

ESTUDO DO EFEITO DA INCRUSTAÇÃO ATRAVÉS DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CALDEIRAS FLAMOTUBULARES

Autor: Pedro Marchezi Salles

Coautor: Luís Roberto Castro

RESUMO

As incrustações são um problema comumente encontrado em caldeiras de vapor e representam um obstáculo ao bom funcionamento destes equipamentos. Um grande problema acarretado pela formação de incrustações em uma máquina térmica se trata da queda de eficiência do equipamento devido a perdas por condutividade térmica. Este artigo objetiva quantificar através de equações a redução da eficiência e o aumento do consumo de combustível na presença de incrustações e propor as soluções adequadas para o problema enfrentado. Calculando o coeficiente global de troca de calor considerando o fator de incrustação, foi possível observar um aumento da energia necessária para realizar um mesmo aquecimento em comparação com uma caldeira limpa, o que configura uma perda de eficiência. Com isso, recomenda-se que, para evitar o desperdício de energia, sejam adotadas medidas preventivas para que não ocorra a formação de incrustações além da limpeza regular do equipamento.

Palavras chaves: Caldeira, Incrustação, Eficiência Energética, Rendimento

STUDY OF THE EFFECT OF INCRUSTATION THROUGH HEAT TRANSFER ON THE ENERGY EFFICIENCY OF FLAME TUBE BOILER

ABSTRACT

Scale is a problem commonly found in steam boilers and represents an obstacle to the proper functioning of this equipment. A major problem caused by the formation of scale in a thermal machine is the drop in efficiency of the equipment due to thermal conductivity losses. This article aims to quantify through equations the reduction in efficiency and increase in fuel consumption in the presence of scale and propose appropriate solutions to the problem faced. By calculating the global heat exchange coefficient considering the fouling factor, it is possible to observe an increase in the energy required to carry out the same heating compared to a clean boiler, which represents a loss of efficiency. Therefore, it is recommended that, to avoid wasting energy, preventive measures be adopted to prevent the formation of scale in addition to regular cleaning of the equipment.

keywords: Boiler, Scale, Energy Efficiency, Efficiency

1 INTRODUÇÃO

A eficiência energética é uma preocupação crescente em muitos setores industriais e as caldeiras flamotubulares desempenham um papel fundamental na geração de vapor e calor em diversas aplicações. No entanto, a eficiência dessas caldeiras pode ser afetada pela incrustação, um problema comum que ocorre quando minerais e outras substâncias se acumulam na superfície de aquecimento (Baggio, 2018).

Caldeira é o nome comum para a máquina de geração de vapor que tem sido amplamente utilizado na indústria. As caldeiras podem operar com pressões até 250 vezes superiores à atmosférica e podem ser utilizadas em diferentes atividades que necessitam de vapor de água, como as caldeiras: flamotubulares, aquatubulares, de recuperação de calor, elétricas. Com seu surgimento na época da revolução industrial, as caldeiras, ao longo dos anos, assumiram funções em diferentes processos dependentes de energia térmica (Altafini, 2022).

Segundo Silva et al. (2015), as caldeiras representam um grande investimento e gastos para a empresa, portanto, para garantir lucros é necessário que sua operação seja segura e eficaz. Assim, é essencial o treinamento do funcionário responsável para o uso desse tipo de equipamento. Falhas nas práticas estabelecidas para o perfeito funcionamento das caldeiras podem ser catastróficas e acarretar risco a vidas humanas.

Togawa (2020) identificou algumas das vantagens das caldeiras flamotubulares, como baixo custo de aquisição; requer pouca alvenaria para a construção; é pré-fabricada; é fácil de operar; responde bem a aumentos transitórios na demanda de vapor; não requer tratamento de água muito preciso; é fácil de limpar a fuligem; é fácil de substituir os tubos, ao mesmo tempo em que identificou as desvantagens das caldeiras flamotubulares, como baixa eficiência térmica; partida lenta; pressões operacionais de até 1.961,33 kPa; baixa taxa de vaporização; capacidade de produção limitada; grande necessidade de espaço; má circulação de água; dificuldade de instalar economizadores, superaquecedores e pré-aquecedores; e peso elevado.

A metodologia adotada para este estudo consiste principalmente em uma revisão sistemática. A pesquisa será realizada em bancos de dados acadêmicos, livros e artigos técnicos relevantes. Durante a revisão da literatura, serão analisados estudos anteriores sobre incrustação em caldeiras de caldeiras flamotubulares, seus mecanismos de formação, fatores contribuintes e impacto na eficiência energética. A coleta e a análise de informações de alta qualidade de fontes confiáveis são fundamentais para atingir os objetivos deste estudo.

A incrustação é um desafio comum enfrentado pelos operadores de caldeiras, que não apenas reduz a eficiência, mas também causa problemas de segurança e aumenta os custos operacionais. Sendo assim, a questão central que orienta este trabalho é como a incrustação afeta a eficiência energética das caldeiras? Essa pergunta servirá de guia para analisar e discutir os resultados obtidos.

A justificativa para este estudo é que as caldeiras flamotubulares são essenciais para vários processos industriais (Zarpelon, 2015). Portanto, compreender a natureza da incrustação e seu impacto nestas máquinas é essencial para otimizar os processos industriais, conservar os recursos energéticos e melhorar a segurança das instalações.

1.1 OBJETIVOS

Compreender a interferência da incrustação na diminuição da eficiência energética de uma caldeira flamotubular.

Entre os objetivos específicos:

- Observar o aumento do consumo de combustível de uma caldeira flamotubular com presença de incrustações;
- Identificar o impacto destas incrustações no desempenho das máquinas térmicas.

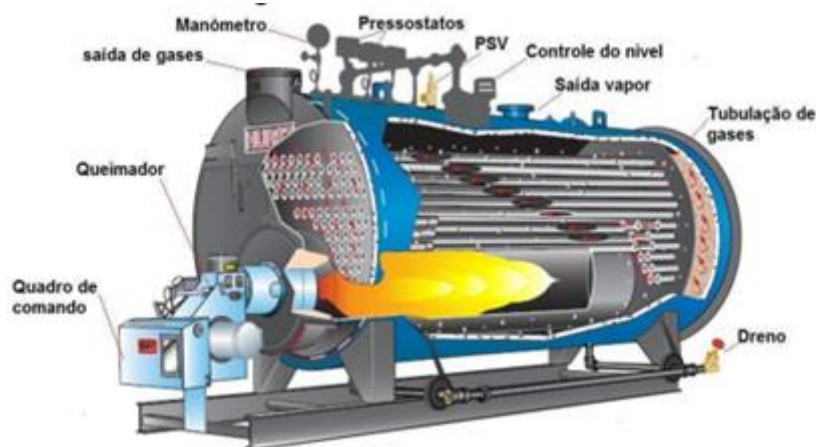
2 REFERENCIALTEÓRICO

A principal função das caldeiras na indústria é produzir calor. As caldeiras de flamotubo ou flamotubulares, em particular, desempenham um papel importante nesse processo. Esses dispositivos convertem a energia contida em combustíveis como gás natural, óleo ou biomassa em calor, elevando a temperatura da água para produzir vapor (De Oliveira *et al.*, 2016).

Esse vapor, por sua vez, é usado para diversas finalidades, incluindo geração de energia, aquecimento industrial e processamento térmico em diversos setores. Portanto, compreender a eficiência energética e, em particular, a incrustação em caldeiras flamotubulares, é fundamental para otimizar a produção de calor e garantir processos industriais mais eficientes e sustentáveis (Togawa, 2020).

Uma caldeira flamotubular é uma caldeira na qual a água envolve o fogo ou os tubos de fumaça. Os gases de combustão passam por esses tubos, liberando calor para o líquido à medida que ele passa (De Oliveira *et al.*, 2016). Apesar de sua eficiência térmica relativamente baixa, é o tipo de caldeira mais comum devido à sua simplicidade de construção e pode atender perfeitamente locais com baixa demanda energética, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 - Caldeira flamotubular.



Fonte: Togawa (2020).

A formação de incrustações em caldeiras de caldeiras flamotubulares está intrinsecamente ligada à redução da eficiência energética desses sistemas. A incrustação consiste principalmente em minerais dissolvidos e depósitos na água de alimentação que atuam como isolamento na superfície de aquecimento da caldeira. Isso cria uma barreira que reduz a transferência de calor da chama para a água, exigindo mais tempo e energia para atingir a temperatura operacional desejada (Moura; Filho, 2013; Zarpelon, 2015; De Oliveira *et al.*, 2016).

O sistema de aquecimento precisa trabalhar mais para manter a produção de vapor, o que aumenta o consumo de combustível e, portanto, reduz a eficiência energética da caldeira. Além disso, a incrustação reduz o fluxo de água e aumenta a resistência do sistema, o que também leva a uma redução na eficiência operacional. A relação entre a resposta à incrustação e a eficiência energética é, portanto, um grande desafio para os operadores de caldeiras flamotubulares (Trovati, 2014).

A incrustação em caldeiras de flamotubulares pode afetar seriamente a eficiência energética do sistema, interferindo na transferência de calor e exigindo que o sistema de aquecimento trabalhe mais para manter a produção de vapor, resultando em maior consumo de combustível (Zarpelon, 2015).

Essa demanda adicional de energia não apenas aumenta os custos operacionais, mas também reduz a eficiência geral da caldeira, pois parte da energia térmica é perdida devido à barreira de isolamento formada pela incrustação. Portanto, a prevenção e a manutenção adequadas são essenciais para manter a eficiência energética e o desempenho econômico desses sistemas (Trovati, 2014).

Os principais fatores que geram as incrustações são:

- tratamento químico ineficiente da água;
- excesso de contaminantes;
- corrosão nas caldeiras devido ao pH da água inadequado.

Os problemas devido às incrustações são vários, entre eles: baixo rendimento das caldeiras, baixa geração de vapor, superaquecimento, ruptura, explosão das caldeiras, entre outros.

Entre algumas causas das incrustações:

- formação de carbonatos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) identificados pelo aumento de dureza da água;
- formação de sulfatos e silicatos;
- contaminantes e depósitos de ferro.

O tratamento adequado da água da caldeira desempenha um papel fundamental na manutenção da eficiência energética das caldeiras flamotubulares. Uma prática fundamental é a desoxigenação, a remoção efetiva do oxigênio dissolvido da água. Isso é essencial para minimizar a corrosão e a formação de incrustações na superfície de aquecimento da caldeira. Além disso, a descalcificação é fundamental para controlar a concentração de minerais na água de alimentação. O uso de descalcificadores ajuda a evitar a formação de depósitos que podem comprometer a eficiência da caldeira (Zarpelon, 2015).

A descalcificação é uma prática essencial para a remoção eficaz do oxigênio dissolvido da água e desempenha um papel fundamental na minimização da corrosão e na prevenção de incrustações nas superfícies de aquecimento da caldeira. Ao mesmo tempo, a descalcificação é uma medida essencial para controlar a concentração de minerais na água de alimentação. O uso de descalcificadores evita a formação de depósitos que podem comprometer a eficiência da caldeira (Moura; Filho, 2013).

O controle adequado do pH da água é outra medida importante. Manter o pH dentro de uma faixa de pH recomendada para a água de alimentação da caldeira, que é geralmente entre 8,5 e 9,5, é fundamental para evitar a corrosão de superfícies metálicas e a formação de incrustações. A purga de fundo, que envolve a remoção periódica de depósitos do fundo da caldeira, ajuda a manter as condições operacionais ideais e evita o acúmulo de impurezas que podem causar incrustações. Além disso, a implementação de um sistema de monitoramento em tempo real de profissionais da área fornece dados valiosos para detectar alterações nas condições de qualidade da água e na eficiência da caldeira, permitindo que sejam feitos ajustes imediatos para evitar incrustações (De Oliveira et al., 2016).

Além disso, várias empresas especializadas em serviços de monitoramento e manutenção de caldeiras podem oferecer soluções mais abrangentes. Essas empresas podem oferecer tecnologias avançadas de monitoramento, como sensores automáticos, sistemas de telemetria e até mesmo monitoramento remoto baseado em nuvem (Zarpelon; Azzolini, 2015).

O tratamento inicial remove as impurezas mais grosseiras, como turbidez, sólidos suspensos e matéria orgânica. Em seguida, é realizado um tratamento mais complexo, como a desoxigenação, conforme necessário, para eliminar as substâncias dissolvidas (Moura; Filho, 2013).

No tratamento inicial da água, a remoção do oxigênio é realizada usando produtos químicos desoxidantes que reagem com o oxigênio na água e o convertem em produtos químicos que não causam corrosão. Também são tratados outros gases dissolvidos por meio da degaseificação. Esses tratamentos de água são essenciais para manter a eficiência energética de uma caldeira, minimizar os efeitos negativos da incrustação e garantir a operação segura e econômica destas máquinas em diversas aplicações industriais (Zarpelon; Azzolini, 2015).

Há várias maneiras de prevenir e eliminar a incrustação em caldeiras flamotubulares, e essas medidas são essenciais para garantir a eficiência energética e a operação adequada desses sistemas. Uma das estratégias mais eficazes é a limpeza regular das superfícies de aquecimento da caldeira, podendo ser feita por meio de limpeza química ou mecânica, spray de água, jato de gás inerte, detergentes, escovas rotativas ou gelo seco. Isso envolve a remoção cuidadosa de qualquer incrustação que tenha se formado, geralmente por meio de pulverização, escovação ou uso de agentes de limpeza específicos. A limpeza regular ajuda a restaurar a transferência de calor e a eficiência da caldeira (Togawa, 2020).

Além disso, o controle da temperatura da água é fundamental. Manter a temperatura da água na faixa correta ajuda a evitar a formação de incrustações, pois temperaturas extremamente altas podem causar depósitos minerais. O uso de produtos químicos anti incrustantes é outra medida eficaz. Esses produtos atuam

como agentes preventivos para inibir a formação de incrustações. Os produtos químicos devem ser adequadamente selecionados e usados de acordo com as necessidades específicas de cada caldeira (Altafini, 2022).

O monitoramento contínuo dos indicadores de incrustação, feito com a condutividade e a taxa de depósitos na água, é fundamental para evitar a incrustação. Além disso, a prática de "sopro de fundo" é importante. Isso envolve a remoção regular de depósitos do fundo da caldeira para evitar o acúmulo de impurezas e a formação de incrustações (Altafini, 2022).

A educação e o treinamento adequados da equipe de operações desempenham um papel fundamental na prevenção e eliminação da incrustação. A equipe de inspeção deve entender os sinais de incrustação, estar familiarizada com os procedimentos de tratamento de água e saber como realizar a limpeza regular de forma segura e eficaz (Zarpelon, 2015).

Essas medidas de prevenção e eliminação de incrustações são fundamentais para garantir a eficiência energética e a operação confiável das caldeiras, ajudando a reduzir os custos operacionais e a conservar os recursos energéticos em uma variedade de aplicações industriais (Togawa, 2020).

3 METODOLOGIA

Para investigar a interferência das reações de incrustação na eficiência energética das caldeiras flamotubulares, foi usada uma abordagem estruturada que consiste em uma revisão sistemática com o objetivo de compreender a relação entre a resposta à incrustação e a eficiência energética em caldeiras flamotubulares.

Este trabalho utilizou nesta investigação, o processo de transferência de calor que ocorre durante a vaporização da água nas caldeiras flamotubulares. Os conceitos do coeficiente global de transferência de calor (U) e das resistências térmicas devido à condução, convecção e deposição/incrustação foram devidamente analisados.

O coeficiente global de transferência de calor está relacionado com a resistência térmica total de acordo com a equação (1) (Incropera, 2014),

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_{total} \quad (1)$$

onde:

U [W/m².K]: coeficiente global de transferência de calor;

R_{total} [K/W]: resistência térmica total;

A [m²]: superfície ou área total de troca térmica.

O acúmulo de depósitos ou incrustações nas superfícies térmicas das caldeiras flamotubulares representa uma resistência adicional a transferência de calor. Entre alguns tipos de incrustações, tem-se a formação de: precipitação de depósitos sólidos no fluido, ferrugem, corrosão, entre outros (Çengel, 2012).

A formação de um filme ou de incrustações sobre a superfície térmica é representada por uma resistência térmica interna e externa adicional. Esta resistência térmica depende da temperatura de operação, da velocidade do fluido e do tempo de serviço do trocador de calor (Incropera, 2014).

Desprezando a radiação que ocorre internamente nos tubos por onde circula os gases quentes devido a combustão nas caldeiras flamotubulares, a resistência térmica total é a soma das resistências térmicas devido à condução, convecção interna e externa e deposição interna e externa.

Assim, a equação (1) pode ser reescrita como,

$$\frac{1}{U \cdot A} = R_{convi} + R_{conve} + R_{cond} + R_{di} + R_{de} \quad (2)$$

onde:

R_{convi} [K/W]: resistência térmica devido à convecção interna;

R_{conve} [K/W]: resistência térmica devido à convecção externa;

R_{cond} [K/W]: resistência térmica devido à condução;
 R_{di} [K/W]: resistência térmica devido à incrustação interna;
 R_{de} [K/W]: resistência térmica devido à incrustação externa;
 A [m²]: superfície ou área de troca térmica.

Após a substituição pela definição de cada resistência térmica, a equação (2) fica,

$$\frac{1}{U \cdot A} = \frac{1}{h_i \cdot A_i} + \frac{1}{h_e \cdot A_e} + \frac{R_{cond}}{A} + \frac{R''_{di}}{A_i} + \frac{R''_{de}}{A_e} \quad (3)$$

h_i [W/m².K]: coeficiente de transferência de calor por convecção interna;
 h_e [W/m².K]: coeficiente de transferência de calor por convecção externa;
 R''_{di} [(m².K)/W]: fator de deposição/incrustação interno;
 R''_{de} [(m².K)/W]: fator de deposição/incrustação externo;
 A_i [m²]: superfície ou área de troca térmica interna;
 A_e [m²]: superfície ou área de troca térmica externa.

A metodologia de pesquisa adotada foi predominantemente de natureza qualitativa, pois envolveu uma análise crítica e síntese de informações de literaturas. O objetivo desta revisão é principalmente de natureza exploratória e descritiva, visando compreender as causas, os efeitos e as estratégias associadas à incrustação em caldeiras de tubos de chama (flamotubulares).

Uma análise sobre o impacto das incrustações na eficiência energética da caldeira foi realizada através de uma situação problema, onde dois diferentes cenários foram aplicados às equações mencionadas a fim de comparar a diferença de uma variável no resultado final. A variável em questão se trata do fator de incrustação e o resultado final é o coeficiente global de transferência de calor, logo encontrou-se através das equações a relação da presença de incrustações com a taxa de transferência de calor.

Por fim, visando demonstrar perdas materiais, utilizou-se a equação da eficiência da caldeira para mensurar a diferença de consumo de combustível em ambos os cenários.

4 RESULTADOS

A eficiência térmica (η) e o rendimento das caldeiras são definidas pelas equações 4 e 5, respectivamente,

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{m'_{vapor} \cdot (h_v - h_a)}{m'_{comb} \cdot PCI} \quad (5)$$

onde:

Q_1 [kJ]: energia recebida pela caldeira para geração de vapor;

Q_2 [kJ]: energia fornecida pelo combustível à caldeira;

m'_{vapor} [kg/h]: vazão mássica de vapor da caldeira;

m'_{comb} [kg/h]: consumo de combustível;

h_v [kJ/kg]: entalpia do vapor;

h_a [kJ/kg]: entalpia da água de alimentação;

PCI [kJ/kg]: poder calorífico inferior.

Analisando com o uso do coeficiente global de transferência de calor, Q_1 pode ser definido como,

$$Q_1 = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (6)$$

onde:

ΔT [K]: diferença de temperatura entre os gases de combustão e água a ser vaporizada.

Uma situação problema foi utilizada para analisar o efeito das incrustações em caldeiras. Este problema é caracterizado por uma caldeira flamotubular em que os gases quentes da combustão escoam através de uma matriz de tubos com paredes finas e, são utilizados para vaporizar água que circula em torno destes tubos. Na instalação da caldeira conforme o fabricante, o coeficiente global de transferência de calor é $400 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Após um período de uso de aproximadamente um ano, houve acúmulo de incrustações sobre as superfícies interna e externa dos tubos, correspondendo aos fatores de deposição $R''_{di} = 0,0015 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ e $R''_{de} = 0,0005 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$, respectivamente (Incropera, 2014).

Para uma área de troca térmica quase idêntica ($A_i = A_e = A$), espessura da parede do tubo pequena e a condutividade térmica do material muito elevada, a resistência térmica devido à condução pode ser considerada como nula. Assim e, dividindo a equação (3) por $A_i = A_e = A$, tem-se:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + R''_{di} + R''_{de} \quad (7)$$

Conforme descrição da situação problema, a caldeira inicialmente não apresenta incrustações. Deste modo, as resistências térmicas devido às mesmas são nulas. Assim, a equação (7) em seu lado direito da igualdade fica com apenas as resistências térmicas devido à convecção interna e externa. Deste modo,

$$\frac{1}{U_1} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} = \frac{1}{400}$$

$$U_1 = 400 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}.$$

Após aproximadamente um ano de operação da caldeira, foi levado em consideração às resistências térmicas devido as incrustações. Neste caso, da equação (7) tem-se que,

$$\frac{1}{U_2} = \frac{1}{400} + (0,0015 + 0,0005).$$

$$U_2 = 222,22 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}.$$

Os coeficientes globais de transferência de calor da caldeira sem e com incrustações são denotados por U_1 e U_2 . Relacionando U_2 com U_1 , foi verificado que a presença das incrustações nos tubos interno e externo da caldeira conforme problema apresentado, diminui o coeficiente global de transferência de calor em torno de 55,55%.

Aplicando os valores de U_1 e U_2 na equação (6) encontra-se que,

$$Q_{1.1} = 400 \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{e}$$

$$Q_{1.2} = 222,22 \cdot A \cdot \Delta T$$

em que, $Q_{1.1}$ e $Q_{1.2}$ são as energias recebidas pela caldeira para geração de vapor referentes aos cenários 1 e 2, respectivamente.

Equacionando estes resultados, observa-se que $Q_{1.1} = 1,8 * Q_{1.2}$. Sabendo disso utilizou-se a equação (4) para ambos os cenários de forma que,

$$\eta_1 = \frac{Q_{1.1}}{Q_2} \tag{8}$$

e

$$\eta_2 = \frac{Q_{1.2}}{Q_2} \tag{9}$$

Equalizando estes dados, observa-se que $\eta_1 = 1,8 * \eta_2$, indicando uma eficiência térmica 1,8 vezes maior na caldeira sem incrustações. Sabendo disso e considerando que a vazão mássica de vapor (m'_{vapor}), o PCI e as demais variáveis são iguais nos dois cenários do problema, visto que a caldeira apresenta as mesmas dimensões nos dois casos, foi verificado também que $m'_{\text{comb2}} = 1,8 m'_{\text{comb1}}$, ou seja, um consumo de combustível de 1,8 vezes superior devido à presença dessa incrustação.

5 CONCLUSÕES

Em vista dos resultados das equações, há uma clara necessidade de medidas preventivas contra incrustações para otimizar a eficiência energética de uma caldeira flamotubular. Como apontado por Zarpelon (2015), Moura Filho (2013) e demais autores, é importante que seja realizada a limpeza regular da caldeira, seja por métodos mecânicos ou químicos para remover a sujeira e manter a eficiência em um nível aceitável. Também é fundamental que a água usada no sistema seja tratada adequadamente, realizando remoção de impurezas, controle do pH e uso de anti incrustantes. Estas soluções não apenas ajudam a reduzir o consumo de combustível da caldeira, como mantêm a integridade da mesma ao longo do tempo e são necessárias para manter as condições operacionais de acordo com a Norma Regulamentadora 13.

6 REFERÊNCIAS

ALFATANI, C. A. **Apostila de Caldeiras**. 1990. Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Caxias do Sul, 2022. Disponível em: <<http://www.segurancaetrabalho.com.br/download/caldeiras-apostila.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2023.

BAGGIO, R. W. O. **Modelagem de uma Caldeira Flamotubular com Fornalha Aquatubular**. 2018. 81 f. Dissertação (Graduação) em Engenharia de Controle e Automação) –Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, SC.

Çengel, Y.A., Ghajar, A.J. **Transferência de Calor e Massa**. São Paulo: McGrawHill, 4ª ed., 2012.

DE OLIVEIRA, L.S.; RIBEIRO, W. F.; BARBOSA, S. A. **Análise da qualidade da água da chuva para uso em caldeiras industriais**. Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente, v. 5, n. 1, p. 163-172, 2016.

De Witt, D.P., Incropera, F.P., Bergman, T.L. Lavine, A.S. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. Rio de Janeiro: LTC, 7ª ed., 2014.

MOURA, J. P. de; FILHO, U. S. L. **Prevenção de corrosão em caldeiras**. 2013. Disponível em: <http://www.infobibos.com.br/Artigos/2011_2/caldeiras/index.htm>. Acesso em: 30 set. 2023.

Norma Regulamentadora 13 – NR 13 - CALDEIRAS, VASOS DE PRESSÃO, TUBULAÇÕES E TANQUES METÁLICOS DE ARMAZENAMENTO. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-13-atualizada-2022-retificada.pdf>>. Acesso em: 18 dez. 2023.

SILVA, Ricardo Luiz Alves. et.al. **Gerenciamento de riscos de acidentes em áreas de caldeiras**. 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_209_242_27210.pdf>. Acesso em: 01 out. 2023.

TOGAWA, Victor. **Os Principais Tipos De Caldeiras**. Togawaengenharia, 2020. Disponível em: <<https://togawaengenharia.com.br/blog/os-principais-tipos-de-caldeiras/>>. Acesso em: 30 set. 2023.

TROVATI, Joubert. **Tratamento de água – geração de vapor**. 2014. Disponível em: <http://www.tratamentodeagua.com.br/curso>. Acesso em: 01 out. 2023.

ZARPELON, Willian; AZZOLINI, José Carlos. **Caldeiras De Alta Pressão :Caracterização e Avaliação da Qualidade do Tratamento das Águas de Abastecimento.** Unoesc &CiênciaACET, v. 6, n. 2, p. 141-154, 2015.

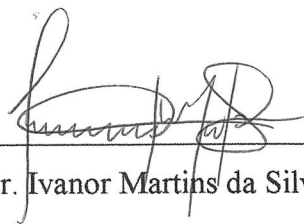
FOLHA DE APROVAÇÃO

Informo que o discente PEDRO MARCHEZI SALLES apresentou Trabalho Final de Curso de Pós-Graduação Especialização em Eficiência Energética em 15 de dezembro de 2023, intitulado "ESTUDO DO EFEITO DA INCRUSTAÇÃO ATRAVÉS DA TRANSFERÊNCIA DE CALOR NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE CALDEIRAS FLAMOTUBULARES" concluiu e entregou a versão final para submissão no repositório do IFES - Campus Vitória, por mim aprovada.

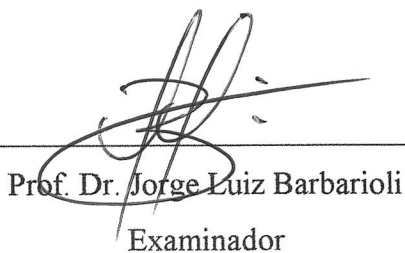
Vitória, 15 de dezembro de 2023.



Prof. Dr. Luís Roberto Castro
Orientador



Prof. Dr. Ivanor Martins da Silva
Examinador



Prof. Dr. Jorge Luiz Barbarioli
Examinador