

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**  
**Programa de Pós-graduação em Especialização em Soldagem**

Wyllton Candido do Nascimento

**SOLDAGEM DE REPAROS EMERGENCIAIS EM EQUIPAMENTOS  
PRESSURIZADOS: Um desafio para o Engenheiro de Soldagem.**

**Belo Horizonte**

**2024**

Wyllton Candido do Nascimento

**SOLDAGEM DE REPAROS EMERGENCIAIS EM EQUIPAMENTOS  
PRESSURIZADOS: Um desafio para o Engenheiro de Soldagem.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-graduação em Especialização em Soldagem, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Engenharia de Soldagem.

Orientador: Prof. Ariel Rodrigues Arias

Belo Horizonte

2024

N244s

Nascimento, Wylton Candido do.

Soldagem de reparos emergenciais em equipamentos pressurizados [recurso eletrônico] : um desafio para o engenheiro de Soldagem / Wylton Candido do Nascimento. – 2024.

1 recurso online (38 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Ariel Rodriguez Arias.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais”

Bibliografia: f. 38.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Soldagem. 2. Processos de fabricação. 3. Equipamentos industriais. I. Arias, Ariel Rodríguez. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE SOLDAGEM



## ATA DA DEFESA DA MONOGRAFIA DO ALUNO WYLLTON CANDIDO DO NASCIMENTO

Realizou-se, no dia 06 de junho de 2024, às 09:00 horas, Via Teams, da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa de monografia, intitulada *SOLDAGEM DE REPAROS EMERGENCIAIS EM EQUIPAMENTOS PRESSURIZADOS: Um desafio para o Engenheiro de Soldagem.*, apresentada por WYLLTON CANDIDO DO NASCIMENTO, número de registro 2021663021, graduado no curso de ENGENHARIA MECÂNICA, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em SOLDAGEM, à seguinte Comissão Examinadora: Prof(a). Ariel Rodriguez Arias - Orientador (UFMG), Prof(a). Felipe Teixeira da Silva (SNA Engenharia), Prof(a). TITO FERNANDO DA SILVEIRA (SQ BRASIL).

A Comissão considerou a monografia:

(  ) Aprovada Nota ( 95 )

( ) Reprovada

Finalizados os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 06 de junho de 2024.

Prof(a). Ariel Rodriguez Arias ( Doutor )

Prof(a). Felipe Teixeira da Silva ( Graduado )

Prof(a). TITO FERNANDO DA SILVEIRA ( Mestre )

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** FELIPE TEIXEIRA DA SILVA  
Data: 06/06/2024 14:38:08-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** TITO FERNANDO ANTUNES DA SILVEIRA  
Data: 06/06/2024 13:19:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

A Gabriela, minha esposa, amiga e companheira, que esteve comigo nos momentos mais difíceis ao longo dessa jornada. Aos meus pais, Amilton e Angela, que são minha base e motivo da minha dedicação em ser cada dia melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por ser a razão da minha existência e a quem sou grato por tudo que tenho.

Ao ISQ Brasil, por ter sido um dos canais que me fez conhecer essa pós-graduação, e que contribuiu para meu crescimento profissional e pessoal.

Ao corpo docente da UFMG, cuja dedicação e comprometimento foram fundamentais para transmitir o vasto conhecimento abordado ao longo do curso. Suas contribuições foram inestimáveis para minha formação.

Aos amigos do curso, pelas discussões construtivas e momentos compartilhados que tornaram esta jornada mais significativa e agradável.

“Não encontre defeitos. Encontre soluções. Qualquer um sabe queixar-se.” Henry Ford

## RESUMO

Os equipamentos pressurizados desempenham um papel fundamental na indústria, exercendo várias funções cruciais que afetam diretamente a qualidade, eficiência e segurança dos processos industriais. Ao longo de sua vida útil, esses equipamentos podem sofrer alterações devido a mecanismos de dano, ou ações externas, que interferem na sua capacidade funcional, sendo necessária a realização de reparos para retornar à condição original, ou então, para que o equipamento possa retornar à operação por um tempo determinado. Em situações críticas em que a produção não pode ser interrompida por longos períodos são necessários reparos emergenciais que garantam a segurança operacional do equipamento. Isso exige decisões técnicas rápidas e precisas, onde é essencial que se avaliem todas as variáveis relevantes utilizando os recursos disponíveis de forma eficaz, assegurando a execução de um reparo de qualidade. O presente trabalho explora um caso em que reparos foram realizados sem o total cumprimento dos requisitos legais e normativos, afetando a segurança de uma cadeira de grande porte e aumentando significativamente a indisponibilidade do equipamento.

**Palavras-chave:** soldagem; reparos emergenciais; equipamentos pressurizados; engenheiro de soldagem; integridade estrutural.



## ABSTRACT

Pressurized equipment plays a fundamental role in the industry, performing various crucial functions that directly affect the quality, efficiency, and safety of industrial processes. Throughout their operational life, these pieces of equipment may undergo alterations due to damage mechanisms or external actions that interfere with their functional capacity, necessitating repairs to restore them to their original condition or to allow the equipment to return to operation for a specified period. In critical situations where production cannot be interrupted for long periods, emergency repairs are required to ensure the operational safety of the equipment. This demands quick and precise technical decisions, where it is essential to evaluate all relevant variables using the available resources effectively, ensuring the execution of a quality repair. This study explores a case in which repairs were carried out without full compliance with legal and regulatory requirements, affecting the safety of a large boiler and significantly increasing the equipment's downtime.

**Keywords:** welding; emergency repairs; pressurized equipment; welding engineer; structural integrity.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos vasos de pressão. Adaptado de Telles (1996).....	13
Figura 2 - Principais formatos de vasos de pressão. Fonte: Telles (1996). ....	14
Figura 3 - Soldas circunferenciais e longitudinais em um casco cilíndrico. Fonte: Telles (1996). ....	15
Figura 4 - Principais tipos de caldeiras. Aquatubular e flamotubular. Adaptado de <a href="https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras">https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras</a> .....	17
Figura 5 - Arranjo geral da caldeira. ....	24
Figura 6 - Detalhe dos superaquecedores, coletores e dessuperaquecedores. ....	24
Figura 7 - Detalhe das juntas soldadas que apresentaram descontinuidades. ....	31
Figura 8 - Aspecto visual da junta soldada JS1.....	32
Figura 9 - Aspecto visual da junta soldada JS2.....	32
Figura 10 - Morfologia típica das descontinuidades encontradas. ....	32
Figura 11 - Desenho esquemático da condição encontrada nas soldas dos dessuperaquecedores.....	33
Figura 12 - Aspecto das descontinuidades encontradas na tubulação. ....	34
Figura 13 - Aspecto das descontinuidades encontradas na tubulação. ....	34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1	Justificativa.....	10
<b>2</b>	<b>OBJETIVO</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>12</b>
3.1	Equipamentos pressurizados .....	12
3.1.1	Vasos de pressão .....	12
3.2	Legislação brasileira .....	17
3.3	Normas e regulamentações .....	19
3.3.1	ASME – The American Society of Mechanical Engineers .....	20
3.3.2	API - American Petroleum Institute .....	21
3.3.3	National Board Inspection Code - NBIC.....	22
<b>4</b>	<b>PARTE EXPERIMENTAL (ESTUDO DE CASO)</b> .....	<b>23</b>
4.1	Descrição geral do equipamento.....	23
4.2	Parada de manutenção.....	29
4.3	Plano de inspeção.....	29
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>37</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>

# **1 INTRODUÇÃO**

A soldagem é um dos principais processos de união de materiais utilizados em uma ampla gama de indústrias, desempenhando um papel crítico na construção e manutenção de equipamentos pressurizados, tais como vasos de pressão, caldeiras e tubulações. A integridade desses equipamentos é essencial para garantir a segurança operacional, evitar acidentes catastróficos e manter a eficiência dos processos industriais. No entanto, em situações emergenciais, quando danos inesperados ocorrem, o engenheiro de soldagem enfrenta desafios únicos e críticos para garantir a restauração adequada da integridade estrutural.

## **1.1 Justificativa**

A crescente demanda por produtividade e o aumento da pressão para o retorno rápido à operação após a ocorrência de danos exigem que os engenheiros de soldagem estejam preparados para lidar eficientemente com essas situações críticas.

No decorrer deste trabalho, serão abordadas as principais características dos equipamentos pressurizados, as normas e regulamentações relevantes, bem como as abordagens que podem auxiliar os engenheiros de soldagem na tomada de decisões assertivas e eficazes. Dentro desse tema, será apresentado um estudo de caso de uma caldeira submetida a reparo durante uma parada programada de manutenção.

## **2 OBJETIVO**

Enfatizar a importância do papel do engenheiro de soldagem na condução de reparos emergenciais, sublinhando a necessidade de habilidades técnicas sólidas, conhecimento normativo e a capacidade de tomar decisões fundamentadas em cenários de pressão e urgência.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Equipamentos pressurizados**

Os equipamentos pressurizados são parte essencial dos processos industriais.

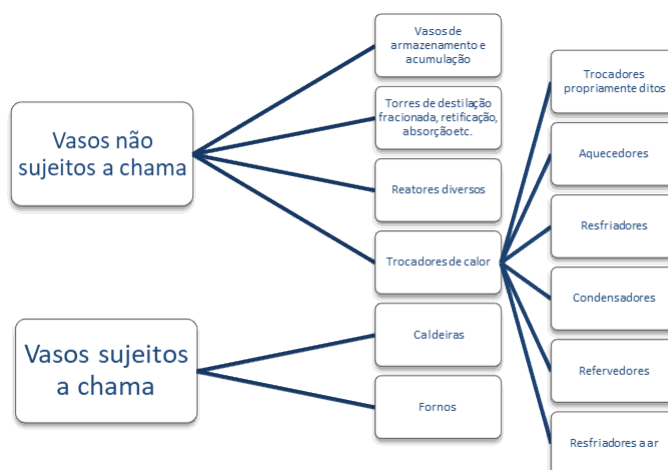
Dentro da indústria esses equipamentos necessitam de um alto nível de confiabilidade e disponibilidade, visto que a grande parte das indústrias atua em regime contínuo, dia e noite, sem paradas diárias para manutenção. Normalmente os processos também são interdependentes de modo que a falha de um equipamento pode tirar de operação toda uma linha de produção. Outro ponto que exige a confiabilidade e segurança dos vasos de pressão é a condição de risco existente nos processos, em que os equipamentos trabalham com fluidos perigosos e com pressões e/ou temperaturas elevadas.

Em seguida serão apresentadas de forma resumida as principais características desses equipamentos com objetivo de entender o impacto causado quando estes ficam fora de operação por conta de alguma falha, e os riscos a segurança que podem ser causados por decisões sem embasamento normativo.

##### **3.1.1 Vasos de pressão**

Segundo Telles (1996) o nome vaso de pressão (pressure vessel) designa genericamente todos os recipientes estanques, de qualquer tipo, dimensões, formato ou finalidade, capazes de conter um fluido pressurizado. Essa definição, tão abrangente, inclui uma enorme variedade de equipamentos, indo de uma simples panela de pressão de cozinha, até os mais sofisticados reatores nucleares.

Os vasos de pressão podem ser classificados em grupos conforme a seguir:



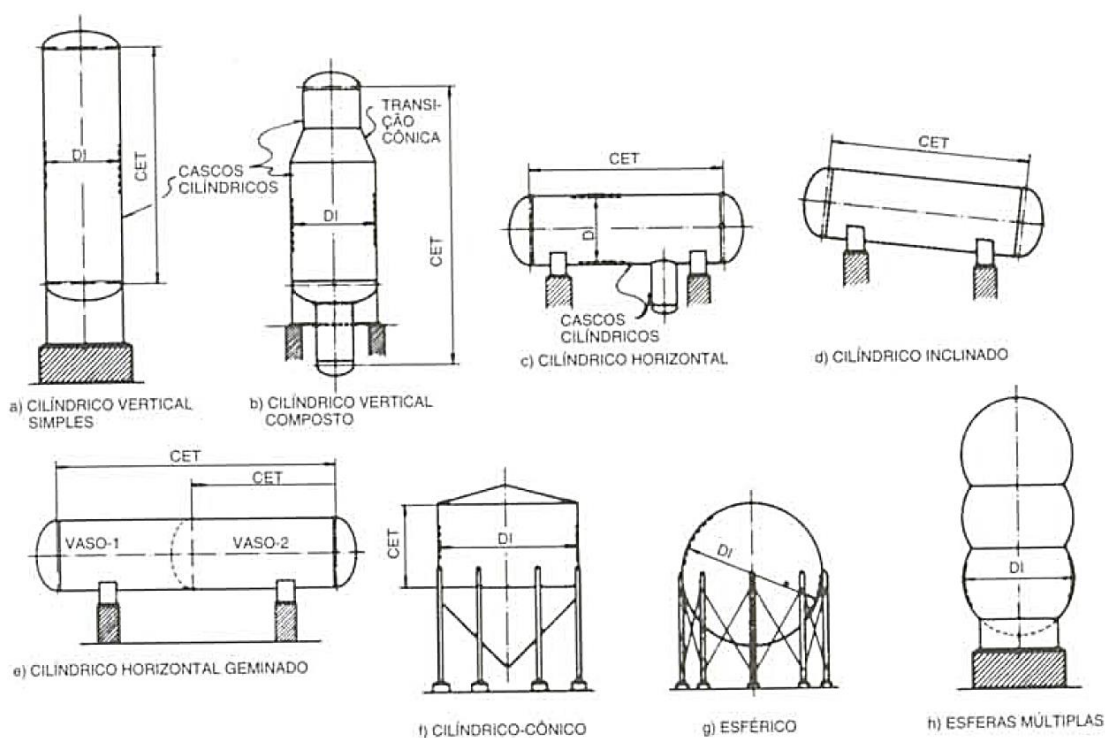
**Figura 1 - Classificação dos vasos de pressão. Adaptado de Telles (1996).**

Em termos gerais, os vasos de pressão não são itens produzidos em massa; na maioria das vezes, são projetados e fabricados sob encomenda para atender às necessidades específicas de cada projeto, seja para armazenamento, processamento, entre outros.

Cada projeto de um vaso de pressão requer uma correta especificação de materiais, a determinação dos processos de fabricação e o uso de consumíveis de soldagem adequados. Isso garante que as características finais do equipamento estejam alinhadas com as exigências do processo em que ele será utilizado.

#### Tipos de vasos de pressão

Na classe dos vasos de pressão não sujeitos à chama, as partes principais são o corpo, normalmente cilíndrico chamado de casco ou costado, e os tampos, que servem para fechamento do corpo podendo variar de formato. A Figura 2 apresenta os principais tipos de vasos de pressão e os seus formatos.



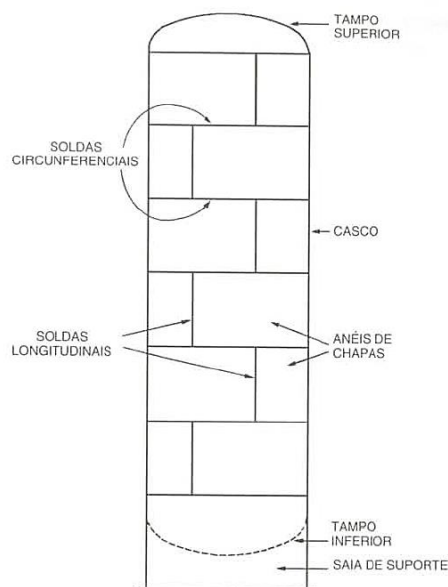
**Figura 2 - Principais formatos de vasos de pressão. Fonte: Telles (1996).**

A grande maioria dos vasos de pressão é fabricada a partir de chapas de aço soldadas entre si. Tendo o formato cilíndrico como referência, os vasos podem ser compostos de diversas chapas, a depender de suas dimensões, conforme apresentado na Figura 3.

O processo de seleção de materiais para fabricação dos vasos de pressão leva em consideração diversos fatores, tais como: fluido contido, parâmetros de processo (temperatura e pressão), níveis de tensão no material, natureza dos esforços mecânicos, custo do material, segurança, forma de apresentação do material, facilidades de fabricação e montagem, tempo de vida previsto, experiência prévia, facilidade de obtenção do material e variações toleradas de forma ou de dimensões da peça.

Os vasos de pressão podem ser fabricados a partir de uma ampla variedade de materiais, sendo o aço carbono o material predominante e mais comumente empregado para essa finalidade. Além dos materiais metálicos ferrosos são também utilizados materiais metálicos não ferrosos, como alumínio, e materiais não metálicos, conhecidos como compósitos.





**Figura 3 - Soldas circunferenciais e longitudinais em um casco cilíndrico. Fonte: Telles (1996).**

A Norma Regulamentadora 13 – NR-13 –, tratada adiante, categoriza os vasos de pressão combinando a classe dos fluídos armazenados - A, B, C ou D, definido por sua natureza e criticidade, com o grupo potencial de risco – 1, 2, 3, 4 ou 5, que é estabelecido através do produto entre pressão máxima de operação e volume.

Após essa combinação de informações os vasos de pressão recebem a categoria, conforme apresentado na Tabela 1. A categorização dos vasos ajuda a definir os prazos máximos para realização das inspeções de segurança periódicas, assim como define as tratativas necessárias para os equipamentos que são mais críticos, como por exemplo, a exigência de treinamento e capacitação dos operadores que atuam em unidades com vasos de categoria I e II.

**Tabela 1 - Categorização de vasos de pressão**

Classe do Fluido	Grupo de Potencial de Risco				
	1	2	3	4	5
A	I	I	II	III	III
B	I	II	III	IV	IV
C	I	II	III	IV	V
D	II	III	IV	V	V

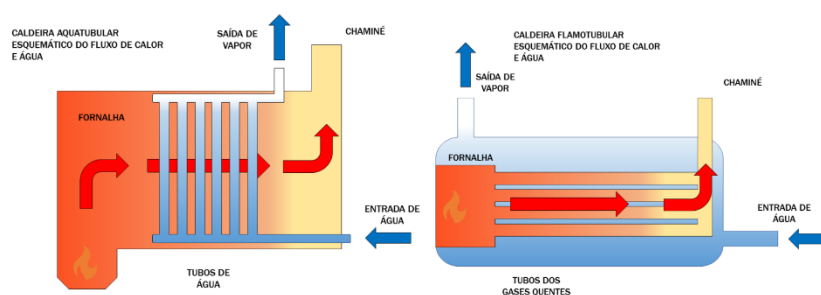
No campo dos vasos de pressão sujeitos à chama podemos destacar as caldeiras que são equipamentos utilizados desde a primeira revolução industrial, onde as máquinas a vapor foram aos ocupando espaço dentro das indústrias. Sua utilização também se estendeu aos meios de transporte onde as locomotivas passaram a contar com o vapor como fonte de energia, contribuindo para a integração econômica e o crescimento industrial.

Diversos arranjos de fabricação são possíveis para as caldeiras, adaptando-se às exigências específicas de cada projeto. Podemos identificar três tipos principais de caldeiras: as aquatubulares; as flamotubulares; e as caldeiras mistas, uma fusão das duas configurações anteriores. Essa diversidade de arranjos permite uma flexibilidade considerável na escolha do tipo de caldeira mais adequado para diferentes aplicações e necessidades.

As caldeiras aquatubulares são compostas por “paredes” de tubos preenchidos por água, através das quais os gases quentes gerados pela combustão circulam. Essa disposição favorece uma transferência eficaz de calor para a água, resultando em uma produção de vapor elevada. Seu funcionamento é especialmente apropriado para demandas constantes de vapor e situações que exigem altas pressões. Tais caldeiras são frequentemente empregadas em setores industriais que demandam considerável quantidade de energia térmica, como refinarias, usinas termoelétricas e indústrias petroquímicas.

No caso das caldeiras flamotubulares, os gases de combustão atravessam os tubos, ao passo que a água circula externamente a esses tubos. Essa disposição implica em uma área de troca térmica menor em comparação às caldeiras aquatubulares, resultando em uma produção de vapor mais modesta. Contudo, as caldeiras flamotubulares são adequadas para aplicações de menor escala e requisitos de vapor mais moderados. Elas são comumente empregadas em setores de porte reduzido a médio, como hospitais, hotéis e indústrias alimentícias.

A Figura 4 apresenta o arranjo esquemático de caldeiras aquatubulares e flamotubulares.



**Figura 4 - Principais tipos de caldeiras. Aquatubular e flamotubular. Adaptado de <https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras>**

A Norma Regulamentadora 13 – NR-13 classifica as caldeiras em duas categorias utilizando a pressão de operação como critério determinante, independente do seu arranjo.

- caldeiras da **categoria A** são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1.960kPa (19,98 kgf/cm<sup>2</sup>);
- caldeiras da **categoria B** são aquelas cuja pressão de operação seja superior a 60 kPa (0,61kgf/cm<sup>2</sup>) e inferior a 1 960 kPa (19,98 kgf/cm<sup>2</sup>).

### 3.2 Legislação Brasileira

As Normas Regulamentadoras – NRs – constituem um conjunto de diretrizes adicionais ao Capítulo V (Da Segurança e da Medicina do Trabalho) do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), conforme estabelecido pela Lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Elas compreendem uma série de disposições que delineiam obrigações, direitos e responsabilidades a serem observados por empregadores e trabalhadores, com a finalidade de assegurar um ambiente de trabalho seguro e saudável, prevenindo a ocorrência de doenças ocupacionais e acidentes de trabalho.

A primeira divulgação das NRs ocorreu por meio da Portaria MTb nº 3.214, datada de 8 de junho de 1978. Posteriormente, outras normas foram gradualmente implementadas, todas visando promover a prevenção em segurança e saúde no trabalho, direcionadas a diferentes setores e atividades econômicas.

É de suma importância destacar que as NRs são compulsórias, ou seja, de cumprimento obrigatório por todas as empresas que tenham empregados regidos pela CLT. Isso significa que todas as empresas no território nacional devem seguir as disposições estabelecidas nas NRs para garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores. O descumprimento das NRs pode resultar em diversas penalidades, incluindo multas, interdição de estabelecimentos, máquinas ou equipamentos, e até a paralisação de atividades que ofereçam risco iminente aos trabalhadores. Além das penalidades administrativas, o descumprimento das NRs pode levar à responsabilidade civil e criminal dos empregadores, especialmente em casos de acidentes de trabalho que resultem em lesões graves ou morte.

A NR-13, aprovada pela Portaria nº 1.846, de 1º de julho de 2022, destaca-se por ser voltada para a segurança na operação de caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos de armazenamento. Seu principal propósito é estabelecer requisitos mínimos para garantir a integridade física dos trabalhadores, a segurança operacional e a prevenção de acidentes nas instalações industriais.

Dentre os principais pontos abordados pela NR-13, incluem-se:

- **Inspeção de Segurança:** A norma estabelece a necessidade de inspeções periódicas em caldeiras, vasos de pressão e tubulações e tanques metálicos, com o intuito de verificar a conformidade das instalações, identificar possíveis danos e garantir a segurança operacional, estipulando um prazo máximo para essas inspeções.
- **Documentação Técnica:** As empresas são obrigadas a manter documentação técnica atualizada das instalações, contemplando projetos, especificações, registros de inspeções, laudos e demais informações relevantes.
- **Treinamento e Qualificação:** A NR-13 destaca a importância de treinamento e qualificação adequados para os profissionais envolvidos na operação e manutenção dessas instalações, visando assegurar o conhecimento necessário para lidar com situações de risco.
- **Procedimentos de Segurança:** Estabelece a necessidade de elaboração e implementação de procedimentos operacionais e de segurança, garantindo que as atividades relacionadas a caldeiras, vasos de pressão, tubulações e tanques metálicos sejam realizadas de forma segura.

- Registro de Segurança: A norma exige o registro de todas as ocorrências relevantes, como acidentes, incidentes e falhas operacionais, com o objetivo de analisar e prevenir a repetição de eventos indesejados.
- Projeto de Alteração e Reparo (PAR): O projeto de alteração e reparo é mandatório e deve ser realizado previamente sempre que as condições de projeto forem modificadas, ou sempre que forem realizados reparos que possam comprometer a segurança. Esse projeto deve ser conduzido por profissionais habilitados e qualificados, seguindo requisitos técnicos e normativos. O projeto detalhado deve determinar os materiais, procedimentos de execução, procedimentos de controle de qualidade e qualificação/certificação de pessoal envolvidos na atividade. Toda a documentação produzida deve ser registrada no prontuário do equipamento.

Essa norma atribui a responsabilidade técnica ao que ela chama de Profissional Legalmente Habilitado - PLH, que se trata de um profissional 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, atribuições que são compartilhadas com o Engenheiro de Soldagem.

A NR-13 não entra a fundo em detalhes técnicos, porém cita em algumas partes do seu texto algumas exigências para execução de reparos de modo a garantir a segurança e integridade das instalações. A figura do PLH fica responsável por toda a elaboração ou aprovação dos documentos necessários para a gestão dos reparos.

### **3.3 Normas e Regulamentações**

Existem várias normas e códigos que abordam reparos emergenciais em equipamentos pressurizados, além de apresentar detalhes técnicos sobre esses equipamentos. A escolha das normas aplicáveis pode depender do tipo específico de equipamento e do país/região em que ele está localizado. Em seguida serão apresentadas algumas das principais normas e códigos amplamente utilizados como

referência para atividades de fabricação, inspeção e reparos em equipamentos pressurizados.

### 3.3.1 ASME – The American Society of Mechanical Engineers

Com o avanço da revolução industrial, ainda no século XIX, aconteceram diversos acidentes em caldeiras, pois não se tinham regulamentações para o projeto e a construção de equipamentos pressurizados. Em 1905, na cidade de Brockton, Massachusetts, ocorreu uma grande explosão que destruiu a empresa R. B. Grover, resultando em 58 mortes, e 117 pessoas feridas. Esse incidente, juntamente com inúmeras outras explosões de equipamentos pressurizados nas décadas anteriores, motivou a criação da Sociedade Americana dos Engenheiros Mecânicos (sigla, em inglês, ASME) em 1911. Após essa tragédia foi publicado um conjunto de normas, as “*Massachusetts Rules*”, que possuía apenas três páginas, diferente do código atual que possui mais de mil páginas em suas diversas seções. A primeira edição lançada em 1914, ASME Seção I, foi dedicada para caldeiras estacionárias. Logo em seguida, em 1924, surgiu o código ASME Seção VIII, para vasos de pressão não sujeitos à chama, dando origem ao que conhecemos hoje como *Boiler and Pressure Vessel Code* (BPVC).

A ASME desempenha um papel importante na promoção da engenharia e no estabelecimento de padrões de qualidade e segurança dentro da indústria. Dentre os principais documentos emitidos por essa instituição podemos citar: o ASME Seção I, específico para caldeiras de potência; o ASME Seção II, que trata dos materiais utilizados na fabricação dos equipamentos pressurizados; o ASME Seção VIII, e suas divisões, específico para vasos de pressão; o ASME Seção IX, utilizado para a qualificação de soldadores, operadores de soldagem e procedimentos de soldagem; e o ASME PCC-2, que trata de reparos em equipamentos pressurizados.

### 3.3.2 API - American Petroleum Institute

Fundada em 1919, a API emergiu como uma autoridade global na criação de padrões, reunindo especialistas de diversos setores para desenvolver, manter e disseminar normas de consenso no campo do petróleo e gás. Ao longo de um século de atuação, a API elaborou mais de 700 normas, contribuindo significativamente para aprimorar a segurança operacional, proteção ambiental e sustentabilidade em toda a indústria. A aceitação global dessas normas destaca seu papel crucial.

O processo de desenvolvimento das normas da API é credenciado pelo American National Standards Institute (ANSI), garantindo não apenas a precisão técnica, mas também a credibilidade por meio de acreditação por entidades independentes. Esse reconhecimento facilita a aceitação das normas pela comunidade reguladora em níveis estaduais, federais e internacionalmente.

Desde 1924, o American Petroleum Institute tem sido a pedra angular na formulação e manutenção de padrões para o setor global de petróleo e gás natural. Sua contribuição consistente visa impulsionar a fabricação de produtos de qualidade, garantir serviços essenciais, promover a equidade no mercado para empresas e consumidores, e fortalecer a aceitação global de produtos e práticas no setor.

No que tange a equipamentos pressurizados destacam-se as seguintes normas emitidas pelo API: **API 510**, que abrange as atividades de inspeção em serviço, reparo, alteração e reclassificação para vasos de pressão e os dispositivos de alívio de pressão (PRDs) que protegem esses vasos; **API 571**, voltada para mecanismos de danos; **API 570**, com foco na inspeção em serviço, avaliação, reparo e alteração de sistemas de tubulação; **API 577**, que fornece orientações sobre inspeção de soldagem durante a fabricação e reparo de equipamentos e tubulações; **API 579**, que estabelece critérios para a avaliação da condição de equipamentos pressurizados, permitindo determinar se um equipamento pode continuar em operação de maneira segura ; **API 580**, trata da implementação de práticas de inspeção baseadas em risco para equipamentos industriais, com ênfase em vasos de pressão, trocadores de calor, tubulações e tanques de armazenamento; **API 1104**, que estabelece os requisitos para a soldagem de dutos e instalações relacionadas.

### 3.3.3 National Board Inspection Code - NBIC

Publicado pela primeira vez em 1946, o Código de Inspeção da National Board (NBIC) é um padrão internacionalmente reconhecido que governa e mantém regras para a instalação, inspeção, reparo e alteração de equipamentos pressurizados em serviço. O NBIC é adotado como lei na maioria das jurisdições dos Estados Unidos e do Canadá. Ele é utilizado por mais de 5.200 organizações de reparo em mais de 60 países. O NBIC é reconhecido como um padrão nacional pelo American National Standards Institute (ANSI).

O NBIC está organizado em quatro (4) partes para coincidir com atividades específicas pós-construção envolvendo equipamentos pressurizados.

Parte 1, Instalação – Esta parte fornece requisitos e orientações para garantir que todos os equipamentos pressurizados sejam instalados e funcionem adequadamente. A instalação inclui o atendimento a critérios específicos de segurança para construção, materiais, design, suportes, dispositivos de segurança, operação, testes e manutenção.

Parte 2, Inspeção – Esta parte fornece informações e orientações necessárias para realizar e documentar inspeções de todos os tipos de equipamentos pressurizados. Inclui informações sobre segurança pessoal, ensaios não destrutivos, testes, mecanismos de falha, tipos de equipamentos pressurizados, aptidão para serviço, avaliações baseadas em risco e padrões baseados em desempenho.

Parte 3, Reparos e Alterações – Esta parte fornece informações e orientações para realizar, verificar e documentar reparos ou alterações aceitáveis em equipamentos pressurizados, independentemente do código de construção. Métodos alternativos para exame, teste, tratamento térmico etc., são fornecidos quando os requisitos originais do código de construção não podem ser atendidos. Métodos de reparo específicos aceitáveis e comprovados também são fornecidos.

Parte 4, Dispositivos de Alívio de Pressão – Esta parte fornece informações e orientações para realizar, verificar e documentar a instalação, inspeção e reparo de Dispositivos de Alívio de Pressão, incluindo uma seção suplementar que contém informações especializadas, como margens de pressão, práticas recomendadas de reparo e detalhes de projeto de bancadas de teste.



## 4 PARTE EXPERIMENTAL (ESTUDO DE CASO)

A presente seção tem como objetivo descrever detalhadamente as etapas adotadas durante uma Parada Programada para inspeção e manutenção de uma caldeira aquatubular, na qual foram detectadas descontinuidades em um de seus componentes, tornando necessário um reparo emergencial para restabelecer a condição operacional dentro do prazo estipulado.

### 4.1 Descrição geral do equipamento

O equipamento, objeto de estudo desse trabalho, se trata de uma caldeira aquatubular, Categoria A, pertencente à unidade termoelétrica de uma empresa do ramo siderúrgico, utilizada para geração de energia através do vapor superaquecido que movimenta um conjunto de turbinas, assim como para produção de vapor utilizado nas diversas áreas dessa empresa.

Por questões de sigilo comercial a empresa será chamada de **JJ Siderurgia** e o equipamento será nomeado de **CAL001** ao longo desse trabalho.

Todos os detalhes construtivos essenciais deste equipamento são expostos nos parágrafos subsequentes, e os desenhos gerais da caldeira são apresentados na Figura 5 e Figura 6.

A caldeira nas condições normais de projeto e operação produz 140 toneladas de vapor por hora, a uma pressão de 65,0kgf/cm<sup>2</sup>, distribuindo vapor para toda a planta de produção e alimentando turbinas que fornecem parte da energia consumida na fábrica. O arranjo desse equipamento permite a utilização de diferentes tipos de combustível, como COG (Gás de Coqueria), BFG (Gás de Alto Forno) e LDG (Gás de Aciaria), além da possibilidade de utilização de gás natural.

A caldeira propriamente dita consiste em um tubulão de vapor, um tubulão de água interligados por um feixe tubular (*Boiler Bank* ou somente *bank*).

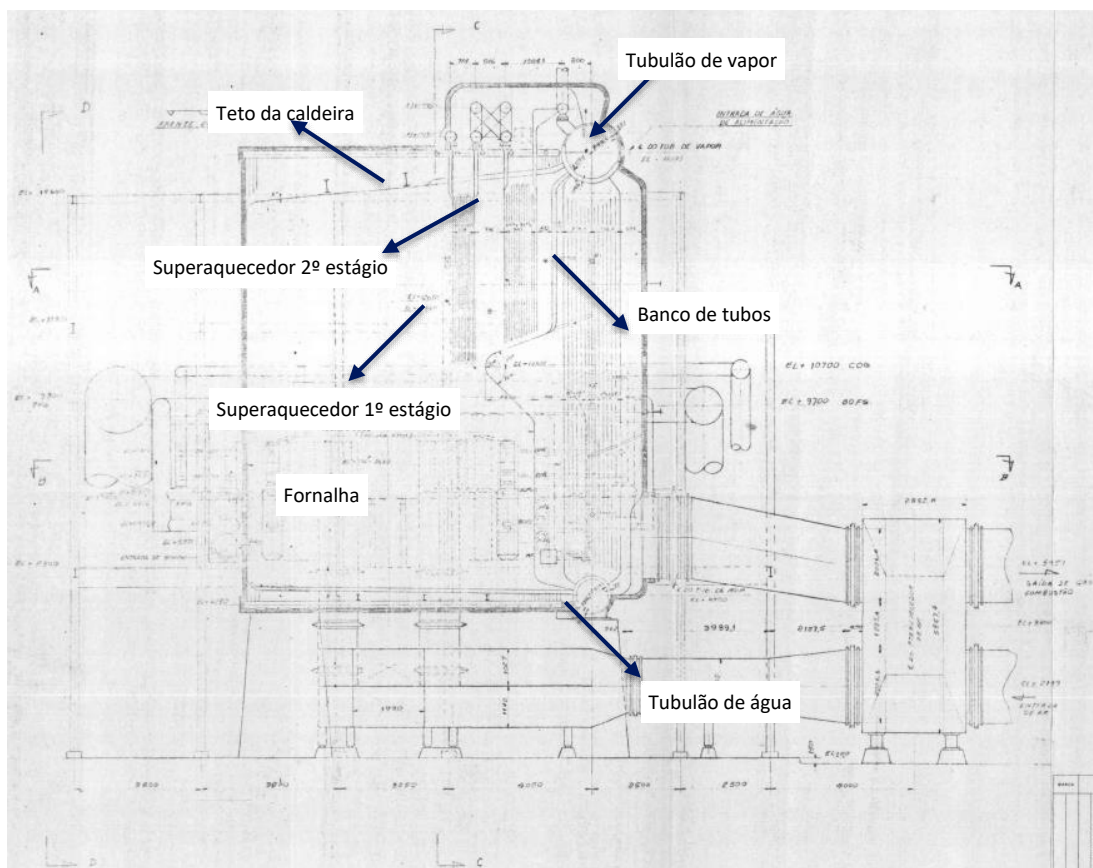


Figura 5 - Arranjo geral da caldeira.

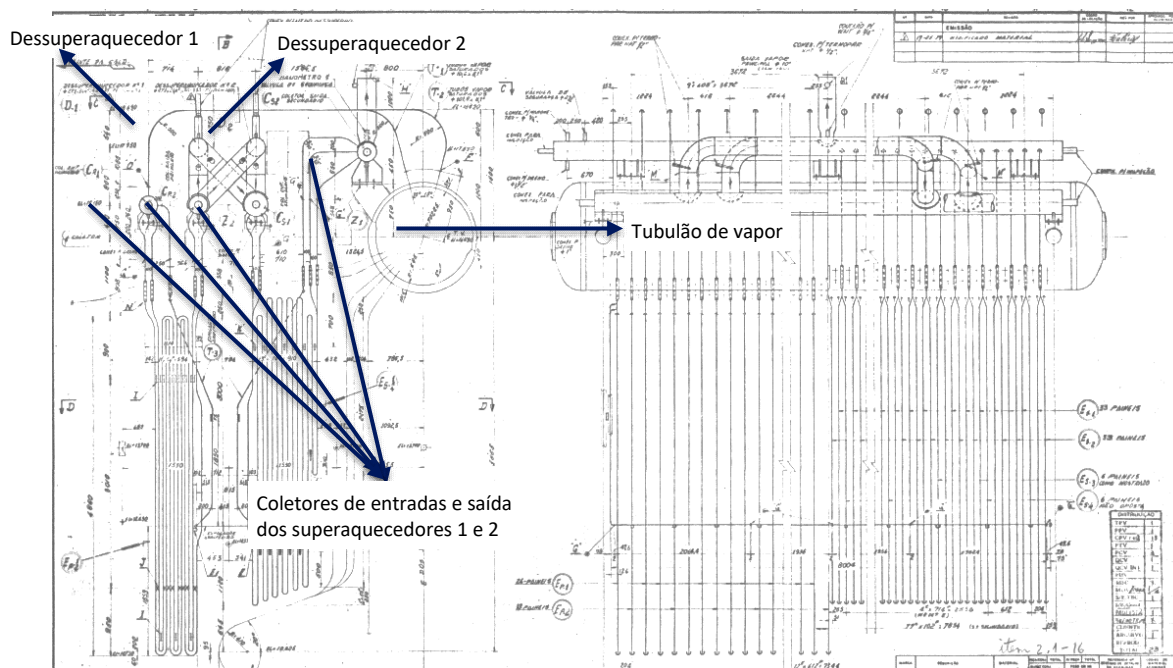


Figura 6 - Detalhe dos superaquecedores, coletores e dessuperaquecedores.

Há duas chicanas nos tubos *bank* da caldeira por onde flui o gás em fluxo cruzado entre os tubos, de material SA-178A, com diâmetro externos de 63,5mm e espessura de 3,5mm.

As paredes laterais e traseiras da caldeira são construídas de painéis de tubos de diâmetro externo 76,2mm, espessura 4,5mm e material SA-178A, soldados entre si através de aletas, sendo os tubos espaçados de 102mm.

Os tubos de circulação descendentes são constituídos pelos painéis laterais dos tubos *bank*, painel da parede traseira e 2 ou 3 filas dos tubos traseiros do bank.

A água fria é distribuída para cada coletor da fornalha através dos tubos distribuidores do tubulão de água e a mistura de vapor e água vai do coletor superior da fornalha para o tubulão de vapor passando através dos tubos de distribuição de vapor.

O tubo de alimentação de água ocupa toda extensão do tubulão de vapor, por onde a água é injetada através de pequenos furos localizados uniformemente através de toda a extensão do tubulão.

Um tubo duplo é adaptado na conexão entre o tubo de alimentação de água e o tubulão, procurando-se eliminar a tensão térmica ocasionada pela diferença de temperatura entre a água de alimentação e a água da caldeira, saturada.

Os tubos de dreno estão localizados na parte inferior do tubulão de vapor e servem para que o condensado retido nos filtros possam ser descarregados continuamente no sistema de circulação.

O vapor e uma pequena quantidade de água escapam pela parte superior dos painéis e passam para a parte principal do corpo do tubulão de vapor. Daí o vapor saturado e úmido sobe e passa através do filtro primário onde a maioria da água é eliminada. A seguir o vapor passa pelos filtros de secagem (filtro secundário) constituído de diversas camadas de telas, onde a última porção residual de água é removida. Esta água retorna pelo tubo de drenagem para a parte inferior do corpo do tubulão.

O tubulão de vapor da caldeira, assim como tubulão de água, é fabricado em chapa de aço por solda a fusão e todas as partes soldadas são testadas com raio x. Os tubulões são fabricados em ASTM-A-515-70, com variações de espessura ao longo do perímetro devido aos furos para conexão com os tubos do bank.

As paredes da fornalha são construídas com tubos de 76,2mm de diâmetro externo e espaçados de 102mm de centro a centro. Os espaços entre os tubos são ocupados por aletas de 1" de largura soldados automaticamente, o que constitui uma parede aquatubular com total selagem a vazamentos de gás. Todas as paredes são pré-fabricadas em painéis, que são soldados uns aos outros durante a montagem no campo.

Os tubos são mandrilados nos tubulões e nos coletores eles são soldados. Nas aberturas da fornalha (portas de acesso, sopradores de fuligem, queimadores etc.) os tubos são curvados.

Nestas áreas os tubos não são aletados e o cimento refratário é usado com a finalidade de vedação. O mesmo processo de vedação também é usado entre as duas fileiras de tubos da parede superior junto do corpo e nas chicanas.

Os tubos do piso da fornalha são cobertos com tijolos refratários assentados diretamente sobre os tubos, com suficiente folga para expansão.

O acabamento externo das paredes da fornalha e da caldeira consiste em um invólucro de chapas de alumínio trapezoidal de 0,8mm de espessura. O espaço entre o invólucro e a parte dos tubos é preenchido com mantas de lã mineral, reforçada em ambos os lados com telas de arame. As placas são presas às paredes por meio de pinos de fixação, que são soldados nas aletas dos tubos.

O *boiler bank* da caldeira consiste em um feixe tubular ligando o tubulão de vapor ao tubulão de água.

Os gases de combustão atravessam os tubos do bank perpendicularmente, em 3 passes obtidos por chicanas proporcionando uma máxima eficiência na troca térmica.

Os tubos principais, de 63,5mm de diâmetro externo e 3,5mm de espessura, são dispostos num arranjo em linha, com espaçamento transversal de 102mm e espaçamento longitudinal de 121mm.

As paredes laterais são constituídas por tubos de 72,5mm de diâmetro externo e espessura de 4,5mm, espaçados de 121mm, e com aletas de 21,4mm de largura por 6,3mm de espessura.

Cada um dos três passes possui um soprador de fuligem, do tipo rotativo.

A parede traseira do bank é constituída por tubos de 76,2mm de diâmetro externo e 4,5mm de espessura, espaçados de 102mm e com aletas de aço carbono de 11,9mm de largura por 6,3mm de espessura.

Todos os tubos são em aço carbono ASTM-A-178-A.

As extremidades dos tubos são reduzidas ao diâmetro de 50,8mm e são mandrilados nos furos dos tubulões de vapor e água.

No total a superfície de aquecimento corresponde a 2960 m<sup>2</sup>.

A fim de evitar ressonâncias devidas a frequências de vibrações formadas no interior da caldeira, são instaladas chicanas contra vibração na região dos tubos do bank, de forma a provocar frequências não adequadas à formação de ressonância.

Essas chicanas consistem em peças de chapa lisa superpostas verticalmente, e fixadas aos tubos do bank por parafusos tipo U. Após a fixação, as porcas são ponteadas com solda para evitar afrouxamento.

A caldeira possui dois superaquecedores, destinados redução da umidade e aumento da temperatura do vapor produzido.

O vapor saturado do tubulão de vapor é levado ao coletor de entrada do superaquecedor por meio de 20 tubos de diâmetro externo 101,6mm e espessura de 8,1mm, fabricados em material ASTM-A-106-B.

O superaquecedor é do tipo vertical, não drenável, pendente de dois estágios, tendo entre o 1º e o 2º estágios dois dessuperaquecedores tubulares, para controle da temperatura do vapor nas várias condições de queima, bem como em cargas parciais da caldeira.

O primeiro estágio do superaquecedor é localizado na saída da fornalha, acima do “nariz” da parede traseira da mesma, e é constituído por 39 painéis de 12 fileiras de tubos cada, com altura de aproximadamente 4.900mm.

Os tubos são de 45,0mm de diâmetro externo e espessura de 4,0mm, com espaçamento transversal de 204,0mm e longitudinal de 54,0mm. Os materiais utilizados na construção do primeiro estágio são ASTM-A213-T12 e ASTM-A213-T22.

Os coletores são apoiados sobre os coletores laterais superiores da fornalha, sendo o coletor de entrada de 10” de diâmetro externo, ATM-A-106-B, e o de saída 10” de diâmetro externo em ASTM-A-335-P1.

O segundo estágio do superaquecedor é localizado após o primeiro estágio, na entrada do bank, e é constituído por 78 painéis de 12 fileiras de tubos cada, com altura média de aproximadamente 4.200mm.

Os tubos são de 45,0mm de diâmetro externo e espessura 4,0mm, em ASTM-A-213-T11, com espaçamento transversal de 102,0mm e longitudinal de 70,0mm.

O coletor de entrada é apoiado sobre os coletores laterais da fornalha e são de 14", ASTM-A-335-P1.

O coletor de saída é apoiado sobre suportes no tubulão de vapor, sendo de 10" de diâmetro externo, em ASTM-A-335-P11.

O espaçamento dos tubos no sentido transversal à passagem dos gases é obtido por um tubo espaçador, no qual são soldadas peças de aço inoxidável A-309-S, sobre as quais se apoiam os painéis do superaquecedor. O vapor que passa por este tubo espaçador é do coletor de entrada do 1º estágio ao coletor de saída do 2º estágio.

Os tubos terminais de entrada e saída de ambos os estágios, são soldados aos tubos do teto da fornalha através de luvas tubulares, de 57,1mm de diâmetro externo e 5,0mm de espessura, em materiais conforme ASTM-A-213-T11 e ASTM-A-213-T12.

Entre o 1º e 2º estágio do superaquecedor, estão localizados dois dessuperaquecedores, de construção idênticas.

Os dessuperaquecedores são dispostos de forma a se obter um ótimo balanceamento de fluxo, distribuindo o vapor de maneira uniforme no superaquecedor.

Na entrada de cada dessuperaquecedor há um bico para injeção de água de alimentação a 160°C, que é atomizada mecanicamente por meio de orifícios de 6,4mm de diâmetro.

A vazão de água é controlada automaticamente, mantendo a temperatura de vapor final na faixa desejada.

Este dessuperaquecedor dispensa o uso de vapor para atomização, o que simplifica o sistema e facilita a operação diminuindo ainda problemas de manutenção.

O casco do dessuperaquecedor é protegido internamente por um "tubo de desgaste" preso por parafusos ao mesmo, onde é feita a mistura água-vapor antes da entrada do superaquecedor. Os dessuperaquecedores são fabricados em ASTM-A-335-P1, tendo 273,0mm de diâmetro externo e 230,2mm de diâmetro interno.

## **4.2 Parada de manutenção**

Conforme citado na revisão bibliográfica, a NR-13 estipula os prazos máximos onde os equipamentos enquadrados devem ser inspecionados para garantia de sua segurança operacional.

Para que seja realizada a inspeção de um equipamento do porte da caldeira CAL001, é necessário realizar uma preparação prévia à parada do equipamento.

Tendo em vista que a caldeira fornece vapor para diversas unidades da fábrica, além de contribuir com a geração de parte da energia consumida na planta, a ausência desse equipamento em operação causa um impacto significativo na produção.

Para mitigar esse impacto, foram realizadas diversas reuniões de planejamento, com o objetivo de assegurar que as atividades ocorram no menor tempo possível, possibilitando, assim, o retorno operacional da caldeira.

Durante a Parada Programada, várias atividades são realizadas em paralelo à principal atividade de inspeção, com diversas equipes atuando simultaneamente em uma ampla gama de serviços, desde a pintura de identificação de tubulações até a substituição de plataformas de acesso, envolvendo a movimentação de cargas pesadas.

O planejamento inicial para a Parada Programada da caldeira CAL001, previa início em 13/06/2022 e término em 28/06/2022, contabilizando um total de 15 dias com o equipamento fora de operação.

## **4.3 Plano de inspeção**

Considerando que a caldeira é um equipamento crítico, do ponto de vista da segurança operacional, é imprescindível que ela seja submetida a inspeções minuciosas, onde todos os seus componentes são avaliados e atestados, por um responsável técnico, através de diversas técnicas de inspeção.

Para a caldeira CAL001 foram estipulados ensaios com base nas normas e no conhecimento técnico adquirido ao longo dos anos e na expertise dos profissionais dedicados à inspeção.

Para se ter objetividade, será tratado aqui somente do componente que foi submetido a reparo e detalhado o plano de inspeção especificado para ele.

Os coletores e dessuperaquecedores da caldeira foram submetidos às seguintes técnicas de inspeção:

- Inspeção visual;
- Inspeção das soldas por partículas magnéticas;
- Inspeção das soldas por líquido penetrante;
- Inspeção por medição de espessura;
- Inspeção por réplicas metalográficas.

Durante a inspeção visual percebeu-se que a qualidade de duas juntas soldadas, JS1 e JS2, conforme Figura 7, estava aquém do controle de qualidade normalmente estipulado para soldas em caldeiras, conforme apresentado na Figura 8 e Figura 9.

Com base nessa avaliação foi realizado o ensaio de líquido penetrante onde foram detectadas descontinuidades relevantes conforme critério de aceitação utilizado nos procedimentos de inspeção, a saber, porosidade agrupada, excesso de deposição de material e falta de fusão. A Figura 10 apresenta a morfologia típica das descontinuidades encontradas.

Durante a investigação sobre o controle de qualidade utilizado nas juntas soldadas, descobriu-se que em uma das paradas de manutenção anteriores foi realizada uma intervenção na caldeira, onde os dessuperaquecedores foram cortados para realização de uma manobra operacional.



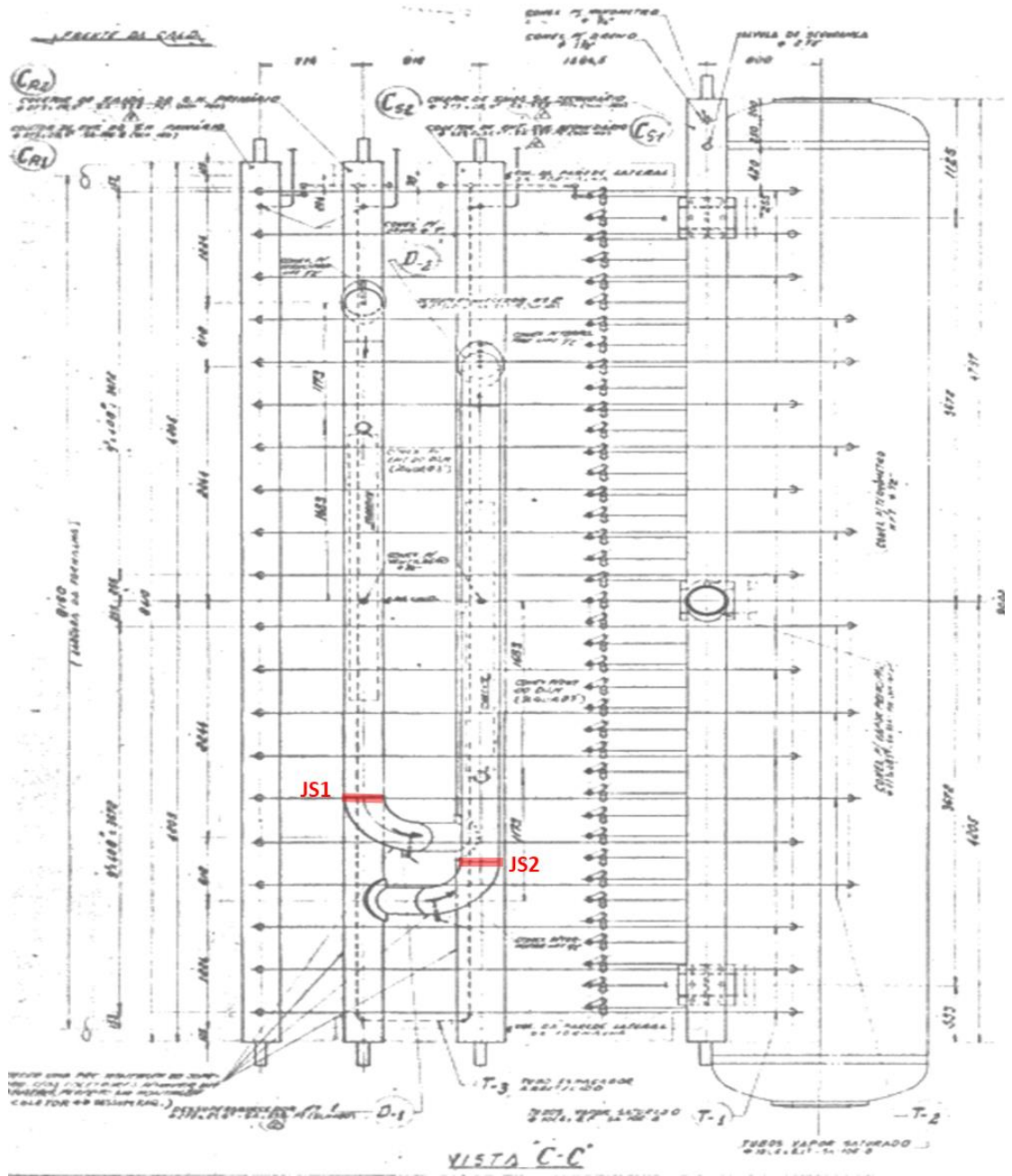


Figura 7 - Detalhe das juntas soldadas que apresentaram descontinuidades.



**Figura 8 - Aspecto visual da junta soldada JS1.**



**Figura 9 - Aspecto visual da junta soldada JS2.**

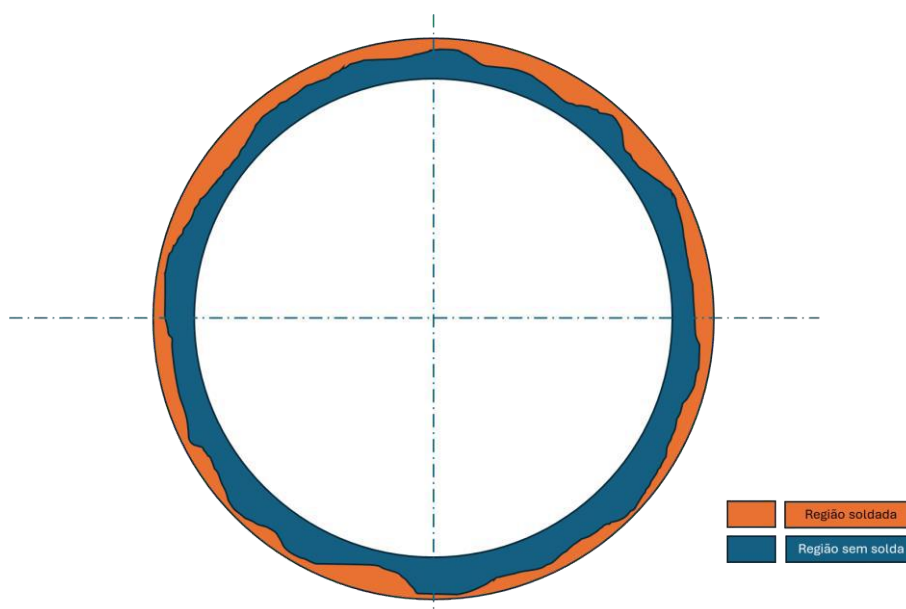


**Figura 10 - Morfologia típica das descontinuidades encontradas.**

Após a detecção das descontinuidades foi realizada uma reunião de alinhamento entre os responsáveis pela caldeira da empresa JJ e o profissional habilitado, responsável técnico, para apresentar o plano de ação para tratativas e os possíveis impactos em cronograma. Baseado na avaliação dos resultados dos ensaios não destrutivos e a preocupação com a integridade das duas juntas soldadas, a melhor solução para o momento seria realizar o desbaste das soldas para remoção das descontinuidades e avaliação subsequente. Entendendo a situação, os responsáveis pela caldeira aceitaram a recomendação e assim seguiu-se para a realização do desbaste das juntas nas regiões com descontinuidades.

Durante o desbaste foi percebido que as juntas soldadas não apresentavam penetração total. Em um dos pontos a profundidade da descontinuidade chegou ao fim da solda, porém sem chegar ao fim da espessura de parede do tubo, de modo que foi possível perceber que o defeito de falta de penetração se estendia ao longo de

todo perímetro, com alguns pontos com menos de 10% da parede do tubo soldada. A Figura 11 apresenta um esquemático da condição encontrada nas juntas soldadas JS1 e JS2 nos dois dessuperaquecedores.



**Figura 11 - Desenho esquemático da condição encontrada nas soldas dos dessuperaquecedores.**

De acordo com os critérios de aceitação da ASME IX, a descontinuidade de falta de penetração é considerada reprovada em juntas soldadas, devido ao impacto negativo que ela tem na integridade estrutural e no desempenho mecânico da solda. A falta de penetração ocorre quando o metal de solda não penetra completamente na raiz da junta, resultando em uma área de junção “fraca” que pode levar a falhas catastróficas sob carga.

Diante da situação encontrada foi recomendado a remoção de toda a solda para adequação da junta, porém foi informado que durante a montagem realizada as peças foram montadas tensionadas correndo o risco de, ao remover toda a solda, o espaçamento entre as peças ser maior que o espaçamento adequado para soldagem. Sendo assim a recomendação emitida foi a de realizar o corte do trecho reto para que fosse instalado um novo segmento que atendesse às distâncias necessárias para a realização da soldagem de forma correta.

Com a preocupação do tempo de parada e por não ter o material necessário em estoque, os responsáveis da empresa JJ decidiram realizar a remoção parcial da junta e soldar mesmo sem o devido espaçamento. Eles foram orientados sobre a possibilidade de reprovação da junta, pois obrigatoriamente a solda seria submetida ao controle de qualidade com os ensaios não destrutivos, porém decidiram seguir com a soldagem. O resultado disso foi como esperado, pois, a junta não apresentou penetração total, sendo reprovada no ensaio de ultrassom convencional e Phased Array.

Com essa tentativa de reparo realizada as curvas foram submetidas a 03 ciclos de soldagem (fabricação, reparo após intervenção e reparo atual) e conforme o procedimento da empresa esse era o valor máximo possível, não sendo permitido realizar novas soldas na mesma região. Diante dessa situação os responsáveis da empresa JJ iniciaram o contato com os fornecedores de materiais para que fosse possível comprar duas novas curvas e dois segmentos de trecho reto para adequação do espaçamento entre as juntas, permitindo assim uma soldagem adequada.

Com a remoção das curvas foi possível perceber as descontinuidades detectadas no ensaio de ultrassom. As Figura 12 e Figura 13 mostram esses detalhes.



**Figura 12 - Aspecto das descontinuidades encontradas na tubulação.**



**Figura 13 - Aspecto das descontinuidades encontradas na tubulação.**

Os dados levam a crer que não houve o acompanhamento de profissionais qualificados durante a execução da intervenção, permitindo que a soldagem e o controle de qualidade ficassem aquém do exigido pelos códigos de projeto. Entende-

se também que os ensaios realizados não foram suficientes para detectar as descontinuidades geradas durante o processo.

Após compra dos materiais, eles foram recebidos e avaliados para garantia da especificação técnica e composição química, conforme dados de projeto, trecho reto fabricado em ASTM A335P11 e as curvas de raio longo fabricadas em ASTM A234 WP11.

Antes de dar continuidade na soldagem definitiva, foi realizada mais uma reunião de alinhamento onde foram pautados todos os tópicos essenciais para o sucesso do reparo, onde seriam realizados os ensaios para controle de qualidade, acompanhamento de todas as etapas do processo por inspetores e soldadores qualificados, de forma a seguir todos os parâmetros estipulados dentro da Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS).

Os materiais foram preparados para soldagem com o ajuste dos biseis e realização do ensaio de líquido penetrante para garantir que não existiam descontinuidades prévias a montagem. Na sequência realizou-se o ponteamento das peças com acompanhamento de inspetor de solda para avaliar o alinhamento e espaçamento entre as peças. Após aprovação do dimensional foi iniciada a soldagem da raiz com eletrodo ER80S-B2 através do processo GTAW. Ao final da soldagem de raiz foi realizada a inspeção por líquido penetrante, sendo aprovada para dar continuidade ao enchimento, que se seguiu também com eletrodo ER80S-B2 pelo processo GTAW. O processo de enchimento poderia ter tido maior produtividade, porém não havia material/equipamento para soldagem com arame tubular (FCAW).

Existia a preocupação com a manutenção da temperatura ao longo do processo de soldagem por conta do material, aço baixa-liga, e por conta disso foi feita a montagem de resistências elétricas com manta de fibra cerâmica para garantia da temperatura adequada. Esse serviço foi realizado por uma empresa especializada em tratamento térmico, já atuante dentro da planta industrial.

Após o término do enchimento as juntas foram inspecionadas integralmente por partículas magnéticas e ultrassom Phased Array, sendo aprovadas sem ressalvas. Com isso foi dado sequência no tratamento térmico para alívio de tensões com temperatura de patamar em 680°C por 60 minutos, tendo a taxa de aquecimento e resfriamento de 100°C/hora.

Ao final do tratamento térmico as juntas foram novamente inspecionadas por partículas magnéticas e ultrassom Phased Array, sendo consideradas aprovadas.

A caldeira foi submetida ao teste hidrostático com pressão igual a 1,5 x PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) e após aprovação das demais inspeções realizadas foi liberada para operação.

Devido aos reparos necessários identificados durante a inspeção da caldeira, o cronograma originalmente previsto para 15 dias se estendeu para um total de 33 dias.

## 5 CONCLUSÕES

As decisões sobre intervenção em equipamentos pressurizados são usuais no ramo industrial, onde se é necessário saber o que fazer e como fazer para que se tenha garantia da segurança operacional desses equipamentos.

Esse trabalho apresentou um estudo de caso sobre o reparo em uma caldeira, onde decisões sem o devido embasamento técnico durante esse processo de reparo fizeram com que os requisitos essenciais para a garantia da segurança e da confiabilidade não fossem cumpridos. Essa falha colocou potencialmente em risco a segurança operacional do equipamento e de pessoas, assim como impacto na produção por conta da indisponibilidade do equipamento, pois o período calculado para a Parada de Manutenção mais que dobrou. Os serviços que estavam previsto para serem realizados em 15 dias, foram concluídos após 33 dias de atividades.

O papel do Engenheiro de Soldagem é crucial em momentos em que o conhecimento técnico se faz necessário para que as decisões tomadas sigam os critérios normativos e que todas as ferramentas possíveis sejam utilizadas para a realização dos serviços, dentro dos prazos estipulados, sempre que possível.

Deve-se ter em mente que os prazos impostos por questões administrativas não devem se sobrepor aos requisitos técnicos exigidos para a garantia da integridade dos equipamentos, pois os efeitos dessa negligência podem causar efeitos catastróficos.

## REFERÊNCIAS

TELLES, Pedro C. da Silva. Vasos de Pressão. - 2ª edição. LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora –Rio de Janeiro, 1996.

LIMA, Ivo Andrei de Oliveira Lino. Projeto mecânico de vasos de pressão: princípios, fundamentos e filosofia do ASME. – 2ª edição. São Paulo: Editora Dialética, 2023.

ASME (American Society of Mechanical Engineering), Section I. Rules for Construction of Power Boilers, 2023.

ASME (American Society of Mechanical Engineering), Section V. Nondestructive Examination, 2023.

ASME (American Society of Mechanical Engineering), Section VIII, Division 1. Rules for Construction of Pressure Vessels, 2023.

ASME (American Society of Mechanical Engineering), Section IX. Welding, Brazing, and Fusing Qualifications, 2023.

Normas Regulamentadoras – NR. Ministério do Trabalho e Emprego. Publicado em 22/10/2020. Atualizado em 14/02/2023. Disponível em <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs>. Acesso em 25/11/2023.

The National Board Inspection Code. Disponível em <https://www.nationalboard.org/index.aspx?pageID=4>. Acesso em 25/11/2023.