



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA - IFPE
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DANIEL QUEIROZ MORAES RESENDE

**ELABORAÇÃO DE RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PERIÓDICA EM CALDEIRA
FLAMOTUBULAR À LENHA DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL NO AGreste
PERNAMBUCANO**

CARUARU-PE

2023

DANIEL QUEIROZ MORAES RESENDE

ELABORAÇÃO DE RELATÓRIO DE INSPEÇÃO PERIÓDICA EM CALDEIRA
FLAMOTUBULAR À LENHA DE UMA INDÚSTRIA TÊXTIL NO AGreste
PERNAMBUCANO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de
Pernambuco, como parte dos requisitos necessários
para à obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Professor Doutor Alexander Patrick
Chaves de Sena

CARUARU-PE

2023

R433e

Resende, Daniel Queiroz Moraes

Elaboração de relatório de inspeção periódica em caldeira flamotubular à lenha de uma indústria têxtil no agreste pernambucano/ Daniel Queiroz Moraes Resende; orientação de Alexander Patrick Chaves de Sena . – Caruaru, 2023.

41 f.

Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Caldeira flamotubular. 2. Indústria têxtil - Agreste pernambucano. 3. Ensaio Não Destruutivo. 4. Segurança do Trabalho - Engenharia Mecânica. 5. Caldeira – Inspeção. 6. Engenharia Mecânica – IFPE. I. Sena, Alexander Patrick Chaves de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Trabalho de Conclusão de Curso. IV. Título.

CDD: 621.183
CDU: 621.1

Elaboração: Bibliotecária Priscila do Nascimento Bezerra, CRB-4/1863.

TERMO DE APROVAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito necessário para à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. Qualquer citação atenderá as normas da ética científica.

DANIEL QUEIROZ MORAES RESENDE

Trabalho apresentado em ____/____/____

Prof. Dr. ALEXANDER PATRICK CHAVES DE SENA.

ORIENTADOR

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. ALEXANDER PATRICK CHAVES DE SENA

Prof. Dr. DINIZ RAMOS DE LIMA JUNIOR

Prof. Dr. MARCOS CÉZAR LIMA CORDEIRO

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a minha família por todo apoio que recebi durante o curso. A minha esposa, Apollo e Bilbo por me ajudarem durante as noites escrevendo este trabalho.

Este trabalho significa para mim além da conclusão do curso, a conclusão de um ciclo que se iniciou em 2013, onde ingressei no curso Integrado de Técnico em Mecatrônica. O IFPE para mim se tornou um segundo lar, onde pude crescer academicamente, pessoalmente e profissionalmente, onde pude desenvolver projetos, me superar em diversos desafios, conhecer uma nova cultura e principalmente, conhecer pessoas incríveis durante este processo.

Gostaria de agradecer em especial ao Professor Alexander Sena por todo o suporte desde a formação da Equipe de Robótica Protheus, Jullyandryos por todo conhecimento compartilhado nos laboratórios.

Aos meus amigos Élton Franklin, Asafe Santos, Luís Gabriel, por todos os momentos compartilhados durante esse período de IPFE.

A todos que contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um relatório de inspeção de segurança conforme a Norma Regulamentadora 13 de uma caldeira flamotubular à lenha em uma indústria têxtil no agreste Pernambucano. O relatório apresenta o demonstrativo e descrição de todos os procedimentos realizados *in loco*, onde foram conduzidos Ensaios Não Destrutivos para atestar as condições estruturais do equipamento, coletando as informações necessárias para verificação das espessuras mínimas para os espelhos e corpo da Caldeira calculados conforme especificado na ASME BPVC SEC. I a fim determinação da aptidão do equipamento para operação dentro da Pressão Máxima de Trabalho Admissível determinada no prontuário. Os resultados demonstram que o equipamento está apto para operar dentro da PMTA estipulada, sendo necessário, todavia, que seja desenvolvido um Projeto de Alteração e Reparo do equipamento, visto que foi verificada uma intervenção nas partes pressurizadas da caldeira.

Palavra-Chave: Caldeiras, Ensaios Não Destrutivos, Memorial de Cálculo, Inspeção. Segurança do Trabalho.

ABSTRACT

This work presents the development of a periodic safety inspection report in accordance with the Brazilian's Regulatory Standard 13 of a wood burning firetube boiler in a textile industry within the state of Pernambuco. The report presents all the conducted procedures descriptions and results, where Non-Destructive Evaluations were applied in order to confirm the boiler's structural conditions, acquiring the information needed to calculate the shells and drums minimum thicknesses calculated as specified in ASME's BPVC Section I, thus attesting that the equipment is able to operate within the Maximum Allowable Operating Pressure determined in accordance with the boiler's technical documentation. The results shows that the equipment is able to operate within the stipulated Maximum Allowable Operating Pressure, although it is necessary to elaborate a Repair and Modification Design, since it was discovered that were mad changes to the boiler's pressurized parts which were not documented in previous periodic safety reports.

Keyword: Boilers, Non-Destructive Evaluations, calculation memorial, Inspection, Occupational Safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Representação em corte de Caldeira Flamotubular Vertical. Fonte: (Adaptado de Martinelli, 2008).	4
Figura 2.2. Representação em corte de Caldeira Flamotubular do tipo Escocesa. Fonte: (Adaptado de Martinelli, 2008).	5
Figura 2.3. Representação em corte de Caldeira Flamotubular a lenha. Fonte: (Adaptado de Martinelli, 2008).	6
Figura 2.4. Gel acoplante, sensor e medidor de espessura por ultrassom, respectivamente. Fonte: Autoria Própria (2023).	14
Figura 2.5. Procedimento de auto calibração do medidor de espessura. Fonte: Autoria Própria (2023).	15
Figura 3.1. Placa de identificação da Caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	18
Figura 3.2. Vista externa do tubulão da primeira passagem dos gases. Fonte: Autoria Própria (2023).	19
Figura 3.3. Vista de estrutura de suporte interno da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	19
Figura 3.4. Junção do tubulão com espelho traseiro da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	20
Figura 3.5. Vista externa de um dos tubos da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	20
Figura 3.6. Vista externa de um dos tubos da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	20
Figura 3.7. Casa da Caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	21
Figura 3.8. Visor de nível. Fonte: Autoria Própria (2023).	21
Figura 3.9. Sistema de injeção de água. Fonte: Autoria Própria (2023).	22
Figura 3.10. Manômetro e Pressostato. Fonte: Autoria Própria (2023).	22
Figura 3.11. Quadro elétrico de acionamento. Fonte: Autoria Própria (2023).	23
Figura 3.12. Uma das válvulas de segurança (à esquerda) e placas de identificação das duas válvulas. Fonte: Autoria Própria (2023).	23
Figura 3.13. Interior da fornalha. Fonte: Autoria Própria (2023).	24
Figura 3.14. Espelho traseiro e alteração realizada na caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	25
Figura 3.15. Tubos que conectam a estrutura ao interior do costado da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	25

Figura 3.16. Imagens do interior da caldeira, que apresenta incrustações nos tubos. Fonte: Autoria Própria (2023)	26
Figura 3.17. Medições de espessura no espelho frontal da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023)	27
Figura 3.18. Medições de espessura no espelho traseiro da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023)	27
Figura 3.19. Medições de espessura no costado da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023)....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Tabela relacionando os END a possíveis mecanismos de deterioração. Fonte: ResumoEscola, adaptado (2023).	8
Tabela 3.1. Tabela contendo dados da placa da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).	17
Tabela 3.2. Checklist dos itens referentes a caldeiras dispostos na NR 13. Fonte: Autoria Própria (2023).	28

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	3

CAPÍTULO II

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
2.1 CALDEIRAS FAMOTUBULARES.....	4
2.2 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	7
2.2.1 Inspeção Visual	8
2.2.2 Ensaio de Líquido Penetrante	9
2.2.3 Ensaio de Medição de Espessura por Ultrassom	10
2.3 NORMAS TÉCNICAS E LEGISLAÇÃO	11

CAPÍTULO III

RESULTADOS	15
3.1 RELATÓRIO DE INSPEÇÃO CONFORME O ITEM 13.4.4.12 DA NR 13	15

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES.....	31
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
5.2 TRABALHOS FUTUROS	32

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Caldeiras a vapor, segundo a Norma Regulamentadora 13 (NR 13), são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando diversas fontes de energia, projetados conforme códigos pertinentes, como os produzidos pela American Society of Mechanical Engineers (ASME). Estes equipamentos podem ser encontrados amplamente no âmbito industrial, desde o setor têxtil, químico até mesmo petrolífero ou na indústria de alimentos (FÜHR, 2016).

Existem caldeiras que utilizam óleos minerais ou outros produtos orgânicos sintéticos, porém o vapor apresenta algumas vantagens por apresentar alto calor específico, além de ampla disponibilidade de água (BAZZO, 1995). O vapor gerado por estes equipamentos é utilizado para diversos serviços, seja para troca térmica ou para geração de trabalho ou acionamentos mecânicos diversos. A caldeira tem como princípio básico de funcionamento o aquecimento da água por meio de troca térmica entre a queima do combustível e a água, elevando a pressão e temperatura no interior do equipamento até os níveis desejados para operação.

De acordo com Altafani (2002), caldeira é o nome popular dado aos equipamentos geradores de vapor, cuja aplicação é ampla no meio industrial como também na geração de energia elétrica. Estes geradores de vapor podem ser classificados em diversas maneiras: quanto à disposição de água em relação aos gases; quanto à energia empregada no aquecimento; quanto sua montagem; quanto à sua sustentação, quanto à circulação de água; ou quanto ao sistema de tiragem (NOGUEIRA et al., 2005). A Norma Regulamentadora 13 classifica as caldeiras como categoria A aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²) ou B aquelas cuja pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²) e inferior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²). Porém, a nomenclatura mais amplamente utilizada é quanto à disposição da água em relação aos gases, podendo então as caldeiras serem Aquatubulares ou Flamotubulares. Também existem caldeiras que utilizam os dois sistemas, sendo denominadas de caldeiras mistas.

Conforme explanado por Bazzo (1995), em caldeiras aquatubulares, a água circula por dentro de tubos e, frequentemente, são adaptadas em unidades equipadas com economizadores e superaquecedores. Já as caldeiras flamotubulares apresentam os gases de combustão no interior dos tubos e sua aplicação é restrita apenas às operações que admitem o uso de vapor saturado.

Estes equipamentos, no entanto, por operarem com pressões de até 20 vezes a pressão atmosférica em aplicações industriais, ou até mesmo 100 a 250 vezes a pressão atmosférica em aplicações de geração de energia elétrica, apresentam um risco iminente na sua operação (ALTAFANI, 2002). Devido a este risco constante, a manutenção regular e reparos precisos com tecnologias adequadas são de extrema importância (ARANDELOVIC, 2020).

De acordo com Bazzo (1995), existem diversos fatores que podem afetar a vida útil do equipamento, como mudanças de estrutura do material, seja por ação de corrosão ou pela exposição prolongada a superaquecimentos, gerando um maior risco de acidente à medida que a tensão admissível do material diminui.

Em 1905, a explosão de uma caldeira em Massachusetts nos Estados Unidos matou 58 pessoas, despertando um maior interesse da sociedade para elaboração de normas mais rigorosas a fim de evitar acidentes como o ocorrido. No Brasil, as empresas e indústrias que possuem caldeiras devem adotar os procedimentos estabelecidos na Norma Regulamentadora 13, que fornece orientações fundamentais e específicas para a segurança na operação de caldeiras e vasos de pressão (BEUX, 2014).

A NR 13 determina que as caldeiras devem ser submetidas a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária. A inspeção inicial deve ser feita em caldeiras novas, antes da entrada em funcionamento, no local definitivo de instalação, devendo compreender exame interno e externo e teste de pressão. Já a inspeção periódica deve ser executada conforme prazos definidos e deve conter exames internos e externos. A inspeção extraordinária deve ser realizada apenas em situações fora das condições padrões do equipamento, como por exemplo, sempre que a caldeira sofrer algum acidente, dano ou outra ocorrência capaz de comprometer sua segurança, ou quando a caldeira for submetida a alterações ou reparos capazes de alterar suas condições de segurança.

De acordo com Migliacavacca (2019), a maioria métodos utilizados para determinar as condições de integridade de diversos componentes dos equipamentos de uma caldeira, são compostos por Ensaios Não Destrutivos (ENDs) que são selecionados de acordo com fatores

como aplicabilidade, restrições custos, entre outros. Estes ensaios são compostos de técnicas amplamente utilizadas nas análises de falhas, tendo como finalidade detectar características e verificar propriedades mecânicas dos materiais (OLIVEIRA, 2019).

Estas avaliações devem estar contidas dentro do relatório de inspeção de segurança periódico das caldeiras, conforme especificado na NR 13, em seu item 13.4.4.12. Este relatório deve possuir, também, um parecer conclusivo quanto à integridade do equipamento, atestando se a caldeira pode operar em segurança até a próxima inspeção que deve respeitar os prazos estabelecidos pela própria NR 13.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivos Gerais

Este trabalho propõe elaborar um relatório de inspeção periódica em uma caldeira mista em uma indústria têxtil no agreste Pernambucano.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar levantamento da documentação existente, conforme solicitado na NR 13;
- Realizar ensaios não destrutivos e testes necessários para atestar as condições estruturais do equipamento;
- Elaborar relatório de inspeção conforme o item 13.4.4.12 da NR 13;
- Determinar se a caldeira está apta para operação na PMTA estipulada para sua operação;

CAPÍTULO II

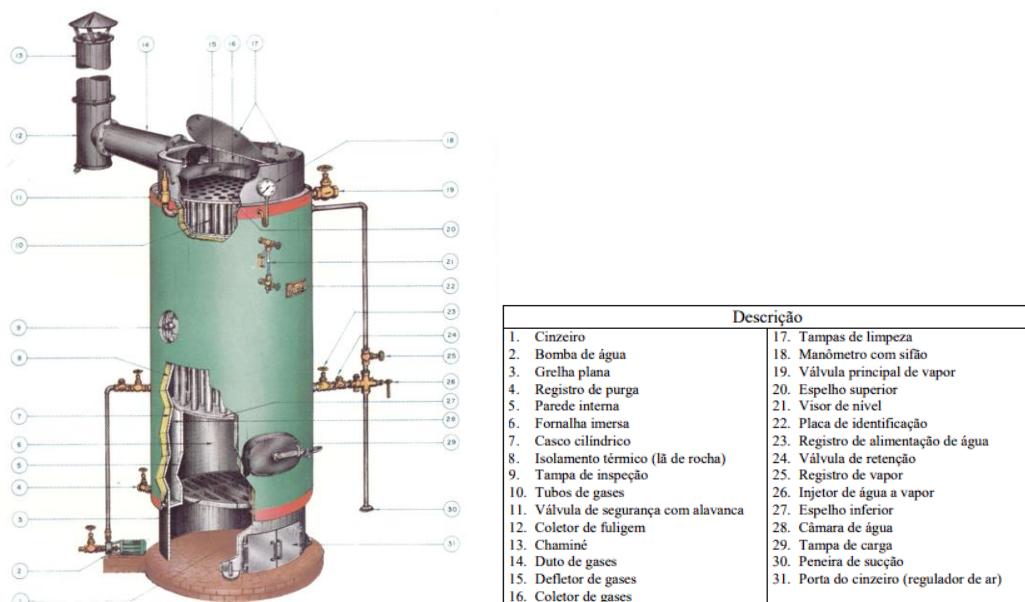
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E METODOLOGIA

2.1. Caldeiras Flamotubulares

As caldeiras flamotubulares, também conhecidas como Pirotubulares, Fogotubulares, são aquelas em que os gases da combustão atravessam a caldeira no interior de tubos que se encontram circundados por água, consequentemente trocando calor com o fluido (SOEIRO, 2005). Dentre estas, existem vários métodos para sua classificação, porém podemos dividi-las basicamente em Verticais e Horizontais. A NR 13 classifica também as caldeiras baseados nos seus níveis de pressão de operação, sendo categoria A aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²) ou B aquelas cuja pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²) e inferior a 1.960 kPa (19,98 kgf/cm²).

As caldeiras verticais, como por exemplo a da figura 2.1, são do tipo monobloco, constituída por corpo cilíndrico fechado nas extremidades por placas planas chamadas de espelhos. Por serem facilmente transportadas e por serem compactas, apresentam aplicações variadas, porém, apresentam também baixa capacidade de geração de vapor e baixo rendimento térmico (MARTINELLI, 2008).

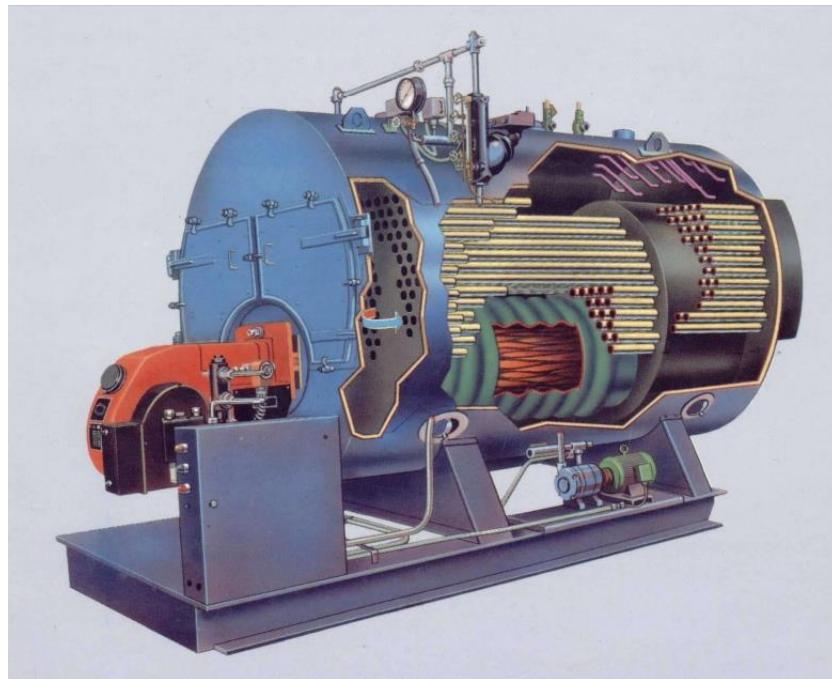
Figura 2.1. Representação em corte de Caldeira Flamotubular Vertical. Fonte: (Adaptado de Martinelli, 2008).



Existem diversos tipos de caldeiras flamotubulares horizontais, sendo a mais avançada e evoluída a caldeira do tipo Escocesa. Esta consiste em um corpo cilíndrico que contém um tubulão sobre o qual existe um conjunto de tubos de menor diâmetro. Comumente, são encontradas câmaras de combustão de tijolos refratários na parte posterior, que recebem os gases produtos da combustão e os conduzem para a parte traseira da caldeira (SOEIRO, 2005).

Normalmente essas caldeiras operam com circulação forçada nos gases de combustão, alcançando rendimento térmico elevado, chegando a 83% e podem chegar a produzir até 10 toneladas de Vapor por hora, com pressões de operação de até 18 kgf/cm² (SOEIRO, 2005). Uma representação deste tipo de caldeira pode ser observada na figura 2.2.

Figura 2.2. Representação em corte de Caldeira Flamotubular do tipo Escocesa. Fonte: (Adaptado de Martinelli, 2008).



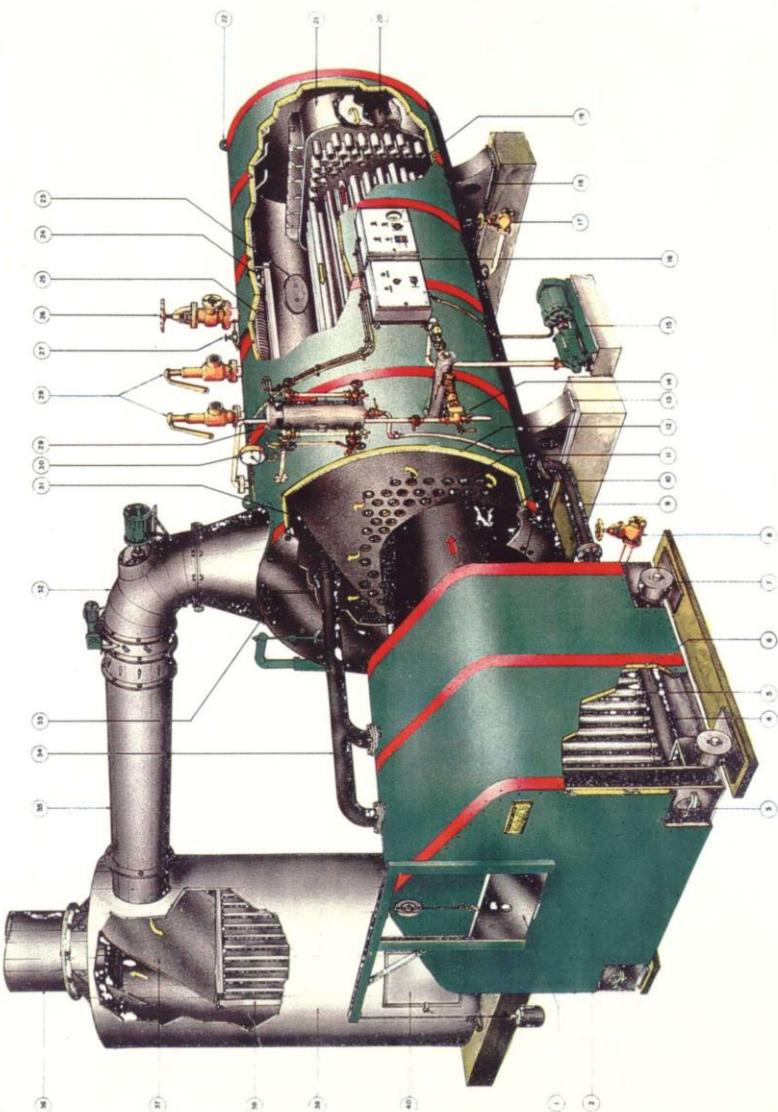
Estas caldeiras geralmente apresentam forma compacta, incorporando em um só volume quase todos os componentes. Seu corpo ou Costado é formado por um cilindro de chapa de aço carbono, sendo o componente mais importante da caldeira sob o ponto de vista de segurança, pois é quem isola o produto aquecido do meio externo e suporta toda a pressão do vapor (ALTAFINI, 2002).

A fornalha é um duto também circular ou oval que ocorre a primeira passagem dos gases de exaustão ou queima do combustível, podendo ser lisa ou corrugadas. Os espelhos são os discos de aço carbono dotados de furos nos quais são fixadas as extremidades do feixe tubular

e da fornalha, sendo também soldados ao costado, vedando o vaso de pressão que contém a água e a câmara de vapor da caldeira.

As caldeiras flamutubulares que queimam lenha normalmente são consideradas mistas, pois a fornalha é constituída por tubos de água que ficam em contato direto com as chamas da combustão da lenha, conforme demonstrado na figura 2.3,

Figura 2.3. Representação em corte de Caldeira Flamotubular a lenha. Fonte: (Adaptado de Martinelli, 2008).



Como explanado por Trevelim (2013), as caldeiras devem possuir no mínimo os seguintes instrumentos para controle e operação: Manômetro, Válvulas de Segurança, Sistemas de alimentação de água, indicador de nível, outras válvulas. Os manômetros possuem o objetivo de registrar a pressão que o vapor está exercendo no interior da caldeira.

As caldeiras devem possuir ao menos uma válvula de alívio da pressão, devendo as caldeiras com mais de 47 m² de área de trocas térmicas apresentar duas ou mais válvulas de alívio, conforme especificado no PG-67.1 da ASME Sec. I. De Acordo com a NR 13, as caldeiras devem dotar de válvulas de segurança com pressão de abertura ajustada em valor igual ou inferior à pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA), devendo também ser respeitados os requisitos do código de construção relativos a aberturas escalonadas e tolerâncias de pressão de ajuste.

Para garantir que o nível de pressão não se eleve acima dos níveis normais de operação do equipamento, as caldeiras devem estar providas de dispositivos auxiliares como bombas, injetores e acionadores automáticos que garantam o pleno funcionamento do processo de geração de vapor (TREVELIM, 2013).

2.2 Ensaios Não Destrutivos

Os ensaios não destrutivos (END) são procedimentos e técnicas de inspeção utilizadas a fim de avaliar a integridade física de materiais e equipamentos sem danificá-los, portanto, sem interferir na sua funcionalidade e uso posterior (FERRARESI, 2023). Esses ensaios são realizados a fim de identificar a existência ou não de descontinuidades ou defeitos no material, seja em materiais acabados ou semiacabados (SILVA, 2019). Um defeito nada é mais é do que uma descontinuidade que torna a peça imprópria para uso por conta de sua natureza, tipo, dimensões ou efeitos acumulados, por não satisfazer requisitos mínimos das normas ou padrões de qualidade aplicáveis (OLIVEIRA, 2019). Uma descontinuidade consiste em uma interrupção da estrutura típica de uma peça, no que se refere à homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas de um material (FERRARESI, 2023).

Desta forma, a principal característica das técnicas de ensaios não destrutivos é de demonstrar informações sobre as condições físicas, descontinuidades e defeitos, sendo também úteis para monitorar a taxa de degradação de equipamentos e materiais a partir de uma indicação (FERRARESI, 2023). A tecnologia e aplicação dos END permitem uma melhor detecção das descontinuidades nos materiais, elevando a qualidade dos produtos gerados na indústria do setor de vasos de pressão (OLIVEIRA, 2019).

Existem diversas técnicas de ensaios não destrutivos, sendo os principais os ensaios de Correntes Parasitas, Emissão Acústica, Radiografia, Radioscopia, Gamagrafia, Ensaio

Visual, Estanqueidade, Líquido Penetrante, Partículas Magnéticas, Ultrassom e Termografia (FERRARESI, 2023). A determinação da técnica a ser utilizada para inspeção deve se basear em vários fatores, como tipo de material a ser testado, processos de fabricação envolvidos, geometrias dos objetos, tipos de descontinuidades mais prováveis, entre outros (FERRARESI, 2023).

Tabela 2.1. Tabela relacionando os END a possíveis mecanismos de deterioração. Fonte: ResumoEscola, adaptado (2023).

Mecanismos de Deterioração	Tipo de Descontinuidade	Locais mais prováveis	END mais indicado
Fadiga	Microtrincas superficiais	Pontos de concentração de tensão	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes
Fluência	Trincas superficiais e deformações	Regiões de altas temperaturas com carregamento de tensões	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes, Dimensional e Medição e Espessura
Choque Térmico	Trincas superficiais	Locais sujeitos a grandes variações de temperaturas	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes
Corrosão Sob Tensão	Perda de material	Pontos de concentração de tensões e meio propício	Medição de Espessura ou Radiografia/Gamagrafia
Corrosão	Trincas superficiais e alterações microestruturais	Frestas, sob depósitos, regiões com tensões diferenciais, bocais de pequenos diâmetros, locais com deficiência na proteção superficial	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes e Medição e Espessura
Deterioração pelo hidrogênio	Trincas superficiais e internas	Chapas com segregações, tensões diferenciais e dupla laminação	Medição de Espessura ou Radiografia/Gamagrafia
Erosão	Perda de material	Regiões de mudança de fluxo, região com turbulência, bocais de pequeno diâmetro e equipamentos que trabalhem com fluidos abrasivos	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes, Ultrassom, Metalografia e Dureza
Alterações Metalúrgicas	Trincas superficiais e internas e alterações microestruturais	Pontos de concentração de tensão e/ou regiões quentes	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes, Ultrassom, Metalografia e Dureza
Sobrepressão	Trincas superficiais e internas	Pontos de concentração de tensões	Partículas Magnéticas ou Líquidos Penetrantes e Ultrassom

2.2.1 Inspeção Visual

A inspeção visual é o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, estando também associado a outros ensaios (OLIVEIRA, 2019). Este tipo de inspeção é um dos ensaios mais utilizados e de fácil aplicação, com resultados rápidos e de baixo custo, devendo também ser utilizados equipamentos auxiliares como espelhos, endoscópios ou lentes de aumento para auxiliar no processo (ANDRADE, 2018).

Este tipo de inspeção está presente constantemente presente no processo industrial, trazendo simplicidade de realização e baixo custo operacional, porém deve requerer técnica apurada e procedimentos básicos que devem ser conhecidos e corretamente aplicados (OLIVEIRA, 2019).

Para as caldeiras, a inspeção visual é uma técnica fundamental para identificar possíveis defeitos ou fragilidades nos tubos, soldagens, conexões, flanges, entre outros dispositivos e componentes. As condições encontradas através desta análise, são normalmente seguidas de inspeções mais detalhadas para determinar o grau de deterioração do equipamento (API, 2003). De acordo com Guia de Inspeção de Caldeiras realizado pelo Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (2020), a inspeção externa da Caldeira consiste na realização de avaliações visuais de diversos componentes como escadas, plataformas e passadiços, fundações, suportes externos, chaparia e isolamentos, câmaras de combustão e verificação de vazamentos.

2.2.2 Ensaio de Medição de Espessura por Ultrassom

De acordo com o Guia de Inspeção de Caldeiras elaborado pelo instituto Brasileiro de Petróleo e Gás (2020), os ensaios de medição de espessura com ultrassom são essenciais para manter um controle da vida útil dos tubos, detecção de desgastes anormais e para confirmar a Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA) dos componentes da caldeira. A determinação da espessura das chapas e dos tubos de uma caldeira é uma parte essencial da inspeção, podendo identificar e monitorar os mecanismos de deterioração dos componentes (API, 2003).

Este tipo de ensaio é uma técnica amplamente utilizada dentro dos END, sendo os primeiros medidores de espessuras comerciais sendo introduzidos no mercado no final de 1940, surgindo equipamentos portáteis otimizados apenas nos anos 70. Em geral, este ensaio permite a medição de qualquer material comum na engenharia, exceto madeira, papel, betão e outros produtos de espuma (PEREIRA, 2013).

Esta técnica consiste na utilização de ondas ultrassônicas para determinação da espessura do material a ser ensaiado. Ondas ultrassônicas são ondas mecânicas que se propagam em meios elásticos, ou seja, materiais com capacidade de se deformar ao sofrer algum esforço e voltar a sua forma original após o esforço ser cessado (OLIVEIRA, 2019). As ondas ultrassônicas são transferidas ao material através de transdutores, feitos de materiais piezelétricos que possuem capacidade de se contrair e expandir continuamente, após submetidos a uma diferença de potencial de fonte pulsada (FRANÇA, 2015).

Os medidores de espessura por ultrassom são aparelhos simples que medem o tempo do percurso sônico no interior do material, através da espessura, registrando em sua interface o espaço percorrido, portanto, a própria espessura. São aparelhos bastante úteis para medição dessa grandeza em chapas, tubos e outros equipamentos industriais (ANDREUCCI, 2008). Este equipamento também deve ser sempre calibrado antes de sua utilização, utilizando blocos com espessuras calibradas e de mesmo material a ser medido, com ajuste correto da propagação do som no aparelho (ANDREUCCI, 2008).

Uma vez acoplado o transdutor sobre a peça a ser inspecionada, uma camada de ar se estabelece entre a sapata do transdutor e a superfície da peça, impedindo que as vibrações mecânicas produzidas se propagem para peça, devido as impedâncias acústicas distintas, sendo necessária a utilização dos líquidos acoplantes para possibilitar essa propagação (OLIVEIRA, 2019).

Para as inspeções em caldeiras, a utilização de planos para prospecção das medidas por ultrassom sistematiza e simplifica as atividades, porém, este deve ser individualizado para cada caldeira, levando em conta fatores como sua concepção, idade, histórico de corrosão, entre outros (IBP, 2020).

As medições de espessura são de extrema importância para a determinação do cálculo da Pressão Máxima de Trabalho Admissível do equipamento, visto que essa pressão é determinada através de cálculo utilizando a espessura mínima encontrada no equipamento.

2.3 Normas Técnicas e Legislação

A Norma Regulamentadora 13, publicada pela portaria MTb n.º3.214 de 08 de junho de 1978 estabelece os requisitos mínimos para a gestão de integridade estrutural de equipamentos como caldeiras, vasos de pressão, suas tubulações de interligação e tanques metálicos de

armazenamento, determinando os aspectos relacionados as instalações, inspeções, operação e manutenção, tendo como objetivo a segurança e saúde dos trabalhadores.

Conforme especificado no seu item 13.2.1 apenas as caldeiras cuja pressão de operação de 60 kPa (0,61 kgf/cm²) estão enquadradas na NR 13, excluindo caldeiras com volume inferior a cem litros, panelas de cocção, fornos, serpentinas para troca térmica, aquecedores de fluido térmico, entre diversos outros equipamentos listados no item 13.2.2.

Dentro de suas disposições gerais, a NR 13 descreve as situações que caracterizam uma condição de grave e iminente risco, citando dentre elas o atraso na inspeção de segurança periódica de caldeiras, a ausência ou bloqueio dos dispositivos de segurança sem a devida justificativa técnica, ausência ou indisponibilidade operacional de dispositivo de controle do nível de água da caldeira, entre outras situações.

As inspeções de segurança das caldeiras devem ser executadas sob responsabilidade técnica de um PLH, definido como profissional legalmente habilitado no item 13.3.2:

“13.3.2 Para efeito desta NR, considera-se PLH aquele que tem competência legal para o exercício da profissão de engenheiro nas atividades referentes a projeto de construção, acompanhamento da operação e da manutenção, inspeção e supervisão de inspeção de caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento, em conformidade com a regulamentação profissional vigente no País”. Norma Regulamentadora 13.

Conforme especificado no item 13.4.4.1, as caldeiras devem ser submetidas a inspeções de segurança inicial, periódica e extraordinária. A inspeção inicial é realizada em caldeiras novas, antes da entrada em funcionamento, sendo testadas no local definitivo de instalação devendo também conter exames internos, externos e testes de pressão. As caldeiras devem, portanto, serem submetidas a Teste Hidrostático em sua fase de fabricação, com comprovação por meio de laudo assinado por PLH.

A inspeção periódica deve ser constituída também por exames internos e externos, devendo respeitar os prazos máximos estabelecidos no item 13.4.4.4 da NR 13 e no item 13.4.4.5 para estabelecimentos que possuem Serviço Próprio de Inspeção de Equipamentos (SPIE), definido no anexo II da NR 13. Ao completar vinte e cinco anos de uso, a inspeção subsequente deve conter avaliação de integridade com maior abrangência, a fim de determinar sua vida remanescente e novos prazos máximos para inspeção, caso ainda estejam em condições de uso, conforme especificado no item 13.4.4.6.

O item 13.4.4.12 determina que o relatório mínimo de inspeção de segurança deve conter no mínimo:

- a) Dados constantes na placa de identificação da caldeira;
- b) Categoria da Caldeira;
- c) Tipo da Caldeira;
- d) Tipo de Inspeção Executada;
- e) Data de Início e Término da Inspeção;
- f) Descrição das inspeções, exames e testes executados;
- g) Registros fotográficos do exame interno da caldeira;
- h) Resultado das inspeções e intervenções executadas;
- i) Relação dos itens desta NR, relativos a caldeiras que não estão sendo atendidos;
- j) Recomendações e providências necessárias;
- k) Parecer conclusivo quanto à integridade da caldeira até a próxima inspeção;
- l) Data prevista para a próxima inspeção de segurança da caldeira;
- m) Nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do PLH e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção; e
- n) Número do certificado de inspeção e teste da válvula de segurança.

O item 13.4.1.5 da NR 13 define a documentação mínima que toda caldeira deve possuir no estabelecimento onde está instalada, dentre eles podemos citar o prontuário da caldeira fornecido por seu fabricante, registro de segurança, projeto de instalação, projeto de alteração ou reparo, relatórios de inspeção de segurança e certificados de inspeção e teste dos dispositivos de segurança. Cada item deve conter informações mínimas necessárias para garantir a segurança da operação da caldeira.

O prontuário da caldeira deve conter no mínimo o código de construção utilizado para projeto do equipamento e seu ano de edição; especificação dos materiais utilizados, procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final; metodologia utilizada para estabelecimento da PMTA; registros da execução de testes hidrostáticos de fabricação; conjunto de desenhos e demais dados necessários ao monitoramento da vida útil da caldeira; características funcionais; dados dos dispositivos de segurança; ano de fabricação e categoria da caldeira. Este prontuário caso não existente ou extraviado deve ser reconstituído pelo empregador, devendo apresentar responsabilidade técnica de um Profissional Legalmente Habilitado, devendo conter também memorial de cálculo da PMTA além da reconstituição das características funcionais da caldeira e seus dispositivos de segurança utilizados, conforme especificado no item 13.4.1.6 da NR 13.

Além do prontuário e dos demais documentos descritos acima, a caldeira deve também apresentar manual de operação em língua portuguesa em local de fácil acesso aos operadores contendo informações como procedimentos operacionais de partidas, paradas, de emergência e gerais de segurança, além de seus parâmetros operacionais de rotina, como determinado no item 13.4.3.1.

A Norma Regulamentadora 13 cita também em seu item 13.3.4 que a inspeção dos equipamentos enquadrados na norma deve ser respaldada por exames e testes, sendo definido pelo Profissional Legalmente Habilitado, devendo ser observado o disposto em códigos ou normas aplicáveis.

Para Caldeiras, o código mais utilizado e seguido foi elaborado pela Sociedade Americana de Engenharia Mecânica, que elaborou o BPVC (*Boiler & Pressure Vessel Code*) em 1915, que dispõe sobre os aspectos construtivos a serem seguidos para Caldeiras, Vasos de Pressão, entre outros. A ASME BPVC Seção I traz em seu conteúdo todos os pré-requisitos para a construção de equipamentos como caldeiras de alta e baixa pressão, trocadores de calor com fase líquida, além dos dispositivos auxiliares destes sistemas.

Em seu item PG-90, o código ASME BPVC Seção I em sua edição do ano 2023 traz as instruções a serem seguidas acerca da inspeção nos equipamentos descritos nesta norma. Além de diversas ações referente a rastreabilidade dos materiais e garantia de qualidade dos procedimentos utilizados na fabricação, a norma detalha o procedimento de alguns dos testes necessários para garantir a integridade do equipamento.

O teste hidrostático é definido no item PG-99, que define que a caldeira após concluirá, deve ser submetida a um teste hidrostático utilizando água a temperatura igual ou maior a temperatura ambiente (20°C) e com pressão não menor que 1.5 vezes a Pressão Máxima de Trabalho Admissível.

A *American Petroleum Institute* publicou em fevereiro de 2003 a segunda edição das práticas recomendadas de número 573 sobre a inspeção de caldeiras e trocadores de calor a combustão, definindo também procedimentos e periodicidade dos testes a serem realizados em diferentes cenários. Em seu item 5.3, o documento define que o propósito da inspeção em um sistema de confiabilidade é garantir as informações necessárias sobre os tubos e equipamentos das caldeiras a fim de garantir uma análise razoável sobre a integridade estrutural dele. A partir destas análises, poderão então ser definidos parâmetros como vida remanescente dos ativos,

prazos para novas inspeções e até mesmo o planejamento preventivo de reparos ou manutenções de maneira efetiva.

Em seu item 9, a API 573 recomenda uma série de informações sobre as inspeções a serem realizadas na parte externa de caldeiras e trocadores de calor, listando os ensaios mais usados como inspeção visual, medição de espessura das chapas, medição das circunferências dos tubos, entre outros.

2.4 Metodologia

Para elaboração do relatório serão realizados ensaios não destrutivos a fim de determinar a aptidão do equipamento para operação dentro da Pressão Máxima de Trabalho Admissível.

O ensaio de boroscopia industrial será realizado utilizando um boroscópio com câmera e LED dimerizável conectado a um smartphone para registro das imagens internas da Caldeira estudada. O ensaio consistirá na observação interna da caldeira a partir do orifício da válvula de segurança da caldeira, onde poderão ser observados os componentes internos do equipamento a fim de identificar possíveis fissuras, danos ou anormalidades.

O ensaio de medição por ultrassom foi realizado com o auxílio do aparelho MTK-1310, demonstrado na figura 2.4, sendo primeiro realizada uma preparação da superfície a ser ensaiada a fim de remover camadas de oxidação ou sujidades que possam interferir na medição adequada da espessura do material, além da auto calibração do aparelho, demonstrado na figura 2.5

Figura 2.4. Gel acoplante, sensor e medidor de espessura por ultrassom, respectivamente. Fonte: Autoria Própria (2023).



Serão realizadas medições de espessuras em ambos os espelhos, e na superfície inferior do corpo (ou costado) do equipamento a fim de identificar as espessuras mínimas encontradas.

Com isso, estas espessuras servirão para avaliarmos a aptidão do equipamento para operar dentro da PMTA estipulada pelo fabricante.

Figura 2.5. Procedimento de auto calibração do medidor de espessura. Fonte: Autoria Própria (2023).



O aparelho deve ser sempre ajustado utilizando seu bloco padrão de 4 milímetros a fim de garantir o maior grau de exatidão nas medições a serem realizadas.

Baseadas nestas informações, podem ser calculadas as espessuras mínimas, como também PMTA do equipamento, conforme memorial de cálculos especificados na ASME BPVC Seção I, edição 2023. O cálculo deve ser realizado considerando tanto as espessuras encontradas nos espelhos, quanto no costado da caldeira, analisando qual é a espessura mais crítica para determinar a aptidão do equipamento para operação dentro da PMTA estipulada do fabricante.

Para o cálculo da espessura mínima para os espelhos, são utilizadas as fórmulas e metodologia utilizada na PG-46.1, que determina as seguintes equações:

$$t = p \sqrt{\frac{P}{SC}} \quad (2.1)$$

$$P = \frac{t^2 SC}{p^2} \quad (2.2)$$

C – Coeficiente que pode variar de 2.1 até 3.2, baseado no tipo de estaios utilizados na construção da caldeira. Esse valor deve ser determinado conforme descrito na PG-46.1 da ASME BPVC Seção I, edição 2023.

P – Pressão Máxima de Trabalho Admissível indicada no prontuário e placa de identificação da caldeira.

p - Passo máximo medido em linha reta passando pelos centros dos estaios;

S – Tensão admissível do material conforme ASME Seção II, Parte D, subparte 1, Tabela 1A, devendo ser observado no prontuário o material utilizado na construção dos espelhos da caldeira;

t – Espessura mínima da chapa encontrada a partir do ensaio de Medição de Espessura por ultrassom.

Já para o cálculo das espessuras mínimas do costado, deveremos seguir a PG-27.2.2 da ASME BPVC Seção I, edição 2023:

$$t = \frac{PD}{2SE+2yP} + C \quad (2.4)$$

$$P = \frac{2SE(t-C)}{D-2y(t-C)} \quad (2.5)$$

C – Tolerância mínima para estabilidade estrutural ou para estruturas rosqueadas, conforme PG-27.4.3;

D – Diâmetro externo do costado;

E – Eficiência conforme determinado no PG-27.4.1;

P - Pressão Máxima de Trabalho Admissível indicada no prontuário e placa de identificação da caldeira.

S – Tensão admissível do material conforme ASME Seção II, Parte D, subparte 1, Tabela 1A. devendo ser observado no prontuário o material utilizado na construção do costado da caldeira;

y – Coeficiente de temperatura conforme especificado no PG-27.4.6.

t – Espessura mínima da chapa encontrada a partir do ensaio de Medição de Espessura por ultrassom,

CAPÍTULO III

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.1 Relatório de inspeção conforme o item 13.4.4.12 da NR 13;

- a) Dados constantes na placa de identificação da caldeira;

A placa de identificação contém as informações descritas na tabela abaixo, conforme demonstrado na figura 3.1.

Tabela 3.1. Tabela contendo dados da placa da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).

Dados de Placa	
Informações necessárias de acordo com item 13.4.1.3	
Nome do Fabricante	ATA COMBUSTÃO TÉCNICA S.A.
Nº de Ordem dado pelo fabricante da caldeira	6570
Ano de fabricação	1984
Pressão Máxima de Trabalho Admissível (PMTA)	120 psig ou 8,44 kgf/cm ²
Capacidade de Produção de Vapor	1.000 kg/h
Área de superfície de aquecimento	31 m ²
Código de construção e ano de edição	ASME I
Informações Adicionais	
Tipo	Flamotubular
Modelo	ATA 08 H3
Pressão de teste hidrostático (TH)	180 psig ou 12,66 kgf/cm ²
Categoria	B

Figura 3.1. Placa de identificação da Caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



b) Categoria da Caldeira;

Categorização conforme item 13.4.1.1 da NR 13: **Categoria B** - caldeiras da categoria B são aquelas cuja pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61 kgf/cm²) e inferior a 1 960 kPa (19,98 kgf/cm²).

c) Tipo da Caldeira;

Caldeira Flamotubular do tipo Escocesa à lenha.

d) Tipo de Inspeção Executada;

Inspeção de Segurança Periódica.

e) Data de Início e Término da Inspeção;

A inspeção foi realizada nos dias 15/10/2023 e 19/10/2023.

f) Descrição das inspeções, exames e testes executados;

Foram realizadas inspeções visuais nas condições gerais da caldeira, observando elementos como os componentes auxiliares como as tubulações, bomba de alimentação, condições do quadro elétrico, suportes externos, isolamento térmico, existência de vazamentos e condições internas da fornalha.

O ensaio de líquido penetrante foi realizado a fim de identificar possíveis trincas ou descontinuidades nas soldas que unem os tubos aos espelhos, sendo ensaiados ambos os lados da caldeira.

O ensaio utilizando o endoscópio tem como objetivo verificar as condições internas da caldeira, analisar a questão de incrustações na superfície externa dos tubos, estado da corrosão

A medição de espessura é de extrema importância para determinar se o equipamento está apto para operar dentro da PMTA estipulada. Foram realizadas medições de espessura no costado (ou casco), espelhos e nos tubos.

g) Registros fotográficos do exame interno da caldeira;

A inspeção interna da caldeira foi realizada com auxílio de um boroscópio industrial para visualização do nível de corrosão na superfície externa dos tubos e tubulão, e condições gerais do corpo (ou costado) do equipamento, demonstrado abaixo das figuras 3.2 a 3.6.

Figura 3.2. Vista externa do tubulão da primeira passagem dos gases. Fonte: Autoria Própria (2023).



Figura 3.3. Vista de estrutura de suporte interno da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



Figura 3.4. Junção do tubulão com espelho traseiro da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



Figura 3.5. Vista externa de um dos tubos da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



Figura 3.6. Vista externa de um dos tubos da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023)



h) Resultado das inspeções e intervenções executadas;

I. Inspeção Visual

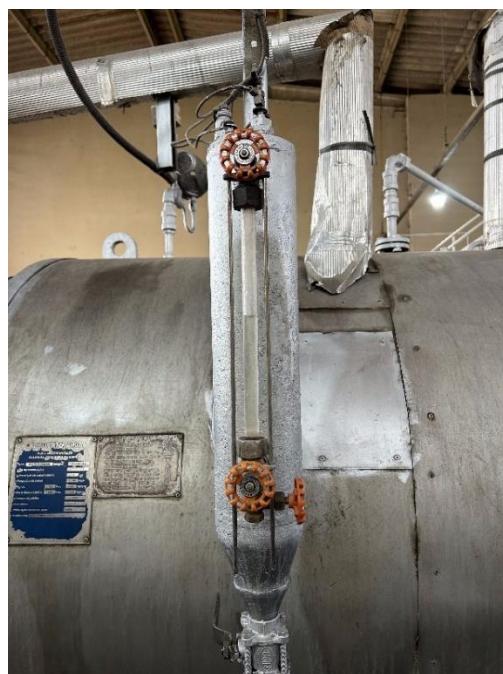
A caldeira se encontra em bom estado de conservação, podendo ser observada a presença dos dispositivos de segurança desobstruídos e funcionando corretamente, conforme a figura 3.7.

Figura 3.7. Casa da Caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



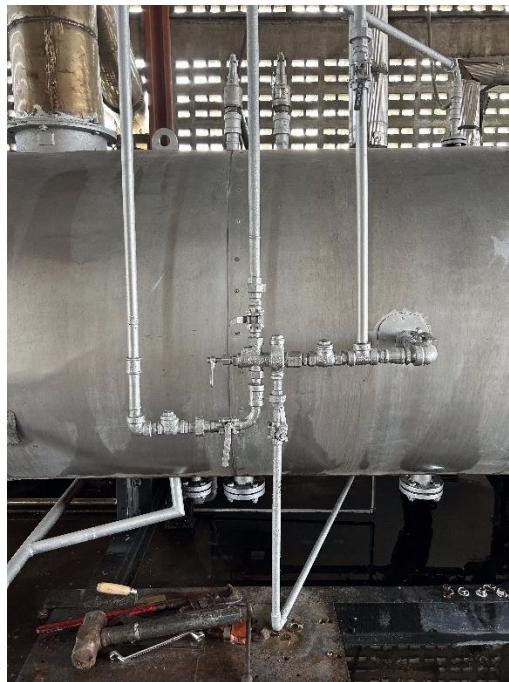
O visor de nível está em bom estado de conservação e funcionando corretamente, como comprovado na figura 3.8.

Figura 3.8. Visor de nível. Fonte: Autoria Própria (2023).



O sistema de injetor de água, da figura 3.9, está funcionando normalmente, com o sistema de abastecimento independente da água além da motobomba elétrica, conforme especificado na alínea “c” do item 13.4.1.2.

Figura 3.9. Sistema de injeção de água. Fonte: Autoria Própria (2023).



O manômetro e termostato, demonstrados na figura 3.10, se encontram em bom estado de conservação, porém não apresentam certificados de calibração.

Figura 3.10. Manômetro e Pressostato. Fonte: Autoria Própria (2023).



O painel elétrico está operacional, porém foi sugerido que sejam identificados os comandos a fim de facilitar a compreensão dos comandos da caldeira, demonstrado na figura 3.11.

Figura 3.11. Quadro elétrico de acionamento. Fonte: Autoria Própria (2023).



As válvulas de segurança foram inspecionadas e ajustadas conforme solicitado na NR 13, como pode ser observada na placa de identificação do equipamento na figura 3.12.

Figura 3.12. Uma das válvulas de segurança (à esquerda) e placas de identificação das duas válvulas. Fonte: Autoria Própria (2023)



Não foram identificados avarias ou problemas construtivos na fornalha da caldeira, como avarias nos tubos, deformações ou vazamentos, apresentado na figura 3.13.

Figura 3.13. Interior da fornalha. Fonte: Autoria Própria (2023).



A caldeira possui em seu espelho traseiro uma alteração construtiva não documentada nos relatórios de inspeção anteriores, também não apresentando Projeto de Alteração conforme determinado no item 13.3.7.4 da NR 13. Devido ao desgaste acelerado do material refratário normalmente encontrado para a câmara de reversão dos gases para o segundo passe, foi construída uma câmara de aço com tubulações que conectam seu interior a parte pressurizada da caldeira. Esta câmara, por sua vez, apresenta sinais de reparos devido a possíveis trincas em sua estrutura, como pode ser visto na figura 3.14.

Figura 3.14. Espelho traseiro e alteração realizada na caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



A estrutura também contém tubos em ambos os lados que conectam o interior da câmara ao costado da caldeira, seguindo também para uma tubulação de dreno que contém um registro para controlar sua abertura, demonstrado na figura 3.15.

Figura 3.15. Tubos que conectam a estrutura ao interior do costado da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).

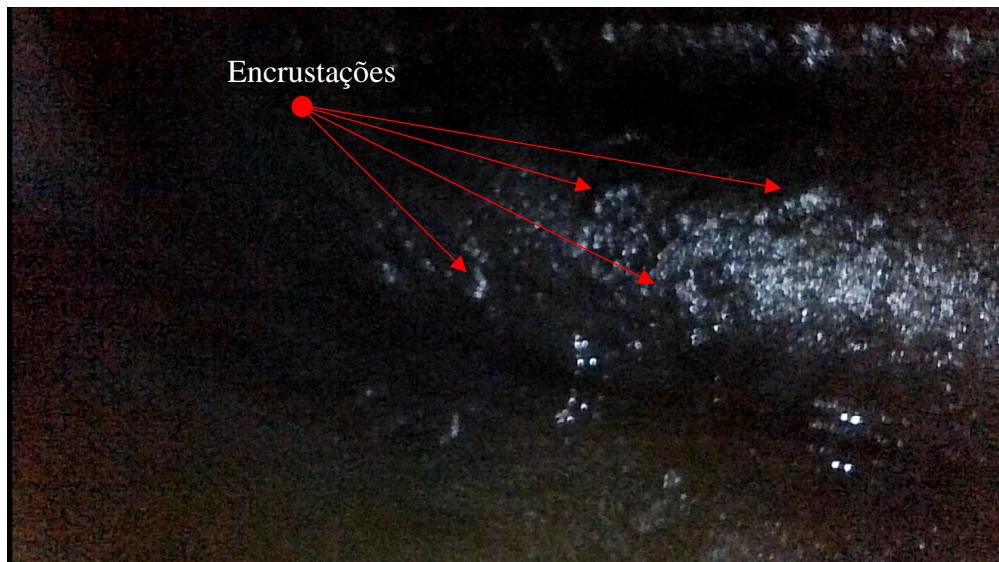


Este tubo, portanto, apresenta um ponto de perda de eficiência térmica, visto que existe a troca de calor com o ambiente externo sem isolamento térmico adequado, sendo também um ponto de risco sob a ótica da segurança do trabalho, podendo causar queimaduras por contato aos operadores ou outros colaboradores devido a falta de sinalização ou indicação que sua

superfície possui temperatura elevada. Portanto, é indicado que seja realizado um projeto de alteração para determinação correta dos materiais utilizados, procedimentos de execução e também a realização de testes para controle da qualidade das soldas realizadas, conforme especificado no item 13.3.7.5 da NR 13.

O ensaio de Boroscopia possibilitou a verificação das condições internas dos tubos, apresentando um nível elevado de incrustações de resíduos advindos da falta do tratamento de água que é alimentada a caldeira, observado na figura 3.16. Em alguns aspectos apresentou também que existe uma corrosão superficial ocorrendo na superfície externa do tubulão da caldeira visto no item B identificado na figura 3.4.

Figura 3.16. Imagens do interior da caldeira, que apresenta incrustações nos tubos. Fonte: Autoria Própria (2023).



O acúmulo de sujidades e incrustações nas superfícies externas dos tubos prejudicam na eficiência da caldeira, reduzindo a superfície de troca de calor entre a água e o metal. Essas incrustações também podem causar o superaquecimento de partes dos tubos, gerando pontos concentradores de calor, acelerando, portanto, o processo de desgaste, podendo causar vazamentos de vapor para o interior dos tubos.

Indica-se, portanto, a análise da viabilidade técnica para realização de uma limpeza química no interior da caldeira a fim de eliminar as sujidades acumuladas na superfície externa dos tubos.

O ensaio de medição de espessura foi realizado conforme descrito na sessão de metodologia deste trabalho, sendo observadas as espessuras mínimas para os espelhos e costado da caldeira.

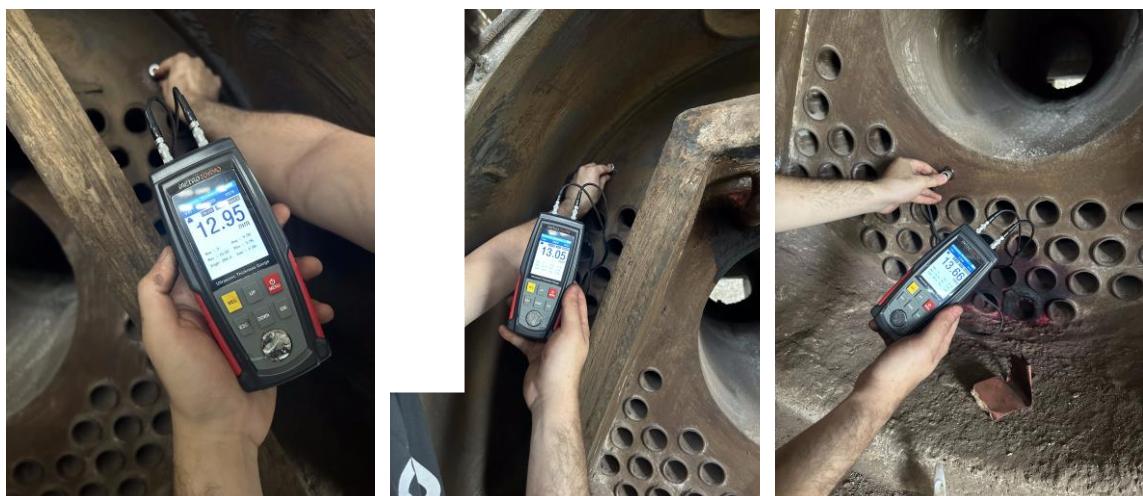
Para o espelho frontal da caldeira, a menor espessura encontrada foi de 13,03 milímetros, conforme observado nas medições demonstradas na figura 3.17.

Figura 3.17. Medições de espessura no espelho frontal da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



Já no espelho posterior, a menor espessura encontrada foi de 12,95 milímetros, portanto para o cálculo da PMTA deverá ser utilizada esta medida com intuito de verificar o ponto crítico do equipamento, como demonstrado na figura 3.18.

Figura 3.18. Medições de espessura no espelho traseiro da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



No corpo da caldeira foram realizadas medições apenas na parte inferior, visto que não existem portas de inspeção no isolamento do equipamento em outros locais, sendo também uma

ação sugerida para ampliar a facilidade da medição de espessura também na parte superior da caldeira. A menor espessura encontrada foi de 12,19 milímetros, conforme figura 3.19

Figura 3.19. Medições de espessura no costado da caldeira. Fonte: Autoria Própria (2023).



i) Relação dos itens desta NR, relativos a caldeiras, que não estão sendo atendidos

Tabela 3.2. Checklist dos itens referentes a caldeiras dispostos na NR 13. Fonte: Autoria Própria (2023).

Item	Descrição sumária	Situação
13.4.1.2 - a	Contém válvula de segurança ajustada em valor igual ou inferior à PMTA	Conforme
13.4.1.2 - b	Contém instrumento que indique pressão do vapor acumulado	Conforme
13.4.1.2 - c	Contém injetor ou sistema de alimentação de água independente do principal	Conforme
13.4.1.2 - d	Contém Sistema dedicado de drenagem rápida de água em caldeiras de recuperação de álcalis	Não se aplica
13.4.1.2 - e	Contém Sistema automático de controle de nível que evite superaquecimento por alimentação deficiente	Conforme
13.4.1.3	Possui placa de identificação conforme item 13.4.1.3	Conforme

13.4.1.5	Apresenta placa de identificação em local visível contendo categoria da caldeira e seu número ou código de identificação	Conforme
13.4.1.5 - a	Possui prontuário com informações descritas na alínea a do item 13.4.1.5	Conforme
13.4.1.5 - b	Possui registro de segurança conforme item 13.4.1.8	Conforme
13.4.1.5 - c	Possui projeto de instalação	Conforme
13.4.1.5 - d	Possui registros de Projetos de Alteração ou Reparos	Ação Recomendada
13.4.1.5 - e	Possui relatórios de inspeção de segurança	Conforme
13.4.1.5 - f	Certificados de Inspeção e Teste dos dispositivos de segurança	Conforme
13.4.2	A caldeira está instalada conforme item 13.4.2 e seus subitens	Conforme
13.4.3.1	Possui manual de operação atualizado em língua portuguesa em local de fácil acesso aos operadores conforme item 13.4.3.1	Conforme
13.4.3.2	Existe controle sobre a qualidade da água utilizada conforme item 13.4.3.2	Ação Recomendada
13.4.4.3	Possui registro de realização de teste hidrostático conforme item 13.4.4.3 e seu subitem	Conforme

j) Recomendações e providências necessárias

A ação recomendada no item 13.4.1.5 se refere a elaboração de um projeto de alteração para determinação correta dos materiais utilizados na divisória metálica no espelho traseiro, identificando os procedimentos adequados de execução e a realização de testes para controle da qualidade das soldas realizadas, conforme especificado no item 13.3.7.5 da NR 13.

Já a ação indicada no item 13.4.3.2 do checklist acima ocorre devido a caldeira possuir registros de análise da água utilizada, porém não realizar tratamento ou controle de suas propriedades físico-químicas. Este tratamento é de extrema importância para garantir o

prolongamento da vida útil do ativo, evitando problemas como sobreaquecimento, desgaste acelerado dos tubos, e perda de eficiência térmica.

k) Parecer conclusivo quanto à integridade da caldeira até a próxima inspeção;

Utilizando as equações descritas anteriormente, a caldeira deverá apresentar memorial de cálculo que indique a possibilidade de operação dentro da PMTA, devendo a espessura mínima calculada ser inferior a espessura encontrada nas mensurações.

Portanto, substituindo os valores na equação 2.1:

$$t = 183 * \sqrt{\frac{0,827}{117,9*2,2}} = 10,33 \text{ milímetros} \quad (3.1)$$

C – Coeficiente que pode variar de 2.1 até 3.2, baseado no tipo de estaios utilizados na construção da caldeira. Portanto a caldeira apresenta estaios com diâmetro de 27 milímetros, sendo então enquadrado como C igual a 2.2, conforme descrito na PG-46.1.

P – Pressão Máxima de Trabalho Admissível, sendo 120 psig (0,827 MPa) conforme indicado no prontuário e placa de identificação da caldeira.

p - Passo máximo medido em linha reta passando pelos centros dos estaios, onde na caldeira inspecionada foi encontrado passo de aproximadamente 183 milímetros.

S – Tensão admissível do material conforme ASME Seção II, Parte D, subparte 1, Tabela 1A. O material utilizado para os espelhos da caldeira é o ASTM A-515 GR 60, conforme especificado no prontuário presente do equipamento. Portanto, a tensão admissível do material é de 17,1 ksi (117,90 MPa) até a temperatura de 260 °C.

t – Espessura mínima da chapa. A espessura mínima encontrada para os espelhos foi de 12,95 milímetros.

Portanto, a espessura encontrada na medição atual de 12,95 milímetros é superior a espessura mínima encontrada através do cálculo. Porém, ainda é necessário o cálculo da espessura mínima para o costado da caldeira, a fim de verificar se a espessura encontrada é suficiente para a operação dentro da PMTA estipulada pelo fabricante. Desta forma, utilizando a equação 2.2:

$$t = \frac{0,827*1275}{2*117,9*1+2*0,4*0,827} + 0 = 4,46 \text{ milímetros} \quad (3.2)$$

C – Tolerância mínima para estabilidade estrutural ou para estruturas rosqueadas, conforme PG-27.4.3. No caso da caldeira inspecionada, o Prontuário não apresenta um valor para este coeficiente, portanto será adotado C igual a 0.

D – Diâmetro externo do costado. O diâmetro externo da caldeira é de aproximadamente 1275 milímetros.

E – Eficiência conforme determinado no PG-27.4.1. Como o cilindro do costado não apresenta a junção de tubos de troca térmica, pode ser considerado como um cilindro sem costuras ou aberturas, portanto E pode ser considerado igual a 1.

P - Pressão Máxima de Trabalho Admissível, sendo 120 psig (0,827 MPa) conforme indicado no prontuário e placa de identificação da caldeira.

S – Tensão admissível do material conforme ASME Seção II, Parte D, subparte 1, Tabela 1A. O material utilizado para o costado da caldeira é também o ASTM A-515 GR 60, conforme especificado no prontuário presente do equipamento. Portanto, a tensão admissível do material é de 17,1 ksi (117,90 MPa) até a temperatura de 260 °C.

y – Coeficiente de temperatura conforme especificado no PG-27.4.6. Como a temperatura mínima listada na tabela 1A é inferior a 480 °C, e a temperatura de projeto da caldeira é inferior a 480 °C, se adota y igual a 0,4.

t – Espessura mínima da chapa. A espessura mínima encontrada para o costado da caldeira foi de 12,19 milímetros.

A partir destas informações, a espessura mínima requerida para a operação dentro da PMTA pode ser calculada.

A espessura encontrada na medição atual de 12,19 milímetros é superior a espessura mínima encontrada através do cálculo realizado acima.

Portanto, em 29/05/2023, executou-se inspeção de segurança periódica, conforme item 13.4.4.16, onde constatou-se que o equipamento está apto para operar dentro da PMTA estipulada, devendo ser observadas as ações necessárias recomendadas no relatório, visto que a alteração realizada na caldeira interfere diretamente na sua integridade estrutural por possuir partes pressurizadas.

I) Data prevista para a próxima inspeção de segurança da caldeira;

A próxima inspeção deverá ser realizada até dia 19 de Novembro de 2024.

- m) nome legível, assinatura e número do registro no conselho profissional do PLH e nome legível e assinatura de técnicos que participaram da inspeção;

As inspeções foram realizadas com auxílio do operador e sob supervisão de um profissional legalmente habilitado para garantir a segurança durante as atividades.

- n) Número do certificado de inspeção e teste da válvula de segurança.

Os certificados de inspeção e teste das válvulas de segurança podem ser encontrados no anexo do trabalho.

CAPÍTULO IV

CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou a elaboração de um relatório de inspeção de segurança periódico em uma caldeira mista em uma lavanderia na região do agreste pernambucano, chegando ao parecer que o equipamento está apto para operar dentro da PMTA determinada no prontuário da caldeira.

Foram realizados ensaios não destrutivos a fim de avaliar as condições de integridade da caldeira e coletar informações necessárias para garantir a segurança do equipamento até a data prevista da próxima inspeção, demonstrando o memorial de cálculo definido pelas normas técnicas vigentes aplicáveis. Durante a inspeção foram constatadas alterações não documentadas em aspectos construtivos do equipamento, sendo necessário a elaboração de um Projeto de Alteração e Reparo (PAR) para determinação dos materiais utilizados e realização de testes a fim de constatar a qualidade dos procedimentos realizados no equipamento.

Um dos maiores empecilhos encontrados no desenvolvimento do trabalho foi a questão da disponibilidade do equipamento para serem realizadas as inspeções e ensaios necessários. O equipamento funciona de maneira ininterrupta, sendo apenas desativado quinzenalmente para limpeza interna para remoção de fuligem e outras sujidades que se acumulam no interior dos tubos advindo do processo de queima da lenha. As inspeções descritas neste trabalho foram realizadas durante a substituição das válvulas de segurança e

posteriormente em uma parada rotineira de limpeza. Por se tratar também de uma caldeira mista à lenha, o equipamento precisaria ter passado por procedimentos de parada adequados a fim de resfriar o sistema, retirando toda lenha e brasas ainda presentes na fornalha a fim de reduzir a carga térmica na fornalha e realizando ciclos de resfriamento através da troca da água no interior da caldeira, procedimentos estes que não foram realizados pelos operadores do turno da noite dos dias anteriores às inspeções. Desta forma, durante o horário disponível para a inspeção, o equipamento ainda se encontrava com temperatura das suas superfícies metálicas (como os tubos, costado e espelhos) muito elevada, inviabilizando a aplicação de testes mais detalhados como o ensaio de Líquido Penetrante nas soldas internas dos tubos e das alterações construtivas realizadas.

Essas dificuldades, todavia, são retratos também da realidade profissional para execução de intervenções neste nicho de equipamentos que requerem um dispêndio maior de tempo para realização de manutenções, inspeções ou intervenções. Mesmo que as inspeções de segurança tragam benefícios como maior confiabilidade, monitoramento da vida útil e segurança na operação desses equipamentos, o custo para desmobilizar o ativo muitas vezes é considerado inviável para as empresas, mesmo que seja uma ação exigida pela legislação.

5.2. TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros, sugere-se a realização de um projeto de alteração para as adaptações realizadas na caldeira, devendo abordar os materiais e métodos utilizados nas intervenções, assim como o controle da qualidade e seus parâmetros necessários, considerando as normas técnicas aplicáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTAFINI, C. A. **Apostila de Caldeiras. Departamento de Engenharia Mecânica**, Universidade de Caxias do Sul, 2002. 36p.

BAZZO, E. **Geração de Vapor**. [S.I]: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2. ed. 1995.

RESUMO: ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. **Resumo Escola**. Disponível em: <<http://resumoescola.blogspot.com/2011/04/resumo-ensaios-nao-destrutivos.html>>. Acesso em: 09 de novembro de 2023.

TÍTULO da matéria. Nome do site, ano. Disponível em: <URL>. Acesso em: dia, mês e ano.

BEUX, Giovana. **Avaliação das condições de segurança na operação de caldeiras a vapor**. 2014. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014.

BIGLIA, Felipe Mercês. **Análise do cordão de solda no processo de soldagem de caldeiras a vapor**. 2016. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2016.

FERRARESI, Rafael Nardon. **Comparação entre os ensaios não destrutivos RFT e IRIS em feixes tubulares de aço carbono de trocadores de calor do tipo casco & tubos**. 2023. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.660>

FRANÇA, F. A; **Detecção de falhas em soldas longitudinais por ultrassom assistida por simulação computacional**. Trabalho de Conclusão de Curso, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2015.

FÜHR, Henrique Klöckner. **Proposta de ajuste em uma caldeira flamotubular**. 2016. 41 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – FAHOR - Faculdade Horizontina, Horizontina, 2016.

GONÇALVES, Guilherme Mori. **Análise dos procedimentos dos métodos de avaliação de integridade em caldeiras**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022.

MIGLIAVACCA, Caciano. **Análise dos métodos de avaliação de integridade em caldeiras.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Pato Branco, 2019.

SOEIRO, E. C.; ANTONIOLLI, F. A. **Plano otimizado de inspeção de medição de espessura com base na matriz de risco das regiões internas de uma caldeira de recuperação – proposta.** 2005. 116f. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade

Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ANEXOS

180924

altec

SEGURANÇA DO TRABALHO

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº. 1005373-075

CLIENTE: [REDACTED]

CEP: 55045-055 - Caruaru - PE
CNPJ: [REDACTED]

Data de Emissão: 05/10/2023

Marca: Comodoro	Modelo: VS-100
Nr. de Série: 41155	Tag: PSV-373-001
Conexões: DN 1 1/2" x 1 1/2"	Padrão utilizado: 0/30 kgf/cm ²
Tipo de Válvula: Convencional	Aplicação: Caldeira
Característica: Segurança	Temperatura:
Fluido: Vapor saturado	Pressão de fechamento:
Pressão de operação:	Pressão máxima:
Pressão de abertura: 7,00 Kg/cm ²	Teste hidrostático: Não realizado
Sobrepressão:	Contra-pressão: 0,00 kgf/cm ²

3 - Composição:

Capuz	Bronze	Pino trava	—
Castelo	Bronze	Mola	Aço
Corpo	Bronze	Prato superior da mola	Lábio
Alavanca	Bronze	Prato inferior da mola	Lábio
Pino de articulação	Lábio	Obturador	Bronze
Armeia		Sede / Bocal	Bronze
Arame trançado do lacre	Inox	Contra sede	
Lacre	Chumbo altec	Guia da contra sede/obturador	Bronze
Parafuso de fixação		Vedaçāo	Metal/Macia
Parafuso de ajuste da mola	Lábio	Anel de regulagem do POP	
Porca trava de ajuste da mola	Lábio	Parafuso trava do anel do POP	
Haste	Lábio	Porca trava para/ do anel do POP	
Anel de apoio do prato da mola	Lábio	Plaquinha de identificação	
Anel superior da haste	—	Rebites de fixação da plaquinha	

4 - Dados do ensaio:

Instrumento de teste: Manômetro DN 6" (150mm) análogo - escala 0 a 30 kgf/cm², certificado número 084/16, calibrado pelo laboratório AFERIÇÃO credenciado e rastreado pela Rede Brasileira de Calibração (RBC). Acreditado pelo CGCREMETRO sob número 0391.

Fluido de teste: Nitrogênio / Ar comprimido.

Garantimos os serviços executados nesta válvula por um período de 90 dias de operação e certificamos que os serviços foram de acordo com as normas estabelecidas. A garantia só terá efeito se o lacre não for violado.

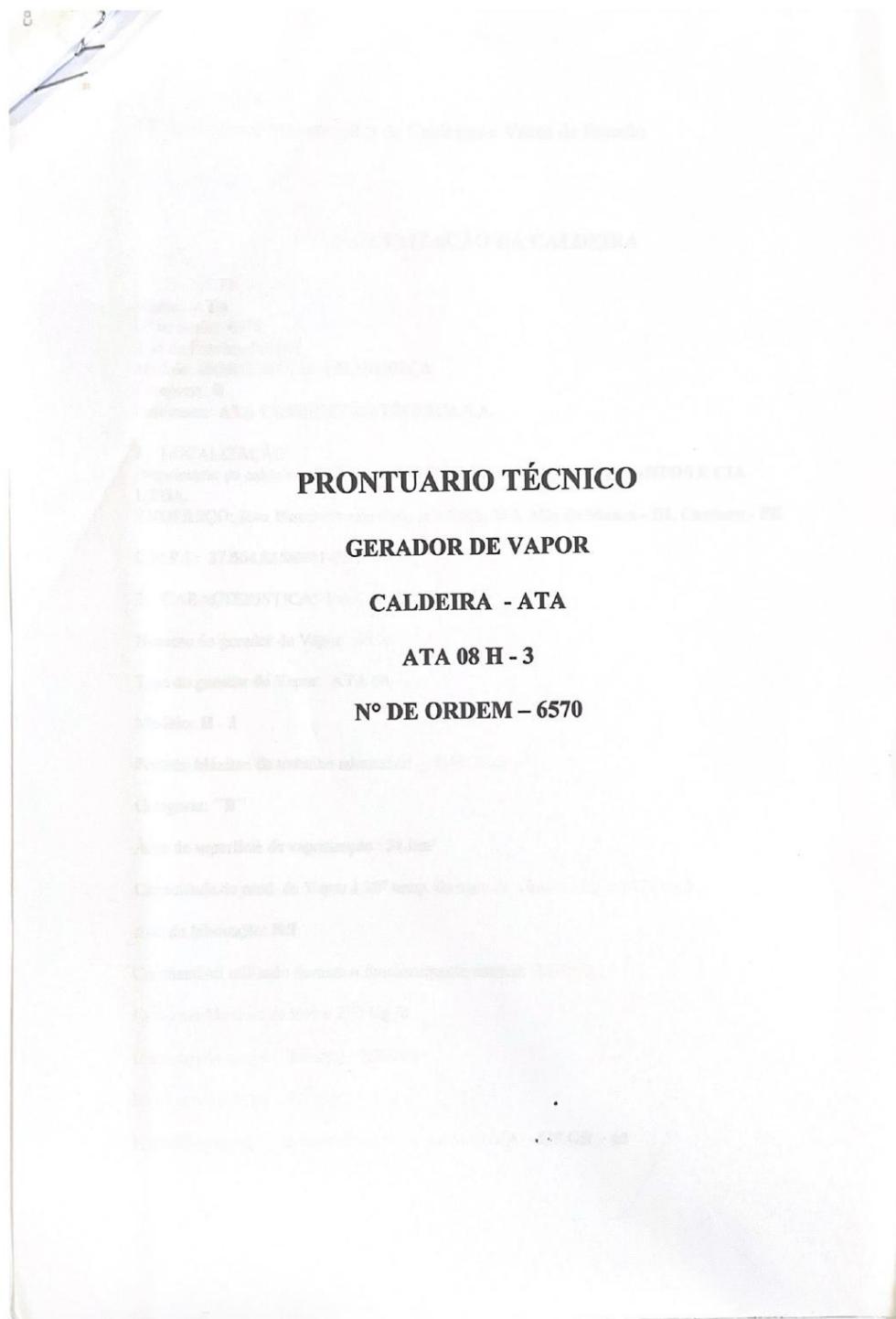
[Handwritten signature]

altec
fone: 81-99955-3035

Técnico Responsável: Humberto A. F. Paiva Filho

altecval comércio e serviços de válvulas industriais ltda.
Rua Imperial, 678 - São José - Recife - Pernambuco - Fones: 81-3788.1092 - 999.553.035 - E-mail: altecval@altecval.com.br

Certificado de ajuste de uma das Válvulas de Segurança da Caldeira disponibilizado pela empresa. Fonte: Autoria Própria (2023).



Capa do Prontuário da Caldeira disponibilizado pela empresa (1/5). Fonte: Autoria Própria (2023).

AR Inspeções e Manutenções de Caldeiras e Vasos de Pressão

CARACTERIZAÇÃO DA CALDEIRA

1. IDENTIFICAÇÃO

Marca: ATA
Nº de Série: 6570
Ano de Fabricação: N/I
Modelo: HORIZONTAL CILINDRICA
Categoria: B
Fabricante: ATA COMBUSTÃO TÉCNICA S.A.

2. LOCALIZAÇÃO

Proprietário da caldeira:

ENDEREÇO:

C.N.P.J.:

3. CARACTERÍSTICAS DA CALDEIRA

Numero do gerador de Vapor: 6570

Tipo do gerador de Vapor: ATA 08

Modelo: H - 3

Pressão Máxima de trabalho admissível : 8,44 Kg/cm².

Categoria: "B"

Área de superfície de vaporização : 31,0m²

Capacidade de prod. de Vapor á 20° temp. da água de alimentação : 1000 Kg/h

Ano de fabricação: N/I

Combustível utilizado durante o funcionamento normal: LENHA.

Consumo Maximo de lenha: 250 Kg /h

Diâmetro do corpo: (interno) : 1.250mm

Espessura do corpo : 9,7 mm

Material empregado na construção do corpo: ASTMA - 515 GR - 60

2



Continuação do prontuário da caldeira disponibilizado pela empresa (2/5). Fonte: Autoria Própria (2023).

AR Inspeções e Manutenções de Caldeiras e Vasos de Pressão

Diâmetro interno da fornalha: 450mm

Espessura do corpo da fornalha: 12,5 mm

Material empregado na construção da fornalha : ASTM A - 515 GR - 60

Espessura dos espelhos : 12,5 mm

Material empregado na construção do espelho : ASTM A -515 GR -60

Quantidade dos tubo de gases da combustão : 97

Diâmetro dos tubos de gases da combustão : 2" x 2,12mm

Tipo de tubo empregado na construção : ASTM 178 Gr. A

Diâmetro da chaminé : 300 mm

Exame de raios -X das soldas : SIM

Alívio de tensão após soldagem : SIM

Porta de Inspeção : x-x

Porta de limpeza na parte de água: 2 - 65 x 90 mm

Conexão flangeada , saída do vapor p/ consumo : 2"

Conexão flangeada, entrada de água p/ consumo : 3/4"

Conexão flangeada, descarga da caldeira : 1.1/2"

Bomba d' água de alimentação, instalada tipo Multiestágios Schneider

Motor elétrico : 3 Cv, 2 pólos

Ventilador instalado: Tipo_C - 2,5

Motor elétrico : 2 Cv, 2 pólos

Válvulas de segurança : Tipo : Angular . 01 diam. 1" e 01 diam 1 1/2"

Regulagem das válvulas de segurança : 100 Psig

Indicador de nível de água tipo : Pesado

Manômetro de pressão (0 - 300 Psig) 6"

3



Continuação do prontuário da caldeira disponibilizado pela empresa (3/5). Fonte: Autoria Própria (2023).

AR Inspeções e Manutenções de Caldeiras e Vasos de Pressão

Pressostato de reg. de pressão máxima de vapor _ : 100Psig

Pressão hidrostática aplicada no gerador de vapor _ : 180 Psi

Fixação da PMTA feita durante _ : 30 min

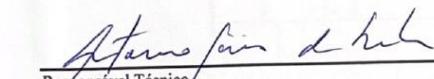
Códigos e Normas empregadas no projeto, fabricação , montagem e inspeção.

- ASME I, II , VIII, IX, TRD, JIS, NBR-12177.

OBS.: Prontuário reconstituído de acordo com a norma regulamentadora NR- 13.1.6 / ART

PE20210665000.

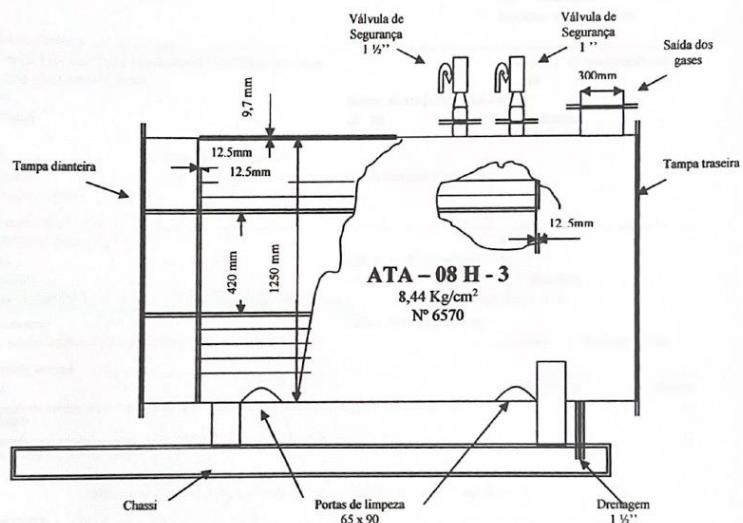
CARUARU, 12 DE AGOSTO DE 2021



Responsável Técnico
Antônio Gomes da Rocha
Eng. Mecânico
RNP: 180311958-6

Continuação do prontuário da caldeira disponibilizado pela empresa (4/5). Fonte: Autoria Própria (2023).

AR Inspeções e Manutenções de Caldeiras e Vasos de Pressão



Pressão máxima de trabalho permitida	8,44 Kg/cm ²
Pressão de prova hidrostática	12,66 Kg/cm ²
Área de superfície de vaporização	31 m ²
Com água de alimentação 20° C	1.000 Kg / h
Capacidade de produção de vapor	
Com água de alimentação 80° C	1.100 Kg / h

J. Pedro J. S. da Rocha
Engº Gomes da Rocha
Engº Mecânico
RNP: 180311958-6

Continuação do prontuário da caldeira disponibilizado pela empresa (5/5). Fonte: Autoria Própria (2023).