

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
FERNANDO FERREIRA VALIAS

**GERAÇÃO DE VAPOR: análise comparativa entre uma instalação de caldeira
fogatubular a óleo e a cavaco em uma empresa alimentícia**

Varginha
2021

FERNANDO FERREIRA VALIAS

**GERAÇÃO DE VAPOR: análise comparativa entre uma instalação de caldeira
fogatubular a óleo e a cavaco em uma empresa alimentícia**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS MG, sob a orientação do Prof. Dr Luiz Carlos Vieira Guedes e coorientação do bacharel Daniel César Miguel.

**Varginha
2021**

FERNANDO FERREIRA VALIAS

**GERAÇÃO DE VAPOR: análise comparativa entre uma instalação de caldeira
fogatubular a óleo e a cavaco em uma empresa alimentícia**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para a obtenção de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que me deu sabedoria e discernimento, agradeço especialmente aos meus pais e também aos professores e coordenadores que sempre me orientaram durante minhas atividades de estágio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que estiveram ao meu lado, me apoiando e incentivando. A todos aqueles que se fizeram presentes em minha vida nesses anos e que sempre me deram forças para concluir meus objetivos. Agradeço ainda a todos aqueles que cruzaram meu caminho e ajudaram a preencher minha bagagem, me fazendo ser quem sou hoje. E agradeço a todos os professores pelo empenho e pelos ótimos ensinamentos.

“Confia no senhor de todo seu coração e não se apoie no seu próprio entendimento. Reconheça o senhor em todos seus caminhos, ele endireitará tuas veredas.”

Provérbios 3: 5 e 6.

RESUMO

Este trabalho tem como finalidade realizar análises comparativas entre duas instalações de caldeiras fogotubulares de combustíveis a óleo e a cavaco em uma empresa alimentícia localizada no sul de Minas Gerais. O estudo tem como objetivo avaliar a NR 13 (norma regulamentadora 13), apresentar componentes da caldeira, apontar diferenças do equipamento, abordar conceitos termodinâmicos, aspectos ambientais e financeiros. O propósito é explorar caldeira fogotubular coletando dados e monitorando o funcionamento para poder evidenciar um estudo comparativo com o intuito de provar qual dos dois equipamentos é mais adequado para o cenário analisado. Os resultados concluídos foram satisfatórios, podendo identificar que as duas caldeiras fogotubulares atendem a norma nos pontos analisados. Em relação a comparação, o equipamento combustível a cavaco apresentou melhores resultados em emissão de gases e custos financeiros.

Palavras-chave: Caldeiras fogotubulares. Combustíveis. Meio Ambiente. Custos. NR 13.

ABSTRACT

This work aims to carry out comparative analysis between two installations of fire-tubular oil and chip fuel boilers in a food company located in the south of Minas Gerais. The study aims to evaluate NR 13 (regulatory standard 13), present boiler components, contribute equipment differences, address thermodynamic concepts, environmental and financial aspects. The purpose is to explore the tubular fire boiler, collecting data and monitoring the operation in order to evidence a comparative study in order to prove which of the two pieces of equipment is more suitable for the analyzed scenario. The results concluded were satisfactory, being able to identify that the two fire-tubular boilers meet the standard in the analyzed points. In comparison, the chip fuel equipment showed better results in terms of gas emissions and financial costs.

Keywords: *Tubular fire boilers. Fuels. Environment. Costs. NR 13.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Fluxos em uma fornalha	15
Figura 02 – Combustíveis utilizados nas indústrias	17
Figura 03 – Caldeira fogotubular.....	18
Figura 04 – Incrustação.....	19
Figura 05 – Purgador	20
Figura 06 – Filtro	21
Figura 07 – Balanço energético	22
Figura 08 – Placa de identificação	26
Figura 09 – Aparelho de controle de alimentação de água.	26
Figura 10 – Válvula de segurança.....	27
Figura 11 – Injetor de água e Bombas alternativas	28
Figura 12 – Indicador de pressão “Manômetro”	28
Figura 13 – CLP (controlador lógico programável)	29
Figura 14 – Casa de caldeira cavaco e óleo	29
Figura 15 – Caldeira manutenção	30
Figura 16 – Equipamentos utilizados	31
Figura 17 – Tabela dados caldeira cavaco	32
Figura 18 – Tabela dados caldeira óleo.....	32
Figura 19 – Tabela consumo óleo BPF.....	33
Figura 20 – Tabela preços combustível óleo A 1	34
Figura 21 – Tabela consumo cavaco Agosto 2021	35
Figura 22 – Tabela consumo cavaco Setembro 2021	36

LISTA DE SÍMBOLOS

Q_r - Calor trocado por radiação (W)

σ - Constante de Stefan-Boltzmann, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

ε_g - Emissividade da chama

ε_1 - Emissividade efetiva das paredes de tubos

A - Superfície de troca de calor (m^2)

T_g - Temperatura absoluta de saída dos produtos de combustão (K)

T_1 - Temperatura absoluta da superfície de troca de calor (K)

D - Densidade

V - Volume (m^3)

M - Massa (Kg)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Combustão em caldeiras industriais.....	14
2.1.1 Transferência de calor em caldeiras	15
2.1.2 Combustíveis.....	16
2.2 Caldeiras e geração de vapor	17
2.2.1 Caldeiras fogotubulares	18
2.2.2 Tratamento de água para caldeira	19
2.3 Distribuição de vapor.....	19
2.3.1 Tubulação	20
2.3.2 Purgadores	20
2.3.3 Filtros.....	21
2.3.4 Perda de carga	22
2.4 Poluição atmosférica	23
2.5 Segurança em caldeira	23
3 METODOLOGIA	24
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
4.1 Dados NR 13.....	25
4.2 Validação emissão atmosférica	30
4.3 Consumo e custos dos combustíveis.....	33
5 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia é um ramo que está em constante crescimento. Com isto, existe uma grande necessidade de otimizar toda a cadeia de produção, tendo em vista o custo mínimo para manter a competitividade. É muito comum a utilização do vapor como fonte de energia para movimentar máquinas e equipamentos, gerando trabalho mecânico, entretanto, ele também é utilizado nos processos de fabricação, como cozimentos de matéria prima e higienização dos setores. Para que se possa utilizar o vapor na indústria alimentícia, é preciso um gerador de vapor - que é a caldeira. No entanto, é necessário seguir normas e regulamentos de instalação, calibração, inspeções, entre outros requisitos que respeitem a segurança e o meio ambiente (BIZZO, 2018).

A caldeira é um gerador de vapor onde existe a queima de combustíveis liberando gases quentes para que se haja uma troca de calor entre a água e estes gases, gerando uma energia térmica que transforma água em vapor, tendo como propósito a movimentação de equipamentos ou limpeza de lugares por meio do vapor. Esses sistemas são amplamente encontrados nas indústrias. Atualmente, para que ocorra a ativação do equipamento, é essencial que ocorra uma inspeção para verificar se a caldeira se encontra em perfeitas condições antes de ativá-la (PERA, 1990).

As caldeiras fogotubulares funcionam através da passagem de gases no interior dos tubos com água em seu exterior. A partir da passagem, há uma troca de calor entre os gases, tubos e água, fazendo com que a água aqueça - transformando em vapor - onde se eleva a pressão em seu interior, conduzindo o vapor pelas tubulações. Para que isso ocorra, deve seguir normas de fabricação e instalação do equipamento e como se deve manuseá-lo (PERA, 1990).

A análise comparativa entre duas instalações de caldeiras fogotubulares a óleo e a cavaco em uma empresa alimentícia aborda dois sistemas de geração de vapor similares que utilizam combustíveis diferentes, sendo óleo e cavaco. A partir das diferenças, será verificado como deve ser feita a instalação de acordo com a NR 13. A inspeção e verificação das condições da caldeira fogotubular seguem a NR 13, que visa garantir a segurança dos profissionais com o intuito de reduzir os níveis de periculosidade nas indústrias (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Com base na NR 13 e em fatores ambientais e econômicos considerados em uma instalação de geração de vapor, busca-se averiguar quais são as principais vantagens e diferenças entre instalações fogotubulares a cavaco e a óleo.

As organizações optam por caldeiras em suas plantas industriais pelo motivo de se ter o melhor desempenho no processo produtivo utilizando o vapor gerado. No cenário atual, vem sendo usado cada vez mais a biomassa como forma de combustível, pelo motivo do baixo custo em relação aos combustíveis fósseis, além da queima da biomassa (cavaco) gerar menos impacto no meio ambiente.

O objetivo é evidenciar em um estudo de caso embasado na NR 13 para realizar análise comparativa em caldeiras fogotubulares a óleo e a cavaco, a fim de averiguar as principais diferenças e particularidades de cada sistema já instalado em uma empresa no sul de Minas Gerais e concluir qual sistema é mais viável, baseado em alguns pontos:

- a. Abordar a norma regulamentadora 13;
- b. Apresentar os riscos que uma má instalação de caldeira fogotubular pode trazer;
- c. Especificar componentes da instalação de caldeira fogotubular;
- d. Apontar principais diferenças entre caldeira flamotubular a óleo e a cavaco;
- e. Avaliar as condições da instalação da caldeira de acordo com as inspeções;
- f. Abordar conceitos termodinâmicos, conversão de energia, geração de vapor e distribuição;
- g. Realizar estudo de campo em instalações;
- h. Analisar viabilidade econômica, ambiental e segurança;

De acordo com Ministério do Trabalho, existem riscos de periculosidade nas indústrias e nos demais negócios que utilizam sistemas de alta pressão. Com os avanços tecnológicos, existe uma necessidade de adequações, visando assegurar implantações na segurança da caldeira para estabelecer requisitos legais relativos à operação do equipamento.

O objetivo da NR 13 é diminuir os riscos nas instalações de caldeiras com verificações necessárias na segurança de manutenção, operação e inspeção, visando a segurança da sociedade e do meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Combustão em caldeiras industriais

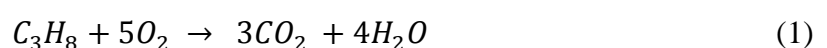
Nos geradores de vapor existe a combustão, que é uma reação exotérmica na qual a queima do combustível gera energia química em calor (ÇENGEL, 2013). Para que haja uma combustão, o ar deve ser combinado com o combustível a certas condições, dependendo do queimador ou fornalha, levando sempre em consideração a pressão, a temperatura e a composição da mistura (BOTELHO; BIFANO, 2016).

Os combustíveis usados nas fornalhas ou queimadores podem ser variados conforme cada tipo de caldeira projetada, pois as fornalhas são utilizadas para queima de combustíveis sólidos, já no queimador podem ser utilizados combustíveis líquidos ou gasosos (BOTELHO; BIFANO, 2016).

Em queimadores, a combustão dos reagentes se dá através de uma pré-mistura entre ar e combustível, onde deve ser sempre quimicamente correta para uma ignição e combustão precisa. Nas caldeiras de combustíveis líquidos existem dispositivos para auxílio da ignição e combustão corretas, como bomba de combustível, válvulas, sensores etc. Assim, antes de acionar seu funcionamento, devem ser seguidos critérios de segurança como a verificação dos níveis dos tanques, válvula da rede, ligar aquecedor de óleo, entre outros (MARTINELLI JÚNIOR, 2003).

A combustão em fornalhas depende do tipo do combustível sólido escolhido para a queima e a quantidade de calor que deve ser liberada em um determinado intervalo de tempo. A câmara de combustão pode ser dividida em três partes distintas, onde a primeira parte tem a finalidade de ignição do combustível e entrada do ar comburente; a segunda parte é o espaço onde se deve ter uma combustão equilibrada entre compostos gasosos; e a terceira tem finalidade de interligar a fornalha com o ciclone segurando o possível de gases, aumentando seu tempo (DUVAL, 1998).

As indústrias utilizam combustíveis onde sua composição química é basicamente de carbono, hidrogênio e enxofre, podendo conter também oxigênio e nitrogênio. A combustão das câmaras pode ser completa ou incompleta, o que é definido de acordo com a quantidade de oxigênio misturado na combustão (BIZZO, 2003). Pode-se observar o balanceamento de uma combustão completa:

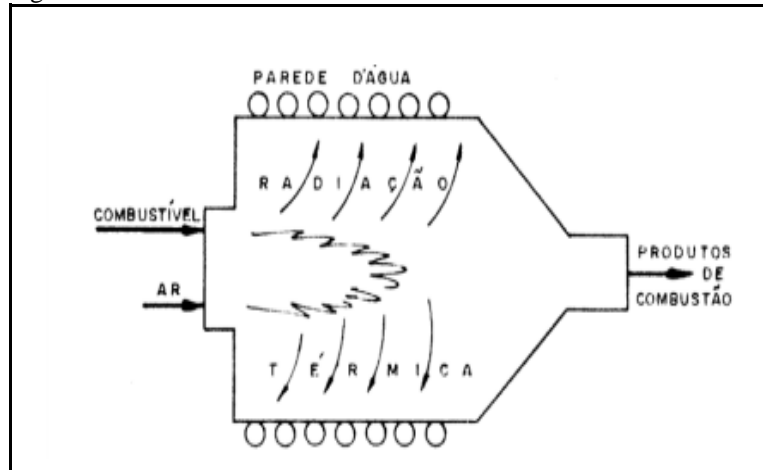


Conforme a equação (1), pode-se observar que tem combustível propano (C_3H_8) reagindo com o comburente oxigênio (O_2). Assim, tendo troca de elétrons para que se possa liberar calor, conforme descrito na próxima seção.

2.1.1 Transferência de calor em caldeiras

A transferência de calor nos geradores de calor e fornos é um processo de fenômenos que ocorre troca de calor por radiação, convecção e condução térmica. Os fenômenos físicos e químicos que ocorrem no equipamento envolvem a combustão, onde é rodeada pelas superfícies fazendo com que haja transferência de calor entre as superfícies quente e fria, compondo o movimento dos fluidos (BIZZO, 2003).

Figura 1: Fluxos em uma fornalha



Fonte: (BIZZO, 2003).

Nas caldeiras, existem a troca de calor por radiação, cujo resultado da combustão que emite radiação por partículas geradas na chama, que é recebida nas paredes da câmara de combustão onde superfícies frias e refratárias (BIZZO, 2003). A fórmula da troca de calor por radiação pode ser determinada pela equação:

$$Q_r = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1} * \sigma A (T_g^4 - T_1^4) \quad (2)$$

Onde:

Q_r : calor trocado por radiação (W);

σ : constante de Stefan-Boltzmann, $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$;

ε_g : emissividade da chama;

ε_1 : emissividade efetiva das paredes de tubos;

A: superfície de troca de calor (m^2);

T_g : temperatura absoluta de saída dos produtos de combustão (K);

T_1 : temperatura absoluta da superfície de troca de calor (K);

Em caldeiras fogotubulares encontra-se o processo térmico por convecção, onde os gases emitidos na combustão circulam no interior dos tubos, transferindo calor pela movimentação. Na seção a seguir se tem a apresentação dos combustíveis (BIZZO, 2003).

2.1.2 Combustíveis

Combustíveis são todas as substâncias naturais ou derivadas do natural que são divididas em três categorias distintas e comercializadas de várias formas, onde caracterizam-se como sólidos, líquidos ou gasosos. São obtidos de diversos processos de transformação, onde podem ser considerados renováveis ou não renováveis. Combustíveis sólidos são os extraídos da madeira ou por mineração, assim são preparados para serem admitidos no sistema de combustão (LEGEMANN, 2016). Os combustíveis líquidos são os minerais e não minerais, estes são obtidos através de um processo de refinação sendo possível obter óleo, gasolina e diesel (SERFATY, 2007). Combustíveis gasosos podem ser caracterizados minerais ou não minerais formados por hidrocarbonetos, onde são compostos orgânicos formados por carbono e hidrogênio (PETROBRAS, 2021).

Figura 2: Combustíveis utilizados nas indústrias

Sólido	Carvão mineral – hulha (betuminoso e sub-betuminoso) Carvão vegetal Coque verde de petróleo Coque de carvão Madeira – (lenha, cavaco, serragem e nó de pinho) Bagaço de cana
Líquido	Óleo combustível Óleo diesel Óleo de xisto Álcool Alcatrão Biodiesel
Gasoso	Gás Natural Gás de refinaria Gás CO Gás de xisto Gás de coqueria Gás de alto-forno GLP Biogás GLP + Ar

Fonte: (LEGEMANN, 2016).

Para cada tipo de combustível existe uma reação que se deve levar em consideração nos cálculos de combustão, assim sabe-se a quantidade de calor liberado que aquece a água gerando vapor, sendo, desta forma, definido o tipo de equipamento conforme explanado a seguir.

2.2 Caldeiras e geração de vapor

Caldeiras e geradores de vapor são equipamentos que produzem vapor através do aquecimento de um fluido vaporizante. Na prática são conhecidas caldeiras de vapor, caldeiras de recuperação, caldeiras de água quente e geradores nucleares, onde o mesmo citado se diferencia pelo seu tipo de processo de gerar vapor (MARTINELLI JÚNIOR, 2003).

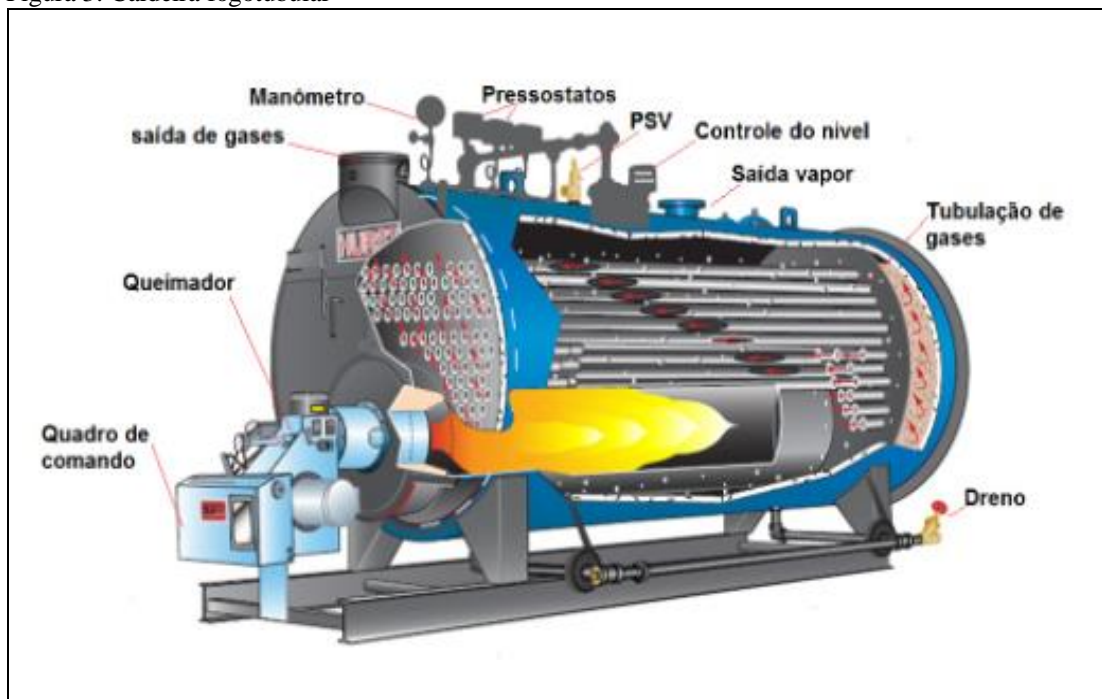
As caldeiras podem ter eixos horizontais ou verticais e são divididas pela quantidade de pressão de trabalho, classificada em: Categoria A, cuja pressão interna é maior que 19,98kgf/cm²; Categoria C cuja pressão é menor 5,99 kgf/cm² e o volume menor que 100 litros; e Categoria B, que são as que não se enquadram nas categorias citadas anteriormente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

As caldeiras podem ter seus componentes diversificados de acordo com a tecnologia desenvolvida ou mesmo o tipo. Sendo assim, cita-se os principais componentes: aquecedor de ar, câmara de combustão, caldeira de vapor (tambor de vapor), chaminé, cinzeiro, condutos de fumo, economizador, fornalha, grelhas, queimadores, reaquecedores, lavador de gases e superaquecedor. No próximo tópico serão citados, de forma visual, alguns destes componentes (SÁNCHEZ, 2010).

2.2.1 Caldeiras fogotubulares

As caldeiras fogotubulares são as que os gases emitidos na combustão passam pelo interior dos tubos aquecendo a água e produzindo vapor saturado em baixas pressões - cerca de 4 a 19 kgf/cm² - em quantidades pequenas ou moderadas (INSTITUTO BRASILEIRO DE PETROLEO E GÁS, 2020).

Figura 3: Caldeira fogotubular



Fonte: (TOGAWA ENGENHARIA, 2021).

Conforme a Figura 3, as caldeiras fogotubulares consistem em um corpo cilindro com espelhos fixos nos quais fazem a conexão com os tubos para que os gases emitidos na combustão possam circular aquecendo a água que envolve.

2.2.2 Tratamento de água para caldeira

A importância do tratamento da água que alimenta as caldeiras se dá pelo motivo de remover as impurezas, que são substâncias que possuem composição química diferente de H_2O . Muitas vezes, estão diluídas na água como o cálcio, magnésio, material orgânico, óleo, ferro, entre outros. Impurezas na água podem trazer consequências na caldeira como produção de vapor perdida, substituições e manutenções caras, produtos contaminados e formações de incrustações (BIZZO, 2003).

Figura 4: Incrustação



Fonte: (AGUAVIVA TECNOLOGIA LTDA, 2021)

Na Figura 4 podem ser observadas incrustações consolidadas, prejudicando a eficiência do equipamento. A remoção exige um grande esforço através de limpeza química ou mecânica com grande intensidade, tais como hidrojateamento a altas pressões, marteletes e impactos diretos com ferramentas.

2.3 Distribuição de vapor

Para que o sistema de distribuição de vapor seja enviado com a pressão, temperatura e quantidade corretas, sem ar e seco de acordo com o projeto, existem componentes que ajudam a manter a distribuição correta do vapor (BOTELHO; BIFANO, 2016).

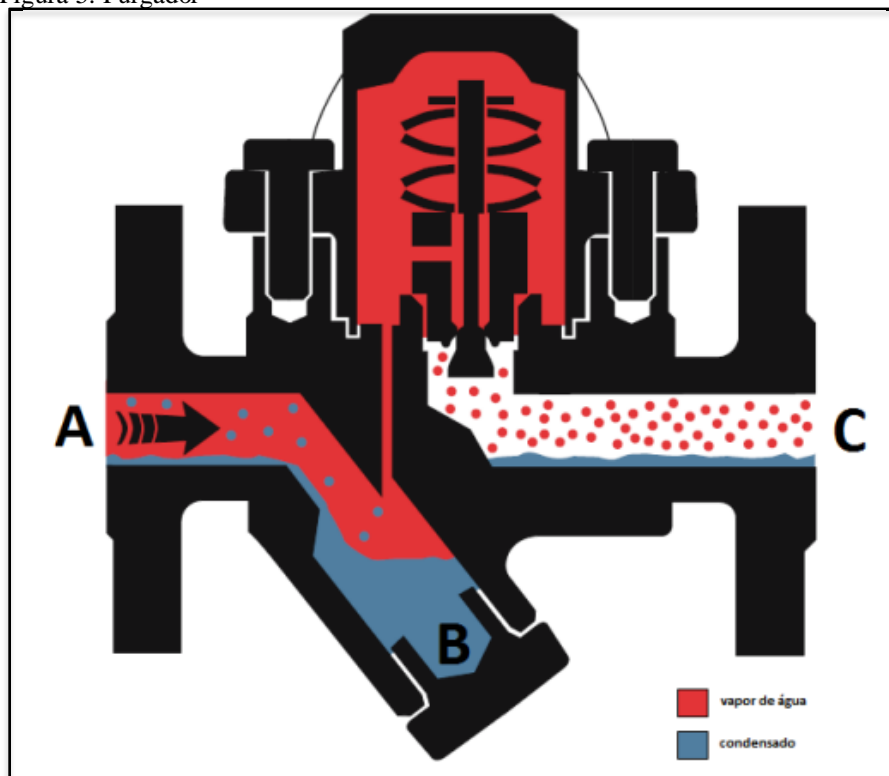
2.3.1 Tubulação

Tubulação é um conjunto de tubos e acessórios voltados para as indústrias com o objetivo de distribuição de gases, óleo, vapores lubrificantes e demais líquidos. Tubos são condutos fechados destinados a transportar fluidos (PETROBRAS, 2021).

2.3.2 Purgadores

A finalidade dos purgadores é eliminar o condensado acumulado, funcionando como uma válvula. Quando existe condensado de água, eles se abrem liberando e quando tem vapor, fecham. O objetivo dos purgadores nas linhas de tubulação é para que não haja acúmulo de água e assim não ocasionar golpe de aríete, que seria um tranco quando o vapor encontra na água acumulada. Existem três tipos de purgadores sendo termostáticos, mecânicos e termodinâmicos. O funcionamento dos purgadores termostáticos está relacionado à temperatura, pois a válvula é acionada por variação, os mecânicos respondem à variação de condensado e os termodinâmicos detectam a fase do fluido para acionamento. A Figura 5 abaixo representa um esquema de funcionamento de um purgador (BOTELHO; BIFANO, 2016).

Figura 5: Purgador



Fonte: (FLOWSERVE, 2006).

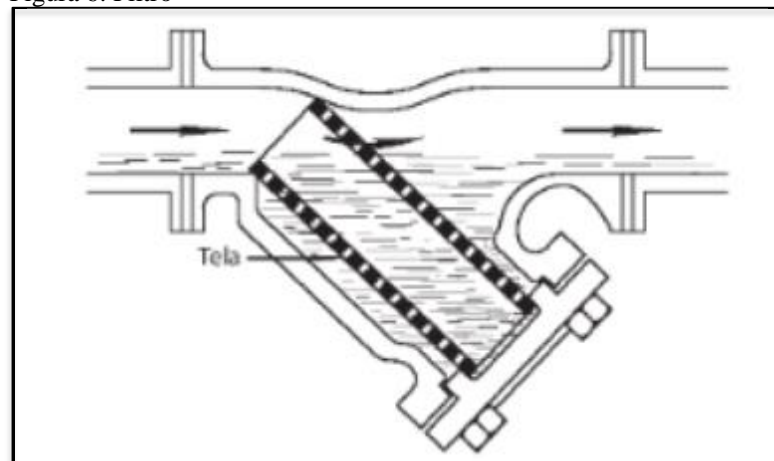
Na figura 5 pode-se visualizar o fluxo dos fluidos por cores, sendo o vermelho vapor de água e o azul o condensado água líquida. O fluido entra pelo ponto indicado (A) e é separado o condensado do vapor, pois condensado vai para o ponto (B) e o vapor irá continuar saindo pelo ponto (C). A válvula só irá ser acionada quando houver um acúmulo de água.

Os principais fatores a serem levados em consideração na hora de se escolher os purgadores é a pressão e a temperatura do vapor na entrada, recomendando sempre colocar filtro antes dos purgadores - alguns já possuem filtro na sua entrada (TELLES, 2012).

2.3.3 Filtros

Filtros são equipamentos separadores com o objetivo de reter sólidos em suspensão e corpos estranhos, em corrente de líquidos e gases. São muito utilizados em tubulações industriais em duas classes, sendo elas permanentes e provisórias (ELETROBRAS, 2005). Os filtros provisórios são tipos de cestas para facilitar a colocação e posteriormente sua retirada. Já os filtros permanentes, geralmente são mais robustos e envolvidos por caixas de aço, ferro, bronze ou ferro fundido (TELLES, 2012).

Figura 6: Filtro



Fonte: (BOTELHO; BIFANO, 2016).

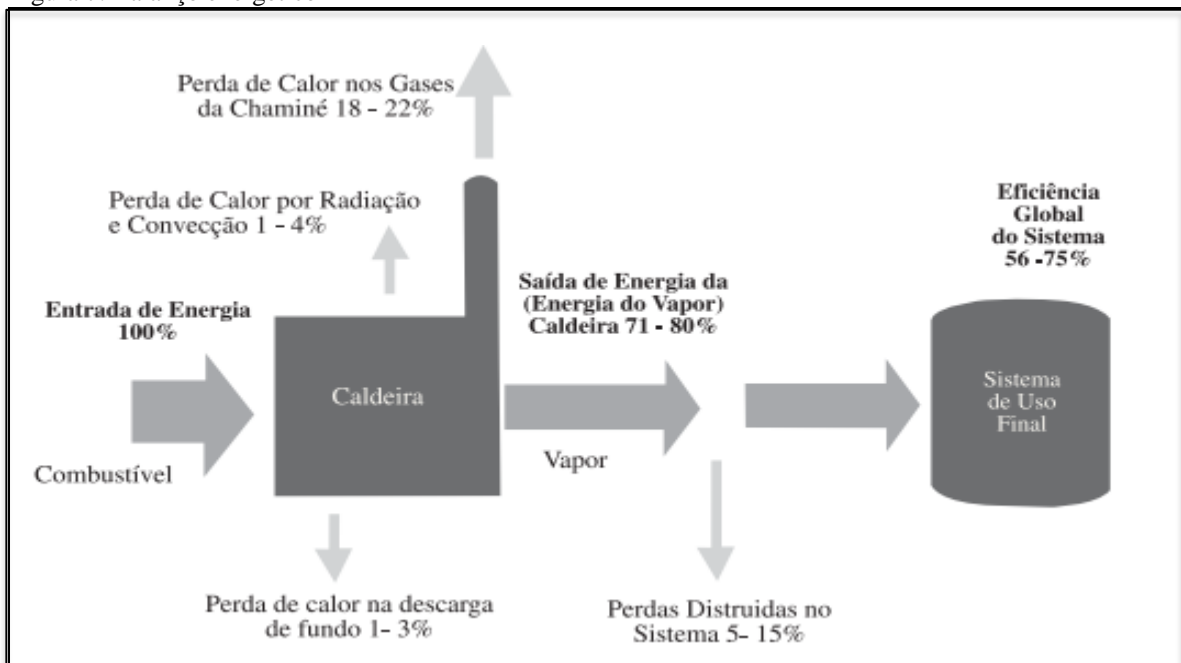
A Figura 6 representa o funcionamento de um filtro, onde é mostrado o fluxo passando pela tela para reter as partículas indesejáveis.

2.3.4 Perda de carga

Na escolha da tubulação deve-se levar em consideração as perdas de carga em cada tipo de tubulação e os componentes que serão acoplados para que o coeficiente de atrito seja o menor possível, atendendo as exigências. Além das perdas de cargas na tubulação por comprimento e coeficiente de atrito, deve-se levar em consideração as perdas de calor por radiação convecção para o ambiente externo (TELLES, 1982).

Para se obter as perdas nas caldeiras, é necessário levar em consideração os princípios da primeira e segunda lei de termodinâmica. As perdas mais consideráveis são perdas por combustão incompleta, transferência de calor, fumos e distribuição de vapor (ELETROBRAS, 2005).

Figura 7: Balanço energético



Fonte: (ELETROBRAS, 2005)

Conforme a Figura 7, se o projeto da caldeira não estiver bem estruturado existe grande probabilidade de perdas no sistema, mostrando que uma combustão inadequada perde eficiência do equipamento. Por isto, a eficiência dos equipamentos é muito importante para as empresas, pois pode analisar o desempenho do equipamento em uso ou mesmo para compra de novos (ELETROBRAS, 2005).

2.4 Poluição atmosférica

A poluição atmosférica vem aumentando gradativamente no decorrer dos anos devido às expansões das indústrias com fornos, caldeiras e outros do tipo. Assim, surgiu uma preocupação de controlar a emissão de gases emitidos visando o bem-estar da humanidade. Sendo assim, foi criada a Resolução nº 436 de 22 de dezembro de 2011 da CONAMA, estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes e exigências de licença nas instalações (LEGEMANN, 2016).

2.5 Segurança em caldeira

Para que se realize um projeto de geradores de vapor, é necessário seguir normas técnicas de organização onde estabelece requisitos de segurança da sociedade e do ambiente. Neste trabalho, foram abordadas algumas situações e normas específicas que evitam riscos graves. Os principais riscos são: válvula de segurança com pressão de abertura igual ou inferior a pressão máxima de trabalho, manômetro, injetor ou outro meio de alimentação de água independente do sistema principal em caldeiras combustíveis sólidos, sistema controle do nível de água ou sistema que evita superaquecimento por alimentação deficiente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Em sistemas de combustão a gás e óleo deve se atentar para requisitos mínimos de segurança determinados pelas normas NFPA 85 *Boiler and Combustion Systems Hazard Code*, ABNT-NBR12313 sistema de combustão - controle de segurança para utilização de gases combustíveis em processo de baixa e alta temperatura onde solicita o teste da purga, chama piloto e sensores nos queimadores para prevenção de explosões (LEGEMANN, 2016).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em uma empresa de laticínio localizada na cidade de São Gonçalo do Sapucaí – MG no período de fevereiro 2021 a novembro 2021 sob a incumbência dos setores de segurança e engenharia. Os geradores de vapor relacionados no estudo foram verificados quanto às suas funcionalidades enquadradas na norma reguladora vigente NR 13 e analisadas individualmente, embasado em uma pesquisa bibliográfica.

A pesquisa foi embasada em caldeiras do tipo fogotubulares, uma com fornalha e outra com queimador a óleo, estudando seus componentes, suas instalações e observando suas diferenças, embasado em conceitos termodinâmicos como conversão de energia, geração de vapor e distribuição, podendo realizar análise de viabilidade econômica, ambiental e segurança.

Foram coletados dados em manuais, descritivos de projeto, laudos de inspeção, relatórios técnicos e folhas de verificações para realizar análise comparativa entre objetos de pesquisa. Após levantar os dados disponíveis, foi realizado o mapeamento da instalação das caldeiras onde foram aplicados dados matemáticos e levantamento de viabilidade de custos. Durante sete dias foi feito o monitoramento da geração de vapor, observando o consumo de combustível, com o objetivo de observar a eficiência, evidenciando qual oferece melhor viabilidade de funcionamento. Após realizar coleta de dados do equipamento e monitoramento, foram confrontados com as normas vigentes para evidenciar se não há necessidade de adequação do projeto ou mesmo oferecer riscos de segurança.

Foram feitas análises comparativas em duas caldeiras fogotubulares horizontais, objetos de estudo, sendo os modelos AR-4N marca Aalborg Brasil, com a capacidade de vapor 6500kg/h e combustível óleo BPF A 1 e WWV Sup. Aquec. tipo de fornalha de caldeiras aquatubular marca Vapour, com capacidade de vapor 8000Kg/h com combustível sólido (cavaco de madeira).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados NR 13

A primeira verificação em campo foi identificar se as caldeiras estão submetidas a inspeções periódicas, e se os laudos se enquadram na NR 13 e, atendendo cláusulas normativas, foi verificado que existe um laudo técnico assinado pelo engenheiro responsável que a caldeira está apta para funcionamento e se enquadra nos períodos estabelecidos de verificação. As caldeiras de estudo são categorias tipo B, sendo assim, devem ser submetidas a inspeções de segurança a cada 12 meses. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Conforme a norma, é proibida a circulação, fabricação, importação, comercialização, leilão, locação, cessão a qualquer título, exposição e utilização de caldeiras e vasos de pressão sempre fixada ao corpo do equipamento em locais de fácil acesso com as seguintes informações abaixo (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

- 1) Nome do fabricante;
- 2) Número de ordem dado pelo fabricante da caldeira;
- 3) Ano de fabricação;
- 4) Pressão máxima de trabalho admissível;
- 5) Pressão de teste hidrostático de fabricação;
- 6) Capacidade de produção de vapor;
- 7) Área de superfície de aquecimento;
- 8) Código de projeto e ano de edição.

Figura 8: Placa de identificação



Fonte: O autor (2021).

Conforme a Figura 8, pode-se observar que a placa de identificação segue a norma regulamentadora atendendo os requisitos solicitados.

O regulamento tem a cláusula 13.4.1.3 em que as caldeiras devem adotar válvula de segurança de pressão, instrumento que indique vapor acumulado, injetor ou sistema de alimentação de água, sistema de drenagem rápida de água e controle de nível (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

O sistema de alimentação de água do equipamento é composto por regulador de nível com eletrodos. Este sistema consiste em aproveitar a condutividade elétrica da água através de três eletrodos de tamanhos diferentes, onde cada tamanho corresponde a um nível de água. Dentro da caldeira, o sistema está ligado a um rele que comanda a bomba de alimentação. Neste sistema, pode-se contar com visor de nível para que o operador possa verificar visualmente o nível de água na caldeira. Pode-se observar o controlador conforme Figura 9.

Figura 9: Aparelho de controle de alimentação de água.



Fonte: O autor (2021).

As válvulas de segurança têm a função de promover o escape do vapor, caso o equipamento chegue em sua pressão máxima permitida de trabalho. No equipamento, toda válvula deve ser verificada anualmente, experimentadas e reparadas caso seja necessário. Verifica-se que o equipamento de estudo possui duas válvulas, de acordo com a Figura 10.

Figura 10: Válvula de segurança.



Fonte: O autor (2021).

Injetores são equipamentos para alimentação de água usados em comando manual. Seu princípio se baseia no próprio uso de vapor da caldeira. Quando o vapor passa pelos cônicos, forma-se um vácuo, fazendo com que a válvula de admissão seja aberta e arraste através de sucção a água do reservatório para dentro da caldeira. Além dos injetores, existem duas bombas elétricas que são acionadas por reles ou pelo operador. Pode-se observar o sistema na Figura 11.

Figura 11: Injetor de água e Bombas alternativas.



Fonte: O autor (2021).

Manômetros são equipamentos que medem a pressão de gases ou vapores e outros fluidos. São muito utilizados na caldeira para verificar a pressão dos vasos de pressão ou sistemas secundários. São muito importantes para os operadores verificarem a pressão ou o funcionamento do equipamento, sempre visando a segurança. Pode-se observar na Figura 12 o manômetro indicando a pressão do vaso de pressão.

Figura 12: Indicador de pressão “Manômetro”.



Fonte: O autor (2021).

Conforme a norma regulamentadora item 13.4.4.7.4, as caldeiras devem ter sistemas de segurança nos painéis de comando. Como pode-se observar na Figura 13 o CLP “controlador lógico programável” existem sirenes com luz, ativadores e desativadores e uma tela para dar comandos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Figura 13: CLP (controlador logico programável).



Fonte: O autor (2021).

A norma regulamentadora cita na clausula 13.4.2.2 que as caldeiras devem ser instaladas em uma casa de caldeira ou em local específico denominando a área para fins de segurança, pois o equipamento oferece risco exposto em lugares indevidos. Conforme a Figura 14, pode-se observar que a casa de caldeira oferece uma proteção ao equipamento e é sinalizada estabelecendo seu local (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Figura 14: Casa de caldeira cavaco e óleo



Fonte: O autor (2021).

A norma regulamentadora informa que todos os instrumentos citados acima devem possuir manutenção preventiva e preditiva e deve sempre seguir conforme o projeto, de acordo com cada critério de instrumento ou equipamento de inibição provisória e permitida, desde que seja mantida a segurança operacional e esteja formalizada ou com justificativa com prévia de análise informando os riscos elaborados pelos responsáveis técnicos com anuência do PH “profissional habilitado”. Conforme Figura 15, visualiza-se que a caldeira estava aberta para manutenção interna e estava sendo feita a manutenção dos instrumentos e anexos da mesma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2018).

Figura 15: Caldeira manutenção.



Fonte: O autor (2021).

Observa-se na Figura 15 a caldeira fogotubular aberta para manutenção preventiva, verificando os passes e se existe incrustações que possam impedir o desempenho do equipamento ou mesmo ocasionar algum tipo de falha.

4.2 Validação emissão atmosférica

Para a validação dos dados foi feito o monitoramento através de um analisador portátil texto 3LL e CIPA “coletor isométrico de poluentes atmosféricos” conforme Figura 16. Os

equipamentos foram utilizados para obter os resultados de materiais particulados, óxido de enxofre, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio. Foram coletados os materiais para análise considerando o consumo nominal da caldeira combustível a óleo BPF 1 A de 208 Kg/h com sua potência nominal de 2,4084 M.W e a caldeira combustível cavaco de lenha consumo nominal de 800 kg/h com sua potência nominal 3,4260 M.W.

Figura 16: Equipamentos utilizados.

<p>Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos – CIPA:</p>	
<p>Analisador de Gases de Combustão:</p>	

Fonte: Relatório empresarial (SIGMA, 2021).

Conforme relatório da empresa terceirizada contratada, chamada SIGMA Soluções em Engenharia, foram analisados e retirados os dados e montada uma tabela com os valores da caldeira combustível a cavaco conforme Figura 17.

Figura 17: Tabela dados caldeira cavaco.

FONTE AVALIADA	PARÂMETROS ANALIZADOS			
	LIMITES DN COPAM 187/13			
	(mg/Nm ³)			
	MP	SOX	CO	NOX
	MATERIAL PARTICULADO	OXIDOS DE ENXOFRE	MONOXIDO DE CARBONO	DIOXIDO DE NITROGENIO
CHAMINE CALDEIRA CAVACO 1	200	NA	1300	NA
CHAMINE CALDEIRA CAVACO 2	200	NA	1300	NA

FONTE AVALIADA	PADRÕES DE EMISSÃO			
	MÉDIAS AVALIADAS			
	(mg/Nm ³)			
	MP	SOX	CO	NOX
	MATERIAL PARTICULADO	OXIDOS DE ENXOFRE	MONOXIDO DE CARBONO	DIOXIDO DE NITROGENIO
CHAMINE CALDEIRA CAVACO 1	23,04	NA	802,78	87,4
CHAMINE CALDEIRA CAVACO 2	56,84	NA	818,06	5,25

Fonte: O autor (2021).

Para parâmetros das análises, embasou-se na COPAM 187/2013 para analisar os dados obtidos nos relatórios, sendo assim foram resultados conforme as Figuras 17 e 18.

Figura 18: Tabela dados caldeira óleo.

FONTE AVALIADA	PARÂMETROS ANALIZADOS			
	LIMITES DN COPAM 187/13			
	(mg/Nm ³)			
	MP	SOX	CO	NOX
	MATERIAL PARTICULADO	OXIDOS DE ENXOFRE	MONOXIDO DE CARBONO	DIOXIDO DE NITROGENIO
CHAMINE CALDEIRA OLEO	100	2700	3250	1600

FONTE AVALIADA	PADRÕES DE EMISSÃO			
	MÉDIAS AVALIADAS			
	(mg/Nm ³)			
	MP	SOX	CO	NOX
	MATERIAL PARTICULADO	OXIDOS DE ENXOFRE	MONOXIDO DE CARBONO	DIOXIDO DE NITROGENIO
CHAMINE CALDEIRA OLEO	48,37	195,99	170,07	122,08

Fonte: O autor (2021).

Pode-se observar que as fontes avaliadas nas figuras 17 e 18 atendem os limites exigidos pela legislação, mas existem diferenças na emissão dos gases de acordo com o combustível avaliado. O combustível óleo existe a emissão de óxidos de enxofre já o cavaco não tem a emissão do gás.

4.3 Consumo e custos dos combustíveis

Para validação de consumo dos combustíveis, foram utilizados relatórios empresariais do ano de 2018, onde a caldeira era totalmente usada para abastecer a indústria. Sendo assim, foi criada a tabela demonstrativa de consumo de óleo conforme Figura 19.

Figura 19: Tabela consumo óleo BPF.

CONSUMO ÓLEO BPF - CALDEIRA (litros)			
COMPARATIVO (FEVEREIRO/MARÇO - 2018)			
FEVEREIRO/2018		MARÇO/2018	
1-fev-18	5.000	1-mar-18	4.000
2-fev-18	4.000	2-mar-18	4.000
3-fev-18	4.000	3-mar-18	3.800
4-fev-18	3.000	4-mar-18	2.000
5-fev-18	4.000	5-mar-18	4.000
6-fev-18	4.000	6-mar-18	3.000
7-fev-18	4.000	7-mar-18	4.000
8-fev-18	5.000	8-mar-18	5.000
9-fev-18	4.000	9-mar-18	4.000
10-fev-18	4.000	10-mar-18	4.000
11-fev-18	4.000	11-mar-18	3.000
12-fev-18	3.000	12-mar-18	4.000
13-fev-18	3.000	13-mar-18	3.000
14-fev-18	4.000	14-mar-18	4.000
15-fev-18	5.000	15-mar-18	5.000
16-fev-18	4.000	16-mar-18	4.000
17-fev-18	4.000	17-mar-18	4.000
18-fev-18	3.000	18-mar-18	3.000
19-fev-18	4.000	19-mar-18	5.500
20-fev-18	5.000	20-mar-18	5.000
21-fev-18	4.000	21-mar-18	4.000
22-fev-18	3.000	22-mar-18	5.000
23-fev-18	4.500	23-mar-18	5.000
24-fev-18	3.000	24-mar-18	3.000
25-fev-18	3.000	25-mar-18	4.000
26-fev-18	5.000	26-mar-18	5.000
27-fev-18	4.000	27-mar-18	4.000
28-fev-18	4.000	28-mar-18	4.400
		29-mar-18	4.000
		30-mar-18	2.000
		31-mar-18	5.000
TOTAL :	110.500	TOTAL :	123.700
MÉDIA DIÁRIA :	3.946	MÉDIA DIÁRIA :	3.990

Fonte: O autor (2021).

A caldeira óleo teve consumo médio 3946 litros no mês de fevereiro e em março 3990 litros por dia, conforme mostrado na Figura 19. Sendo assim, foi calculada a compra de óleo considerando cotação de valores na tabela de orçamento da Petrobras 2021 para montar o orçamento. A Figura 20 mostra a cotação de preço e o custo sem imposto. O combustível é sempre comprado pela massa, sendo assim, é feita a conversão utilizando a densidade informada pelo fornecedor, aplicando a utilização na fórmula:

$$D = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Onde:

D: Densidade

V: Volume (m³)

M: Massa (Kg)

Figura 20: Tabela preços combustível óleo A 1.

PREÇOS DE OLEO COMBUSTIVÉL A 1					
DATAS	14/jul	21/jul	27/jul	12/ago	31/ago
COTAÇÃO VALOR UNITARIO	3,033	2,92	3,009	2,925	2,99
DENSIDADE FORNECEDOR	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
VOLUME DESEJAVÉL (m ³)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MASSA (Kg)	98.000	98.000	98.000	98.000	98.000
CUSTO EM REAIS SEM IMPOSTO	297.234	286.160	294.882	286.650	293.020

PREÇOS DE OLEO COMBUSTIVÉL A 1					
DATAS	04/set	17/set	29/set	01/out	08/out
COTAÇÃO VALOR UNITARIO	3,067	3,218	3,37	3,37	3,449
DENSIDADE FORNECEDOR	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
VOLUME DESEJAVÉL (m ³)	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
MASSA (Kg)	98.000	98.000	98.000	98.000	98.000
CUSTO EM REAIS SEM IMPOSTO	300.566	315.364	330.260	330.260	338.002

Fonte: O autor (2021).

As Figuras 21 e 22 mostram o consumo de cavaco a partir da entrada do combustível, pois é fechado contrato com o fornecedor estabelecendo valores fixos nas cargas a serem entregues. O valor calculado a ser pago é sobre a quantidade recebida em toneladas, para isso é emitida Nota Fiscal e é pesado o combustível no destino para fazer a diferença fiscal e real a ser paga.

Figura 21: Tabela consumo cavaco Agosto 2021.

AGOSTO 2021				
DATA	VALOR	QNT NF (TON)	QNT TICKET (TON)	DIFERENÇA
1-ago-21	4.900	28.000	31.680	3.680
2-ago-21	4.900	28.000	31.200	3.200
3-ago-21	4.900	28.000	31.490	3.490
4-ago-21	0	0	0	0
5-ago-21	4.900	28.000	31.670	3.670
6-ago-21	9.800	56.000	61.650	5.650
7-ago-21	0	0	0	0
8-ago-21	0	0	0	0
9-ago-21	9.800	56.000	57.420	1.420
10-ago-21	4.900	28.000	34.510	6.510
11-ago-21	0	0	0	0
12-ago-21	0	0	0	0
13-ago-21	0	0	0	0
14-ago-21	9.800	56.000	64.790	8.790
15-ago-21	0	0	0	0
16-ago-21	4.900	28.000	32.150	4.150
17-ago-21	4.900	28.000	31.300	3.300
18-ago-21	4.900	28.000	30.470	2.470
19-ago-21	4.900	28.000	30.170	2.170
20-ago-21	4.900	28.000	31.540	3.540
21-ago-21	0	0	0	0
22-ago-21	0	0	0	0
23-ago-21	4.900	28.000	26.980	-1.020
24-ago-21	0	0	0	0
25-ago-21	4.900	28.000	27.410	-590
26-ago-21	9.800	56.000	63.720	7.720
27-ago-21	4.900	28.000	30.710	2.710
28-ago-21	4.900	28.000	30.380	2.380
29-ago-21	0	0	0	0
30-ago-21	4.900	28.000	29.280	1.280
31-ago-21	4.900	28.000	29.410	1.410
TOTAL (Ton):		737.930,00		
TOTAL R\$		117.600,00		
DIFERENÇA		65.930,00		
DIFERENÇA R\$		R\$ 17.155		
CUSTO TOTAL R\$		R\$ 134.754,99		

Fonte: O autor (2021).

Observa-se nas Figuras 21 e 22 o consumo de cavaco nos meses agosto (802 toneladas) e setembro (654 toneladas), com uma diferença de 148 toneladas de consumo.

Figura 22: Tabela consumo cavaco Setembro 2021.

SETEMBRO 2021				
DATA	VALOR	QNT NF (TON)	QNT TICKET (TON)	DIFERENÇA
1-set-21	0	0	0	0
2-set-21	4.900	28.000	27.080	-920
3-set-21	4.900	28.000	30.290	2.290
4-set-21	0	0	0	0
5-set-21	0	0	0	0
6-set-21	4.900	28.000	32.070	4.070
7-set-21	0	0	0	0
8-set-21	0	0	0	0
9-set-21	0	0	0	0
10-set-21	4.900	28.000	31.740	3.740
11-set-21	4.900	28.000	30.000	2.000
12-set-21	0	0	0	0
13-set-21	0	0	0	0
14-set-21	4.900	28.000	32.650	4.650
15-set-21	0	0	0	0
16-set-21	4.900	28.000	31.510	3.510
17-set-21	4.900	28.000	31.890	3.890
18-set-21	4.900	28.000	32.190	4.190
19-set-21	0	0	0	0
20-set-21	4.900	28.000	32.750	4.750
21-set-21	4.900	28.000	31.320	3.320
22-set-21	4.900	28.000	32.640	4.640
23-set-21	4.900	28.000	30.770	2.770
24-set-21	4.900	28.000	29.890	1.890
25-set-21	4.900	28.000	31.250	3.250
26-set-21				
27-set-21	4.900	28.000	32.890	4.890
28-set-21	4.900	28.000	28.900	900
29-set-21	4.900	28.000	29.800	1.800
30-set-21	4.900	28.000	33.570	5.570
	0	0	0	0

TOTAL (Ton):	593.200,00
TOTAL R\$	93.100,00
DIFERENÇA	61.200,00
DIFERENÇA R\$	R\$ 14.200
CUSTO TOTAL R\$	R\$ 107.299,62

Fonte: O autor (2021).

É importante ressaltar que o consumo dos combustíveis pode haver alteração devido a demanda de vapor que a empresa necessita. Para realizar as análises foram identificados meses de produções elevadas e essa observação foi feita pelo volume de consumo dos combustíveis.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho trouxe informações com base na norma regulamentadora NR13 acerca de fatores ambientais voltados para a importância da emissão de gases ao meio ambiente, consumos e custos de combustíveis em duas instalações de caldeiras fogotubulares em uma empresa alimentícia localizada na região do sul de Minas Gerais.

Ao longo do estudo foi possível constatar que, a princípio, novas necessidades de melhoria eram totalmente focadas ao setor produtivo e sua alta competitividade no mercado, mas, ao decorrer dos pontos abordados, que é de extrema importância para a segurança, para o meio ambiente e para a empresa.

De acordo com os resultados obtidos na comparação entre as caldeiras fogotubulares combustíveis a cavaco e a óleo no cenário estudado, a caldeira com combustível a cavaco apresentou melhor benefício pelo motivo de emitir gases menos poluentes, não ter liberado óxido de enxofre, conforme discussão. Em relação a custo-benefício, o combustível também se mostrou mais viável pela comparação de compra de 100 mil litros de óleo BPF no mês de agosto, cujo preço médio seria R\$ 289.835 e o cavaco o custo foi de R\$ 134.754,99, tendo uma economia de R\$ 155.080,01. No mês de setembro, o custo de óleo BPF seria R\$ 307.962, já o combustível cavaco foi de R\$ 107.299,62, tendo uma economia de R\$ 200.662,38. Deve-se levar em consideração que o preço do óleo foi calculado sem imposto.

Conclui-se que, de modo geral, as empresas devem se preocupar com a segurança, seguindo as normas regulamentadoras e respeitar os limites de fatores ambientais, não levando em consideração somente os custos.

Como continuidade do trabalho, abre-se a oportunidade de uma abordagem nos temas de perdas no sistema, como saída de energia e distribuição de vapor ao longo da planta.

REFERÊNCIAS

ÁGUAVIVA TECNOLOGIA LTDA. **Relatório Empresarial**. Curitiba, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13: Vasos de pressão, inspeção de segurança em serviço**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://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: 28 mar. 2021.

BIZZO, W. A. **Geração, Distribuição e Utilização de Vapor**. Apostila de Curso (Engenharia Mecânica) - Unicamp, Campinas, 2003.

_____. **Geradores de vapor**. Apostila de Curso (Engenharia Mecânica) - Unicamp, Campinas, 2018.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; BIFANO, Hercules Marcello. **Operações de caldeiras**: gerenciamento, controle e manutenção. São Paulo: Editora Blucher, 2016.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Eficiência energética no uso de vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005. 196 p.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.

FLOWSERVE, Gestra. **Steam Traps and Steam traps testing**. São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.flowserve.com/en/library?keys=VAFLY000317&gclid=CjwKCAjwq9mLBhB2EiwAuYdMtf5ZXlrLOJgQsyEk42S10Z4NLIIZ98AOY5qVlro_efct3Ue6FV81hxoCTw0QAvD_BwE>. Acesso em: 05 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. **Inspeção de caldeira**. Rio de Janeiro. 2020.

LEGEMANN, VIRGÍLIO. **Combustão em caldeiras industriais**: óleo e gás combustível. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2016.

MARTINELLI JÚNIOR, Luiz Carlos. **Geradores de Vapor**. Apostila de Curso (Engenharia Mecânica) - UNIJUI, Panambi, 2003.

PERA, Hildo. **Geradores de vapor**. Santa Catarina: Editora Fama, 1990.

PETRÓLEO BRASILEIRO S/A. **Petrobras**. Página Inicial. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/pt/>>. Acesso em 05 maio 2021.

SÁNCHEZ, Caio Glauco. **Tecnologia da Gaseificação da Biomassa**. Campinas: Átomo, 2010.

SERFATY, Ricardo. **Combustão e queimadores**. [S.l.]: Cenpes, 2007. 97 f.

SIGMA SOLUÇÕES EM ENGENHARIA. **Relatório Empresarial**. Santa Rita do Sapucaí, 2021.

SILVA, Iracema Durval da. **Projeto, construção e teste de uma fornalha a carvão vegetal para secagem de café**. 1998. 92f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998. Disponível em: <<http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/230/139953f.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 05 maio 2021.

TELLES, Pedro C. Silva. **Tubulações industriais: Materiais, Projeto, Montagem**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. Disponível em: <[http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/ENG%20504%20_%20Processos%20Qu%C3%ADmicos/literaturas/Tubula%C3%A1%E2%80%B0es%20Industriais%20-%20Silva%20Telles/LIVRO%20-%20Projeto-materiais%20e%20montagem%20\(10%C3%9F%20Edia%CC%81%E2%88%86o\).pdf](http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/ENG%20504%20_%20Processos%20Qu%C3%ADmicos/literaturas/Tubula%C3%A1%E2%80%B0es%20Industriais%20-%20Silva%20Telles/LIVRO%20-%20Projeto-materiais%20e%20montagem%20(10%C3%9F%20Edia%CC%81%E2%88%86o).pdf)>. Acesso em: 20 maio 2021.

_____. **Tubulações industriais: Materiais, Projeto, Montagem**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1982.

TOGAWA ENGENHARIA. **Partes que compõe uma caldeira flamotubular**. Campinas, 2019. Disponível em: <<http://togawaengenharia.com.br/partes-que-compoem-uma-caldeira/>>. Acesso em: 20 maio 2021.