

STUDY OF THE INSPECTION OF A FLAMOTUBULAR BOILER THROUGH THE CODES ASME AND NR-13

Wildebran de Araujo¹, Felipe Liarte Teodósio², Paola Souto Campos³

^{1,2} Discente em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário do Norte (UNINORTE). Manaus - AM

³ Doutora em Diversidade Biológica pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Professora do Centro Universitário do Norte – UNINORTE – Manaus-AM.

Email: awildebran@gmail.com, author2@gmail.com, pscampos@gmail.com

Received: May 23th, 2019

Accepted: June 14th, 2019

Published: September 30th, 2019

Copyright ©2016 by authors and Institute of Technology Galileo of Amazon (ITEGAM). This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



ABSTRACT

Boilers and pressure vessels are widely used in the industrial environment. They require attention from the project to the end of its useful life, regulated by international standards. The objective of this study was to demonstrate some procedures for the inspection of a boiler by analyzing its databook and verify its compliance with the American Society of Mechanical Engineers (ASME) and NR-13 (Regulatory Standard 13), current legislation used in Brazil for the management of these equipments. Sheet metal thickness calculations and MAWP (Maximum Allowable Working Pressure) were performed to establish the minimum safety criteria. The thickness measurement of the plate was performed using an ultrasonic meter. The data obtained evidenced agreement with the current norms for boilers, but in the databook it was verified the absence of the calculation memory used in the project to obtain the minimum thickness of the sheet metal, essential information according to NR-13, for the safe use the equipment. After inspection it was found that the boiler meets the minimum operating conditions according to the calculations made from the available information, and even after 25 years of operation, it has the structural requirements for use in accordance with the ASME project standard.

Keywords: Boiler. Pressure vessels. ASME. NR-13.

ESTUDO DA INSPEÇÃO DE UMA CALDEIRA FLAMOTUBULAR ATRAVÉS DOS CÓDIGOS ASME E NR-13

RESUMEN

Caldeiras e vasos de pressão são amplamente utilizados no meio industrial. Requerem atenção desde o projeto até o encerramento de sua vida útil, regulamentados por normas internacionais. Objetivou-se neste estudo, demonstrar alguns procedimentos para a inspeção de uma caldeira através da análise do seu databook e verificar a sua conformidade com as normas ASME (American Society of Mechanical Engineers) e NR-13 (Norma Regulamentadora 13), legislações vigentes utilizadas no Brasil para o gerenciamento destes equipamentos. Os cálculos da espessura da chapa metálica e PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admissível) foram realizados para estabelecer os critérios mínimos de segurança. A medição de espessura da chapa foi realizada usando um medidor por ultrassom. Os dados obtidos evidenciaram concordância com as normas vigentes para caldeiras, porém, verificou-se no databook a ausência da memória de cálculo utilizada no projeto para a obtenção da espessura mínima da chapa metálica, informação essencial conforme a NR-13, para o uso seguro do equipamento. Após a inspeção constatou-se que a caldeira atende as condições mínimas de operação de acordo com os cálculos feitos a partir das informações disponíveis, e mesmo após 25 anos de funcionamento, possui os requisitos estruturais para utilização de acordo com a norma ASME de projeto.

Palavras-chave: Caldeiras. Vasos de Pressão. ASME. NR-13.

I. INTRODUÇÃO

Caldeiras a vapor são equipamentos destinados a produzir e acumular vapor sob pressão superior à atmosférica, utilizando qualquer fonte de energia, projetados conforme códigos pertinentes, excetuando-se refervedores e similares [7]. Esse processo acontece através da queima do combustível, fornecendo calor à água, que entra em ebulição e vaporização até virar vapor superaquecido.

Segundo [12], por trabalharem com valores de pressão muito alta em relação à atmosférica, caldeiras são pontos de risco em potencial e devem receber um cuidado especial com a segurança e saúde das pessoas que os operam ou que trabalham próximos a eles.

Como nos informa [9], devido ao potencial de risco de explosão oferecido por esses equipamentos, no Brasil, ainda na década de 1970, o Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) criou as Normas Reguladoras do Trabalho, conhecidas como NR's. E entre essas normas, a NR-13 (Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento) [7]. Também foi criada pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a norma NBR 12177 (Caldeiras Estacionárias a Vapor – Inspeção de Segurança) [1]. Juntas, essas normas regem sobre a instalação, operação, inspeção e manutenção desses equipamentos, estabelecendo requisitos técnicos e jurídicos, buscando prevenir, reduzir ou minimizar o risco de acidentes nos equipamentos por ela regulamentados. Ainda sobre esses equipamentos, a ABNT também criou as normas NBR 16528 (Caldeiras e vasos de pressão) [3] e NBR 16035 (Caldeiras e vasos de pressão - Requisitos mínimos para a construção) [2].

Além das normas brasileiras citadas, também é muito utilizado no Brasil, as normas internacionais ASME (American Society of Mechanical Engineers), uma associação de profissionais da engenharia que gerou um projeto de código, construção, inspeção e testes de equipamentos, incluindo caldeiras e vasos de pressão, fundada em 1880 nos EUA [10], e [11]. Foi criada no início do século XX nos EUA, após a ocorrência de inúmeros acidentes e explosões envolvendo caldeiras e vasos de pressão ocorridos naquele período de rápida expansão e mecanização industrial daquele país.

Falhas de projeto, manutenção e/ou operação dos vasos de pressão e caldeiras, podem torná-los perigosos, e até provocar

graves acidentes. Por isso, é grande a responsabilidade dos profissionais habilitados (PH) e proprietários desses equipamentos, no que se refere ao projeto, instalação, manutenção e gerenciamento de uso dos mesmos.

O objetivo do estudo mostrado neste artigo foi fazer uma abordagem dos procedimentos utilizados na inspeção de 25 anos de uma caldeira flamotubular localizada em uma empresa de concentrados do Polo Industrial de Manaus. Assim, averiguou-se a conformidade do vaso inspecionado em relação às normas NR-13 e ASME.

II. METODOLOGIA

Neste trabalho utilizou-se como referência as equações de projeto da ASME e adaptações foram feitas em relação aos símbolos de representação das variáveis, objetivando melhor compreensão dos cálculos, tendo por base os dados apresentados pelo prontuário (Figura 1), que infelizmente não traz a memória de cálculo original do projeto, então essa memória de cálculo teve que ser criada e anexada ao prontuário.

No prontuário consta especificação da chapa metálica do corpo da caldeira (costado), aço ASTM A-516.

A espessura atual da chapa do vaso foi obtida através de aparelho de medição por ultrassom.

Foi realizada uma inspeção visual, ensaio não destrutivo (END), revisão e atualização das informações do prontuário da caldeira.

II.1 IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO

A imagem do prontuário original não foi disponibilizada pelo proprietário para anexar neste trabalho, porém as suas informações puderam ser acessadas. Nas figuras a seguir consta a transcrição de suas informações, que fazem parte do relatório de inspeção realizado.

A figura 1 mostra dados do Prontuário da caldeira, base de estudo desse trabalho. Nele são apresentados dados básicos do vaso. Na figura 2 são apresentados os dados de instalação do equipamento. Na figura 3 são mostrados os dados de documentação da caldeira. A figura 4 mostra os dados da placa de identificação, que estavam quase ilegíveis. Todos esses dados foram revisados conforme as normas ASME e NR13.

Equipamento:			TAG:	
CALDEIRA ATA16 H3N			CALDEIRA nº 2	
Fabricante:		Modelo:	No. Série:	Ano:
ATA Combustão Técnica Ltda		ATA 16 H3N	8921	1993
Código de Projeto:		Tipo:	Vertical/Horizontal:	Categoria:
ASME I (1992)		Flamotubular	Horizontal	B
Capacidade:	Pressão Operação:	Pressão Projeto:	PMTA:	Pressão Teste:
2.500 kg/h	9,0 kgf/cm ²	10,55 kgf/cm ²	10,55 kgf/cm ²	15,82 kgf/cm ²
Volume:	Comprimento:	Diâmetro:	Área de Aquecimento:	Combustível:
4,5 m ³	4120 mm	1760 mm	85 m ²	Óleo BPF

Figura 1: Identificação da caldeira.

Fonte: Autores, (2019).

Empresa:			
Endereço:		Bairro:	
Av. Buriti, 190		Distrito Industrial	
CEP:	Cidade:	Estado:	
69075-000	Manaus	AM	
Área/Setor:			Aberto/Fechado:
Utilidades – Casa de Caldeiras			Fechado
Requisitos de Instalação para Ambiente Fechado NR-13 (Item 13.4.2.4)			
Item	Sim/Não	Item	Sim/Não
Prédio separado (13.4.2.4(a))	SIM	Local exclusivo (13.4.2.4(e))	SIM
Duas saídas (13.4.2.4(b))	SIM	Fácil acesso Oper. Manut. (13.4.2.4(f))	SIM
Ventilação Permanente (13.4.2.4(c))	SIM	Sistema de lanç. de gases (13.4.2.4(g))	SIM
Sensor de gás (13.4.2.4(d))	N/A	Iluminação (13.4.2.4(h))	SIM
Projeto Alternativo de Instalação (13.4.2.5):			N/A

Figura 2: Dados de instalação da caldeira.
Fonte: Autores, (2019).

Documentação NR-13 (Item 13.4.1.6)	Sim/Não/Parcial
Prontuário da caldeira (13.4.1.6(a))	SIM ⁽¹⁾
- Código de projeto e ano de edição	SIM
- Especificação dos materiais	SIM
- Procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção final	PARCIAL ⁽²⁾
- Metodologia para estabelecimento da PMTA	NÃO ⁽³⁾
- Registros da execução do teste hidrostático de fabricação	SIM
- Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira	PARCIAL ⁽⁴⁾
- Características funcionais	SIM
- Dados dos dispositivos de segurança	PARCIAL ⁽⁵⁾
- Ano de fabricação	SIM
- Categoria da caldeira	SIM
Registro de Segurança (13.4.1.6(b))	SIM
Projeto de instalação (13.4.1.6(c))	NÃO ⁽⁶⁾
Projeto de alteração e reparo (13.4.1.6(d))	N/A
Relatório de inspeção de segurança (13.4.1.6(e))	SIM
Certificado de calibração dos dispositivos de segurança (13.4.1.6(f))	SIM
Manual de operação (13.4.3.1)	SIM

Notas:

- (1) A caldeira dispõe de 2ª via do prontuário do fabricante;
- (2) No prontuário são apresentados o gráfico de recozimento, certificado de teste hidrostático;
- (3) Não há no prontuário uma memória de cálculo ou qualquer informação referente às espessuras mínimas;
- (4) Há somente um desenho de conjunto, sem qualquer desenho de detalhe. Os dados informados não são suficientes para o monitoramento da vida útil;
- (5) Há, na pasta da caldeira nº 02, dados dos dispositivos de segurança. Porém sem informação dos orifícios das PSVs (Válvulas de Segurança e Alívio - Pressure Safety Valve);
- (6) Não há, na pasta da caldeira nº 02, o projeto de instalação.

Figura 3: Dados da documentação da caldeira.
Fonte: Autores, (2019).

Proprietário:	
Endereço:	
Av. Buriti, Distrito Industrial – Manaus/AM	
CNPJ:	
Fabricante:	
ATA Combustão Técnica S/A - AALBORG	
Endereço do Fabricante:	
Rua Divino Espírito Santo, 1100 – Petrópolis/RJ	
Ano de Fabricação:	
1993	
Tipo:	Modelo:
ATA16	H3N
Superfície de Aquecimento:	Produção de Vapor:
85 m ²	2500 kg/h
PMTA:	Teste Hidrostático:
150 psig – 10,55 kgf/cm ²	225 psig – 15,82 kgf/cm ²
Número de Ordem:	Categoria:
8921	B
Código de Projeto:	
ASME I 1992	

Figura 4: Dados da placa de identificação da caldeira.
Fonte: Autores, (2019).

II.2 EXAMES REALIZADOS – INSPEÇÃO DA CALDEIRA

Foram abertas as tampas traseira e dianteira da fornalha, além da boca de visita na região superior do casco e bocas de inspeção na parte inferior do casco. Assim, foram realizados:

- Teste de Estanqueidade, na PMTA (10,55 kgf/cm²) para a detecção de possíveis vazamentos.
- Exame Externo, com acesso pelo lado do fogo aos espelhos traseiro e dianteiro, fornalha e tubos. Foram abertas janelas no isolamento do costado para medição de espessura da chapa.
- Exame Interno, com acesso pelo lado da água ao costado, fornalha (lado água) e tubos.
- Ensaio de Líquido Penetrante em toda a extensão dos espelhos dianteiro e traseiro pelo lado do fogo, para a identificação de possíveis trincas no mesmo.
- Teste Hidrostático, na pressão de 15,82 kgf/cm² em conformidade com a NR-13.
- Medição por Ultrassom para verificação da espessura atual das chapas metálicas e comparado os resultados obtidos com o prontuário para poder estipular a vida útil remanescente do equipamento.



Figura 5: Vista geral da caldeira nº2.
Fonte: Autores, (2019).

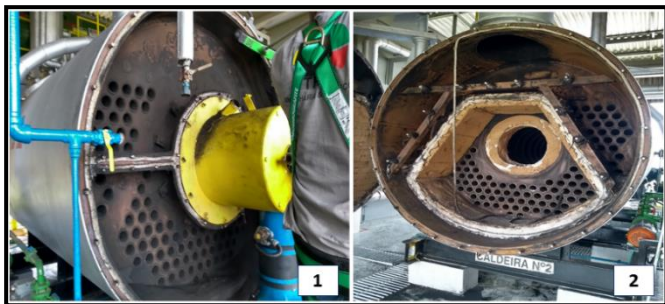


Figura 6: Vistas frontal (1) e traseira (2) dos espelhos.
Fonte: Autores, (2019).

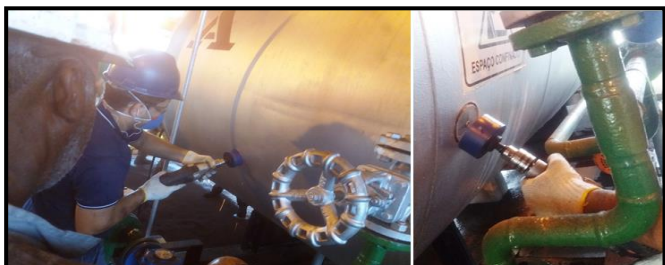


Figura 7: Abertura de janelas no isolamento para medição do casco cilíndrico nas laterais da caldeira.
Fonte: Autores, (2019).



Figura 8: Medição do casco cilíndrico pelas janelas abertas no isolamento.
Fonte: Autores, (2019).

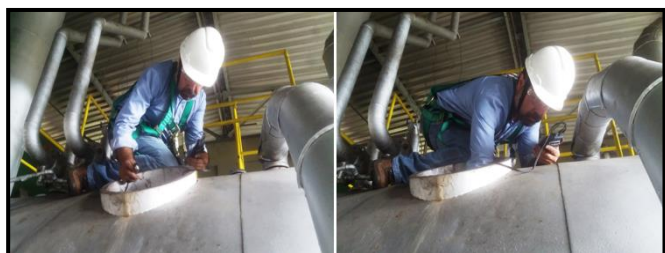


Figura 9: Medição interna do casco cilíndrico pelo lado da água e tubos.
Fonte: Autores, (2019).



Figura 10: Aplicação de líquido penetrante (END).
Fonte: Autores, (2019).

III. MAPA DE MEDIÇÃO DE ESPESSURAS

A figura 11 mostra os pontos onde foram abertas as janelas no isolamento para fazer as medições de espessura da chapa e a figura 12 mostra os pontos medidos nos espelhos.

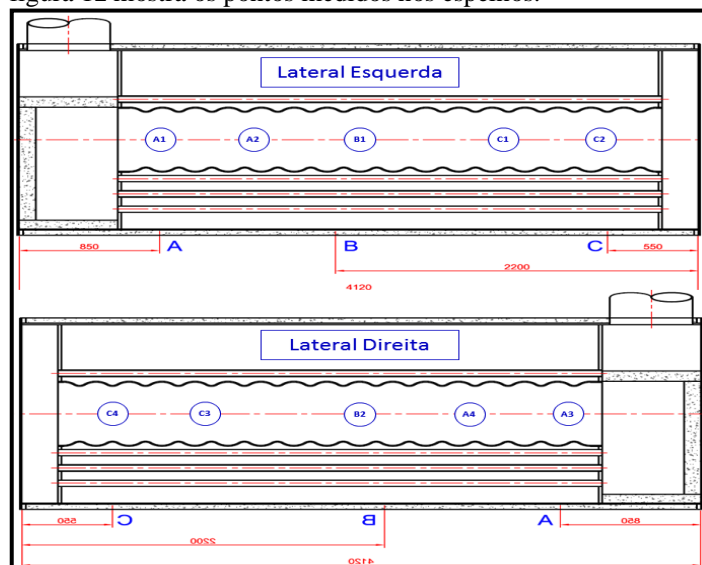


Figura 11: Mapa dos pontos de medição das laterais da fornalha (casco), A1, A2, B1, C1, C2 e A3, A4, B2, C3, C4.
Fonte: Autores, (2019).

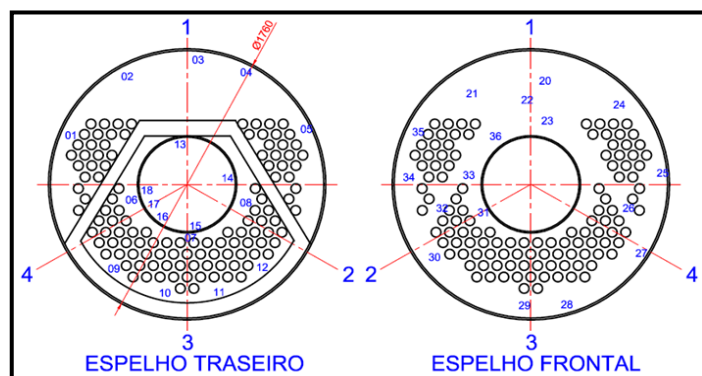


Figura 12: Mapa dos pontos de medição dos espelhos (numerados na cor azul).
Fonte: Autores, (2019).

Tabela 1: Tabela de espessuras medidas por ultrassom

Casco Cilíndrico		Espelho Traseiro		Espelho Frontal		Tubo-Fornalha	
Pto	Espessura	Pto	Espessura	Pto	Espessura	Pto	Espessura
A1	12,2	01	18,5	20	18,6	13	10,3
A2	13,3	02	18,7	21	18,5	14	10,4
A3	11,8	03	18,7	22	19,8	15	10,3
A4	12,0	04	18,8	23	18,5	16	9,0
B1	11,9	05	18,7	24	19,3	17	8,8
B2	11,8	06	18,7	25	18,7	18	8,9
C1	12,2	07	18,7	26	18,5		
C2	12,1	08	18,8	27	18,6		
C3	11,9	09	18,5	28	18,7		
C4	13,3	10	18,6	29	18,7		
		11	18,7	30	18,5		
		12	18,5	31	18,4		
				32	18,6		
				33	18,6		
				34	18,5		
				35	18,5		
				36	19,8		

Fonte: Autores, (2019).

Os tubos não foram medidos, pois, a espessura nominal (2,65 mm), é menor do que a capacidade do medidor (3,0 mm) em tubos.

Medidor de Espessura por Ultrassom:

Marca:AKSO
 Modelo:AK-841
 No. de Série:AKLA00564
 Escala:1,2 a 220 mm (em aço)
 Velocidade:5900 m/s
 Frequência:5 MHz
 Calibrado em: 20/06/2017 - Válido até: 05/2019

A figura 13 exemplifica os tipos de medição das chapas:

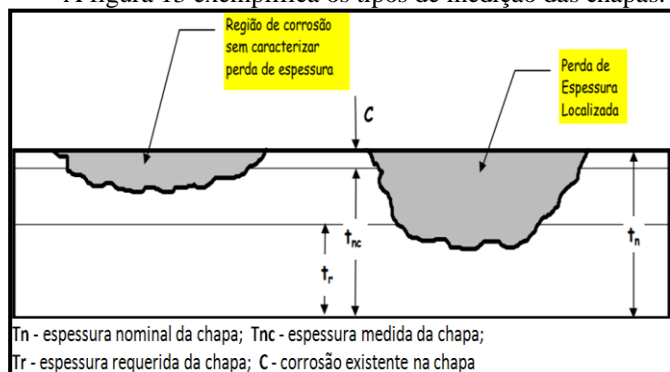


Figura 13: Tipos de medição.

Fonte: [8].

IV AVALIAÇÃO DA INTEGRIDADE

O prontuário da caldeira nº 02, fornecido pelo proprietário, não apresenta memórias de cálculo ou espessuras mínimas das chapas, dados essenciais para a avaliação da integridade da caldeira (PMTA), ao compará-los com os valores de medição atuais.

Na seção 4.1 são apresentados os cálculos das espessuras requeridas em função da pressão de projeto especificada no prontuário, 10,55 kgf/cm² (1,034 MPa).

IV.1 CÁLCULOS DAS ESPESSURAS MÍNIMAS REQUERIDAS E PMTA

As partes da caldeira serão calculadas para as seguintes condições de projeto:

Pressão de projeto (P) (Definida no prontuário) 150 psi (1,034 MPa ou 10,55 kgf/cm²).

A temperatura de projeto será a temperatura do vapor saturado a 10,55 kgf/cm², (185,5°C), mais 100°F (38°C). Temperatura de Projeto (T) 223,5°C.

IV.2 ESPESSURA MÍNIMAS REQUERIDAS DO TUBO FORNALHA

Tipo:.....Corrugado – Fox
 Diâmetro Interno (D):.....621,5mm
 Material:.....A-285-C
 Pressão Externa de Projeto (P):.....1,034MPa
 Temperatura de Projeto:.....224°C
 Tensão Admissível à Tração (S):.....108MPa
 Gráfico de Pressão Externa:.....CS-2
 Eficiência Juntas Longitudinais:.....100%
 Eficiência Juntas Circunferenciais:.....90%
 Espessura Nominal:.....9,50mm
 Espessura Mínima Requerida:.....8,00 mm

O parágrafo PFT-18.1 do código ASME I [4], pag. 178, apresenta o cálculo da PMTA (P) das fornalhas corrugadas como:

$$P = Ct/D \quad (1)$$

Rearranjando a equação, a espessura requerida (t) é dada por:

$$t = PD/C \quad (2)$$

Onde:

T é espessura requerida.

P é a pressão de projeto.

D é o diâmetro médio. Como não foi levantado o dimensional detalhado da fornalha, será adotado como D, o diâmetro informado no prontuário, que corresponde ao diâmetro interno da seção maior da fornalha, 621,5mm.

C é uma constante, função do tipo de fornalha. Para fornalha tipo Fox, com corrugação até 200 mm de centro a centro e não menor do que 38 mm de profundidade, C = 97.

Substituindo:

$$t = 1,034 * 621,5/97 \therefore t = 6,625 \text{ mm}$$

Ainda segundo o parágrafo PFT-18.1, a espessura de uma fornalha corrugada tipo Fox não pode ser menor do que 8,0mm.

A mínima espessura requerida da fornalha é o maior entre t calculado por PFT-18.1 e a mínima espessura imposta pelo mesmo parágrafo (8 mm). Assim, a Espessura Mínima Requerida do tubo fornalha é (t): 8,0mm.

IV.3 ESPESSURA MÍNIMAS REQUERIDAS DOS ESPELHOS

Tipo:.....Plano – estaiado
 Diâmetro Externo (D):.....1760mm
 Material:.....A-516-60
 Pressão Externa de Projeto (P):.....1,034MPa
 Temperatura de Projeto:.....224°C
 Tensão Admissível à Tração (S):.....118MPa
 Gráfico de Pressão Externa:.....CS-2
 Espessura Nominal:.....9,34mm

A espessura requerida de espelhos planos estaiados é dada por [4]:

$$t = p \sqrt{\frac{P}{sc}} \quad (4.3)$$

Onde:

p é a distância entre centros dos estais. Medido no local, 148 mm.

P é a pressão de projeto;

S é a tensão admissível à tração da chapa;

C é uma constante. Para estais soldados em placas acima de 11 mm, C = 2,2, conforme [4].

Substituindo:

$$t = 148 \sqrt{\frac{1,034}{118*2,2}} \therefore t = 9,34 \text{ mm}$$

De acordo com [4], a mínima espessura de qualquer chapa da caldeira é 6,0mm. Portanto, a espessura mínima requerida do casco cilíndrico é 9,34mm.

IV.4 ESPESSURA MÍNIMAS REQUERIDAS DO CASCO

Tipo:.....Cilíndrico
 Diâmetro Externo (D):.....1760 + 2 x 12,5 = 1785mm
 Material:.....A-516-60
 Pressão Interna de Projeto (P):.....1,034MPa
 Temperatura de Projeto:.....224°C
 Tensão Admissível à Tração (S):.....118MPa
 Eficiência Juntas Longitudinais:.....90%
 Eficiência Juntas Circunferenciais:.....90%
 Espessura Nominal:.....12,50mm
 Espessura Mínima Requerida:.....8,65mm

A espessura requerida do casco cilíndrico é dada em PG-27.2.2 [4], pag. 19 por:

$$t = \frac{PD}{2SE+2yP} + C \quad (4)$$

Onde:

C é mínima espessura admitida para rosqueamento e estabilidade estrutural. Conforme PG-27.4.3 [4], pag. 20, para a determinação da espessura mínima requerida após a corrosão, C = 0.

D é o diâmetro externo do cilindro.

E é a eficiência.

P é a pressão máxima de trabalho admissível.

S é a tensão admissível a tração.

y é o coeficiente de temperatura.

Conforme PG-27.4.6 [4], pag. 21, para a temperatura de projeto de 224°C, y = 0,4.

Substituindo:

$$t = \frac{1,034 * 1785}{(2 * 118 * 0,9) + (2 * 0,4 * 1,034)} + 0 \quad \therefore t = \mathbf{8,65 \text{ mm}}$$

De acordo com PG-16.3 [4], pag. 11, a mínima espessura de qualquer chapa da caldeira é 6,0mm. Portanto, a espessura mínima requerida do casco cilíndrico é 8,65mm.

IV.5 ESPESSURA MÍNIMAS REQUERIDA DOS TUBOS

Tipo:.....Espirado
 Diâmetro Externo (D₀):.....63,5mm
 Material:.....ASTM-178-A
 Pressão Externa de Projeto (P):.....1,034MPa
 Temperatura de Projeto:.....224°C
 Tensão Admissível à Tração (S):.....78,6MPa
 Espessura Nominal:.....2,65mm
 Espessura Mínima Requerida (t):.....1,49mm
 Gráfico de Pressão Externa:.....CS-1

Os tubos estão sujeitos à pressão externa. O código ASME não apresenta uma equação analítica para o cálculo da espessura em função da pressão, mas somente a pressão admissível em função da espessura. Após diversas iterações, chegou-se aos seguintes valores:

A espessura requerida dos tubos é dada em PG-28.3.1.2 [4], pag. 23) por:

Relação D₀/t:.....42,62
 Relação L/D₀:.....(será adotado L/D₀ = 50 na figura G).51,97
 Fator A da figura G em [5], pag. 795 :.....0,0006
 Fator B da figura CS-1 [5], pag. 796) :.....32,94Mpa

As relações foram obtidas por:

$$\text{Relação} = \frac{D_0}{t} \Rightarrow \frac{63,5}{1,49} \Rightarrow 42,62 \quad (5)$$

$$\text{Relação} = \frac{L}{D_0} \Rightarrow \frac{3300}{63,5} \Rightarrow 51,96 \quad (6)$$

A pressão admissível (P_a) é dada em PG-28.3.1.2 step 6 por:

$$P_a = \frac{4B}{3(D_0/t)} \quad (7)$$

Onde:

B é o fator lido na figura CS-1, a partir do fator A e da temperatura;

Do/t é a relação entre diâmetro externo e a espessura calculada acima.

Substituindo:

$$P_a = \frac{4 * 32,94}{3(42,62)} \therefore P_a = 1,034 \text{ MPa}$$

Para uma espessura de 1,49mm

V. TESTE HIDROSTÁTICO

Foi realizado Teste Hidrostático na caldeira após a realização dos exames externo e interno, ensaio de líquido penetrante nos espelhos e verificação da PMTA em função das espessuras medidas.

O Teste Hidrostático foi realizado com o objetivo principal de detectar possíveis vazamentos nos tubos e fornalha e foi realizado na pressão de 16 kgf/cm², conforme descrito na placa de identificação e determinado pela norma ASME I. A pressurização do equipamento foi feita através da operação manual da bomba de água da própria caldeira nº 02, inicialmente até a PMTA (10,55 kgf/cm²).

Corrigidos os vazamentos possíveis, em especial pela válvula de alimentação da rede de vapor, a pressão foi elevada até a pressão de teste (15,82 kgf/cm²).

A caldeira foi então deixada repousar pressurizada pelo prazo de 30 minutos, sendo observada uma queda de pressão de 3 kgf/cm², porém sem a detecção de vazamentos no corpo da caldeira, costado, espelhos, tubos e fornalha.

VI. RESULTADOS E DISCUSSÕES

VI.1 RESUMO DAS ESPESSURAS NOMINAIS E REQUERIDAS

A tabela 2 mostra um resumo com as espessuras Nominais de acordo com a especificação das chapas e Requeridas de acordo com os cálculos, características do projeto e dados do prontuário.

Tabela 2: Resumo das espessuras nominais e requeridas

Parte	Espessura Nominal (mm)	Espessura Requerida (mm)
Casco Cilíndrico	12,5	8,65
Espelhos	19	9,34
Tubo-Fornalha	9,5	8
Tubos	2,65	1,49

Fonte: Autores, (2019).

Logo no início deste estudo, se constatou que no prontuário da caldeira apresentado pelo proprietário, não tinha todas as informações necessárias de acordo com a NR-13 para confrontar a inspeção atual com as inspeções anteriores.

Foram detectadas as seguintes falhas no prontuário conforme NR-13 [7], item 13.4.1.6:

- O projeto de instalação da caldeira não foi localizado.
- Ausência de metodologia (memória de cálculo) para estabelecimento da PMTA com as espessuras mínimas das chapas.
- Ausência de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da vida útil da caldeira. Havia somente um desenho de conjunto, porém sem qualquer desenho de detalhe, com dados insuficientes para o monitoramento da vida útil.
- Dados dos dispositivos de segurança insuficientes, pois não havia informação dos orifícios das PSVs (Válvulas de Segurança e Alívio - Pressure Safety Valve).

VI.2 CÁLCULO DA VIDA REMANESCENTE

Junto ao prontuário da caldeira nº 02, objeto deste estudo, foi localizado relatórios de inspeções anteriores, a partir do ano 2015, que são mostrados na tabela 3.

Tabela 3: Mínimas espessuras registradas em inspeções anteriores

Espessura (mm)	Parte				
	Casco Cilíndrico	Espelho Frontal	Espelho Traseiro	Tubo-Fornalha	Tubos
Nominal	12,5	19,0	19,0	9,5	2,65
Requerida	8,65	9,34	9,34	8,0	1,49
Medida em 07/04/2015	X	19,0	19,0	X	X
Medida em 27/05/2016	X	19,0	19,0	X	X
Medida em 06/01/2017	X	X	X	X	X
Medida em 16/02/2018	X	19,3	19,5	9,8	X
Medida em 29/02/2019	11,8	18,4	18,5	8,8	3,3

Fonte: Autores, (2019).

Da tabela acima é possível se observar que as medições realizadas em 2018 apresentam valores maiores do que as medições anteriores e, até mesmo, do que as espessuras nominais das chapas. Além disso, todas as medições estão acima das medições anteriores, o que indica um possível erro sistemático das medições. Assim, essas medições não serão consideradas.

Pelas medições anteriores, de 2015 e 2016, é possível assumir que não houve uma perda significativa de espessura desde a instalação até essa data, já que as espessuras dos espelhos (únicas medidas) permaneceram as mesmas da nominal. É importante ressaltar que até a presente inspeção não havia sido feita qualquer medição no casco cilíndrico.

Assim, assumindo que a perda de espessura, desde a nominal até o último valor medido, ocorreu a partir de 05/2016, ou seja, em 43 meses, temos uma taxa de perda de espessura conforme a tabela 4:

Tabela 4: Taxa de perdas de espessura

	Parte				
	Casco Cilíndrico	Espelho Frontal	Espelho Traseiro	Tubo-Fornalha	Tubos
Espessura Nominal (até 05/2016) (mm)	12,5	19,0	19,0	9,5	2,65
Espessura Medida em 29/02/2019 (mm)	11,8	18,4	18,5	8,8	-
Taxa de Perda de Espessura (mm/mês)	0,016	0,014	0,012	0,016	-
Espessura Mínima Requerida (mm)	8,65	9,34	9,34	8,0	1,49
Sobreespessura Remanescente (mm)	3,15	9,06	9,16	0,8	-
Tempo até a Esp. Requerida (meses)	196	647	763	50	-
Tempo até a Esp. Requerida (anos)	16	53	63	4	-

Fonte: Autores, (2019).

Essa perda de espessura ocorreu no lado da água e é provável que tenha ocorrido por causa de variações no tratamento de água, como um aumento do oxigênio dissolvido. Com um melhor controle do tratamento de água é possível reduzir essa taxa de corrosão.

Além da perda geral de espessura, foram observadas áreas de corrosão localizada, especialmente nos tubos e fornalha, pelo lado da água, conforme visto na figura 14.



Figura 14: Exame interno e amostra de ferrugem retirada.

Fonte: Autores, (2019).

Em razão dessa corrosão localizada é possível que, ainda que haja alguma sobreespessura nas diversas partes da caldeira, venham a ocorrer furos e vazamentos nos tubos ou, eventualmente, na fornalha. Portanto, mantidas as condições atuais, e de acordo com os cálculos realizados, a vida remanescente da caldeira é de 4 (quatro) anos, conforme tabela 4, porém sujeita a eventuais furos nos tubos devido à corrosão detectada.

VI.3 COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Este trabalho não teve um embasamento teórico tão abrangente como TREVELIM (2013), mas seguiu o mesmo raciocínio deste e mostrou que mesmo usando cálculos mais simples e com menos informações de referência disponíveis (prontuário), porém, seguindo o código ASME, a norma NR-13, e as NBR 12177 e NBR 16035, os resultados obtidos com a avaliação e inspeção foram suficientes para emitir um laudo técnico do estado atual da caldeira, bem como estimar a sua vida útil remanescente.

VII. CONCLUSÃO

Este trabalho teve por finalidade mostrar, de forma resumida, porém bem ilustrada, os procedimentos adotados para realizar inspeção e ensaio não destrutivo (END) em uma caldeira, utilizando um caso real de uma inspeção realizada para fornecer os dados e procedimentos aqui contidos. Portanto, diante da condição encontrada no momento da inspeção e depois de feita toda a análise técnica, conclui-se que a caldeira pode operar com segurança pelo prazo máximo de quatro anos, a contar da data desta inspeção.

Este resultado só comprova a necessidade das inspeções periódicas previstas na NR-13, e porque devem ser rigorosamente seguidas, além da precisão técnica e abrangente do código ASME.

Espera-se que as informações aqui expostas possam contribuir para o estudo das inspeções de caldeiras.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12177: Caldeiras estacionárias a vapor - Inspeção de segurança. Rio de Janeiro, 1999.

- [2] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16035: Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos mínimos para a construção. Rio de Janeiro, 2012.
- [3] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 16528: Caldeiras e vasos de pressão – Requisitos de desempenho. Rio de Janeiro, 2008.
- [4] ASME - Boiler and Pressure Vessel Code – Section I - Rules for Construction of Power Boilers - ASME BPVC.I-2015
- [5] ASME - Boiler and Pressure Vessel Code – Section II - Rules for Construction of Power Boilers - ASME BPVC.II-2015
- [6] ASME - Boiler and Pressure Vessel Code – Section VIII - Rules for Construction of Power Boilers - ASME BPVC.VIII-2015.
- [7] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 13 – Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento. Disponível em: < http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56127453/do1-2018-12-20-portaria-n-1-082-de-18-de-dezembro-de-2018-56127448>. Acesso em 15/05/2019.
- [8] Pereira, João Bosco Santini - Curso de avaliação de integridade - CAPÍTULO V – Introdução à Critérios de Avaliação – Perdas de Espessura em Equipamentos. Disponível em: <<http://www.petroblog.com.br/wp-content/uploads/Curso-Petrobras-CapV-Perdas-de-Espessura1.pdf>> Acesso em: 16/05/2019.
- [9] Reinberg, Cristiane Oliveira - O processo de elaboração das Normas Regulamentadoras ao longo da história e a participação da FundaCentro – 2018. Disponível em: <<http://www.fundacentro.gov.br/cursos-e-eventos/detalhe-do-evento/2018/10/fisp-o-processo-de-elaboracao-das-normas-regulamentadoras-ao-longo-da-historia-e-a>>. Acesso em: 16/05/2019
- [10] Roberto, Fábio – 2016 - Como surgiu a Norma ASME - Disponível em :< <https://www.linkedin.com/pulse/hist%C3%B3ria-da-norma-asme-fabio-roberto>> Acesso em: 13/05/2019.
- [11] Torreira, R. Peragallo. Geradores de vapor. São Paulo: Cia Melhoramentos, 1995.
- [12] Trevelim, Wagner José - Caldeiras Flamotubulares - Reconstituição De Prontuários – 2013 – Revista REFAF ISSN: 2238-5479. Disponível em: < <http://faflor.com.br/revistas/refaf/index.php/refaf/issue/view/5>> Acesso em : 15/05/2019