Consensus on Operating Practices for the Control of Feedwater and Boiler Water Chemistry*, publicado por seu comitê técnico de água e vapor, os valores recomendados para os parâmetros físico-químicos da água de alimentação e da água da caldeira, baseado com pressão de operação. A tabela sugere valores de limites para oxigênio dissolvido, ferro total, cobre, sílica, dureza, alcalinidade, sólidos dissolvidos totais (TDS), condutividade iônica e outros, com o objetivo de prevenir incrustações, corrosão, desgaste térmico.

Figura 10- Imagem da tabela de limites físico-químicos para uma caldeira aquotubular.

| ASME Table: Suggested Water Chemistry Limits                                             |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Boiler type: Industrial watertube, high duty, primary fuel fired, drum type              |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Makeup water percentage: Up to 100% of feedwater                                         |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Conditions: Includes superheater, turbine drives, or process restriction on steam purity |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Steam: superheated and/or turbine                                                        |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Saturated steam purity target: See tabulated values below                                |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Drum Operating Pressure<br>(1) (11)                                                      | psig<br>(MPa) | 0-300<br>(0-2.07) | 301-450<br>(2.08-3.10) | 541-600<br>(3.11-4.14) | 601-750<br>(4.15-5.17) | 751-900<br>(5.18-6.21) | 901-1000<br>(6.22-6.89) | 1001-1500<br>(6.90-10.34) | 1501-2000<br>(10.35-13.79) |
| Feedwater (7)                                                                            |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Dissolved oxygen ppm (mg/l) O2 measured before chemical oxygen scavenger addition (8)    |               | <0.007            | <0.007                 | <0.007                 | <0.007                 | <0.007                 | <0.007                  | <0.007                    | <0.007                     |
| Total iron ppm (mg/l) Fe                                                                 |               | <0.1              | <0.05                  | <0.03                  | <0.025                 | <0.02                  | <0.02                   | <0.01                     | <0.01                      |
| Total copper ppm (mg/l) Cu                                                               |               | <0.05             | <0.025                 | <0.02                  | <0.02                  | <0.015                 | <0.01                   | <0.01                     | <0.01                      |
| Total hardness ppm (mg/l) CaCO3                                                          |               | <0.3              | <0.3                   | <0.2                   | <0.2                   | <0.1                   | <0.05                   | ND                        | ND                         |
| pH range @ 25°C                                                                          |               | 8.3-10            | 8.3-10                 | 8.3-10                 | 8.3-10                 | 8.3-10                 | 8.8-9.6                 | 8.8-9.6                   | 8.8-9.6                    |
| Chemicals for preboiler system protection                                                |               | NS                | NS                     | NS                     | NS                     | NS                     | VAM                     | VAM                       | VAM                        |
| Nonvolatile TOC ppm (mg/l) C (6)                                                         |               | <1                | <1                     | <0.5                   | <0.5                   | <0.5                   | <0.2                    | <0.2                      | <0.2                       |
| Oily matter ppm (mg/l)                                                                   |               | <1                | <1                     | <0.5                   | <0.5                   | <0.5                   | <0.2                    | <0.2                      | <0.2                       |
| Boiler Water                                                                             |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| Silica ppm (mg/l) SiO2                                                                   |               | <150              | <90                    | <40                    | <30                    | <20                    | <8                      | <2                        | <1                         |
| Total alkalinity ppm (mg/l) CaCO3                                                        |               | <700 (3)          | <600 (3)               | <500 (3)               | <200 (3)               | <150 (3)               | <100 (3)                | NS (4)                    | NS (4)                     |
| Free hydroxide ppm (mg/l) CaCO3 (2)                                                      |               | NS                | NS                     | NS                     | NS                     | NS                     | NS                      | ND (4)                    | ND (4)                     |
| Unneutralized conductivity<br>µmhos/cm (µS/cm) 25°C (12)                                 |               | 5400-1100(5)      | 4600-900(5)            | 3800-800(5)            | 1500-300(5)            | 200-200(5)             | 1000-200(5)             | <150                      | <80                        |
| Total Dissolved Solids in Steam (9)                                                      |               |                   |                        |                        |                        |                        |                         |                           |                            |
| TDS (maximum) ppm (mg/l)                                                                 |               | 1.0-0.2           | 1.0-0.2                | 1.0-0.2                | 0.5-0.1                | 0.5-0.1                | 0.5-0.1                 | 0.1                       | 0.1                        |

Fonte: ASME, 2019.

Ao passo que a norma brasileira, muito embora exija a manutenção da qualidade da água, não especifica valores exatos para parâmetros físico-químicos e atribui essa responsabilidade ao responsável técnico e orienta que a água utilizada deve ser tratada e monitorada regularmente, com registros mantidos à disposição da fiscalização.

Dessa forma, resume-se os principais tópicos em um quadro comparativo, a seguir:

Tabela 3- Tabela comparativa entre NR 13 e ASME.

| COMPARATIVO                           |                                                                                                        |                                                                                                                          |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ITENS                                 | ASME                                                                                                   | NR 13                                                                                                                    |
| -                                     | Norma técnica focada em projeto, fabricação e certificação.                                            | Operação segura e manutenção contínua. → “Lei”.                                                                          |
| -                                     | A inspeção é parte do processo de construção, conduzida por Inspetor Autorizado (AI).                  | Inspeção periódica obrigatória por Profissional Legalmente Habilitado (PLH) com registro no CREA.                        |
| Cálculo de espessura, materiais, PMTA | SIM                                                                                                    | NÃO                                                                                                                      |
| Documentação técnica completa;        | SIM (além do selo, e Projetos).                                                                        | SIM                                                                                                                      |
| Responsabilidade do proprietário      | NÃO                                                                                                    | SIM                                                                                                                      |
| Treinamento de operadores;            | NÃO                                                                                                    | SIM                                                                                                                      |
| Teste hidrostático                    | Durante fabricação                                                                                     | Na inspeção de segurança inicial                                                                                         |
| Qualidade da água                     | Tratada e monitorada regularmente; de responsabilidade do PLH e registros à disposição da fiscalização | (Consensus, 2019) Fornece tabela com limites físico-químicos recomendados e se baseia na pressão de operação da caldeira |
| VÁLVULA DE SEGURANÇA:                 |                                                                                                        |                                                                                                                          |
| Nº de válvulas                        | $\geq 2$ (ou 1 se $< 46,5 \text{ m}^2$ )                                                               | Conforme projeto.                                                                                                        |
| Localização                           | Direto no vaso ou no coletor                                                                           | Direto no vaso                                                                                                           |
| Calibração                            | $\leq$ PMTA, testada, selo ASME                                                                        | $\leq$ PMTA, funcional e registrada                                                                                      |
| Validade                              | Inspeção com lacre                                                                                     | Manutenção e registro obrigatório                                                                                        |

Fonte: Autor, 2025.

Dessa forma, observa-se as suas convergências e a necessidade de sua combinação na prática.

#### **4 CASO CONCRETO: AVALIAÇÃO E INSPEÇÃO DE INTEGRIDADE FÍSICA DE CALDEIRA DE BIOMASSA EM CONFORMIDADE COM ASME I E VIII**

Nesta seção, será realizado o estudo de uma inspeção de caldeira, realizada em 2025 no estado do Piauí, bem como a elaboração de relatório e prontuário, realizado sob a óptica das duas normas expostas anteriormente. Frisa-se que a autora do presente trabalho acompanhou *in loco* a inspeção feita pelos responsáveis técnicos.

A caldeira em análise se classifica como tipo mista de modelo horizontal com queima de biomassa. É utilizada em uma indústria de produção de ração animal, na qual o vapor saturado seco (temperatura de aproximadamente 130°C) é direcionado para secagem e peletização dos insumos processados. Neste tópico, será pormenorizado os detalhes da inspeção e da caldeira analisada.

Durante a inspeção realizada foram executados os seguintes serviços para garantir uma maior segurança, eficiência e operacionalidade da caldeira, que serão caracterizados no decorrer do trabalho:

- Limpeza dos tubos de gases no lado do fogo e limpeza interna do interior do costado;
- Inspeção visual da fornalha, dos tubos e das chapas da caldeira;
- Realização de medição de espessura das chapas da caldeira – ultrassom;
- Calibração e teste das válvulas de segurança;
- Realização de testes complementares de segurança (acionamento da bomba de alimentação de água);
- Acionamento da bomba auxiliar (injetor de água) da caldeira;
- Teste de acionamento da bomba de água através dos eletrodos de nível da caldeira;
- Teste de bombas de alimentação de água;
- Colocação da caldeira em linha de operação;
- Abertura da válvula do barrilete para enviar vapor para a linha de vapor na indústria.



#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CALDEIRA E EXAMES REALIZADOS

O primeiro passo realizado foi a verificação da presença da placa de identificação, e se constam as informações que são exigidas pela NR 13 e o ASME, como supramencionado.

- Placa de identificação:

Nome do fabricante: METALURGICA ENOCK JAIME DE MOURA LTDA.

Endereço do fabricante: BR 020, KM 02, 3471, Parque Potira, Ceará - Brasil.

Tipo: Mista.

Capacidade: 1560 (vapor saturado) kg/h.

Modelo: Horizontal, CGVH-FT1C-15.

Número de ordem: 0208.

Ano de fabricação: 06/2008.

Categoria: B.

Pressão Máxima de Trabalho Admissível: 8,0 kgf/cm<sup>2</sup> (113,76 psig).

Pressão de teste hidrostático: 12,0 kgf/cm<sup>2</sup> (170,64 psig).

Pressão de Operação: 6,0 kgf/cm<sup>2</sup> (85,34 psig) .

COD. PROJ/ANO EDIÇÃO: ASME - SEÇÃO 11/1998 NB - 227.

Superfície de Aquecimento: 78 m<sup>2</sup>.

Figura 11- Fotografia da Caldeira Metalcone, a ser estudada.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 12- Placa de identificação da Caldeira.



Fonte: Autor, 2025.

Para a caracterização técnica da caldeira, foi dividido sua análise em funcional e construtiva, fazendo constar no início do relatório um resumo, para entendimento prévio, e após isso, é feita a descrição e caracterização dos componentes básicos e obrigatórios, para posteriormente, serem feitos os testes necessários.

Tabela 4- Caracterização técnica da caldeira.

| CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA                                                |                         |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| FUNCIONAL                                                             |                         |
| Tipo de combustível                                                   | Biomassa- Lenha         |
| Pressão para alimentação com bomba                                    | 8,0 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Tipo de tiragem                                                       | Forçada                 |
| Tipo de Fornalha                                                      | Refrigerada             |
| Tipo de grelha                                                        | Refrigerada             |
| Controle automático de nível de água                                  | Possui                  |
| Válvula de alívio de pressão                                          | Possui                  |
| Injetor para água de caráter emergencial                              | Possui                  |
| Bomba d'água de alta pressão                                          | Possui                  |
| Válvula de bloqueio para descarga de fundo, retenção e saída de vapor | Possui                  |
| Manômetro                                                             | Possui                  |
| Eletrodos em inox                                                     | Possui                  |
| Conjunto de nível                                                     | Possui                  |

|                                                              |                                                        |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Painel elétrico de comando                                   | Possui                                                 |
| Chaminé                                                      | Possui                                                 |
| <b>CONSTRUTIVA</b>                                           |                                                        |
| Diâmetro do corpo externo da caldeira                        | 1400 mm (chapa $\frac{3}{8}$ pol)                      |
| Comprimento                                                  | 3800 mm                                                |
| Altura total da caldeira topo ao chão                        | 2800 mm                                                |
| Diâmetro do corpo interno                                    | 1200 mm                                                |
| Altura da fornalha                                           | 2800 mm                                                |
| Espelho diâmetro frontal e traseiro                          | 1200 mm ( $\frac{5}{8}$ pol)                           |
| Tubos                                                        |                                                        |
| 89 unidades                                                  | diâmetro 2 pol x 1.960 mm de comprimento               |
| 1 unidade                                                    | diâmetro 2 $\frac{1}{2}$ pol x 1.960 mm de comprimento |
| Diâmetro da tubulação da chaminé da caldeira para o exaustor | 330 mm                                                 |
| Diâmetro da chaminé                                          | 600 mm                                                 |
| Distância da caldeira para o exaustor                        | 2200 mm                                                |
| Descarga de fundo da caldeira                                | 60,3 mm (2 pol)                                        |
| Caixa de fuligem da descarga (ligada com o exaustor)         | 400 mm                                                 |
| Comprimento total da caldeira com fornalha                   | 5900 mm                                                |
| Diâmetro do barrilete                                        | 127 mm (5 pol)                                         |
| Tubos de vapor (entrada e saída) do barrilete                | 88,90 (3 pol)                                          |

Fonte: Autor, 2025.

Na sequência foi feita a análise visual e a caracterização de alguns dos componentes básicos, e, anexadas suas imagens, como a fornalha, o cinzeiro, e os acessórios obrigatórios instalados. Dessa maneira, também será realizado neste estudo de caso.

- Fornalha e cinzeiro:

A fornalha possui tiragem forçada com exaustor com chapa de  $\frac{3}{8}$  polegadas e as demais dimensões de 1300 mm de comprimento, 1110 mm de largura, 1800 mm de altura, e porta de 650 mm x 650 mm x 600 mm. E o cinzeiro será de 1500 mm de comprimento, 1250 mm de largura, 600 mm de altura, e porta de 600 mm x 600 mm.

Figura 13- Fotografia da fornalha e cinzeiro da Caldeira Metalcone



Fonte: Autor, 2025.

- Instrumentos de medição (manômetro, pressostato e termômetro): constam na caldeira 2 manômetros e um pressostato. E no barrilete conta-se mais uma unidade de manômetro. Além disso, observa-se uma unidade de Manômetro 01 da marca Famabras, com escalas de 0 a 300 lbf/pol<sup>2</sup> e de 0 a 20 kgf/cm<sup>2</sup>, com diâmetro de 3 polegadas, com conexão vertical e TAG “PI 01”, a sua data de calibração foi 17/05/2025 e número de certificado 0022/2025.



Figura 14- Fotografias do manômetro 01 da Caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

Manômetro 02 da marca Record, com as mesmas escalas de 0 a 300 lbf/pol<sup>2</sup> e de 0 a 20 kgf/cm<sup>2</sup>, com diâmetro de 3 polegadas, com conexão vertical e TAG “PI 02”, a sua data de calibração foi 17/05/2025 e número de certificado 0023/2025.

Figura 15- Fotografias do manômetro 02 da Caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

O manômetro 03, com TAG “PI 03” está acoplado no barrilete, da marca FAMABRÁS Vical, com escalas de 0 a 300 psi e de 0 a 21 kgf/cm<sup>2</sup>, e diâmetro de 3 polegadas. Ele possui uma conexão vertical, data última calibração em 17/05/2025 e número de certificado 0024/2025.

Figura 16 - Fotografias do manômetro 03 da Caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

O pressostato, identificado com TAG “PSH 01”, datado em 17/05/2025 (mesma data de calibração dos manômetros), da marca LEPOO CE, possui Range de 3 a 4 bar, com saída de conexão vertical e número de certificado: 0025/2025

Figura 17- Fotografias do pressostato da Caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 18- Fotografia dos manômetros e pressostatos na caldeira.



Fonte: Autor, 2025.

Além dos manômetros, como instrumento de medida, a caldeira conta com um termômetro do exaustor, da marca Vical, com escala de 0 a 300°C, facilitando a aferição da temperatura de saída dos gases.

Figura 19- Fotografia do termômetro usado no exaustor.



Fonte: Autor, 2025.



- Indicador de nível de água:

A caldeira Metalcone possui um indicador de nível de água da marca Mipel com visor de vidro de diâmetro de  $\frac{5}{8}$  polegadas por 400 mm, acoplado com 03 eletrodos de nível.

Figura 20- Fotografia de detalhes do indicador de nível da caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

- Válvula de segurança:

Como determina o ASME e a NR 13, constam na caldeira 02 unidades de válvulas de segurança, representadas pela figura 21 da marca Fluid Control com bitola de  $1 \frac{1}{4}$  pol, do tipo mola com alavanca, localizada na parte superior do costado da caldeira.

Figura 21- Fotografia das válvulas de segurança da caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

A primeira válvula de segurança PSV 01 possui TAG “PSV 01/151199”, número de série “151199” e número de registro 0020/2025 com data fabricação em 04/2015 e data de última calibração em 17/05/2025, representada pela figura 22. Este dispositivo

possui pressão de abertura de  $6,5 \text{ kgf/cm}^2$ , pressão de fechamento de  $6,0 \text{ kgf/cm}^2$ , e temperatura máxima de  $350^\circ\text{C}$ .

Figura 22- Imagens da válvula de segurança 01.



Fonte: Autor, 2025.

A segunda válvula PSV 02 possui a abertura quando a pressão atinge o valor de  $7,3 \text{ kgf/cm}^2$  e o fechamento quando a pressão retorna para  $6,7 \text{ kgf/cm}^2$ , e temperatura máxima de  $350^\circ\text{C}$ . Esse dispositivo possui TAG com descrição “PSV 01/1151200”, número de série “151200” e número de registro 0021/2025 com data fabricação e calibração na mesma data da válvula anterior, como na figura 23.

Figura 23- Imagens da válvula de segurança 02



Fonte: Autor, 2025.

- Outras válvulas:

O projeto possui 02 unidades de válvula de descarga de fundo com bitolas de 2 polegadas do tipo esfera localizadas na parte inferior da caldeira e lateral da fornalha.

- Dispositivo de alimentação de água:

Como dispositivo de alimentação de água a caldeira possui duas motobombas sendo uma motobomba centrífuga de seis estágios da Kohlback com potência de 5 CV (3,7 kW) e vazão de  $5,85 \text{ m}^3/\text{h}$ . Esta bomba possui diâmetro de entrada de 1



polegada e de saída de  $\frac{3}{4}$  polegadas, e altura manométrica de 70 mca e outra motobomba centrífuga fabricante DANCOR com potência de 2,0 cv, 9 estágios, modelo 15593309 2-B-09 TFVE INOX, vazão de 4,6 m<sup>3</sup>/h, diâmetro de entrada e de saída de 1 polegada.

Figura 24- Detalhes das motobombas da caldeira.



Fonte: Autor, 2025.

- Injetor de água:

Considerado como dispositivo de alimentação de água manual, conta-se na caldeira, como exige a norma, uma unidade de injetor de água da marca Comodoro, de 01 pol.

Figura 25- Injetor de água da caldeira Metalcone.



Fonte: Autor, 2025.

Após análise visual e verificação dos componentes clássicos e obrigatórios da caldeira, foi realizado os exames de prontuário, externo, interno e a fixação da PMTP, respondendo à algumas perguntas pré-estabelecidas de forma direta e precisa, listadas abaixo:

a. O prontuário está em dia e completo? Sim.

- b. Anomalias encontradas no prontuário: Nenhuma.
- c. A caldeira satisfaz externamente as prescrições vigentes? Sim.
- d. A caldeira possui todos os acessórios exigidos? Sim.
- e. A caldeira causa algum perigo ou incômodo? Não.
- f. A operação da caldeira está confiada a pessoas habilitadas? Sim.
- g. Os principais acessórios são do tipo e capacidade adequados, e estão em bom estado e funcionam satisfatoriamente? Sim.
- h. As superfícies externas e demais pormenores abrangidos pelo exame apresentam alguma anomalia prejudicial à saúde da caldeira? Não.
- i. Anomalias foram observadas no exame externo? Nenhuma.
- j. Foi observada alguma anomalia? Não.
- k. Retirada de corpos de prova? Não.
- l. Anomalias foram encontradas no exame interno? Sim, incrustações.
- m. A P.M.T.A. adotada anteriormente à inspeção pode ser mantida sem alteração? Sim.
- n. Caso a P.M.T.A. deva ser modificada, qual o novo valor? Sem modificação, pois a caldeira atende a norma.

Além desses questionamentos, também foram realizadas perguntas e análises sobre a prova de pressão hidrostática, prova de segurança das válvulas de segurança, prova de suficiência dos dispositivos de alimentação, descritos abaixo:

- o. Foi realizado teste de pressão hidrostático? Não.
- p. Justificativa da realização ou não realização do teste hidrostático: Não foi considerado necessário pelo responsável técnico, visto pleno funcionamento sem anomalias. Entretanto, foram realizados outros ensaios não destrutivos e cálculos segundo o código ASME, para averiguar a integridade da caldeira.
- q. As válvulas de segurança são suficientes? Sim.
- r. Qual a pressão máxima atingida pelo vapor durante a prova de segurança das válvulas de segurança? 6,5 kgf/cm<sup>2</sup>.
- s. Alguma anomalia foi observada durante a prova de segurança das válvulas? Nenhuma.
- t. O dispositivo de alimentação é suficiente? Sim, a caldeira possui 02 (duas) bombas elétricas e também possui um injetor para alimentação de água manual.

u. Foram observadas anomalias durante a prova de suficiência dos dispositivos de alimentação? Não, nenhuma.

Posteriormente à realização das análises, é realizada uma medição das espessuras dos costados e dos espelhos da caldeira em diversos pontos para averiguar se estão em conformidade com o código ASME. Essas medições foram realizadas com medidor de espessura ultrassom de marca BENETECH, do modelo GM 100, com número de série GE 2408271 calibrado no dia 26 de outubro de 2017 pela empresa FB Importações LTDA com certificado de calibração de número 10056.

Os resultados apontam que as seguintes medidas mínimas foram: espelho frontal com 15,7 mm; espelho traseiro com 15,8 mm; caixa de fuligem com 5,1mm; chapa externa da fornalha com 5,9 mm; chapa interna da fornalha com 6,0 mm; corpo cilíndrico com 9,3 mm e tubo da fornalha com 4,0 mm, como detalha as imagens abaixo.

Figura 26- Detalhe das medidas da espessura do espelho frontal.



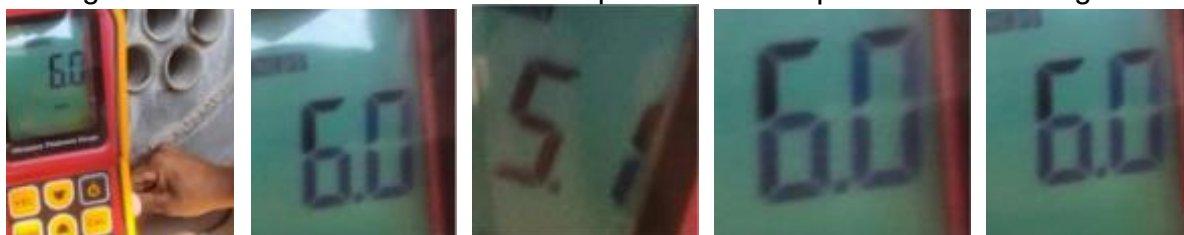
Fonte: Autor, 2025.

Figura 27- Detalhe das medidas da espessura do espelho traseiro.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 28- Detalhe das medidas da espessura da chapa da caixa de fuligem.



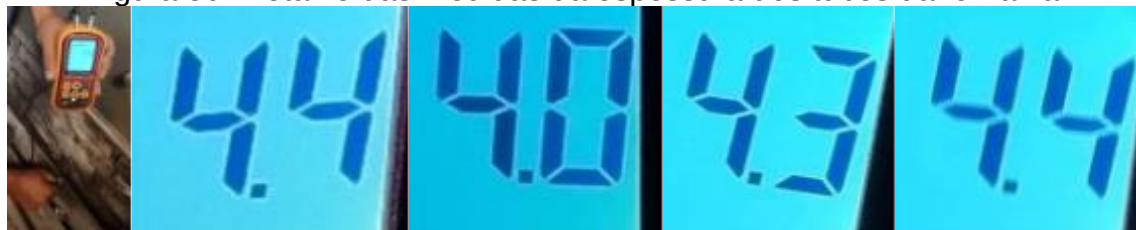
Fonte: Autor, 2025.

Figura 29- Detalhe das medidas da espessura do corpo cilíndrico.



Fonte: Autor, 2025.

Figura 30- Detalhe das medidas da espessura dos tubos da fornalha.



Fonte: Autor, 2025.

Esses dados são de suma importância para catalogar e analisar a vida útil da caldeira com o decorrer dos anos de funcionamento, além de serem essenciais para o desenvolvimento dos cálculos de verificação de espessura mínima e PMTA, conforme as fórmulas do código ASME.

#### 4.2 CÁLCULOS SEGUNDO O ASME

Dessa maneira, com os resultados das análises das medições, foi realizado os cálculos utilizando os detalhes do ASME que foram expostos no tópico “Emprego em inspeções”. Considerando a menor espessura encontrada nessa inspeção no corpo e

nos espelhos respectivamente, 9,3 mm e 15,8 mm na varredura feita com o ultrassom. Utilizando os seguintes dados do vaso de pressão:

Tabela 5- Dados da Caldeira Metalcone para cálculo de espessura mínima e PMTA.

| Dados do vaso de pressão                    |                                         |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Código de projeto                           | ASME SEÇÃO 11/1998                      |
| Diâmetro interno                            | 1.200 mm                                |
| Raio interno                                | 90,5 mm                                 |
| Fluido                                      | Vapor                                   |
| Pressão Máxima de Trabalho Admissível:      | 0,78 MPa (8,0 kgf/cm <sup>2</sup> )     |
| Pressão de operação normal                  | 0,58 MPa (6,0 kgf/cm <sup>2</sup> )     |
| Temperatura de operação (°C)                | 40 °C                                   |
| Sobresspessura de corrosão (Sc)             | 2 mm                                    |
| Eficiência de soldas (E) nos casco e tampos | 70%                                     |
| Material de casco e tampos                  | Aço carbono ASTM A 285C                 |
| Tensão admissível (S)                       | 108,0 MPa (1101,3 kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| Tipos de tampos                             | Retos                                   |
| Número de ordem                             | 1.0.952                                 |
| Ano de fabricação                           | 06/2008                                 |
| Pressão de teste hidrostático               | 1,17 MPa (12,0 kgf/cm <sup>2</sup> )    |
| Espessura nominal do corpo cilíndrico       | 9,5 mm                                  |
| Espessura nominal dos espelhos              | 15,8 mm                                 |

Fonte: Autor, 2025.

O cálculo das espessuras mínimas requeridas do corpo (emin) é realizado para as condições de projeto de acordo com o ASME I DIV. 1(2004), conforme o regimento de fabricação da caldeira Metalcone. Primeiramente, averigua-se as espessuras mínimas do costado, com base na fórmula:

$$t = \frac{PD}{2SE + 2YP} + C \quad (6)$$

Tabela 6- Memorial de Cálculo - Costado

| Fórmula Espessura Mínima Costado – ASME I - 2004 – PG-27.2.2 |      |       |
|--------------------------------------------------------------|------|-------|
| $t = \frac{PD}{2SE + 2YP} + C \quad (6)$                     |      |       |
| Espessura mínima calculada (mm)                              | t:   | 4,32  |
| Pressão (MPa)                                                | P:   | 0,78  |
| Diâmetro (mm)                                                | D:   | 1200  |
| Tensão Admissível (MPa)                                      | S:   | 108   |
| Eficiência de solda                                          | E:   | 1,00  |
| Coeficiente de Temperatura                                   | Y:   | 0,40  |
| Sobrecorrosão (mm)                                           | C:   | 0,00  |
| PMTA (Kgf/cm <sup>2</sup> )                                  | PMTA | 7,95  |
| Teste Hidrostático (Kgf/cm <sup>2</sup> )                    | TH   | 11,93 |
| Espessura de Projeto (mm)                                    |      | 9,5   |
| Espessura Encontrada (mm)                                    |      | 9,3   |

Fonte: Autor, 2025.

Dessa forma, a espessura mínima admitida para os costados na pressão de serviço 4,32mm. Deste modo, com a espessura mínima calculada obtêm-se a PMTA utilizando a fórmula PMTA – ASME I – 2004 - PG-27.2.2 a seguir:

$$P = \frac{2SEt}{D - 2yt} \quad (7)$$

Resultando no valor de 0,78 MPa (7,95 kgf/cm<sup>2</sup>) para a pressão máxima admitida no trabalho. Portanto, utilizando o ASME e a menor espessura encontrada, a PMTA calculada é superior à pressão de operação.

Em seguida, é realizado o cálculo das espessuras mínimas requeridas para o espelho dianteiro e traseiro com base nas condições de projeto de acordo com o ASME I DIV. 1(2004).

$$t = p \frac{\sqrt{P}}{SC} + C \quad (8)$$

Tabela 7- Memorial de cálculo para espelho dianteiro/traseiro

| Fórmula Espessura Mínima Costado – ASME I - 2004 – PG-46.1 |      |       |
|------------------------------------------------------------|------|-------|
| $t = p \frac{\sqrt{P}}{SC} + C$                            |      |       |
| Espessura mínima calculada (mm)                            | t:   | 12,31 |
| Pressão (Mpa)                                              | P:   | 0,78  |
| Tensão Admissível (Mpa)                                    | S:   | 108   |
| Passo (Estais) (mm)                                        | p:   | 215   |
| Estais (soldados)                                          | C:   | 2,2   |
| PMTA (Kgf/cm <sup>2</sup> )                                | PMTA | 7,95  |
| Teste Hidrostático ((Kgf/cm <sup>2</sup> )                 | TH   | 11,93 |
| Espessura de Projeto (mm)                                  |      | 16,0  |
| Espessura Encontrada (mm)                                  |      | 15,8  |

Fonte: Autor, 2025.

Destarte, a espessura mínima admitida para a pressão de serviço sobre os espelhos resultou em 12,31 mm. Cientes disso, o cálculo da PMTA, utilizando a menor espessura encontrada (15,8 mm), se dá por meio da fórmula (2), alcançando o valor de 2,23 MPa (22,7 kgf/cm<sup>2</sup>). Portanto, utilizando o ASME e a menor espessura encontrada, conclui-se que a PMTA calculada é superior à pressão de operação, logo a pressão máxima de trabalho da caldeira continuou sendo a especificada na placa de identificação da caldeira.

#### 4.3 RECOMENDAÇÕES E CONCLUSÃO DA INSPEÇÃO

Por fim, para finalizar o relatório de inspeção o engenheiro responsável redigiu as recomendações e a conclusão dos exames e da inspeção como um todo, dessa maneira, recomenda-se:

- A PMTA continuará sendo de 8,0 kgf/cm<sup>2</sup> (113,78 psig); a caldeira suportou satisfatoriamente aos testes a que foi submetida;
- A pressão de operação continuará 6,0 kgf/cm<sup>2</sup> (85,34 psig);
- Fazer tratamento de água na caldeira e no tanque de alimentação da mesma;
- Anotar todas as ocorrências no diário registro de segurança da caldeira;
- Fazer limpeza diária nos seguintes locais: ambiente de trabalho, instrumentações, placas de identificação, visor de nível, manômetros;
- Dar descargas de fundo e nível seguindo orientações do químico responsável pela qualidade da água;
- Manter a casa de caldeira sempre limpa, de fácil acesso e segura;
- O operador da caldeira não deve se afastar da caldeira estando essa em operação;
- Dar descargas a cada 7 dias nas válvulas de segurança;
- Realizar limpeza nos tubos de fuligem quando necessário;
- O operador da caldeira não deve trabalhar sem os EPI'S;

Além disso, foram fornecidos tabelas de manutenção para o acompanhamento preditivo, preventivo e corretivo (tabelas em Anexo I), objetivando que o operador as preencha sempre que necessário para que o responsável técnico possa acompanhar

e realizar as medidas corretivas adequadas, bem como informar e descrever no relatório da inspeção periódica futura.

Ademais, foi concluído pelos responsáveis técnicos que a caldeira poderia funcionar normalmente, pois não apresentou quaisquer anomalias necessárias a sua intervenção, e atendeu as recomendações da NR 13 e exigências do código ASME adotadas neste trabalho.



## **5 CHECKLIST: UM GUIA DE INSPEÇÃO CONFORME ASME I E VIII**

Nessa seção foi desenvolvido um checklist completo de inspeção conforme o estudo desenvolvido, o qual possui como principal objetivo facilitar a atuação do responsável técnico no momento da inspeção de caldeiras.

O checklist inicia com o registro de dados pelo responsável e reconhecimento da empresa e do tipo de equipamento e modelo a ser analisado. Posteriormente, são analisadas as documentações necessárias do vaso de pressão que deve conter no local da caldeira, seguido da sua caracterização técnica funcional e construtiva, bem como a realização dos exames necessários (como visual interno e externo, ensaios não destrutivos, dentre outros).

É de suma importância o registro de imagens da inspeção para a elaboração do relatório e do prontuário atualizados. Da mesma forma, adicionou-se um campo de recomendações e observações para que seja anotado o necessário que não constar no desenvolvimento do checklist. Ainda, toma-se como imprescindível a realização de ensaio com um equipamento de ultrassom e o registro das medidas para a posterior realização dos cálculos conforme o ASME, e verificação das espessuras e pressões.

Figura 31- Imagens de checklist de inspeção.

| CHECKLIST COMPLETO PARA INSPEÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                           |              |                                      |                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| INFORMAÇÕES DA INSPEÇÃO                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                                      |                                   |
| <b>Responsável técnico:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                      |                                   |
| Responsável:                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              | CREA:                                |                                   |
| Data de início:        /        /                                                                                                                                                                                                                                                                          |              | Data de término:        /        /   |                                   |
| Contato:                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |              | E-mail:                              |                                   |
| <b>Cadastro da empresa:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                      |                                   |
| Razão Social:                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |                                      |                                   |
| Endereço:                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | CEP:                                 |                                   |
| CNPJ:                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Contato:     | E-mail:                              |                                   |
| <b>Tipo de equipamento e identificação:</b>                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                      |                                   |
| Tipo:                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Classe:      | Horizontal <input type="checkbox"/>  | Vertical <input type="checkbox"/> |
| Fabricante:                                                                                                                                                                                                                                                                                                |              |                                      |                                   |
| Endereço do Fabricante:                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                                      |                                   |
| Classificação(tubos):                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |                                      |                                   |
| Capacidade:                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Modelo:      | Categoria:                           |                                   |
| Ano de fabricação:                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Nº de ordem: | Cod. Proj.:                          |                                   |
| PMTA:                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | PTH:         | P.O                                  |                                   |
| <b>DOCUMENTAÇÕES SEGUNDO NR 13 E ASME</b>                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | <b>SIM</b>                           | <b>NÃO</b>                        |
| Consta no local o prontuário da caldeira?                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |                                      |                                   |
| <i>Placa de identificação completa:</i>                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                                      |                                   |
| a) fabricante;<br>b) número de ordem dado pelo fabricante da caldeira;<br>c) ano de fabricação;<br>d) pressão máxima de trabalho admissível;<br>e) pressão de teste hidrostático;<br>f) capacidade de produção de vapor;<br>g) área da superfície de aquecimento;<br>h) código de projeto e ano de edição. |              |                                      |                                   |
| Código de projeto e ano                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                                      |                                   |
| Especificações dos materiais                                                                                                                                                                                                                                                                               |              |                                      |                                   |
| Metodologia para estabelecimento da PMTA                                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                                      |                                   |
| Registro da execução do teste hidrostático de fabricação                                                                                                                                                                                                                                                   |              |                                      |                                   |
| Conjunto de desenhos e demais dados para monitoramento da vida útil                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                      |                                   |
| Características funcionais                                                                                                                                                                                                                                                                                 |              |                                      |                                   |
| Dados dos dispositivos de segurança                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                      |                                   |
| Ano de fabricação                                                                                                                                                                                                                                                                                          |              |                                      |                                   |
| Categoria da Caldeira                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |                                      |                                   |
| Registro de segurança (13.4.1.6(b))                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                      |                                   |
| Projeto de instalação (13.4.1.6(c))                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                      |                                   |
| Relatório de inspeção de segurança (13.4.1.6(e))                                                                                                                                                                                                                                                           |              |                                      |                                   |
| Certificado de calibração dos dispositivos de segurança (13.4.1.6(f))                                                                                                                                                                                                                                      |              |                                      |                                   |
| Manual de operação (13.4.3.1)                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |                                      |                                   |
| <b>CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA- FUNCIONAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |              | <b>Obs/ Possui/ Dados analisados</b> |                                   |
| Tipo de combustível                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                                      |                                   |
| Pressão para alimentação com bomba                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                                      |                                   |
| Tipo de tiragem                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                                      |                                   |
| Tipo de Fornalha                                                                                                                                                                                                                                                                                           |              |                                      |                                   |
| Tipo de grelha                                                                                                                                                                                                                                                                                             |              |                                      |                                   |
| Identifique se possui controle automático de nível de água                                                                                                                                                                                                                                                 |              |                                      |                                   |

|                                                                                                                               |                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Identifique se possui válvula de alívio de pressão                                                                            |                                      |
| Identifique se possui injetor para água de caráter emergencial                                                                |                                      |
| Identifique se possui bomba d'água de alta pressão                                                                            |                                      |
| Identifique se possui válvula de bloqueio para descarga de fundo, retenção e saída de vapor                                   |                                      |
| Identifique se possui manômetro                                                                                               |                                      |
| Identifique se possui eletrodos em inox                                                                                       |                                      |
| Identifique se possui conjunto de nível                                                                                       |                                      |
| Identifique se possui painel elétrico de comando                                                                              |                                      |
| Identifique se possui chaminé                                                                                                 |                                      |
| <b>CARACTERIZAÇÃO TÉCNICA- CONSTRUTIVA</b>                                                                                    | <b>Obs/ Possui/ Dados analisados</b> |
| Diâmetro do corpo externo da caldeira                                                                                         |                                      |
| Comprimento                                                                                                                   |                                      |
| Altura total da caldeira topo ao chão                                                                                         |                                      |
| Diâmetro do corpo interno                                                                                                     |                                      |
| Altura da fornalha                                                                                                            |                                      |
| Espelho diâmetro frontal e traseiro                                                                                           |                                      |
| Tubos                                                                                                                         |                                      |
| Diâmetro da tubulação da chaminé da caldeira para o exaustor                                                                  |                                      |
| Diâmetro da chaminé                                                                                                           |                                      |
| Distância da caldeira para o exaustor                                                                                         |                                      |
| Descarga de fundo da caldeira                                                                                                 |                                      |
| Caixa de fuligem da descarga (ligada com o exaustor)                                                                          |                                      |
| Comprimento total da caldeira com fornalha                                                                                    |                                      |
| Diâmetro do barrilete                                                                                                         |                                      |
| Tubos de vapor (entrada e saída) do barrilete                                                                                 |                                      |
| <b>DA REALIZAÇÃO DOS EXAMES</b>                                                                                               | <b>Sim/Não/Nenhuma/Obs</b>           |
| <b>EXAME DE PRONTUÁRIO</b>                                                                                                    |                                      |
| O prontuário está em dia e completo?                                                                                          |                                      |
| Anomalias encontradas no prontuário                                                                                           |                                      |
| <b>EXAME EXTERNO</b>                                                                                                          |                                      |
| A caldeira satisfaz externamente as prescrições vigentes?                                                                     |                                      |
| A caldeira possui todos os acessórios exigidos?                                                                               |                                      |
| A caldeira causa algum perigo ou incômodo?                                                                                    |                                      |
| A operação da caldeira está confiada a pessoas habilitadas?                                                                   |                                      |
| Os principais acessórios são do tipo e capacidade adequados, e estão em bom estado e funcionam satisfatoriamente?             |                                      |
| As superfícies externas e demais pormenores abrangidos pelo exame apresentam alguma anomalia prejudicial à saúde da caldeira? |                                      |
| Anomalias observadas no exame externo:                                                                                        |                                      |
| <b>EXAME INTERNO</b>                                                                                                          |                                      |
| Foi observada alguma anomalia?                                                                                                |                                      |
| Foi retirado corpo de prova?                                                                                                  |                                      |
| Anomalias apresentadas no exame interno:                                                                                      |                                      |
| <b>FIXAÇÃO DA PMTP</b>                                                                                                        |                                      |
| A P.M.T.P. adotada anteriormente à inspeção pode ser mantida sem alteração?                                                   |                                      |
| Caso a P.M.T.P. deva ser modificada, qual o novo valor?                                                                       |                                      |
| Justificativa da resposta acima                                                                                               |                                      |
| <b>TESTE DE PRESSÃO HIDROSTÁTICO</b>                                                                                          |                                      |
| Foi necessária realização?                                                                                                    |                                      |
| Justificativa:                                                                                                                |                                      |

|                                                                                                                                            |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>PROVA DE SEGURANÇA DAS VÁLVULAS</b>                                                                                                     |  |
| As válvulas de segurança são suficientes?                                                                                                  |  |
| Pressão máxima atingida pelo vapor durante a prova                                                                                         |  |
| Anomalias observadas durante a prova:                                                                                                      |  |
| <b>PROVA DE SUFICIÊNCIA DOS DISPOSITIVOS DE ALIMENTAÇÃO</b>                                                                                |  |
| O dispositivo de alimentação é suficiente?                                                                                                 |  |
| Anomalias observadas durante a prova:                                                                                                      |  |
| <b>CAMPO DE RECOMENDAÇÕES E DEMAIS ANOTAÇÕES:</b>                                                                                          |  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>Catalogar as espessuras com ultrassom para posterior cálculo de verificação, segundo ASME.</li></ul> |  |

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Responsável pela Inspeção.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho centra-se em uma espécie de vasos de pressão pertencentes ao subtipo sujeito a chama: as caldeiras. Isto porque as caldeiras estão presentes em diversos setores, sendo responsáveis pelo aquecimento, esterilização, dentre outros.

Aliado a isso, o fato de se submeterem a um regime contínuo, preço elevado de aquisição e o risco elevado diante da submissão de altas pressões e temperaturas, exigem um maior de confiabilidade e durabilidade, advindo daí a relevância do aprofundamento no estudo das caldeiras, ainda que se exista uma certa carências quanto à referências bibliográficas.

Com o fito de dar compreensão global, foi explanado as modalidades de caldeiras, bem como os componentes ou elementos de uma caldeira e suas funções. Na sequência, foi explanado as normativas que circundam a temática: a NR 13, o ASME VIII e o ASME I.

A referência e explicação de aspectos de tais normativas centra-se na pertinência da matéria, particularmente no que diz respeito à segurança das pessoas que operam. Sublinha-se que a NR 13 se trata de uma normativa brasileira redigida pelo Ministério do Público do Trabalho, no qual se busca a segurança e saúde dos trabalhadores, por meio de requisitos mínimos de integridade estrutural das caldeiras.

Ao passo que o ASME I e VIII, são oriundas de uma organização técnica e normativa fundada nos EUA, que almeja o avanço da engenharia mecânica, notadamente no quesito segurança. Frisa-se que o referido código possui reconhecimento internacional, buscando a prevenção de falhas mecânicas, acidentes industriais e riscos à vida humana. Não obstante a origem estrangeira, há uma certa frequência de utilização no Brasil.

Desta forma, partindo de uma análise comparativa entre as normas, observou-se que ambas as normas possuem pontos positivos e desenvolveu-se assim, um quadro comparativo com breve resumo, apresentando, o ASME como mais voltado a parte técnica, exigências de cálculo e seleção de material de caldeiras, ao passo que a NR 13 direcionada para a regulamentação de inspeção periódica, especificação do responsável (profissional habilitado) e seus deveres, deveres do proprietário, bem

como os direitos do operador, visando maior segurança a operacionalização do referido vaso de pressão.

Almejando a demonstração da aplicabilidade da NR 13 e o código ASME (I e VIII) concomitantemente, analisou-se outras inspeções de caldeiras no cenário piauiense e posteriormente foi demonstrado um caso fático, no qual houve o acompanhamento de inspeção e confecção de relatórios e prontuários, comprovando a possibilidade e a maior eficiência e eficácia na complementação das normas, ao invés de preterir uma a outra.

Por fim, com o intuito de sistematizar a utilização concomitante das normas ressaltando seus melhores e mais importantes aspectos, foi organizado tabela em formato de checklist para que o profissional habilitado possa lastrear sua inspeção e relatório de maneira segura.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Wildebran de; TEODÓSIO, Felipe Liarte; CAMPOS, Paola Souto. **Study of the Inspection of a Flamotubular Boiler through the Codes ASME and NR-13**. ITEGAM-JETIA: Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications, Manaus, v. 5, n. 19, p. 90-97, Sept. 2019. Disponível em: <https://itegam-jetia.org/journal/index.php/jetia/article/view/499>. Acesso em: 17 jul. 2025.

AMATROL. **Sistemas a vapor: introdução aos sistemas a vapor**. Pacote de Atividade de Aprendizagem 1. B528-XB-P. [S.l.]: Integrated Systems Technology – IST, [s.d.].

ASME. **Consensus on Operating Practices for the Control of Feed-Water and Boiler Water Chemistry in Modern Industrial Boilers**. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2019.

ASME. **Boiler and Pressure Vessel Code – Section I: Rules for Construction of Power Boilers**. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2023.

ASME. **Boiler and Pressure Vessel Code – Section VIII, Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels**. New York: American Society of Mechanical Engineers, 2023.

ASSUMPÇÃO, Renato Fortes; CARVALHO, Flavio Lucio Santos de. **Proposta de planejamento operacional em paradas para manutenção e inspeção NR-13 na área de recuperação e utilidades na indústria de celulose**. Vitória: Centro Universitário Salesiano – UniSales, 2023. Disponível em: <https://unisales.br/wp-content/uploads/2023/06/PROPOSTA-DE-PLANEJAMENTO-OPERACIONAL-EM-PARADAS-PARA-MANUTENCAO-E-INSPECAO-NR-13-NA-AREA-DE-RECUPERACAO-E-UTILIDADES-NA-INDUSTRIA-DE-CELULOSE.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15569:2008 – Caldeiras – Requisitos para projeto e construção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BRASIL. Ministério do Trabalho. **NR-13: Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento**. Diário Oficial da União, Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério da Economia. **Secretaria Especial de Previdência e Trabalho. Anuário Estatístico de Acidentes de Trabalho – AEAT 2020**. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/acidente\\_trabalho\\_incapacidade/arquivos/AEAT\\_2020/aeat-2020](https://www.gov.br/previdencia/pt-br/assuntos/previdencia-social/saude-e-seguranca-do-trabalhador/acidente_trabalho_incapacidade/arquivos/AEAT_2020/aeat-2020). Acesso em: 14 ago. 2025.

BAZZO, Edson. **Geração de Vapor**. Florianópolis. 2 ed. Editora da UFSC. 1995.

BIANCO, Aline F.; DOS RA FERREIRA, Vinícius; MATTIOLI, Leandro R. **Modelo matemático no espaço de estados de uma caldeira de vapor aquatubular**.

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, v. 3, n. 1, 2015.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; BIFANO, Hercules Marcello. **Operação de caldeiras: gerenciamento, controle e manutenção**. Editora Blucher, 2015.

CAMPOS, Armando; LIMA, Valter; TAVARES, José da Cunha. **Prevenção e Controle de Riscos em Máquinas, Equipamentos e Instalações**. 4 ed. Editora SENAC. São Paulo. 2006.

CRUZ, Marlons Lino da; SIQUEIRA, Antônio Marcos de Oliveira; CAMPOS, Júlio Cesar Costa; SILVA, Charles Luiz da. **Study the energy efficiency of a fire-tube boiler in a dairy industry**. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, Viçosa, v. 8, n. 2, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18540/jcecv8iss2pp14015-01e>. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/1415>. Acesso em: 13 ago. 2025.

ELETROBRÁS/PROCEL; FUPAI. **Eficiência energética no uso de vapor: manual prático**. Coord. Geral: Marcos Luiz Rodrigues Cordeiro. Autores: Luiz Augusto Horta Nogueira, Carlos Roberto Rocha, Fábio José H. Nogueira; co-autor: Marco Aurélio Guimarães Monteiro. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, [s.d.].

MACIEL, Tiago. NR-13: **Quais são os riscos de acidentes em operações com caldeiras e vasos de pressão?**. EDUSEG (Beta Educação), 27 mar. 2023. Disponível em: <https://eduseg.com.br/blog/nr-13-acidentes-caldeiras-e-vasos-de-pressao>. Acesso em: 14 ago. 2025.

MARTINELLI Jr., L. C. **Geradores de Vapor – Recepção, Operação e Medidas de Segurança**. Cadernos UNIJUÍ, Série Tecnologia Mecânica, n.º 8, Editora Unijuí, Ijuí, RS, 1998.

MARTINS, F. B. **Geração de vapor com biomassa: conceitos e aplicações**. São Paulo: Interciência, 2017.

PAIVA, Marcos. **Análise de construção e ativação de caldeiras flamotubular de acordo com a NR-13**. 2020.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor: um compêndio sobre a conversão de energia com vistas à preservação da ecologia**. São Paulo: Fama, 1990.

SANTINI, João Bosco. **Periodicidade de inspeção de válvula de alívio e segurança de vaso de pressão e caldeira de vapor**. Petroblog, 2 dez. 2015. Disponível em: <https://www.petroblog.com.br/?p=971>. Acesso em: 8 jul 2025.

SENAI. **Caldeiras a vapor: operação e manutenção**. 2. ed. Rio de Janeiro: SENAI/DN, 2015.

SGCIE – SISTEMA DE GESTÃO DOS CONSUMOS INTENSIVOS DE ENERGIA. **Relatório Final – Ação de Promoção de Eficiência Energética em Geradores de Calor**. Lisboa, 2019. Disponível em: <https://sgcie.pt/wp-content/uploads/2019/04/RelFinal-AccaoEE-Caldeiras-Vapor-Termofluido.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.



SHAHID, Rana Naseem. **Boiler Operation Engineering: Questions and Answers. Capítulo 56.** Disponível em: <https://rananaseemshahid.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/09/chapter-561.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2025.

SOUSA, Luiz Antônio Moschini de. **Inspeção de caldeiras.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBP, 2020.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Vasos de pressão.** 2. ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora, 1996. Reimpressão: 2007.

## ANEXO I

## PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CORRETIVA

EQUIPAMENTO: \_\_\_\_\_, DATA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

TURNO: \_\_\_\_\_

| ITENS A SEREM VERIFICADOS DIARIAMENTE |                                                                                                                                                                                            | HORAS |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|--|--|
|                                       |                                                                                                                                                                                            | 06    | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 |  |  |  |  |
| 01                                    | Verificação do nível de água no tanque de alimentação da caldeira                                                                                                                          |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 02                                    | Verificação da energização no quadro de energia da caldeira                                                                                                                                |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 03                                    | Verificação do nível correto de água na caldeira                                                                                                                                           |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 04                                    | Observar se as correias do exaustor estão tensionadas                                                                                                                                      |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 05                                    | Abrir válvula de passagem de água da bomba da caldeira pra caldeira                                                                                                                        |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 06                                    | Colocação de biomassa na fornalha.                                                                                                                                                         |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 07                                    | Verificar aquecimento gradual da caldeira                                                                                                                                                  |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 08                                    | Elevar a pressão da caldeira até atingir 90 lib/pol2 e mantê-la com controle de dosagem de biomassa                                                                                        |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 09                                    | Esperar que a pressão de vapor atinja a PMTA (pressão máxima de trabalho admissível)                                                                                                       |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 10                                    | Abrir lentamente o registro de saída de vapor do barrilete                                                                                                                                 |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 11                                    | Desligar a chave geral do painel elétrico e fazer o teste do injetor (acima de 70 lbf/pol2 ou 5,0 kgf/cm2 e água fria até 30 °c) evitando assim que suas peças se oxidem por falta de uso; |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 12                                    | Fechar registro do injetor e ligar novamente o painel                                                                                                                                      |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 13                                    | De hora em hora dar descargas de fundo, de nível e do visor de nível.                                                                                                                      |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |
| 12                                    | Manter a casa da caldeira limpa                                                                                                                                                            |       |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |  |  |  |

ASSINATURA DO OPERADOR DO TURNO: \_\_\_\_\_

## PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CORRETIVA

EQUIPAMENTO: \_\_\_\_\_ DATA \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

TURNO : \_\_\_\_\_

|    | ITENS A SEREM VERIFICADOS SEMANALMENTE                                                                       | SERVIÇOS REALIZADOS | SITUAÇÃO |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| 01 | Verificação do exaustor e seus equipamentos auxiliares (dampers, correias, mancais, telas de proteção, etc). |                     |          |
| 02 | Revisão das válvulas para retirada de vazamentos                                                             |                     |          |
| 03 | Revisão geral das gaxetas e selos mecânicos das bombas d'água                                                |                     |          |
| 04 | Verificação dos filtros e purgadores                                                                         |                     |          |
| 05 | Escovação dos tubos no lado da fumaça                                                                        |                     |          |
| 06 | Retirada da fuligem acumulada                                                                                |                     |          |

ASSINATURA DO OPERADOR DO TURNO: \_\_\_\_\_

|    | ITENS A SEREM VERIFICADOS MENSALMENTE                                                                                                                                                                                   | SERVIÇOS REALIZADOS | SITUAÇÃO |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| 01 | Retirada do pó dos controles elétricos e verificar os contatos das chaves magnéticas. Verificar se a chave geral de força está desligada antes de fazer a limpeza e manter sempre fechada a porta do painel de controle |                     |          |
| 02 | Limpar os filtros de água                                                                                                                                                                                               |                     |          |
| 03 | Lubrificar os motores se tiverem pinos de lubrificação.                                                                                                                                                                 |                     |          |
| 04 | Verificação dos filtros e purgadores                                                                                                                                                                                    |                     |          |
| 05 | Verificar o alinhamento de todos os equipamentos rotativos                                                                                                                                                              |                     |          |
| 06 | Verificar a gaxeta (selo mecânico) da bomba d'água                                                                                                                                                                      |                     |          |
| 07 | Avaliação da fumaça da chaminé                                                                                                                                                                                          |                     |          |
| 08 | Verificar o estado dos purgadores instalados na caldeira e na rede de vapor                                                                                                                                             |                     |          |
| 09 | Verificar o estado do refratário da fornalha                                                                                                                                                                            |                     |          |
| 10 | Quando da escovação dos tubos, proteger motores e painel de controle.                                                                                                                                                   |                     |          |
| 11 | Limpar sistema de controle de nível da caldeira                                                                                                                                                                         |                     |          |

ASSINATURA DO OPERADOR DO TURNO: \_\_\_\_\_