


**AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE E INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE
CALDEIRA FLAMOTUBULAR: NR-13 E ASME**

**ASSESSMENT OF COMPLIANCE AND STRUCTURAL INTEGRITY OF FIRE
TUBE BOILER: NR-13 AND ASME**

**EVALUACIÓN DE CUMPLIMIENTO E INTEGRIDAD ESTRUCTURAL DE
CALDERA FIRETUBULAR: NR-13 Y ASME**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n9-308>

Data de submissão: 30/08/2025

Data de publicação: 30/09/2025

Daniel William Ferreira Martins

Pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho

Instituição: Facuminas

E-mail: ferreiramartins.eng.civil@gmail.com

Clélio Rodrigo Paiva Rafael

Mestre em Tecnologia Ambiental

Instituição: Facuminas

E-mail: Clelio_rodrigo10@hotmail.com

Nislaine Caetano Silva Mendonça

Doutora em Química

Instituição: Universidade Federal de Goiás (UFG)

E-mail: nislaine_bio@yahoo.com.br

Ronald Assis Fonseca

Doutorando em Ciência Florestal

Instituição: Universidade Federal dos Vale do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM)

E-mail: Ronald.ufv@hotmail.com

Márcia Meryllis Alves Pereira

Mestre em Engenharia Civil e Ambiental

Instituição: Universidade Federal de Pernambuco

E-mail: marciamerylliss@hotmail.com

Gessymar Nazaré Silva Souza

Mestre em Comunicação, Linguagens e Culturas

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: gessymarcrq@gmail.com

Pedro Paulo Grossi Zafra

Bacharel em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: pedro.zafra@etec.sp.gov.br

Jorge Luis Cury
Pós-graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho
Instituição: Facuminas
E-mail: jorgeluiscury@gmail.com

RESUMO

Este trabalho analisa a conformidade de uma caldeira flamotubular com a NR-13 e a ASME VIII Div. 1. Foram realizadas inspeção visual, análise documental, medição de espessuras, verificação das válvulas de segurança e ensaio hidrostático. As inspeções revelaram ausência de prontuário, falhas nos dispositivos de alívio e vazamento estrutural, caracterizando não conformidades. Ainda assim, a integridade mecânica foi confirmada, permitindo intervenções corretivas para garantir a continuidade segura e regulamentar da operação.

Palavras-chave: Integridade Mecânica. Equipamento Pressurizado. Inspeção Técnica. Segurança Operacional. Conformidade Regulatória.

ABSTRACT

This study analyzes the compliance of a fire-tube boiler with NR-13 and ASME VIII Div. 1. A visual inspection, document analysis, thickness measurement, safety valve verification, and hydrostatic testing were performed. The inspections revealed missing data sheets, faulty relief devices, and structural leaks, all of which constitute nonconformities. However, mechanical integrity was confirmed, allowing corrective interventions to ensure continued safe and regulatory operation.

Keywords: Mechanical Integrity. Pressurized Equipment. Technical Inspection. Operational Safety. Regulatory Compliance.

RESUMEN

Este estudio analiza la conformidad de una caldera pirotubular con la norma NR-13 y ASME VIII Div. 1. Se realizó una inspección visual, análisis de documentos, medición de espesores, verificación de válvulas de seguridad y pruebas hidrostáticas. Las inspecciones revelaron la falta de hojas de datos, dispositivos de alivio defectuosos y fugas estructurales, todos ellos considerados no conformes. Sin embargo, se confirmó la integridad mecánica, lo que permitió implementar medidas correctivas para garantizar un funcionamiento seguro y regulatorio.

Palabras clave: Integridad Mecánica. Equipos Presurizados. Inspección Técnica. Seguridad Operacional. Cumplimiento Normativo.

1 INTRODUÇÃO

A geração de vapor em caldeiras industriais envolve operação sob pressão e temperatura elevadas, sendo reconhecida como atividade de risco elevado. A liberação abrupta de energia térmica e mecânica, resultante de falhas estruturais ou funcionais, caracteriza cenários de acidentes ampliados. A experiência brasileira em acidentes com equipamentos pressurizados tem demonstrado que a falha na gestão técnica de caldeiras é fator determinante para a ocorrência de eventos com consequências letais, conforme demonstrado na análise de explosões industriais no setor petroquímico (Freitas, 2000).

A caldeira flamotubular, frequentemente utilizada em plantas de pequeno porte e ciclos semi-contínuos, apresenta configuração em que os gases quentes circulam por tubos imersos em água, caracterizando elevada transferência de calor por convecção forçada. A operação adequada desse tipo de caldeira exige controle sobre variáveis como temperatura do fluido térmico, pressão interna, integridade das superfícies de troca térmica e estado dos dispositivos de segurança (De Paula et al., 2024). A norma regulamentadora NR-13 estabelece os requisitos mínimos para a gestão da integridade estrutural desses equipamentos, contemplando critérios obrigatórios para instalação, operação, manutenção e inspeção (Brasil, 2022).

Do ponto de vista normativo, a NR-13 não apresenta metodologia de cálculo para definição da espessura mínima admissível de cascos e tampos, razão pela qual a indústria adota, como referência técnica complementar, o código ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section VIII, Division 1. Esta norma define os critérios para projeto de vasos de pressão com base em relações algébricas padronizadas e fatores de segurança estabelecidos, dispensando análises numéricas avançadas (Rodrigues, 2022). Entre as exigências normativas destacam-se a verificação das tensões admissíveis, a definição da pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) e a aplicação de coeficientes de eficiência de junta e perdas por corrosão conforme estabelecido no código ASME (ALRawe, 2023).

O processo de cálculo da pressão admissível segundo a ASME VIII Div. 1 considera variáveis como a espessura residual do casco, o diâmetro interno, a tensão admissível do material em função da temperatura de operação e o tipo de junta de solda aplicada (ASME, 2021). A análise dessas variáveis permite determinar se o equipamento ainda atende às exigências de resistência mecânica e se pode operar dentro do limite de segurança projetado. Tal abordagem é compatível com as diretrizes de segurança equivalentes aprovadas por agências internacionais como a Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) dos Estados Unidos, segundo o relatório de avaliação da edição 2021 do código ASME (Lower et al., 2022).

A ausência de prontuário técnico, livro de manutenção atualizado e registros de inspeção compromete a rastreabilidade e a conformidade do equipamento com a NR-13. Além disso, válvulas de segurança com inspeção vencida ou pressão de abertura fora da especificação representam falha crítica conforme o item 13.4.1.2 da norma (Brasil, 2022). Em situações de pressão excedente, esses dispositivos são os únicos responsáveis pela proteção contrarruptura do vaso de pressão. O descumprimento desse requisito representa risco iminente de acidente e justifica a interdição imediata da caldeira.

A realização de ensaio hidrostático, conforme estabelecido na ASME Section VIII, é fundamental para validação da integridade estrutural do equipamento, sendo exigido tanto na fase de fabricação quanto em inspeções extraordinárias (ALRawe, 2023; Lower et al., 2022). A metodologia prevê aplicação de pressão superior à PMTA por meio de líquido incompressível, permitindo detecção de falhas sem risco de colapso explosivo. A aprovação desse ensaio confere confiabilidade ao equipamento, desde que mantido o controle sobre os dispositivos auxiliares e as condições de operação.

A pesquisa apresentada neste artigo desenvolveu uma análise normativa e estrutural de uma caldeira flamotubular instalada em unidade industrial do setor de extração de óleo essencial. A abordagem metodológica adotada utilizou de inspeção visual, análise documental, medição de espessuras, avaliação do desempenho de válvulas de segurança e aplicação de ensaio hidrostático. A análise foi conduzida com base nos requisitos estabelecidos pela NR-13 e nos critérios de dimensionamento definidos pela ASME Section VIII Division 1. O estudo buscou identificar não conformidades, verificar a viabilidade operacional do equipamento e propor intervenções técnicas que assegurem sua continuidade em condições seguras e compatíveis com os marcos regulatórios vigentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi conduzido em uma unidade industrial de pequeno porte, especializada na produção de óleo essencial de citronela a partir do processamento da planta *Cymbopogon*. A estrutura da planta fabril inclui sistema de arraste a vapor, dornas de aço inoxidável para decantação de fases líquidas, unidade de envase e um sistema térmico baseado em caldeira flamotubular classe B. O processo produtivo é operado em ciclo semi-contínuo, com recirculação do condensado, uso de fornalha a lenha e alimentação de água industrial sem tratamento de desmineralização.

A caldeira avaliada, do tipo flamotubular com superfície de vaporização de 37 m² e PMTA de 8,55 kgf/cm², é responsável pelo fornecimento de vapor saturado ao processo de extração. O

equipamento é regido pelos requisitos estabelecidos na NR-13 (Brasil, 2022), sendo sua análise conduzida com base nas diretrizes da ASME Boiler and Pressure Vessel Code – Section VIII Division 1 (ASME, 2021).

2.2 PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO TÉCNICA

A metodologia aplicada seguiu os princípios da inspeção normativa previstos na NR-13 e foi composta por quatro etapas principais:

a) Inspeção documental e levantamento dimensional

Realizou-se o levantamento da existência e conformidade dos documentos obrigatórios da caldeira, tais como: prontuário técnico, livro de manutenção periódica, certificado das válvulas de segurança e registros de inspeções anteriores. Constatada a ausência desses itens, deu-se início à inspeção física. Em campo, foram aferidas as espessuras do casco e dos tampos da caldeira por meio de paquímetro digital, e os dados coletados foram utilizados como base para o recalculo conforme fórmulas da ASME VIII Div. 1, incluindo correções por temperatura e corrosão.

b) Avaliação estrutural por cálculos técnicos

Utilizou-se planilha computacional desenvolvida com base nas equações da ASME Section VIII Div. 1 para o cálculo da PMA do casco cilíndrico e tampo plano da caldeira. Consideraram-se os parâmetros obtidos da placa de identificação, espessuras medidas em campo, e propriedades do aço ASTM A285 Grau A conforme ASME Section II Part D (2015). A integridade estrutural foi validada ao confrontar os valores recalculados com a pressão de operação da caldeira.

c) Inspeções físicas complementares

Foram realizadas inspeções visuais dos seguintes elementos:

- Tubulações de vapor e água (verificação de vazamentos e conexões);
- Tubos internos da caldeira (corrosão e incrustações);
- Juntas soldadas do casco e tampo (continuidade e descontinuidades superficiais).

Para avaliação dos dispositivos de segurança, verificou-se o funcionamento e o estado de calibração das duas válvulas de segurança instaladas, observando-se as pressões de abertura reais em comparação à PMTA. Ambas foram avaliadas quanto à conformidade com o item 13.4.1.2 da NR-13 e a ASME Section XIII (Lower et al., 2022).

d) Ensaio hidrostático

O equipamento foi submetido a ensaio hidrostático até a pressão de 12,88 kgf/cm² (cerca de 1,5 vezes a PMTA), conforme prescrição da ASME Section VIII Div. 1 (ALRawe, 2023). A ausência de vazamentos e deformações visíveis confirmou a integridade estrutural pressurizada do conjunto.

Detalhamentos adicionais sobre os parâmetros utilizados nos cálculos estruturais e sobre os critérios normativos adotados para cada item inspecionado encontram-se organizados nos Anexos A e B, ao final deste artigo. Tais anexos complementam os procedimentos descritos nesta seção.

2.3 AÇÕES POSTERIORES À INSPEÇÃO

A partir dos dados coletados, foram definidas ações corretivas e de melhoria técnica para garantir a continuidade segura da operação. Dentre essas, destacam-se:

- Elaboração do novo prontuário técnico da caldeira;
- Abertura e organização do livro de manutenção;
- Recalibração e/ou substituição das válvulas de segurança reprovadas;
- Substituição de trecho danificado da linha de alimentação (cotovelo de PVC);
- Recomendações para tratamento da água e atualização do isolamento térmico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A inspeção técnica foi conduzida em uma caldeira flamotubular classe B, conforme classificação da NR-13 (item 13.4.1.1), com pressão máxima de trabalho admissível (PMTA) de 8,55 kgf/cm² e superfície de vaporização de 37 m².

Figura 1. Placa de identificação da caldeira.



A análise envolveu inspeção visual, verificação dimensional, ensaio hidrostático, avaliação de dispositivos de segurança e confrontação dos parâmetros construtivos com os critérios estabelecidos na ASME BPVC Section VIII, Division 1.

Figura 2. Vista geral da caldeira instalada na planta produtora de óleo essencial de citronela.



3.1 AVALIAÇÃO DOCUMENTAL E CONFORMIDADE NORMATIVA

No momento da vistoria, constatou-se a ausência de prontuário da caldeira e do livro de manutenção e inspeção periódica, documentos obrigatórios conforme a NR-13 (item 13.4.1.5), o que constitui condição de não conformidade grave. A ausência desses registros compromete a rastreabilidade do histórico operacional e impede a adequada gestão da integridade do equipamento (Brasil, 2022).

3.2 VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL E RECALCULO ESTRUTURAL

As espessuras do casco e dos tampos foram medidas com paquímetro e comparadas aos valores calculados com base na ASME VIII Div. 1. O recalculo do casco indicou uma pressão máxima admissível (PMA) de 8,67 kgf/cm², valor superior à PMTA estabelecida na placa de identificação. A espessura residual do casco medida foi de 10,4 mm, o que indica uma perda total de 2,12 mm desde a fabricação (incluindo perdas por calandragem e corrosão). Este resultado confirma a integridade estrutural atual, desde que mantido o monitoramento periódico conforme preconizado pela ASME e NR-13 (Rodrigues, 2022; ALRawe, 2023).

Figura 3. Planilha de cálculo do casco da caldeira com base na ASME VIII Div. 1.

DIMENSIONAMENTO DE CASCOS		
1	Material do vaso	SA 285 A
2	Temperatura de operação	115 °C
3	D - Diâmetro interno	1500,00 mm
4	Eficiência de junta	0,85
5	P - Pressão de Projeto	8,55 kgf/cm ²
6	Densidade do fluido de operação	1,00 g/cm ³
7	Densidade da água do teste hidrostático	1,00 g/cm ³
8	Altura do fluido em operação	1,50 m
9	Altura do tampo inferior	0,10 m
10	Altura entre tampos - CET	2,50 m
11	S - Tensão admissível equipamento quente	306,78 kgf/cm ²
12	S - Tensão admissível equipamento frio	306,78 kgf/cm ²
13	P2 - Pressão de coluna do fluido de operação	0,15 kgf/cm ²
14	Pressão total	8,70 kgf/cm ²
15	t - espessura requerida baseado esforço radial sem correção	8,52 mm
16	t - espessura requerida baseado esforço longitudinal sem correção	4,22 mm
17	espessura crítica de projeto	8,52 mm
18	Incluir corrosão	3,00 mm
19	Espessura teórica necessária do projeto	11,52 mm
20	Adotar espessura comercial	12,50 mm
21	Perda no processo de conformação UG 79	1 mm
22	Espessura necessária de projeto + min+ corrosão + perdas	12,52 mm
23	Espessura real de projeto está menor que a comercial?	Sim
24	Espessura do casco corroído e quente	8,50 mm
25	Pressão máxima admissível radial (PMA) quente e corroída	8,673151 kgf/cm ²
26	Pressão máxima admissível longitudinal (PMA) quente e corroída	17,350189 kgf/cm ²
27	Pressão máxima admissível radial (PMA) nova e fria	11,710628 kgf/cm ²
28	Pressão máxima admissível longitudinal (PMA) nova e fria	23,782599 kgf/cm ²
29	PMA real do componente	8,53 kgf/cm ²
30	Tensão radial atuante real	909,25536 kgf/cm ²
31	Tensão longitudinal atuante real	449,51003 kgf/cm ²

Figura 4. Cálculo do casco da caldeira com base na ASME VIII Div. 1.

A - Casco cilíndrico
ASME Seção VIII - Divisão 1

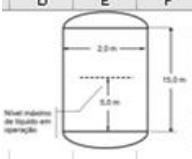
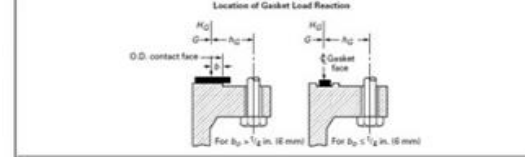
		Tensões circunferenciais	Tensões longitudinais
		$P \leq 0,385SE$	$P \leq 1,25SE$
$t \leq R/2$	Esp. mínima requerida	$t = \frac{PR}{(SE - 0,6P)} = \frac{PR_o}{(SE + 0,4P)}$	$t = \frac{PR}{(2SE + 0,4P)} = \frac{PR_o}{(2SE + 1,4P)}$
	Pressão máxima admissível	$P = \frac{tSE}{(R + 0,6t)} = \frac{tSE}{(R_o - 0,4t)}$	$P = \frac{2tSE}{(R - 0,4t)} = \frac{2tSE}{(R_o - 1,4t)}$
	Tensões atuantes	$S = \frac{P(R + 0,6t)}{tE} = \frac{P(R_o - 0,4t)}{tE}$	$S = \frac{P(R - 0,4t)}{2tE} = \frac{P(R_o - 1,4t)}{2tE}$
		$P > 0,385SE$	$P > 1,25SE$
$t > R/2$	Espessura mínima requerida	$t = R \left(Z^{\frac{1}{2}} - 1 \right) = \frac{R_o \left(Z^{\frac{1}{2}} - 1 \right)}{Z^{\frac{1}{2}}}$ $Z = \frac{SE + P}{SE - P}$	$t = R \left(Z^{\frac{1}{2}} - 1 \right) = \frac{R_o \left(Z^{\frac{1}{2}} - 1 \right)}{Z^{\frac{1}{2}}}$ $Z = \frac{P}{SE} + 1$
	Pressão máxima admissível	$P = \frac{SE(a^2 - 1)}{(a^2 + 1)} = \frac{SE(1 - b^2)}{(1 + b^2)}$ $a = \frac{t}{R} + 1 \quad b = \frac{t}{R_o} - 1$	$P = SE(a^2 - 1) = \frac{SE(1 - b^2)}{b^2}$ $a = \frac{t}{R} + 1 \quad b = \frac{t}{R_o} - 1$
	Tensões atuantes	$S = \frac{P(a^2 + 1)}{E(a^2 - 1)} = \frac{P(1 + b^2)}{E(1 - b^2)}$	$S = \frac{P}{E(a^2 - 1)} = \frac{P(1 + b^2)}{E(1 - b^2)}$

Para o tampo plano, a PMA recalculada foi de 8,80 kgf/cm², igualmente satisfatória frente à PMTA especificada. Contudo, a espessura aferida de 81,09 mm encontra-se próxima ao limite inferior previsto para o componente corroído e sob temperatura operacional, o que reforça a necessidade de nova avaliação no próximo ciclo de inspeção.

Figura 5. Cálculo do tampo da caldeira, com parâmetros de espessura e tensão admissível segundo a ASME VIII Div. 1 (a).

1	DIMENSIONAMENTO DO TAMPO INFERIOR TIPO "1" FIG UG 34	
2	Material do vaso	SA 285 A
3	Temperatura de operação	115 C
4	D - Diâmetro interno	1500,00 mm
5	Eficiência de junta	1,00
6	Espessura do casco quente requerido - tr	11,50 mm
7	Espessura do casco quente e corroído nominal - ts	8,50 mm
8	Coefficiente m	1,3523412
9	Coefficiente C	0,30
10	P - Pressão de Projeto	8,55 kgf/cm ²
11	Densidade do fluido de operação kgf/cm ³	1,00 g/cm ³
12	Densidade do da água do teste hidrostático	1,00 g/cm ³
13	Altura do fluido em operação	1,50 m
14	Altura do tampo	0,10 m
15	Altura entre tampos	2,50 m
16	S - Tensão admissível equipamento quente	906,78 kgf/cm ²
17	S - Tensão admissível equipamento frio	906,78 kgf/cm ²
18	P2 - Pressão de coluna do fluido de operação	0,15 kgf/cm ²
19	Pressão total	8,70 kgf/cm ²
20	t - espessura requerida baseado esforço radial sem correção	80,61 mm
21	Espessura crítica de projeto	80,61 mm
22	Inserir corrosão	1,50 mm
23	Espessura teórica necessária do projeto	82,11 mm
24	Adotar espessura comercial	82,55 mm
25	Perda no processo de conformação UG 79	0 mm
26	Espessura necessária de projeto = min+ corrosão + perdas	82,11 mm
27	Espessura real de projeto está menor que a comercial?	SIM
28	Espessura do tampo corroído e quente	81,05 mm
29	Espessura do tampo novo e frio	82,55 mm
30	Pressão máxima admissível radial (PMA) quente e corroída	8,80 kgf/cm ²
31	Pressão máxima admissível radial (PMA) nova e fria	9,13 kgf/cm ²
32	PMA real do componente	8,65 kgf/cm ²
33	Tensão atuante real	896,91 kgf/cm ²
34	Largura efetiva da junta b	40,00 mm
35	Diâmetro efetivo da junta G	2200,00 mm
36	Braco de momento da junta Hg	40,00 mm
37	Fator m	1,25
38	Fator de selagem da junta	2,80 Mpa
39	W/m1	386925,17 Kgf

Figura 6. Cálculo do tampo da caldeira, com parâmetros de espessura e tensão admissível segundo a ASME VIII Div.(1).

D	E	F	G	H	I	J	K
Circular, com ligação aparafusada							
							
G - Tapos Planos Para o dimensionamento dos tapos planos utilizaremos a seguinte nomenclatura: C = Fator que depende do tipo de tampo, método de ligação, dimensões, etc... Este fator, para tapos soldados, inclui um fator igual a 0.667 o que efetivamente aumenta a tensão admissível, em tais construções para 1.5.S. D = dimensão maior de um tampo não circular, medida perpendicularmente à dimensão menor; d = diâmetro ou menor dimensão para tapos não circulares; h ₀ = braço do momento da junta, distância radial entre a linha de centro dos parafusos à linha de reação da junta; E = eficiência de junta; L = perímetro medido ao longo da linha de centro dos parafusos de um flange não circular; m = relação t / L; P = pressão de projeto; S = tensão máxima admissível; t = espessura requerida para o tampo; t ₁ = espessura requerida para o casco cilíndrico, sem costura; t ₂ = espessura de fabricação do casco, excluída a sobresspressão de corrosão; W = carga dos parafusos; Z = fator para tapos não circulares.							
Table 2-5.2 Effective Gasket Width (Cont'd) Location of Gasket Load Reaction  GENERAL NOTE: The gasket factors listed only apply to flanged joints in which the gasket is contained entirely within the inner edges of the bolt holes. NOTE: (1) Where serrations do not exceed 1/16 in. (1.6 mm) depth and 1/16 in. (1.6 mm) width spacing, sketches (1b) and (1d) shall be used.							

Para o teste hidrostático, temos o resultado calculado conforme a planilha de cálculo representada na Figura 7.

Figura 7. Cálculo de Teste Hidrostático segundo a ASME VIII Div.(1)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		TABELA RESUMO							
2		Cascos	Tampo elíptico	Tampo esférico	Tampo Toroesférico	Tampo cônico	Tampo Plano soldado	Tampo plano parafusado	
3	PMA corroida e quente (kgf/cm²)	8,67						8,80	
4	PMA nova e fria (kgf/cm²)	11,71						9,13	
5	Altura de fluido teste hidrost. (m)				1,50				
6	Tensão admissível	906,78						906,78	
7	Espessura req mm	12,50						82,55	
9	PSV	A pressão de ajuste da PSV pode ser qualquer valor compreendido entre a PMA cq do equipamento nas condições corroida e quente e pressão de projeto. Exemplo - Um equipamento em que a pressão de projeto é de 10bar e a PMA é de 12,5bar, pode regular a PSV 10 a 12,5bar							
14	PMA corroida e quente	8,67	Kgf/cm²	PSV	8,82	Kgf/cm²			
15	PMA nova e fria	9,13	Kgf/cm²						
16	Pressão de Projeto	8,55	Kgf/cm²						
17	Pressão de coluna no teste	0,15	Kgf/cm²						
18	Tensão admissível frio	906,78	Kgf/cm²						
19	Tensão admissível quente	906,78	Kgf/cm²						
20	Diâmetro do equipamento	1500	mm						
21	Pressão de teste hidrostático padrão	11,076	Kgf/cm²						
22	Pressão de teste alternativa nf	11,719	Kgf/cm²						
23	Pressão de teste a ser aplicada	12,88	Kgf/cm²						
24	Tensão de Escoamento tampo sup	165	Mpa						
25	Tensão de Escoamento tampo inf	165	Mpa						
26	Tensão de Escoamento casco	165	Mpa						
27	Espessura do casco corroida e quente	10,4	mm	atual					
28	Fator K	0,93							
29	Eficiência de junta	0,90							
30	Tensão atuante do equipamento crit	972,4334	Kgf/cm²						
31	Limite máximo permitido para aprova	1349,04	Kgf/cm²						
32	Situação do projeto	Aprovado							

Teste hidrostático aprovado com pressão de teste a ser aplicada de 12,88 kgf/cm².

3.3 INSPEÇÃO DOS TUBOS INTERNOS

Os tubos internos não apresentaram corrosão significativa além do sobremetal adotado pela ASME VIII Div. 1. A avaliação visual indicou apenas acúmulo de fuligem resultante da queima do combustível (lenha), sendo recomendada apenas limpeza mecânica. Essa abordagem está alinhada à manutenção de rotina recomendada por Lower et al. (2022) e pela própria NR-13 que estabelece inspeções internas conforme periodicidade estabelecida.

Figura 8. Condição dos tubos internos da caldeira no momento da inspeção visual.



3.4 AVALIAÇÃO DAS VÁLVULAS DE SEGURANÇA

As duas válvulas de segurança foram reprovadas por apresentarem datas de inspeção vencidas (última realizada em 26/06/2023) e valores de abertura divergentes dos parâmetros estabelecidos. A primeira válvula, ajustada para 7,5 kgf/cm², abriu a 8,2 kgf/cm²; a segunda apresentou abertura a 8,0 kgf/cm² frente ao especificado de 8,5 kgf/cm². A NR-13 exige que as válvulas sejam testadas e calibradas para a PMTA do equipamento, e a ASME Section XIII estabelece que essas válvulas sejam inspecionadas e certificadas por entidade credenciada (Lower et al., 2022).

Figura 9. Primeira válvula de segurança com etiqueta de inspeção vencida.



Figura 10. Segunda válvula de segurança em desacordo com a PMTA estabelecida.



A falha nesse sistema representa risco iminente à segurança operacional, conforme definido na NR-13, e requer intervenção imediata com substituição ou recalibração das válvulas por profissional habilitado.

3.5 INSPEÇÃO VISUAL DAS SOLDAS E ENSAIO HIDROSTÁTICO

A inspeção visual das soldas, embora aprovada, não foi acompanhada de ensaios não destrutivos mais robustos, como líquido penetrante ou radiografia. A literatura recomenda a aplicação de ensaios complementares em soldas de vasos sujeitos a ciclos térmicos e pressões elevadas (Telles, 2001), especialmente considerando que a NR-13 exige inspeção visual conforme critérios técnicos da ABNT NBR 5462.

O ensaio hidrostático, realizado com pressão de 12,88 kgf/cm², foi aprovado sem vazamentos ou deformações visíveis. O valor está em conformidade com a ASME Section VIII Div. 1, que requer que a pressão de teste seja, no mínimo, 1,3 vezes a PMTA, conforme descrito por ALRawe (2023). Assim, o teste validou a capacidade estrutural da caldeira no presente ciclo.

Tabela 1. Síntese das Avaliações Técnicas

Item Avaliado	Situação	Conformidade	Recomendação
Prontuário e Livro de Manutenção	Inexistente	Não conforme (NR-13, item 13.4.1.5)	Elaboração imediata dos documentos técnicos
Espessura do Casco	10,4 mm	Conforme (ASME VIII Div. 1)	Monitorar corrosão e espessura residual
Espessura do Tampo	81,09 mm	Limiar inferior	Reavaliar no próximo ciclo
Tubos Internos	Sem corrosão	Conforme	Limpeza mecânica de fuligem
Válvula de Segurança 1	Inspeção vencida / abertura incorreta	Não conforme (NR-13, item 13.4.1.2)	Substituição ou recalibração urgente
Válvula de Segurança 2	Inspeção vencida / abertura incorreta	Não conforme	Substituição ou recalibração urgente
Inspeção Visual das Soldas	Aprovada	Parcial (falta ensaio complementar)	Realizar ensaio por líquido penetrante
Ensaio Hidrostático	Aprovado (12,88 kgf/cm²)	Conforme	Repetir em próxima inspeção obrigatória

Cotovelo de PVC na linha de alimentação	Vazamento detectado	Não conforme	Substituição imediata
Isolamento térmico	Ineficiente	Não afeta segurança	Melhorar eficiência energética
Pintura externa	Degradada	Estética/Proteção externa	Reaplicação recomendada para longevidade

Fonte: Autores (2025).

3.6 PROPOSTAS DE MELHORIA E RACIONALIZAÇÃO TÉCNICA

Com base nas análises realizadas foram desenvolvidas propostas de melhorias, aos quais estão descritas a seguir.

Implantação de prontuário e livro de manutenção, assegurando rastreabilidade histórica e cumprimento da NR-13.

Substituição das válvulas de segurança, acompanhada de laudo de calibração e certificação de abertura conforme a ASME Section XIII.

Melhoria no isolamento térmico como medida de eficiência energética, não obrigatória pela NR-13, mas recomendada para economia de combustível, conforme boas práticas operacionais.

Reforço na metodologia de inspeção das soldas com inclusão de ensaios não destrutivos, conforme recomendação de ALRawe (2023) e Telles (2001), em alinhamento com práticas adotadas pela ASME Section V.

Desmineralização da água de alimentação para reduzir incrustações e corrosão interna, aumentando a vida útil do equipamento, conforme previsto em Freitas (2000) para controle de riscos ampliados.

Assim, os resultados demonstram que, embora a estrutura básica da caldeira permaneça funcional e resistente, o descumprimento de requisitos documentais e falhas nos dispositivos de segurança indicam vulnerabilidades operacionais importantes. Tais deficiências podem comprometer a segurança do trabalho e infringem os critérios estabelecidos pela NR-13 e pela ASME BPVC.

4 CONCLUSÃO

A inspeção normativa e estrutural da caldeira flamotubular em operação revelou que, embora o equipamento apresente condições estruturais compatíveis com a continuidade operacional, há falhas graves nos requisitos documentais e de segurança exigidos pela NR-13. A ausência de prontuário técnico, do livro de manutenção e das certificações atualizadas das válvulas de segurança constitui não conformidade significativa, comprometendo a rastreabilidade do histórico técnico e a integridade funcional do sistema de alívio de pressão.

Os cálculos realizados conforme a ASME Section VIII Division 1 demonstraram que tanto o casco quanto o tampo plano da caldeira mantêm resistência mecânica compatível com a pressão de operação estabelecida, com margem de segurança adequada. A espessura residual aferida no casco e nos componentes críticos indica perda material dentro dos limites toleráveis, desde que observada a periodicidade de monitoramento.

Apesar da integridade estrutural validada pelo ensaio hidrostático, a reprovação das válvulas de segurança e a presença de vazamento em conexão inadequada (cotovelo de PVC) mostram falhas operacionais que requerem intervenção imediata. A ausência de ensaios não destrutivos complementares nas soldas também representa um ponto vulnerável na avaliação completa da integridade, principalmente em equipamentos sujeitos a ciclos térmicos.

As ações corretivas indicadas — como substituição dos dispositivos de segurança, reconstituição documental, revisão da linha hidráulica e adoção de medidas preventivas como o tratamento da água de alimentação — são indispensáveis para a adequação do equipamento ao arcabouço técnico-normativo que regula sua operação. A partir da abordagem adotada, constata-se que a conformidade com a NR-13 e a ASME VIII Div. 1 não deve se restringir à avaliação estrutural, mas abranger integralmente a gestão documental e os sistemas de proteção, sob pena de ampliação dos riscos operacionais.

REFERÊNCIAS

ALRAWE, Mahmood Abdulateef. Thermomechanical analysis of the structure of a drum boiler. Final Degree Project – Department of Mechanical Engineering and Manufacturing, School of Engineering, University of Seville, 2023.

ASME – AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII – Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels. New York: ASME, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Previdência. Norma Regulamentadora n.º 13 – Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações. Portaria MTP n.º 1.846, de 1º de julho de 2022. Retificação publicada em 20 de outubro de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13>. Acesso em: 20 maio 2023. CORRÊA, Aline Rafaela Ferreira. Os direitos fundamentais do trabalhador como limitação do poder diretivo do empregador na relação de emprego. ÚNICA Cadernos Acadêmicos, v. 1, n. 1, 2019.

COSTA, Júlio Resende et al. Educação básica pública em tempos de pandemia: um ensaio sobre a garantia da igualdade no acesso à educação. ÚNICA Cadernos Acadêmicos, v. 3, n. 1, 2020.

DE PAULA, Luciana Santos; PAIVA IVO, Otavio Gabriel de; FERREIRA ROCHA, Regina; SOARES XAVIER, Silvana. NR 13: Operações com caldeiras. Garça-SP: ETEC Monsenhor Antônio Magliano, 2024.

FREITAS, Nádia Bittencourt Bastos. A experiência do movimento sindical na análise de acidentes químicos ampliados. In: FREITAS, C. M.; PORTO, M. F. S.; MACHADO, J. M. H. (org.). Acidentes industriais ampliados: desafios e perspectivas para o controle e a prevenção. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2000. p. 149–168.

FERREIRA, William José; SANTOS, Cristiane Lelis dos. O ensino híbrido no ensino superior: vantagens, potencialidades e desafios. ÚNICA Cadernos Acadêmicos, v. 3, n. 1, 2023.

GUEDES, Luciana Ulhôa; ALVIM, Júlio Cesar; MACIEL, Verlaine Azevedo. Compartilhando experiências na utilização de metodologias de aprendizagem ativa: Faculdade Única e escolas públicas do Vale do Aço. ÚNICA Cadernos Acadêmicos, v. 1, n. 1, 2019.

LOWER, Mark; OLAND, Barry; ROSE, Simon. Equivalent Safety Evaluation of the 2021 Edition of the ASME Boiler and Pressure Vessel Code to Editions Incorporated by Reference in 49 CFR 192, 193, and 195. Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, 2022.

RODRIGUES, Josiane Botelho. Aplicação da NR-13 em vasos de pressão. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, Belo Horizonte, 2022.

RESENDE, A. de O. E. et al. Uma perspectiva analítica acerca da saúde mental do trabalhador. ÚNICA Cadernos Acadêmicos, v. 1, n. 1, p. 11, 2019.

RODRIGUES, Marilene Nunes. O pedagogo e a diversidade de atuação: relacionando opiniões. *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, v. 3, n. 1, 2018.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva et al. Qualidade físico-química entre sistema de tratamento de água e áreas de vulnerabilidade. *Caderno Pedagógico*, v. 21, n. 4, p. e3747-e3747, 2024.

RAFAEL, Candyce Mabelle Paiva et al. O Geoprocessamento, a Territorialização e o Cadastramento como Ferramentas de Unificação do Trabalho de Agentes de Saúde e Potencialização das Práticas de Cuidado no Território. *RENOTE*, v. 22, n. 2, p. 422-429, 2024.

RAFAEL, Clélio Rodrigo Paiva et al. Integração Multidisciplinar na Atenção Primária à Saúde: desafios e perspectivas dos agentes de saúde no programa saúde com agente. *RENOTE*, v. 22, n. 2, p. 553-560, 2024.

SOUZA, Gessymar Nazaré Silva; LOPES, Vinicius Souza Zorzan. Descarte correto de medicamentos nas farmácias: uma abordagem ecologicamente correta. *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, v. 3, n. 1, 2023.

SOUZA, Josiana Gonçalves. Análise técnica locacional e socioambiental da área de disposição final de resíduos sólidos urbanos de São João do Oriente–MG. *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, v. 2, n. 1, 2018.

SOUZA, Sarah Elizabeth Pimenta de. Monitoramento Lagoa Central–Ipaba/MG: índice de qualidade de água e estado trófico. *ÚNICA Cadernos Acadêmicos*, v. 2, n. 1, 2018.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. Vasos de pressão. 2. ed. atual. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS – ASME. Boiler and Pressure Vessel Code: Section VIII – Division 1: Rules for Construction of Pressure Vessels. New York: ASME, 2021.

ANEXOS

Anexo A – Parâmetros Adotados no Recalculo Estrutural Conforme ASME VIII Div. 1

Parâmetro	Valor	Fonte / Observação
Pressão Máxima de Trabalho Admitida (PMTA)	8,55 kgf/cm ²	Placa de identificação da caldeira
Pressão de projeto utilizada no recalculo	8,67 kgf/cm ² (casco) / 8,80 kgf/cm ² (tampo)	Obtida da planilha conforme ASME VIII Div. 1
Espessura do casco medida in loco	10,4 mm	Medição por paquímetro
Espessura estimada na fabricação (chapa ½")	12,52 mm	Considerando perda por calandragem (1 mm) e corrosão acumulada (1,12 mm)
Espessura do tampo medida in loco	81,09 mm	Medição manual
Material base (referencial)	ASTM A285 Grau A	Referência do catálogo Usiminas e ASME Section II Part D
Tensão limite de escoamento (LE) do material	165 MPa	Dados do material referencial (aço com menor resistência normalmente utilizado)
Eficiência da junta (E)	Não informada	Valor presumido como 1 (conforme ASME, se solda for integral e contínua)
Temperatura de operação	115 °C	Medida in loco durante inspeção operacional
Método de cálculo	Planilha com fórmulas da ASME VIII Div. 1	Desenvolvida pelo autor do estudo para análise estrutural

Anexo B – Quadro Técnico dos Itens Inspeccionados Conforme NR-13

Elemento Inspeccionado	Situação Observada	Critério Normativo
Prontuário da caldeira	Inexistente	NR-13, item 13.4.1.5
Livro de manutenção	Inexistente	NR-13, item 13.4.1.5
Válvula de segurança – 1	Reprovada (abertura a 8,2 kgf/cm ² , inspeção vencida)	NR-13, item 13.4.1.2; ASME Section XIII
Válvula de segurança – 2	Reprovada (abertura a 8,0 kgf/cm ² , inspeção vencida)	NR-13, item 13.4.1.2; ASME Section XIII
Tubos internos	Sem corrosão relevante; apenas presença de fuligem	NR-13, item 13.4.4.3
Cotovelo da linha de alimentação	Vazamento identificado em peça de PVC	NR-13, item 13.4.1.2 (segurança hidráulica)
Soldas estruturais (casco/tampo)	Inspeção visual aprovada	ABNT NBR 5462; prática prevista na NR-13
Ensaio hidrostático	Executado a 12,88 kgf/cm ² , sem falhas	ASME VIII Div. 1 – pressão $\geq 1,3 \times \text{PMTA}$
Isolamento térmico	Deficiente (não compromete segurança, mas afeta eficiência)	Recomendação de melhoria energética