

**IGOR AUGUSTO COSTA E SOUZA**

**OTIMIZAÇÃO DAS PARADAS PARA MANUTENÇÃO  
E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

2022

**IGOR AUGUSTO COSTA E SOUZA**

**OTIMIZAÇÃO DAS PARADAS PARA MANUTENÇÃO  
E INSPEÇÃO DO SISTEMA DE GERAÇÃO DE VAPOR**

**Monografia de Conclusão de Curso** apresentada no programa de graduação em Engenharia Mecatrônica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para obtenção do título de **BACHAREL EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**. Área de Concentração: Transferência de Calor e Manutenção. Orientadora: Profa. Dra. Priscila Ferreira Barbosa de Sousa.

**UBERLÂNDIA - MG**

**2022**



*“Se a educação sozinha não transforma a sociedade,  
sem ela tampouco a sociedade muda”*  
(Paulo Freire)

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à professora Priscila Ferreira Barbosa de Sousa a oportunidade, o apoio e, sobretudo, a orientação durante o processo de construção deste trabalho. Estendo estes agradecimentos a todos os meus professores que, ao longo dos anos, se dedicaram a essa jornada.

A Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em nome da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEMEC), por proporcionar um serviço público, gratuito e de qualidade, pela oportunidade de participar do curso de Engenharia Mecatrônica e usufruir de toda a infraestrutura oferecida.

A toda minha família, por me proporcionar a estrutura necessária para que eu pudesse trilhar o caminho até onde cheguei hoje.

Aos meus amigos e colegas, que sempre foram um abrigo, mesmo nos momentos mais difíceis.

E, a empresa que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho, pela oportunidade de estágio e pelo desenvolvimento profissional e pessoal. A todos os colegas, parceiros e gestores, que acreditaram no meu potencial, e de alguma forma contribuíram nesta jornada.

## RESUMO

Um dos maiores problemas de uma indústria é estar com as suas linhas produtivas paradas, devido a falhas mecânicas ou panes elétricas em equipamentos. Essas paradas trazem grandes prejuízos, tanto financeiros, com os custos de homem-hora parados, matéria prima que tem que ser descartada e no reparo dos equipamentos danificados, quanto comerciais, com a falta de produtos há a quebra de contrato com compradores, bem como a ausência desses produtos no mercado influi na queda do market share da empresa com a consequente perda de receita. Em uma indústria da cidade de Uberlândia - MG, diversas paradas por panes, quebras e interrupções de operação são registradas na geração de vapor especificamente na caldeira. Neste trabalho é proposto a aquisição de outro gerador de vapor para substituição da operação da caldeira nos domingos, dia em que não há produção e há apenas o funcionamento de um processo de limpeza que utiliza a geração de vapor. Com a aquisição e utilização deste equipamento, a caldeira poderá ficar parada aos domingos para a realização de manutenções e limpezas. Desta forma, é esperado que as paradas da caldeira sejam reduzidas em 40%, gerando uma economia mensal de R\$ 109.832,80. Essa economia, fará com que o investimento necessário para aquisição e instalação do gerador de vapor, que é de R\$ 645.462,69, seja liquidado e comece a gerar retornos financeiros para a empresa a partir do sexto mês de implantação.

Palavra-chave: Caldeira, indisponibilidade, gerador de vapor e manutenção.

## ABSTRACT

One of the biggest problems of an industry is the stoppage of its production lines, due to mechanical or electrical failures in equipment. These stoppages bring great losses, financial losses, with the costs of man-hours not working, raw material that has to be discarded and in the repair of damaged equipment, as well as commercial losses, with a lack of products there is a breach of contract with buyers, as well as the absence of these products in supermarkets influences the decline in the company's market share with the consequent loss of revenue. In an industry in the city of Uberlândia - MG, several stoppages due to breakdowns, breaks and operation interruptions are recorded in steam generation specifically in the boiler. In this role, it is proposed the acquisition of another steam generator to replace the boiler operation on Sundays, a day when there is no production and there is only the operation of a cleaning process that uses steam generation. With the acquisition and use of this equipment, the boiler can be stopped on Sundays for maintenance and cleaning. In this way, it is expected that boiler stoppages will be reduced by 40%, generating monthly savings of R\$ 109,832.80. This savings will make the investment necessary for the acquisition and installation of the steam generator, which is R\$ 645,462.69, to be liquidated and start to generate financial returns for the company from the sixth month of implementation.

Keywords: Boiler, unavailability, steam generator and maintenance.

## Lista de Abreviaturas e Siglas

CIP - *Cleaning in Place* - Limpeza interna sem necessidade de desmontar o equipamento

tvap/h - Tonelada de vapor por hora

V - Volts

Vcc - Volts em corrente contínua

PMTA - Pressão Máxima de Trabalho Admissível

PMTH - Pressão Máxima de Teste Hidrostático

kcal/h - Quilocalorias por hora

mm<sup>2</sup> - Milímetros quadrados

m<sup>3</sup>/h - Metro cúbico por hora

kgf/cm<sup>2</sup> - Quilograma força por centímetro quadrado

TIR - Taxa de retorno do investimento

SELIC - Sistema Especial de Liquidação e Custódia

kWh - kilowatt hora

ESG - *Environmental, Social and Governance* - Meio ambiente, Social e Governança.

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

CDB - Crédito de Depósito Bancário

**SUMÁRIO**

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>14</b>
<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Manutenção Industrial</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Geradores de vapor</b>	<b>16</b>
<b>2.3 Tipo de caldeiras</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>24</b>
<b>METODOLOGIA</b>	<b>24</b>
<b>3.1 Demandas de projeto</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Etapas do projeto</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1 Análise do processo de geração e distribuição de vapor</b>	<b>26</b>
<b>3.2.2 Análise dos processos produtivos</b>	<b>28</b>
<b>3.2.3 Avaliação dos problemas que causam quebras na caldeira</b>	<b>29</b>
<b>3.2.4 Proposição de melhoria</b>	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>37</b>
<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>46</b>
<b>ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA</b>	<b>46</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>50</b>
<b>RESULTADOS ESPERADOS E CONCLUSÕES</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO VII</b>	<b>52</b>
<b>TRABALHOS FUTUROS</b>	<b>52</b>

<b>CAPÍTULO VIII</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO A – TABELAS TERMODINÂMICAS DO VAPOR SATURADO</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO B – TABELAS TERMODINÂMICAS DO VAPOR SUPERAQUECIDO</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO C – DIMENSIONAMENTO DO GERADOR DE VAPOR VLI-2000</b>	<b>66</b>

# CAPÍTULO I

## INTRODUÇÃO

A indústria é um sistema complexo composto por diversos sistemas que se interligam. O não funcionamento de um desses sistemas pode acarretar atrasos na produção ou mesmo danos irreversíveis em outros sistemas que dependem direta ou indiretamente do seu bom funcionamento.

Assim, na indústria é fundamental o planejamento da produção contemplando a operação e a manutenção. Segundo Elias Costa (2019), manutenção se divide em três tipos principais: corretiva, realizada após o equipamento apresentar falhas, preventiva, realizada de forma programada antes do equipamento apresentar falhas, para diminuir a necessidade de corretivas e preditiva, uma preventiva não sistêmica, realizada de acordo com o estado do equipamento, antecipando e encontrando não conformidades por meio de monitoramento constante para mantê-lo no melhor funcionamento possível.

A falta de manutenção adequada em um sistema pode acarretar várias interrupções de operação que vão desde danos parciais, falta de qualidade no produto final e redução de produtividade até danos irreparáveis que resultam na substituição de equipamentos, paradas na produção e danos aos demais sistemas adjacentes.

A produção de uma empresa da cidade de Uberlândia - MG depende de uma caldeira que atende seus processos produtivos, e a mesma apresenta um histórico de diversas paradas por falta de planejamento de manutenção. No cronograma de produção, as únicas horas de parada total da caldeira, que poderiam ser usadas para manutenções regulares, acontecem durante um período do domingo, da hora em que finalizam os processos produtivos no sábado à noite, até o retorno da operação da caldeira para fornecimento de vapor para os processos na segunda de manhã.

A caldeira analisada neste trabalho está instalada em uma indústria na cidade de Uberlândia - MG, e atende três processos produtivos. Por questões de confidencialidade de

informações industriais, não serão citados nomes e dados sensíveis que possam identificar a empresa ou parâmetros dos seus processos.

O primeiro processo produtivo, será chamado de processo A. Ele utiliza vapor em diversas etapas, desde a pasteurização de insumos, aquecimento intermediário do produto, aquecimento, final pré envasamento, até ao aquecimento de água para limpeza. Esse processo funciona de segunda à sábado sem interrupção, iniciando às 8h da segunda e finalizando às 22h de sábado. No período das 22h de sábado até as 10h do domingo, é realizado o processo de *CIP*, do inglês *cleaning in place*, limpeza química de tubulações e equipamentos sem a necessidade de desmontagem dos mesmos, onde é utilizado vapor para aquecimento da água e dos produtos de sanitização.

O segundo processo, será chamado de processo B. Também utiliza vapor em diversas etapas, principalmente para aquecimento de produtos, e de água para limpeza. Esse processo produz insumos para o processo A, logo, tem o seu funcionamento atrelado às necessidades do processo A.

O terceiro processo, será aqui denominado de processo C, esse processo. Utiliza vapor apenas no processo final de produção de alguns dos seus produtos.

Uma parada por quebra mecânica ou pane elétrica na caldeira gera paradas totais nos processos A e B, e ainda, dependendo das condições de operação que estão sendo utilizadas no momento, causa parada total ou parcial no processo C. O tempo dessa parada dependerá da gravidade da não conformidade que acarretou a quebra ou pane, do tempo de reparo e do tempo até a caldeira retornar ao seu regime permanente.

A análise proposta neste trabalho tem como objetivo principal melhorar o desempenho da caldeira através de um planejamento de manutenção e operação, aumentando a periodicidade de manutenções minimizando as perdas na produção. Os valores gastos com manutenção corretiva e as perdas financeiras com as paradas de processo geram grandes custos para a empresa. Acredita-se que a instalação de um equipamento auxiliar de geração de vapor reduzirá significativamente esses gastos com manutenção e ainda será possível aumentar a disponibilidade da caldeira e dos processos, promovendo o retorno do investimento em curto prazo.

No capítulo 2 apresenta-se uma revisão teórica, sobre manutenção, vapor saturado e superaquecido e geradores de vapor. Aborda-se ainda neste capítulo as formas de funcionamento das caldeiras e uma análise sobre o custo de produção de vapor em relação aos diversos tipos de combustíveis utilizados.

No capítulo 3 uma análise sobre o processo atual de geração e distribuição de vapor e dos processos produtivos atendidos pela caldeira são apresentados. São elencados neste capítulo os motivos que causam as paradas e por fim apresenta-se uma proposta para a minimização das mesmas.

No capítulo 4 apresenta-se uma análise de viabilidade técnica e financeira da implantação do sistema proposto. No capítulo 5 foi feita uma análise de viabilidade financeira, analisando o investimento necessário frente ao seu retorno. No capítulo 6 os resultados esperados com a implantação do sistema sugerido são apresentados e discutidos.

No capítulo 7 são feitas sugestões para trabalhos futuros que podem colaborar com a otimização do processo de geração e produção de vapor, aumentando sua eficiência de produção e gerando redução de custos.

Por fim, no capítulo 8 são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas na produção deste trabalho.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresenta-se uma ampla revisão sobre manutenção, geradores de vapor ou caldeiras e uma análise sobre o custo de produção de vapor em relação aos diversos tipos de combustíveis utilizados.

#### 2.1. Manutenção industrial

A manutenção industrial começou no final do século XVII, com as primeiras indústrias utilizando máquinas a vapor. Segundo Viana (2002), os fabricantes das máquinas treinavam os operadores das fábricas para trabalhar e manter o equipamento em funcionamento. Hoje nas indústrias existem equipes especializadas em manutenção que utilizam ferramentas para que esta possa ser executada da melhor forma possível. Os principais tipos de manutenção são: corretivas, preventivas e preditivas.

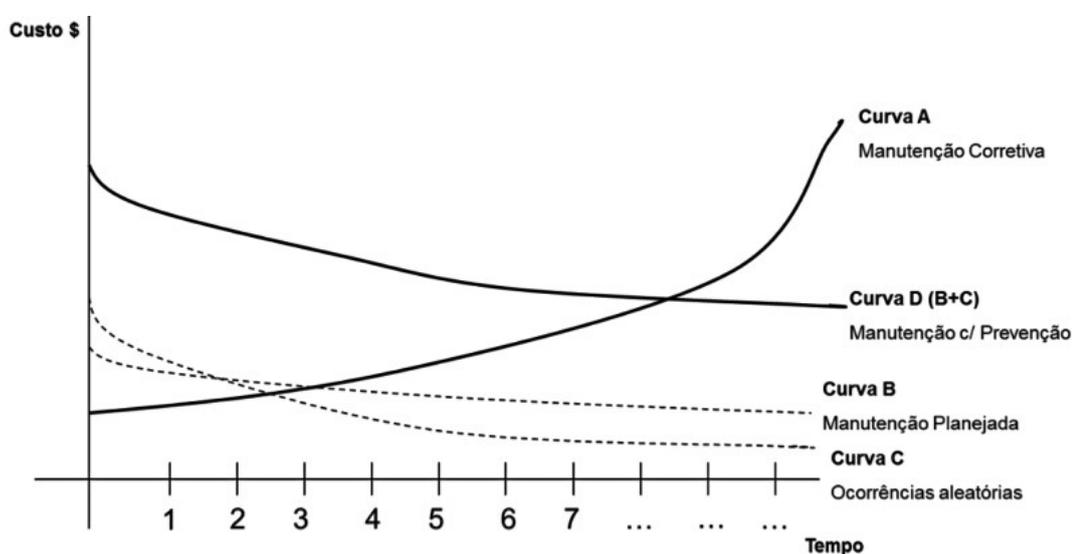
Segundo Branco (2006), manutenção corretiva é o tipo de manutenção em que a intervenção só ocorre após o equipamento deixar de executar suas atividades, por qualquer que seja a falha. É mais cara que a preditiva, pois agrega nos seus custos: multas contratuais decorrentes de atrasos na entrega de produtos, perda de matéria prima e produto com baixa qualidade, danos ao equipamento ou componentes que trabalham em conjunto, impactos ambientais, falha de segurança que geram maior riscos de acidentes.

A manutenção preventiva é realizada de forma a reduzir ou evitar falhas ou quedas de desempenho dos equipamentos, seguindo um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo. A manutenção preventiva é realizada mediante a programação de parada junto ao setor produtivo, realizando a manutenção em momentos de parada na produção, o que possibilita o balanceamento de carga da equipe da manutenção. Possui custos mais baixos, uma vez que é possível reduzir a quantidade de peças sobressalentes, realizar a

programação da parada junto ao setor produtivo, realizando a manutenção em momentos de parada na produção o que possibilita balanceamento da carga de trabalho da equipe de manutenção.

A manutenção preditiva é realizada de forma não sistêmica, de acordo com o acompanhamento periódico do funcionamento dos equipamentos e análise dos seus parâmetros, realizando os ajustes necessários para que o seu funcionamento se mantenha sempre nas melhores condições de operação possíveis.

Figura 1 - Relação custo x tempo entre manutenção corretiva, preditiva e preventiva



Fonte: BRANCO FILHO, 2006.

Na figura 1 observa-se a curva A, curva que representa o custo da manutenção corretiva, a curva B a manutenção preventiva, a curva C a manutenção preditiva e a curva D como a união da manutenção preventiva e preditiva. A curto prazo, a manutenção corretiva se apresenta financeiramente mais viável que a união entre a preventiva e preditiva, mas a médio prazo, a manutenção corretiva apresenta um custo bem mais alto.

De acordo com Pera (1992) um gerador de vapor é um trocador de calor complexo, que produz vapor a partir de energia térmica unindo combustível, ar e fluido vaporizante,

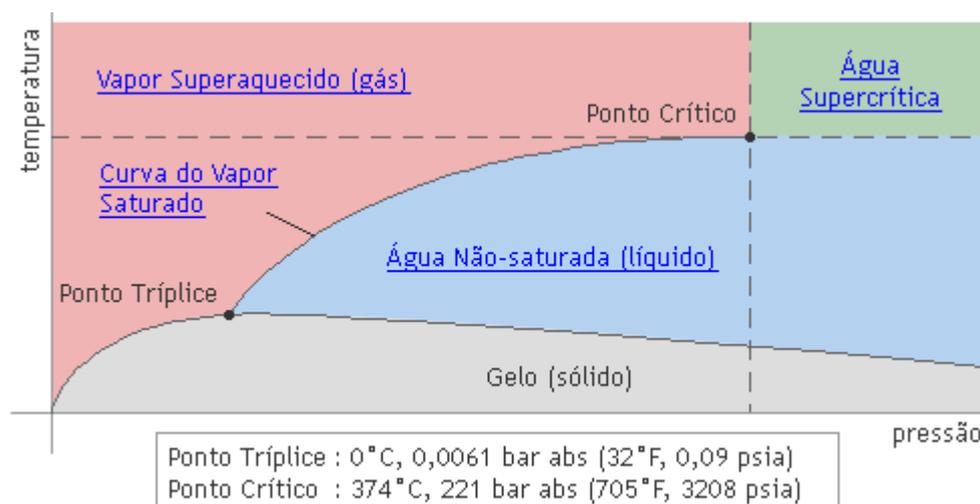
constituído por diversos equipamentos associados e perfeitamente integrados. Esses sistemas permitem a obtenção do maior rendimento térmico possível.

## 2.2. Geradores de vapor

Os geradores de vapor são denominados, de forma genérica, de caldeiras. Sua principal função é a geração de vapor saturado para aplicações industriais gerais ou vapor superaquecido para movimentação de turbinas de máquinas a vapor ou de geração de energia. O fluido vaporizante de uso mais comum é a água, devido a sua ampla disponibilidade, propriedades físicas e químicas estáveis, fácil manipulação e por ser um fluido atóxico.

Segundo TLV (2022), o vapor saturado é produzido quando a água é aquecida até o ponto de ebulição e então é vaporizada com calor adicional. Se este vapor é aquecido acima do ponto de saturação, se torna vapor superaquecido. Na figura 2 apresenta-se a relação temperatura x pressão da água, bem como as regiões de formação do vapor saturado e superaquecido.

Figura 2 - Gráfico pressão x temperatura da água e vapor.



Fonte: TLV, 2022.

Observa-se ainda na figura 2 que o vapor saturado é obtido elevando a temperatura da água acima da sua temperatura de ebulição, de 100 °C a 1 bar de pressão, quanto maior for a pressão de trabalho maior será sua temperatura de ebulição.

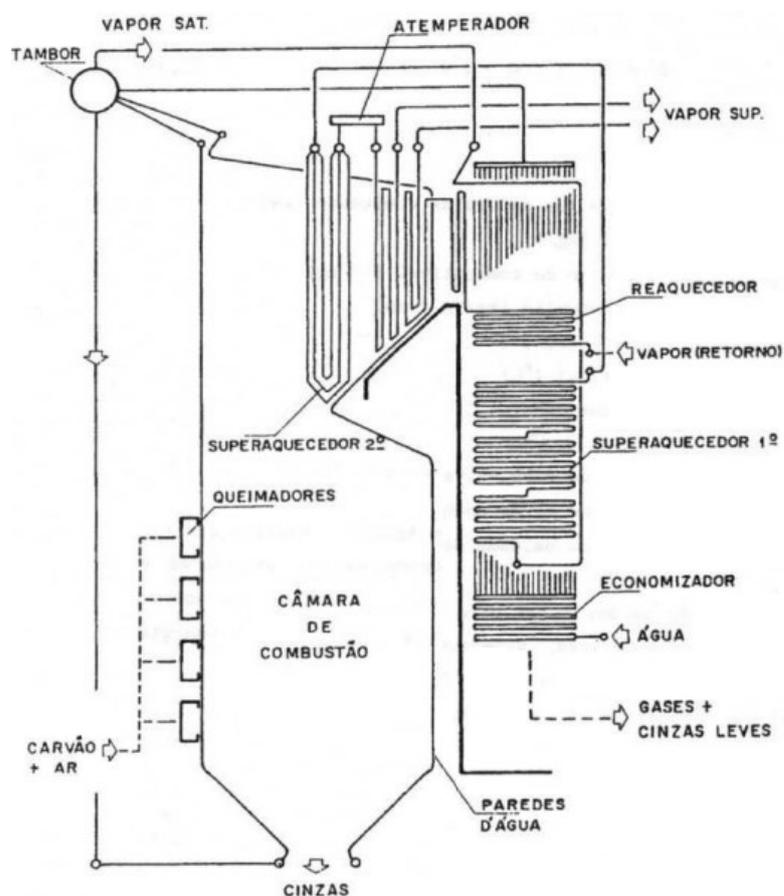
O vapor saturado é a fonte de aquecimento mais utilizada em aplicações industriais. Essa forma de vapor tem um alto custo benefício devido sua facilidade de aquisição e possibilidade de se produzir grandes volumes, alto coeficiente de transferência de calor, além de ser seguro e limpo.

O vapor superaquecido é obtido submetendo o vapor saturado a temperaturas e pressões mais altas, possui densidade menor, e é utilizado na propulsão de turbinas, movimentação de máquinas a vapor e geração de energia elétrica. Possui baixo coeficiente de transferência de calor e não gera condensado dentro do equipamento rotativo, o que minimiza os riscos de danos ao equipamento. Pelos padrões necessários de temperatura e pressão, possui um custo mais alto de geração e distribuição, em relação ao saturado.

### **2.3 Tipo de caldeiras**

Para Bazzo (1995), os principais componentes de uma caldeira são: fornalha, caldeira, superaquecedor, economizador e aquecedor de ar e podem ser classificados como: aquatubulares, flamatubulares ou elétricas.

Figura 3 - Ilustração dos principais componentes de uma caldeira.



Fonte: BAZZO, E., adaptado, 1995.

Na figura 3, tem-se o esquema de uma caldeira que atende uma termelétrica de 65MW. A câmara de combustão é a fornalha, local onde ocorre a queima de combustível, que na figura 3 é o carvão junto com o ar, que antes de entrar no sistema passa por um aquecedor que troca calor com os gases de saída da caldeira, aumentando sua temperatura de entrada.

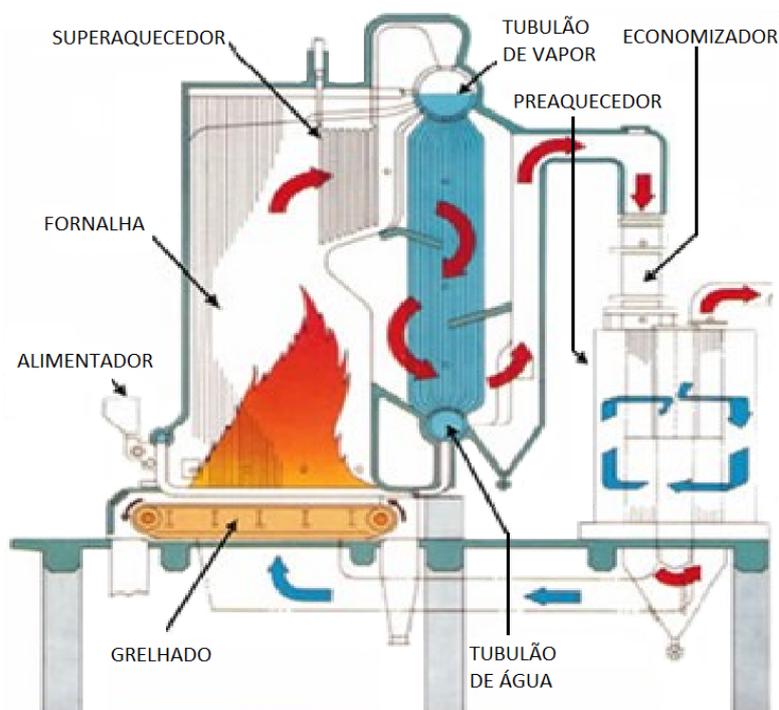
A caldeira é o local onde ocorre a mudança de fase da água líquida para o vapor, constituída pelas paredes d'água e pelo tambor. Na caldeira apresentada na figura 3, a água circula pelas paredes e é aquecida pela combustão na fornalha e, por diferença de densidade, o vapor formado se acumula na parte superior do tambor. Nesse ponto, é formado o vapor saturado.

Os superaquecedores estão presentes em caldeiras geradoras de vapor superaquecido, sua função é aumentar a temperatura do vapor saturado já formado. O reaquecedor eleva a temperatura do vapor utilizado em estágios intermediários de turbinas. O atemperador controla a temperatura final do vapor por meio da injeção de água líquida.

O economizador e o aquecedor de ar, aproveitam o calor residual dos gases de combustão para aquecer a água e o ar que entram na caldeira, minimizando o choque térmico entre a água e o tambor o que aumenta a eficiência do equipamento. Dessa forma, menos energia será utilizada para elevar suas temperaturas, resultando em economia de combustível.

As caldeiras aquatubulares possuem uma gama maior de aplicação, chegando a ter altas capacidades de produção de vapor. Nesse tipo de caldeira a água circula dentro dos tubos e os gases da queima do combustível por fora, figura 4. Nas caldeiras aquatubulares as paredes de água podem ser construídas em formato retangular ao redor da fornalha, onde a maior parte da energia é liberada, assim é possível absorver a energia liberada por convecção e radiação na parte superior da caldeira.

Figura 4 - Ilustração de uma caldeira aquatubular.



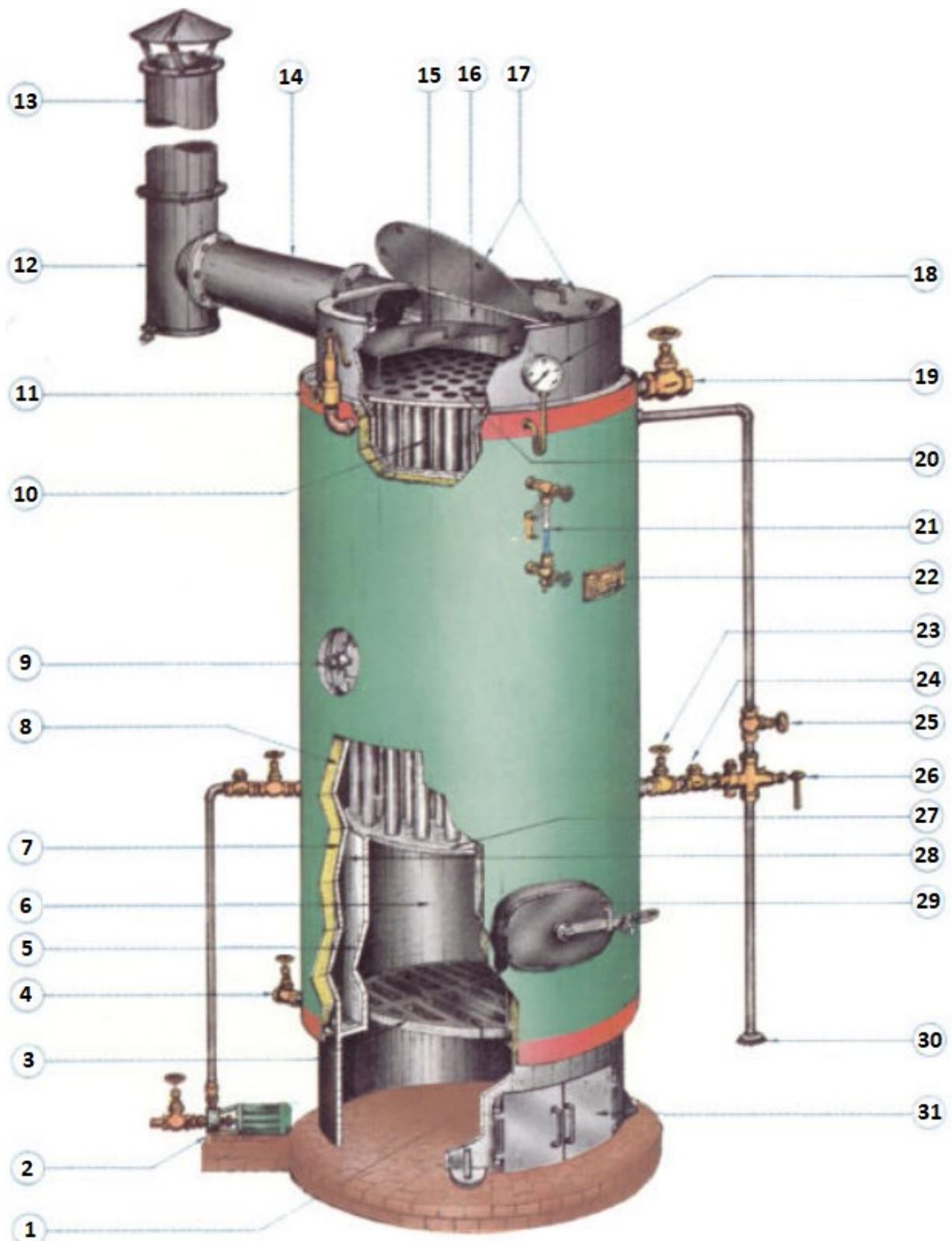
Fonte: OLIVEIRA, J. A. *et al*, adaptado, 2019.

A figura 4 ilustra o funcionamento de uma caldeira aquatubular. As setas azuis indicam o fluxo do ar de entrada e as setas em vermelho indicam o fluxo dos gases de saída. Os tubos de água estão dispostos em volta da fornalha, os superaquecedores aproveitam o calor dos gases no interior da fornalha e os economizadores dos gases de saída.

As caldeiras flamotubulares, figura 5, possuem aplicações restritas com capacidades inferiores a 15 bar de pressão ou 15 T<sub>vap</sub>/h de vapor, nelas, os gases da combustão circulam dentro dos tubos que ficam imersos em água, que fica no interior do corpo da caldeira.

Devido ao fato de que o corpo da flamotubular caldeira é um reservatório de água, seu formato deve ser cilíndrico, para que as tensões geradas nas paredes do equipamento sejam minimizadas e diminuir o risco de acidentes, sendo um reservatório cilíndrico horizontal ou vertical, o que limita suas dimensões e faz com que sua capacidade de produção de vapor seja reduzida.

Figura 5 - Ilustração de uma caldeira flamotubular vertical.



Fonte: MARTINELLI JÚNIOR, L. C. 2022.

A figura 5 apresenta uma caldeira flamotubular vertical, com fornalha para queima de lenha. A tabela 1 lista todos os equipamentos acessórios necessários para o seu funcionamento.

Tabela 1 - Componentes de uma caldeira flamotubular.

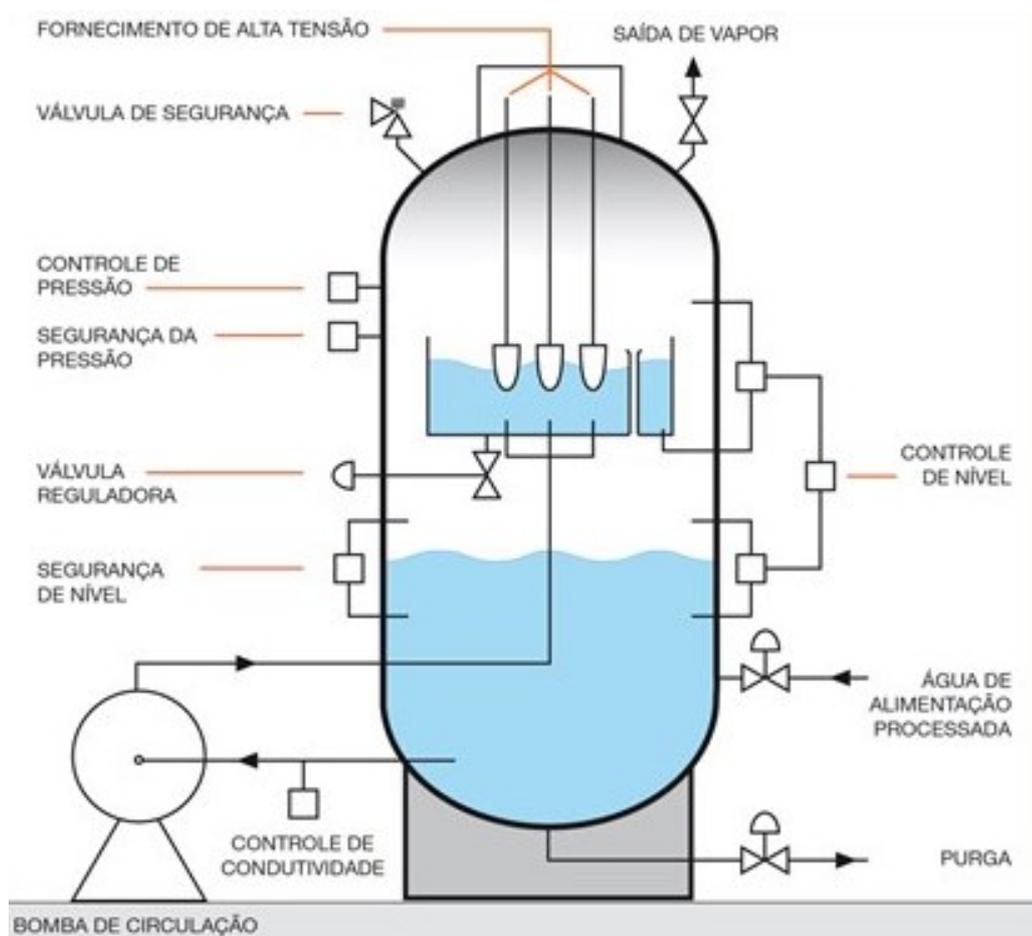
1. Cinzeiro	17. Tampas de limpeza
2. Bomba de água	18. Manômetro com sifão
3. Grelha plana	19. Válvula principal de vapor
4. Registro de purga	20. Espelho superior
5. Parede interna	21. Visor de nível
6. Fornalha imersa	22. Placa de identificação
7. Casco cilíndrico	23. Registro de alimentação de água
8. Isolamento térmico (lã de rocha)	24. Válvula de retenção
9. Tampa de inspeção	25. Registro de vapor
10. Tubos de gases	26. Injetor de água a vapor
11. Válvula de segurança	27. Espelho inferior
12. Coletor de fuligem	28. Câmara de água
13. Chaminé	29. Tampa de carga
14. Duto de gases	30. Peneira de sucção
15. Defletor de gases	31. Porta do cinzeiro (regulador de ar)
16. Coletor de gases	

Fonte: MARTINELLI JÚNIOR, L. C. 2022.

Caldeiras elétricas possuem utilização restrita a pequenos consumidores, como hotéis e hospitais, isso porque sua produção de vapor é menor em comparação aos outros tipos de caldeiras. Seu funcionamento se dá por efeito Joule, o aquecimento de resistências ou eletrodos com a passagem de corrente elétrica pelos mesmos aquece onde estão submersos e a vaporiza, gerando o vapor saturado.

A imagem 6 apresenta uma caldeira elétrica como todos os seus elementos construtivos, eletrodos, controles de nível, de pressão, válvulas reguladoras, de segurança, entrada e saída de água e saída de vapor. Por serem equipamentos mais simples, possuem uma menor produção de vapor, para atingirem produções maiores são necessários equipamentos mais complexos e mais caros.

Figura 6 - Ilustração de uma caldeira elétrica e seus componentes construtivos.



Fonte: PARAT, 2022.

Outro ponto é o custo da energia elétrica, comparado aos outros combustíveis, como lenha, carvão e gás, sua aplicação só é viável dependendo do valor pago por kWh, pois, devido ao aumento da demanda de utilização de energia elétrica nos últimos anos, o aumento no seu valor acabou tornando inviável sua utilização para produção de vapor, como mostra a tabela 2.

Tabela 2 - Comparação dos custos de vapor de diferentes combustíveis para caldeiras

<b>Combustível</b>	<b>Produção de vapor [kg/h]</b>	<b>Consumo</b>	<b>Custo do combustível</b>	<b>Custo do vapor [R\$/ton]</b>
<b>Lenha</b>	2000	1,35 m <sup>3</sup> /h	59,5 R\$/m <sup>3</sup>	R\$ 40,16
<b>GLP</b>	2000	129,7 kg/h	8,71 R\$/kg	R\$ 564,84
<b>GN</b>	2000	153,4 m <sup>3</sup> /h	5,53 R\$/m <sup>3</sup>	R\$ 424,15
<b>Diesel</b>	2000	165,5 L/h	6,82 R\$/L	R\$ 564,36
<b>Eletricidade</b>	1000	800 kWh	0,79 R\$/kWh	R\$ 632,00

Fonte: O Autor. 2022.

A tabela 2 mostra um comparativo do custo do vapor versus combustível que alimenta a caldeira. Foram utilizadas como referência as caldeiras a lenha, gás natural, gás liquefeito de petróleo e Diesel de ECAL (2022) e a caldeira elétrica de ARAUTERM (2022). Foram usados como base os valores dos combustíveis fósseis de PETROBRAS (2022), AUTO ESPORTE (2022), da energia elétrica de um consumidor trifásico com as tarifas de CEMIG (2022) e o valor da lenha será considerado o preço pago pela empresa em agosto de 2022.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGIA

Para a execução de um projeto, o primeiro passo é estabelecer as demandas do processo. Com as demandas estabelecidas, busca-se soluções executáveis de projeto. De posse das possíveis soluções, testam-se as opções. A concepção do projeto depende das especificações dos processos, dos custos, dos limites de orçamento, entre outros.

A finalização preliminar de um projeto é uma somatória de acertos e a minimização de falhas, cuja execução do mesmo leva em consideração as condições e ações de campo como cronograma físico-financeiro, *layout*, mobilização, materiais, disponibilização de mão-de-obra dentre outras variáveis, de forma que se realize o encerramento, comissionamento e inicialização das instalações. A entrega final é uma somatória de acertos e erros e de uma trajetória de ações e execuções. Neste capítulo descreve-se o projeto desde as demandas iniciais até a entrega final.

Para a execução deste trabalho, foram necessários dias de trabalho de campo, para identificação dos desvios e das oportunidades, dos parâmetros dos processos produtivos atendidos pela caldeira, dos dados de funcionamento da caldeira, além da participação consultiva e informativa com gestores e operadores das áreas envolvidas.

De posse dos dados coletados e com as informações obtidas para a solução de melhora e elaboração do pré projeto, passa-se a fase de buscar opções de equipamentos disponíveis no mercado que mais atendessem às demandas do projeto. Com as propostas técnicas e financeiras obtidas dos fabricantes, fez-se uma análise de qual solução supriria as necessidades técnicas dos processos e ainda se adequaria melhor à realidade da empresa. Ao fim dessa análise a solução como alternativa viável foi apresentada aos gestores dos processos envolvidos para validação final.

### 3.1 Demandas de projeto

O projeto surgiu da necessidade de reduzir as perdas e custos gerados pela indisponibilidade dos processos industriais, que ocorriam quando há uma quebra e consequente parada na caldeira para manutenção corretiva.

Para a implementação da melhora, primeiramente se propôs um plano de manutenção que envolverá mais paradas programadas para realização de manutenções preventivas e corretivas, para aumentar a disponibilidade do sistema para os processos produtivos, minimizando as interrupções nos mesmos

Como o funcionamento da caldeira é quase que ininterrupto é necessário encontrar uma forma de realizar essas paradas programadas sem grandes impactos nos processos produtivos, diminuindo a indisponibilidade da caldeira e dos processos.

As demandas específicas deste trabalho são listadas a seguir:

- Análise e identificação dos parâmetros de operação do processo de geração e distribuição de vapor;
- Análise e identificação dos parâmetros de produção de cada um dos três processos produtivos;
- Avaliação das não conformidades que causam paradas na caldeira;
- Proposição de solução para melhoria do sistema de geração de vapor;

## 3.2 Etapas do projeto

### 3.2.1 Análise do processo de geração e distribuição de vapor

A caldeira é operada sob supervisão direta dos operadores e técnicos devidamente qualificados, capacitados e autorizados de acordo com NR-13 (2022), assim deve haver no mínimo dois operadores monitorando o funcionamento da caldeira, pois caso haja algum problema no equipamento que seja necessário a verificação *in loco*, haverá um operador monitorando a operação.

O controle da caldeira é feito de forma automática visando manter a pressão de saída em um valor pré estabelecido, chamado de *setpoint*. Com isso, as esteiras de alimentação fornecem sempre a quantidade de combustível necessária para que esse valor se mantenha. A entrada de ar é feita de forma proporcional à entrada de combustível, para que haja a reação de queima completa.

A alimentação de água é feita por bombas de alta pressão, estas bombas são gerenciadas por um controle de nível posicionado no interior da caldeira e são acionadas quando o sensor recebe um sinal de nível baixo, alimentando a caldeira, e desligam quando é gerado um sinal de nível alto.

Em caso de falta de energia elétrica há uma bomba de água reserva, que funciona até que a energia seja restabelecida e os sistemas voltem a operar corretamente. Essa bomba está ligada a um motor a óleo *Diesel* e é responsável por alimentar a água na caldeira evitando que a mesma fique sem água e superaqueça, gerando riscos de explosão

Caso o consumo de vapor nos processos aumente ou diminua, a pressão da caldeira oscilará conforme essa demanda. Se o controle automático não atuar, aumentando a alimentação para aumentar a pressão ou parando a alimentação para diminuí-la, um alarme soará e então o operador deverá alterar o controle para o modo manual, efetuando as correções necessárias para estabilizar a pressão.

A caldeira analisada é do tipo aquatubular, como mostrado na figura 4. Seu funcionamento se dá pela alimentação de combustível na caldeira via alimentador, o grelhado móvel perfurado vai conduzindo o combustível até que o mesmo tenha queimado completamente, e o resíduo é descartado no cinzeiro, ao final do grelhado.

O ar atmosférico é succionado por um exaustor, passa pelo pré-aquecedor que é aquecido pelos gases de saída da caldeira, elevando a temperatura do ar de entrada, que posteriormente é insuflado na caldeira por baixo do grelhado.

A água entra pelo economizador, que também aproveita o calor dos gases de saída para elevar sua temperatura, depois, entra na caldeira pelo tubulão de água. A água que entra na caldeira deve ser tratada com produtos químicos para que não haja danos como, corrosão e incrustação nas tubulações, instrumentos e outros dispositivos que utilizam o vapor ou a água condensada.

O vapor é coletado no tubulão superior, tubulão de vapor, cuja convecção se dá entre este e o tubulão inferior, tubulão de água. O vapor saturado gerado é coletado e vai para o barrilete de distribuição, onde é destinado para as linhas de vapor de cada processo.

O funcionamento da caldeira ocorre de acordo com o funcionamento dos processos produtivos. Entretanto a caldeira deve iniciar antes dos processos devido ao seu tempo de estabilização, para que possa entrar em regime permanente e fornecer o vapor de acordo com os parâmetros requisitados pelo processo.

Após o término dos processos, para que a caldeira seja desativada, a alimentação de combustível é cortada e a água continua sendo bombeada para o seu interior. A temperatura da caldeira deve ser reduzida até que seja seguro para as equipes de manutenção atuarem.

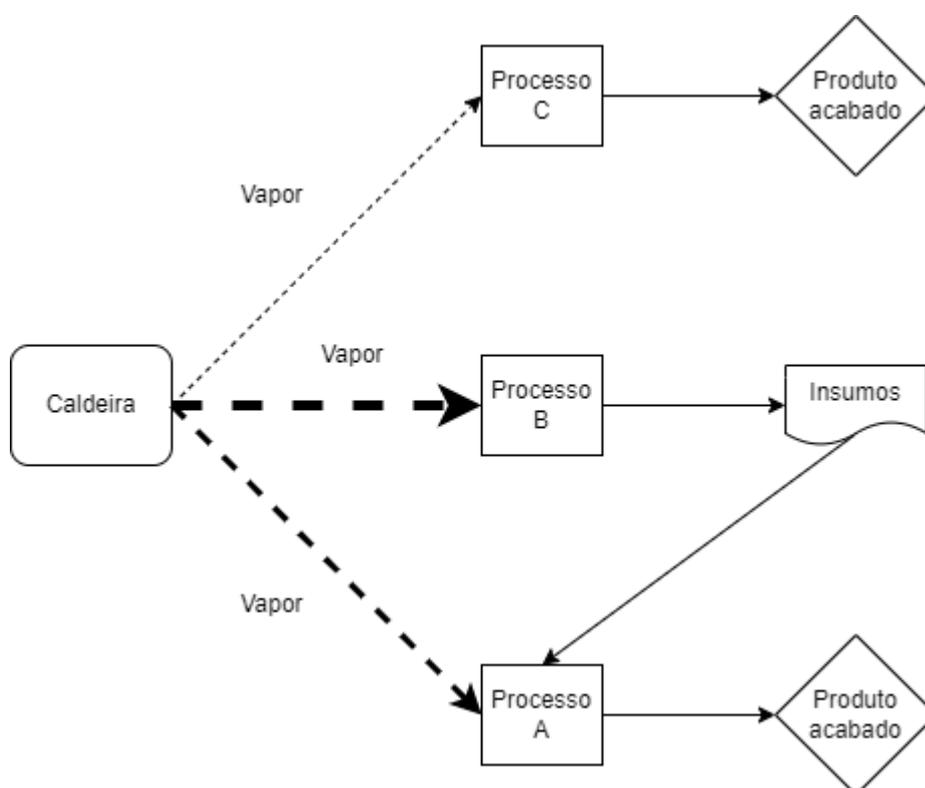
Quando ocorrem falhas, a caldeira para de funcionar, durante esse tempo, a pressão da caldeira cai. Após a falha ser reparada, a caldeira volta a operar, mas há um tempo de inércia até que ela atinja a pressão de operação.

Caso a parada ocorra em uma parte quente, é necessário que ela seja resfriada para que o reparo aconteça, com isso, esse tempo de resfriamento é contabilizado ao tempo de parada. Esse é o tempo que os processos produtivos ficam interrompidos, do momento da falha, até o restabelecimento da pressão de operação da caldeira.

### 3.2.2 Análise dos processos produtivos

A figura 7 mostra um fluxograma da distribuição de vapor na indústria, bem como a distribuição do vapor para cada processo, onde as setas mais grossas apresentam um maior consumo, e as mais finas, consumo menor.

Figura 7 - Fluxograma da distribuição de vapor na indústria e dos processos produtivos.



Fonte: O Autor, 2022

O processo produtivo A utiliza vapor em diversas etapas, sendo que, quando há falhas na caldeira, o processo para totalmente. Devido às suas especificidades, quando há paradas no processo, uma parte da matéria prima que está em produção deve ser descartada, o que acarreta perdas, além dos custos dos colaboradores que irão ficar parados durante esse tempo.

O funcionamento deste processo acontece das 8h de segunda até as 22h do sábado, sendo que, ao finalizar a produção na noite de sábado, é realizado um processo de limpeza nas tubulações, e este processo necessita de vapor para o aquecimento da água. Esse processo dura aproximadamente 10 horas, podendo ser estendido ou reduzido, de acordo com a necessidade da produção.

O processo B também utiliza vapor em diversas etapas e é interrompido quando há paradas na caldeira. O processo A necessita dos insumos vindos do processo B, os dois necessitam estar em pleno funcionamento, para que não haja impactos na produção.

O seu funcionamento acontece das 8h de segunda até as 22h do sábado, sendo que no domingo ele para, não havendo consumo de vapor. Tanto o processo A quanto o B necessitam de uma quantidade elevada de vapor para entrar em funcionamento e levam um certo tempo para entrar em regime permanente, dessa forma, uma parada de processo causa perdas relevantes.

O processo C utiliza vapor em cerca de 30% do seu mix de produtos, quando há paradas na caldeira, sua produção fica inviabilizada. Quando isso acontece, o processo é interrompido e é necessário que o material passe por um reprocesso após o vapor ser restabelecido, o que gera custos adicionais além do tempo das linhas paradas.

Considerando todas as variáveis que envolvem o processo A e B, foi levantado que o custo de cada hora parada é de aproximadamente R\$ 7.300,00. No processo C, foi levantado que o custo de cada hora parada é de R\$ 20.000, levando em consideração que cerca de 30% da sua produção utiliza vapor, o custo é de aproximadamente R\$ 6.700. Com isso, cada hora parada da caldeira, gera um prejuízo de R\$ 14.000.

### **3.2.3 Avaliação dos problemas que causam quebras na caldeira**

O ambiente onde a caldeira está instalada é de difícil limpeza ficando constantemente empoeirado, com pó proveniente do combustível utilizado. Por ser muito fino, ele entra com

facilidade dentro dos equipamentos, e dependendo do local, pode até gerar uma atmosfera explosiva. Com isso, é necessário que seja feita a limpeza constante do ambiente e dos equipamentos. Motores, partes móveis e partes sensíveis expostas ao calor devem ser limpas com a caldeira desativada.

Um dos principais problemas que causam quebras na caldeira é a coalescência de cinzas, que gera formação e acúmulo de sólidos aglomerados no interior da fornalha. Essa formação se dá devido à queima irregular na fornalha, com a combinação de altas temperaturas, alta pressão e o excesso de componentes minerais no combustível.

Esses sólidos geram desgastes por atrito no grelhado, durante a sua movimentação, danificando paredes e tubos ao se chocar com os mesmos, e devido a sua alta densidade, geram danos à estrutura de suporte do grelhado, o que culmina no desalinhamento deste, fazendo com que o combustível queime irregularmente e trave durante sua movimentação, o causando prejuízos ao funcionamento da caldeira.

Assim, limpezas constantes para a remoção desses sólidos devem ser feitas, mas, para a realização de uma limpeza completa, é necessário que a caldeira esteja fria, para que os operadores possam entrar e retirar todas as pedras. A realização dessa limpeza com a caldeira em funcionamento ou quente, além de não ser eficiente por não ser possível remover todos os sólidos, traz riscos aos operadores, devido à exposição a altas temperaturas e riscos ergonômicos, devido a alta densidade desses sólidos.

Outro fato que causa paradas e gera riscos na operação da caldeira é a falha nos sensores internos, como o sensor de nível, que controla o nível da água no seu interior. Uma falha causa parada na caldeira, pois não há como controlar o seu nível, e caso falte água no seu interior há grandes riscos de explosão. Um funcionamento irregular faz com que a medição de nível não seja confiável, trazendo riscos à operação da caldeira.

O condutivímetro é um sensor que mede a condutividade da água, controlando o nível de impurezas dissolvidas na água da caldeira, que são nocivos para o equipamento. Ele controla as descargas de fundo, que retiram o lodo formado por essas impurezas que se acumula no fundo da caldeira. Uma falha neste equipamento faz com que não seja possível mensurar a quantidade de impurezas e o seu acúmulo gera graves danos. Um funcionamento irregular faz

com que sejam feitas descargas desnecessárias, causando desperdício de água e vapor, ou pode gerar um acúmulo perigoso de impurezas na caldeira.

A realização de inspeções preditivas nestes sensores, bem como testes de funcionamento, faz com que essas falhas ocorram com uma frequência bem menor, tal como a necessidade de substituição dos mesmos. Todas essas operações, devem ser feitas com a caldeira desativada.

As partes móveis, como correias, polias e motores, são partes que sofrem grande desgaste, devido ao atrito natural do seu funcionamento e da temperatura elevada do ambiente próximo à caldeira. Por isso, são itens que devem passar por inspeções preditivas periodicamente. A verificação deve ser feita com a caldeira parada. A substituição de correias e polias é feita em um tempo relativamente curto, já a manutenção em motores, como substituição de rolamentos, demanda um tempo maior de parada do equipamento.

As partes elétricas na caldeira necessitam de grande atenção, pois, em caso de falha além de gerar parada na caldeira, podem danificar outros equipamentos. Ainda por estarem próximas de uma fonte de calor, são submetidas a uma fonte de calor adicional ao seu aquecimento natural, o que pode trazer desgastes maiores aos componentes eletrônicos e a isolação de cabos.

A alimentação da caldeira é feita por um transformador abaixador, que recebe 13,8 kV e entrega 380 V, há também outro transformador abaixador que transforma 380 V em 220 V.

Por possuir uma entrada de média tensão e dois transformadores, que são equipamentos que necessitam de atenção especial, inspeções e manutenções devem acontecer com maior frequência, com a caldeira desativada.

Todos os fatos citados representam históricos de parada na caldeira. Com isso, vimos a necessidade de manutenções preventivas serem realizadas com a caldeira desativada, e principalmente, de ter a disponibilidade para realizar manutenções com a caldeira fria.

Durante a semana, das 8h de segunda até as 22h do sábado, os três processos produtivos funcionam normalmente, demandando uma quantidade quase constante de vapor, fazendo com que a caldeira trabalhe em seu regime normal. Aos domingos, a caldeira funciona apenas para

alimentar o processo de *CIP*, que demanda menos de 10% da vazão nominal de funcionamento da caldeira.

Por estar funcionando abaixo do seu regime normal, a sua eficiência cai, sendo necessária uma utilização maior de combustível e o seu desgaste aumenta, levando a falhas prematuras de componentes que teriam uma vida útil maior.

### **3.2.4 Proposição de melhoria**

Tendo em vista que os três processos produtivos atendidos pela caldeira funcionam das 8h de segunda até as 22h do sábado, e no domingo, há apenas uma parte do processo A em funcionamento, a solução proposta tem foco no domingo, pois há uma demanda menor de vapor que pode ser suprida de outra forma, sendo o melhor dia para realizar uma parada programada na caldeira.

Analisando o processo de *CIP* foi visto que no seu pico de consumo de vapor, ele demanda 2 tvap/h. Esse valor é pequeno em comparação com a demanda geral da planta, sendo viável propor a instalação de um novo gerador de vapor, para atender o processo no domingo, sendo possível assim desativar a caldeira ao final dos processos de produção, proporcionando maior tempo para a realização de limpezas e manutenções.

Após verificar as diversas opções de equipamentos disponíveis no mercado, foi selecionada a opção que mais se adequou à necessidade de processo e a disponibilidade da empresa, o gerador de vapor VLI-2000, do fabricante ECAL. O desenho técnico com todo o dimensionamento do equipamento e seus detalhes se encontram no ANEXO C.

Figura 8 - Gerador de vapor VLI-2000



Fonte: ECAL, 2022.

Esse gerador de vapor, figura 8, tem produção nominal de vapor de 2 tvap/h, com produção máxima de até 2,5 tvap/h, atendendo a necessidade do sistema e apresentando margem para futuros aumentos de demanda. Sua alimentação é feita com toras de lenha, combustível disponível na empresa com um custo igual ao do combustível utilizado na caldeira.

O gerador de vapor apresentado é um equipamento de construção simples e dimensões reduzidas, o que facilita sua instalação e a realização de manutenções. Já vem com quadro de controle e comando, alimentação e proteções, sendo necessário apenas energizá-lo.

Atende todos os quesitos de segurança segundo a NR-13 (2022), com a sua construção reforçada, dotado de dispositivos de segurança e toda a documentação necessária. Além disso,

o equipamento também atende os quesitos exigidos pela NR-12 (2022), com os seus comandos alimentados em 24 Vcc, suas demais especificações técnicas estão apresentadas na tabela 4.

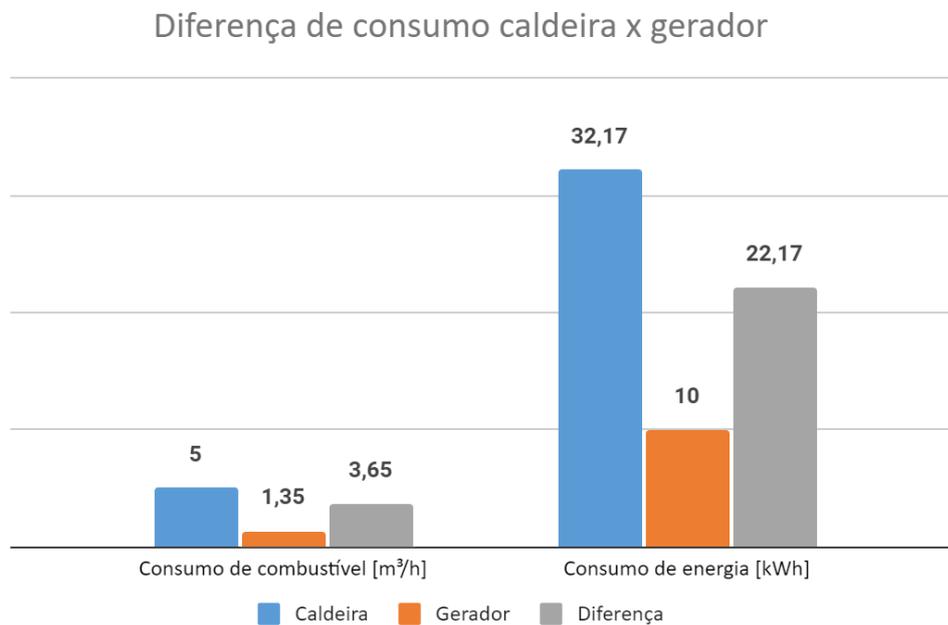
Tabela 4 - Especificações técnicas do gerador de vapor VLI-2000

<b>Tipo de caldeira:</b>	Fogotubular
<b>Combustível:</b>	Lenha
<b>Capacidade térmica:</b>	1.284.000 kcal/h
<b>Consumo de máximo de combustível:</b>	1,35 m <sup>3</sup> /h
<b>Contra pressão na fornalha:</b>	60 mmH <sub>2</sub> O
<b>Temperatura dos gases de saída:</b>	200/210 °C
<b>Pressão de projeto:</b>	8 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>PMTA:</b>	8 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>PMTH:</b>	12 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Temperatura de operação:</b>	180°C
<b>Temperatura de projeto:</b>	350°C
<b>Produção de vapor nominal:</b>	2 tvap/h
<b>Produção de vapor máxima:</b>	2,5 tvap/h
<b>Volume útil:</b>	4.200 litros
<b>Peso aproximado (vazio):</b>	8.500 kg
<b>Peso aproximado (cheio d'água):</b>	12.700 kg
<b>Superfície de troca térmica:</b>	142 m <sup>2</sup>
<b>Eficiência de juntas:</b>	100%
<b>Corrosão admissível:</b>	1,6 mm
<b>Rendimento térmico:</b>	75% ± 2
<b>Tensão de alimentação:</b>	380 V trifásico
<b>Consumo de energia máximo:</b>	10 kWh
<b>Tensão de comando:</b>	24 Vcc

Fonte: O Autor, 2022

Analisando os dados de funcionamento da caldeira aos domingos, a média dos dados de consumo são: consumo de combustível: 5 m<sup>3</sup>/h, consumo de energia elétrica: 32,17 kWh. Comparando os dois equipamentos, tem-se a seguinte análise, figura 9:

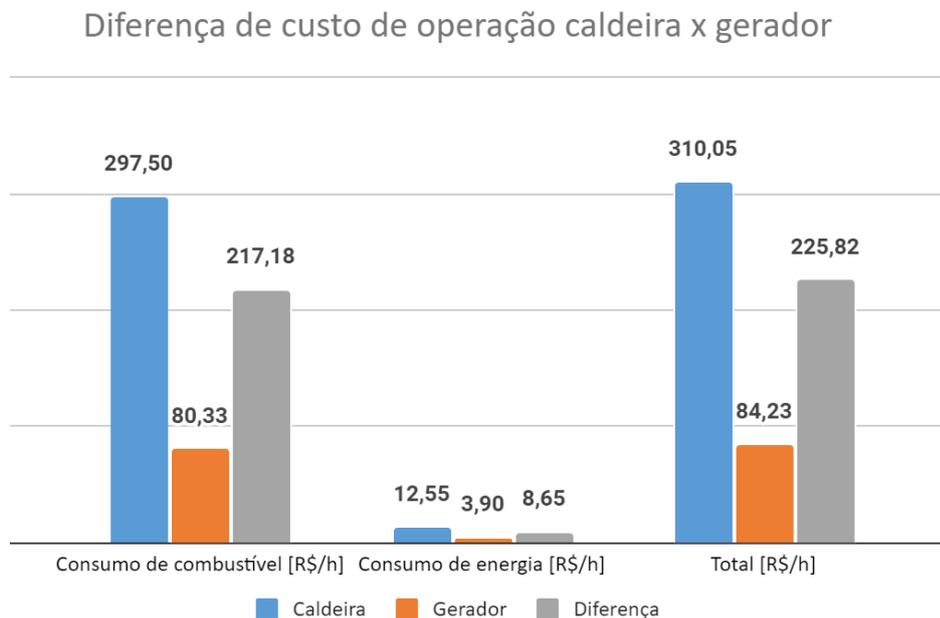
Figura 9 - Diferença de consumos de combustível e energia elétrica entre a caldeira e o gerador



Fonte: O Autor, 2022.

Considerando que o valor do combustível dos dois equipamentos tem um valor praticamente igual, de 59,5 R\$/m<sup>3</sup>, e que o custo com energia elétrica é de 0,39 R\$/kWh, o custo de operação dos equipamentos está descrito na figura 10:

Figura 10 - Diferença de custo de operação por hora entre a caldeira e o gerador



Fonte: O Autor, 2022.

Com esta análise observa-se uma diferença de 225,82 R\$/h no valor de custo de operação, comparando o uso da caldeira versus o uso do gerador de vapor. Logo, a instalação do gerador supriria as demandas e possibilitaria a parada da caldeira para a execução do plano de manutenção.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA

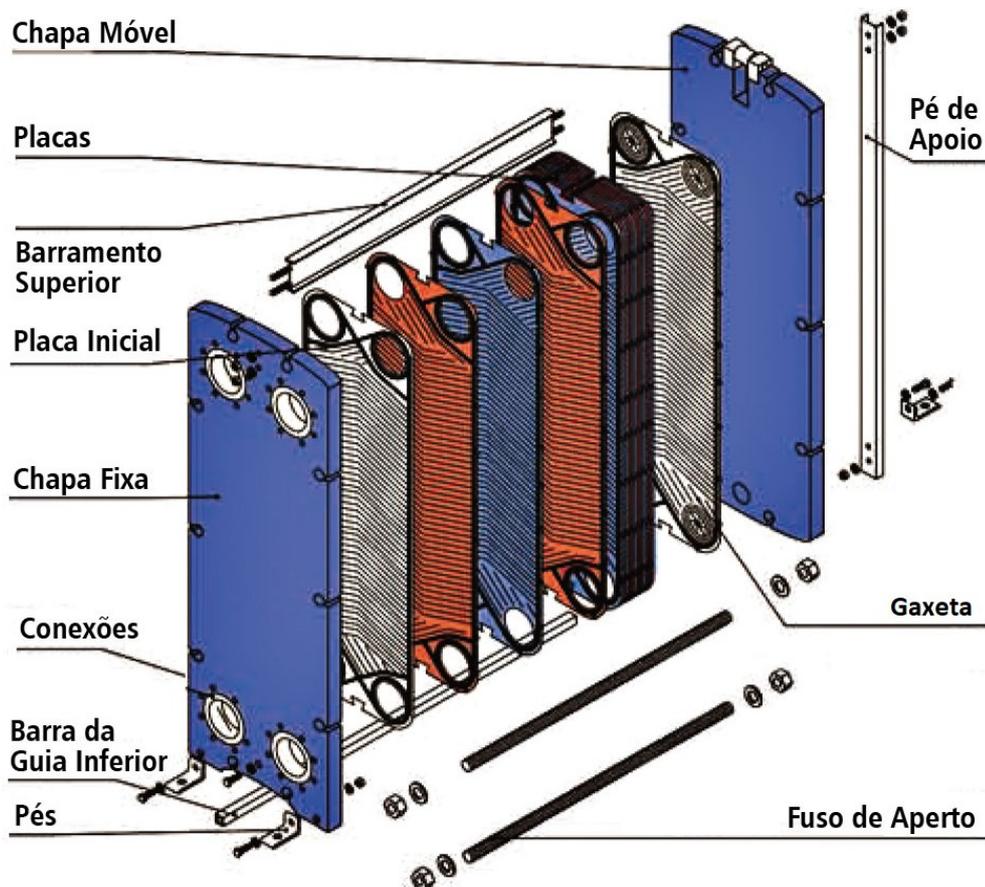
No processo de *CIP*, a água é aquecida por meio de um trocador de calor de placas e gaxetas, equipamento construído com a sobreposição de placas corrugadas e sua vedação é feita com gaxetas, vedação em borracha que separa os setores do trocador, bem como faz a vedação para não haver vazamentos para o exterior.

Seu funcionamento se dá com a passagem de água pelas suas placas em um lado e do outro lado há passagem de vapor, assim, é possível a troca de calor sem contato direto dos dois fluidos.

Este equipamento é o mais indicado para essa aplicação, pois, segundo Hewitt (2009), são indicados para processo de aquecimento de água para limpeza, devido às temperaturas e pressões nesses processos serem moderadas a baixas, ser um equipamento de fácil limpeza e muito versátil, pois se houver a necessidade de aumentar ou diminuir a capacidade do equipamento, é necessário apenas adicionar ou remover placas.

Na figura 11, é ilustrada a construção de um trocador de calor de placas corrugadas e gaxetas.

Figura 11 - Vista explodida de de um trocador de calor de placas e gaxetas



Fonte: BERMO, 2022.

O trocador de calor é alimentado atualmente pela caldeira e mediante a sua parada, o gerador de vapor atenderá o processo no lugar da caldeira de forma a viabilizar a parada completa da mesma. Assim o gerador alimentará o vapor diretamente para o trocador. O mesmo será instalado no prédio de instalação da caldeira, onde será possível o controle visual do equipamento pelos operadores de caldeira e a infraestrutura necessária para instalação será menor.

O gerador de vapor será ligado diretamente na tubulação de entrada do trocador de calor, dessa forma, quando o processo finalizar e a caldeira parar, ele dará seguimento no fornecimento de vapor, para a realização do processo de *CIP*. Do ponto de instalação do equipamento até o trocador de calor há uma distância de 150 metros.

Será instalada uma tubulação de vapor dedicada para esse equipamento, pois a tubulação atual da caldeira possui uma dimensão muito maior do que a necessária para alimentar esse sistema, e para utilizá-la com os parâmetros de pressão e vazão do gerador de vapor haveria perdas de carga muito grandes, o que justifica a instalação de uma nova tubulação.

O painel de alimentação de baixa tensão que alimenta a caldeira será o mesmo que alimenta o gerador de vapor. Há uma distância de 20 metros do painel até o equipamento. Os cabos de alimentação e comunicação deverão cobrir essa distância. A corrente de operação do equipamento é de aproximadamente 26 A, segundo a NBR 5410:2004, o cabo de alimentação a ser utilizado deverá ser de 4 mm<sup>2</sup>, pois o mesmo suporta até 37 A. O disjuntor utilizado será de 32 A, desta forma o mesmo protegerá o equipamento e os cabos contra sobrecargas.

O gerador de vapor será alimentado com a mesma água que alimenta a caldeira, pois a mesma é tratada, para que não haja danos ao interior do equipamento, dos instrumentos e tubulações. Do tanque de água da caldeira até o equipamento há uma distância de 25 metros, por onde a tubulação de alimentação, com 1,5 polegada de diâmetro de acordo com a vazão necessária do equipamento, deverá passar.

Na saída de vapor do equipamento será instalado um medidor de vazão, do tipo placa de orifício, que também estará interligado ao sistema supervisor, para realizar o monitoramento do consumo de vapor pelo processo de *CIP*.

Para a instalação do equipamento, será necessária a aquisição de alguns materiais. O levantamento dos valores bem como a descrição de cada item está apresentados na tabela 5:

Tabela 5 - Materiais necessários para a instalação do gerador de vapor.

Material	Valor unitário	Unidade	Necessário	Valor final
Cabo PP 4x6 mm <sup>2</sup>	R\$ 23,45	metro	20	R\$ 469,00
Cabo Blindado 4x1,5 mm <sup>2</sup>	R\$ 7,03	metro	20	R\$ 140,60
Disjuntor Tripolar 32A	R\$ 212,60	unidade	1	R\$ 212,60
Tubo 4" Isolado p/ Vapor	R\$ 78,60	metro	150	R\$ 11.790,00
Curva 90° 4" p/ Vapor	R\$ 147,00	unidade	10	R\$ 1.470,00
Flange 4" p/ Vapor	R\$ 218,14	unidade	2	R\$ 436,28
Válvula esfera 4" p/ Vapor	R\$ 1.497,15	unidade	2	R\$ 2.994,30
Tubo 1.1/2" p/ Água	R\$ 57,16	metro	25	R\$ 1.429,00
Curva 90° 1.1/2" p/ Água	R\$ 38,50	unidade	10	R\$ 385,00
Hidrômetro Multijato 1.1/2"	R\$ 1.120,00	unidade	1	R\$ 1.120,00
Luva de união em aço 1.1/2"	R\$ 57,00	unidade	4	R\$ 228,00
<b>Total</b>				<b>R\$ 20.674,78</b>

Fonte: O Autor, 2022.

- **Cabo PP 4x6 mm<sup>2</sup>:** Cabo para alimentação elétrica do gerador de vapor, composto por quatro cabos, três cabos de fase e um cabo para o neutro, agrupados em um cabo, com dupla isolamento, para aumentar sua vida útil, devido a presença de sujidade e altas temperaturas no ambiente, e auxiliar na organização dos cabos. Dimensão de 6 mm<sup>2</sup>, de acordo com a NBR 5410:2004, para a carga do equipamento.

figura 12 - Cabo PP com 4 condutores



Fonte: SANTIL, 2022

- **Cabo Blindado 2x1,5 mm<sup>2</sup>:** Cabo para comunicação do gerador de vapor com o CLP da caldeira, para operação remota do equipamento, o cabo possui dois condutores e é blindado para que não sofra com interferências externas. O cabo foi selecionado e dimensionado de acordo com a NBR 10300:1997, que trata de cabos de instrumentação.

figura 13 - Cabo blindado com 2 condutores



Fonte: SANTIL, 2022

- **Disjuntor tripolar 32A:** Dispositivo de seccionamento e proteção contra curto circuitos e sobrecargas, entre o quadro de alimentação e o gerador de vapor. Dimensionado de acordo com a NBR 5410:2004, para a carga do equipamento.

figura 14 - Disjuntor tripolar 32A



Fonte: VIEWTECH, 2022.

- **Tubo 4” isolado para vapor:** Tubulação para condução do vapor do gerador até a tubulação do trocador de calor do CIP, isolada termicamente para reduzir perdas e dimensionada de acordo com as características do equipamento.

Figura 15 - Tubulação de vapor com isolamento térmico



Fonte: ECOTEC, 2022

- **Válvula esfera 4" p/ Vapor:** Válvulas de bloqueio de fluxo, para serem instaladas após o gerador e antes do trocador, para caso seja necessária alguma intervenção na rede, será preciso apenas fechar as válvulas para que o sistema fique isolado.

Figura 16 - Válvula esfera 4" para Vapor



Fonte: BERMO, 2022.

- **Curvas e Flanges:** As curvas são elementos de continuidade, toda mudança de direção na tubulação, é necessário que uma curva seja soldada nas pontas, para realizar a conexão dos tubos. Os flanges são elementos de união, no ponto onde a tubulação se conectará com as válvulas, os flanges serão soldados nas extremidades da tubulação, e fixados ao flange das válvulas por meio de parafusos, porcas e juntas de altas temperaturas.
- **Tubos, conexões e hidrômetro para água:** Esse tubo interliga o tanque de água tratada da caldeira com a bomba de entrada de água do gerador. O hidrômetro irá contabilizar a quantidade de água que é consumida durante o processo.

O valor dos equipamentos elétricos foi orçado de acordo com os valores de mercado corrente, em empresas especializadas do setor. O valor dos tubos, curvas, conexões, hidrômetro e válvulas são valores contratuais de fornecedores cadastrados com a empresa, por serem equipamentos mais especializados, o seu valor acaba sendo mais vantajoso com essas empresas, do que no mercado geral.

Após instalado, o gerador de vapor será interligado com o *CLP* da caldeira, para que o mesmo possa ser operado de forma remota pela mesma interface do sistema supervisorio que já está instalado. Esse serviço será realizado pela equipe de manutenção elétrica e automação interna da empresa, bem como o serviço de interligação com o painel de alimentação, pois é um trabalho relativamente simples, que demanda poucos colaboradores e não se trata de um serviço especializado a ponto de necessitar de prestador externo.

A montagem mecânica das tubulações de vapor e de água será realizada com mão de obra terceirizada, pois necessita de um número maior de colaboradores especializados em soldagem trabalhando simultaneamente, para realizar a união e montagem dos tubos.

Para fins de cálculo do valor final do projeto, será reservado 20% do valor final para eventuais oscilações dos valores dos componentes devido a variação de preços no mercado. Para contemplar pequenas mudanças ou demandas adicionais que surjam durante a execução do projeto, será reservado 20% do valor final. Com isso, para composição do valor de projeto, consideramos um fator de segurança de 1,4 sobre o valor total do projeto.

Tabela 6 - Cálculo do custo total do gerador de vapor.

<b>Gerador de vapor</b>	<b>R\$ 425.370,00</b>
<b>Equipamentos</b>	<b>R\$ 20.674,78</b>
<b>Serviço de instalação</b>	<b>R\$ 15.000,00</b>
<b>Valor Total</b>	<b>R\$ 461.044,78</b>
<b>Valor de Projeto</b>	<b>R\$ 645.462,69</b>

Fonte: O Autor, 2022.

O valor final do gerador de vapor é de R\$ 425.370,00. O valor da mão de obra da montagem mecânica das tubulações é de R\$ 15.000,00. Considerando o valor dos equipamentos necessários descritos na tabela 5 e o fator de segurança para os cálculos financeiros, temos o valor total do projeto, como é mostrado na tabela 6.

## CAPÍTULO V

### ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Ao analisar os últimos 12 meses de funcionamento da empresa, observa-se uma média de 18 horas de parada por mês na caldeira. Esse tempo de parada gera um prejuízo de R\$ 252.000,00 por mês. Ao analisar cada item que gerou essas paradas nesse intervalo de tempo, conclui-se que cerca de 40% desses eventos poderiam ser evitados diretamente, com a realização periódica de limpezas, inspeções, manutenções preditivas e preventivas atrasadas por falta de paradas na caldeira.

Com isso, aproximadamente R\$ 100.800,00 poderiam ser economizados por mês com o aumento das manutenções e limpezas na caldeira. Considerando a diferença no custo de operação da caldeira e do gerador de vapor de R\$ 225,82 por hora, uma utilização de 10 horas por domingo, com 4 domingos no mês, seria possível economizar R\$ 9.032,80 por mês, com relação ao uso do gerador de vapor no lugar da caldeira. Dessa forma, a instalação do novo equipamento geraria uma economia total de R\$ 109.832,80 por mês.

O retorno, ou *payback*, de um investimento é o período necessário para recuperar o capital inicial aplicado, levando em conta o retorno financeiro que ele trará, em função do seu custo, que é o seu fluxo de caixa. O *payback* é calculado de acordo com a Equação 1:

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Custo do Equipamento}}{\textit{Economia gerada por mês}} \quad (1)$$

Realizando os cálculos de *payback* do investimento total para a aquisição e instalação do equipamento, tem-se:

$$\text{Payback} = 645.462,69/109.832,80$$

$$\text{Payback} = 5,87 \text{ meses, logo,}$$

$$\text{Payback} = 6 \text{ meses}$$

No resultado da equação (1) nota-se que a partir do sexto mês, o investimento já teria sido pago e começaria a gerar lucros. Esse tempo é coerente, visto o valor inicial, o que torna esse investimento financeiramente viável.

Para analisar melhor o investimento, calcula-se a sua TIR - Taxa de Retorno de Investimento, para verificar a viabilidade financeira desta aplicação, que segundo Assaf Neto (2012) é um dos mais importantes instrumentos de avaliação da matemática financeira. Para realização do cálculo, utiliza-se a taxa Selic, a taxa básica de juros da economia brasileira, como parâmetro para os cálculos. Segundo o Governo Federal (2022), a taxa Selic no mês de Agosto de 2022 é de 1,03% ao mês e 13,75% ao ano.

Primeiro é necessário corrigir o valor total da economia fornecida pelo gerador de vapor, R\$ 109.832,80, durante doze meses, segundo o valor da taxa Selic. Esses valores são calculados através da equação 2, e estão apresentados na coluna Fluxo Descontado da tabela 7.

$$\text{Fluxo descontado} = \frac{\text{Economia total}}{(1 + \text{taxa Selic})^{n^{\circ} \text{ do mês}}} \quad (2)$$

Tabela 7 - Tabela para cálculo da TIR

	<b>Fluxo Mensal</b>	<b>Fluxo Descontado</b>	<b>Acumulado</b>
<b>Mês 0</b>	-R\$ 645.462,69	-R\$ 645.462,69	-R\$ 645.462,69
<b>Mês 1</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 108.713,06	-R\$ 536.749,63
<b>Mês 2</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 107.604,73	-R\$ 429.144,91
<b>Mês 3</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 106.507,70	-R\$ 322.637,21
<b>Mês 4</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 105.421,85	-R\$ 217.215,36
<b>Mês 5</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 104.347,08	-R\$ 112.868,28
<b>Mês 6</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 103.283,26	-R\$ 9.585,02
<b>Mês 7</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 102.230,29	R\$ 92.645,27
<b>Mês 8</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 101.188,05	R\$ 193.833,32
<b>Mês 9</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 100.156,44	R\$ 293.989,76
<b>Mês 10</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 99.135,35	R\$ 393.125,10
<b>Mês 11</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 98.124,66	R\$ 491.249,77
<b>Mês 12</b>	R\$ 109.832,80	R\$ 97.124,28	R\$ 588.374,05

Fonte: O Autor, 2022.

Da tabela 7 observa-se que, da mesma forma como foi calculado o *payback*, realizando o fluxo de caixa acumulado, durante o sexto mês o valor de retorno financeiro já se tornará positivo.

A TIR é calculada segundo a equação 3:

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - investimento\ inicial = 0 \quad (3)$$

Realizando esse cálculo, tem-se que a TIR desse investimento é de 13,15% ao ano. O valor da TIR será comparado com a TMA - Taxa Mínima de Atratividade, taxa de retorno mínima para que um investimento seja financeiramente rentável. Esse valor é composto pela soma de três indicadores, o custo de oportunidade, risco de negócio e prêmio pela liquidez.

O custo de oportunidade é o retorno mínimo que um investimento deve trazer, para que seja rentável. Será considerado o valor de 4% ao ano, referente ao custo de capital interno da empresa.

O risco de negócio é um valor agregado para remunerar o risco que esse investimento traz. Um investimento de baixo risco terá um valor menor, de alto risco, valor maior. Para a esta análise será um valor de 2% ao ano, configurando baixo risco.

O prêmio pela liquidez está ligado à perda da disponibilidade do recurso financeiro investido, o investimento em um ativo não pode ser recuperado na mesma velocidade que um fundo de investimento tradicional. Será usado um valor de 2% ao ano, taxa utilizada no mercado, referente a perda da disponibilidade do valor que será investido em um ativo.

Com base nos valores propostos por esta análise tem-se que a taxa mínima de atratividade é de 9% ao ano. Assim, observa-se que a TIR é 4,15% maior que a TMA, o que faz com que esse investimento gere retornos financeiros positivos a uma taxa de 4,15%, sendo uma operação financeiramente rentável para a empresa.

Segundo Folha de S.Paulo (2022), o investimento que ofereceu maior liquidez no segundo semestre de 2022, CDB de bancos médios, apresentou rendimentos de 6,78%. Comparando a rentabilidade do CDB com o investimento no gerador de vapor, podemos concluir que há uma diferença de 2,63%, o que mostra uma rentabilidade próxima entre os dois.

Dessa forma, podemos concluir que o investimento no gerador de vapor é financeiramente rentável e tem um retorno financeiro coerente com os investimentos mais seguros e rentáveis existentes atualmente no mercado.

## CAPÍTULO VI

### RESULTADOS ESPERADOS E CONCLUSÕES

No presente estudo apresenta-se uma sugestão como alternativa para reduzir as paradas causadas pelas falhas, panes ou quebra de componentes da caldeira em uma empresa de Uberlândia-MG. Além dos prejuízos diretos causados pela indisponibilidade da caldeira nas linhas de produção, diversos prejuízos indiretos são causados por essas falhas.

Devido à falta de produção, algumas entregas não seriam realizadas, pois não haveriam produtos nos estoques, o que causaria descumprimento contratual com fornecedores e queda no *market share* da empresa, ou seja, a relevância no mercado na qual está inserida frente aos consumidores finais, pois os seus produtos não seriam encontrados no mercado.

Outro efeito negativo da falta de produção são os danos nas cadeias produtivas subsequentes. Quando um produto deixa de ser produzido por indisponibilidade por falta de vapor e o mesmo é utilizado em outros processos, a sua ausência causa impacto direto nos demais processos produtivos que utilizam esse produto de alguma forma em seus processos, inviabilizando toda a cadeia produtiva.

Com isso, conclui-se que os prejuízos trazidos pela indisponibilidade da caldeira vão além dos valores mensurados, com perdas nos processos produtivos subsequentes e nos mercados consumidores.

Com a instalação do gerador de vapor, espera-se reduzir em 40% a atual indisponibilidade da caldeira, de 18 horas/mês para 10,8 horas/ por mês. Essa redução se dará devido ao aumento da periodicidade de manutenções e limpezas na caldeira, eliminando as falhas decorrentes das paradas imprevistas. Com isso, será possível realizar uma economia de R\$ 109.832,80 por mês. Observando os aspectos descritos no capítulo IV deste trabalho, conclui-se que a instalação do gerador de vapor supriria todas as necessidades apresentadas, substituindo a caldeira nos domingos e alimentando o processo de higienização.

Ao se computar os resultados financeiros obtidos com a viabilização desse projeto, nota-se que haveria um retorno rápido do investimento. Através da análise da economia na operação da caldeira e redução da indisponibilidade que a instalação do gerador pode proporcionar, frente ao investimento inicial do equipamento e toda a sua infraestrutura, conclui-se que o investimento representa uma aplicação de valores vantajosa, com resultados bem próximos dos proporcionados por modalidades de investimentos que apresentaram os melhores resultados em 2022.

Desta forma, a instalação do gerador de vapor para a redução da indisponibilidade da caldeira tem diversos aspectos positivos, tanto técnicos como financeiros, fazendo com que a sua aplicação seja altamente atrativa para a empresa.

## CAPÍTULO VII

### TRABALHOS FUTUROS

Como propostas de trabalhos futuros tem-se a própria instalação e verificação dos parâmetros do gerador de vapor.

Além disso elenca-se buscar formas de aproveitamento da descarga de fundo da caldeira, pois além da reutilização da água das descargas a sua energia térmica também pode ser reaproveitada.

Para isso, seria necessária a utilização de um trocador de calor resistente à passagem de partículas abrasivas e a presença de componentes químicos agressivos da descarga. Assim, a descarga entraria no lado quente, a água a temperatura ambiente no lado frio, dessa forma, aqueceria a água de entrada da caldeira aumentando sua eficiência e reduzindo o consumo de combustível.

Outra possibilidade de reaproveitamento seria o armazenamento dessa água em um reservatório, realizando um processo de decantação para descarte do lodo, assim ela ainda poderia ser utilizada para limpeza do pátio da caldeira, onde se acumula muito pó, proveniente da queima do combustível, ou mesmo para outras finalidades externas, não retornando para nenhum processo, devido a presença de componentes químicos diluídos.

Com isso, além de um maior aproveitamento da energia térmica da caldeira, tem-se uma economia de água, através da utilização dessa água que seria descartada no lugar de água potável, contribuindo para as ações de ESG, ações relacionadas ao meio ambiente, aspecto social e governança da empresa.

Outro ponto que pode ser trabalhado, é a utilização do condensado na caldeira. Sabe-se que parte do condensado vem dos processos produtivos contaminados, por isso, ele não pode entrar na caldeira, pois causaria danos a sua estrutura interna. Para aproveitar uma parte de seu

potencial energético, o condensado passa em um trocador de calor, aquece a água de entrada da caldeira e retorna para os processos para ser reutilizado. Com isso, há perda de parte do potencial térmico, e de água tratada que não é reintegrada à caldeira.

Para resolver essa situação uma possível saída seria revisar as tubulações que entram em contato com o vapor e o condensado, identificando pontos de contaminação e os removendo. Já na entrada da caldeira, deve-se instalar um analisador de pH, para realizar a análise constante do condensado, e ao identificar contaminação não o deixar entrar na caldeira, mas caso esteja dentro dos padrões, seja incorporado à água de alimentação.

Desta forma, será aproveitado todo o seu potencial energético e também há a redução da utilização de produtos químicos para tratamento de água, pois esse condensado é uma água já tratada anteriormente. Dessa forma, aumenta-se a eficiência da caldeira, reduzindo o consumo de combustível, água de reposição e dos produtos para tratamento de água citados anteriormente.

A avaliação do funcionamento dos purgadores de condensado nas linhas de vapor e nas unidades produtivas são oportunidades de melhoria contínua que podem ser explorados em trabalhos futuros. O excesso de condensado nas linhas de vapor causa maior perda de carga nas linhas, causando perda de pressão, perda de energia e maior geração de condensado, além de inundar os pontos de utilização do vapor.

Para isso, deve ser feita a verificação dos purgadores, substituindo os que estiverem danificados. Após correção dos purgadores, as linhas de condensado devem ser avaliadas, substituindo as partes danificadas. Com um maior aproveitamento do condensado, aumentamos a eficiência da caldeira, diminuindo o consumo de combustível e de produtos para tratamento de água.

Por fim, a verificação de todas as linhas de vapor e condensado, outra fonte de trabalho, para que qualquer dano verificado seja reparado, e para verificação da integridade dos isolamentos térmicos, pois danos no isolamento, causam perdas de energia no interior das tubulações.

## CAPÍTULO VIII

### REFERÊNCIAS

MOURA JÚNIOR, E. C. **Sistema de Manutenção: Proposta de um Modelo Sistemático de Planejamento da Manutenção para Empresa que não Possua Sistema Integrado de Manutenção**. 1ª. ed. Piracanjuba: Conhecimento Livre, 2019.

VIANA, H. R. G. **PCM: Planejamento e Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

BRANCO FILHO, G. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna 2006.

PERA, H. **Geradores de Vapor: Um Compêndio sobre a Conversão de Energia com Vistas à Preservação da Ecologia**. 2ª. ed. São Paulo: Fama, 1992.

BAZZO, E. **Geração de vapor**. 2ª. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

TLV, **Tipos de Vapor**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/types-of-steam.html>>. Citado na página 16.

VAN WYLEN, G. J.; BORGNACKE, C.; SONNTAG, R.E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 6ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2018.

MARTINELLI JÚNIOR, L. C. **Introdução às Máquinas Térmicas: Caldeiras**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <[http://martinelli.eng.br/Introducao\\_as\\_Maquinas\\_Termicas\\_Caldeiras.zip](http://martinelli.eng.br/Introducao_as_Maquinas_Termicas_Caldeiras.zip)>. Citado na página 21 e 22.

PARAT. Caldeira de Eletrodo de Alta Tensão. Acesso em: 27/12/2022. Disponível em: <<https://www.parat.no/br/products/ind%C3%BAstria-dom%C3%A9stica/parat-ieh-caldeira-de-eletrodo-de-alta-tens%C3%A3o/>> Citado na página 23

ECAL. **Caldeira Geradora de Vapor Horizontal**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://www.ecal.com.br/pdf/catalogo/caldeira-geradora-de-vapor-horizontal.pdf>>. Citado na página 24.

ARAUTERM. **Caldeira de Vapor Saturado Horizontal Elétrica**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://arauterm.com.br/manuais/caldeira-de-vapor-saturado-horizontal-eletrica-164959.pdf>>. Citado na página 24.

PETROBRAS. **Como São Formados os Preços: Diesel**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-diesel>>. Citado na página 24.

PETROBRAS. **Como São Formados os Preços: Gás de Cozinha (GLP)**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://precos.petrobras.com.br/sele%C3%A7%C3%A3o-de-estados-glp>>. Citado na página 24.

AUTO ESPORTE. **Preço Médio do GNV Está Apenas R\$ 0,27 Mais Barato do que o Litro da Gasolina no Brasil**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://autoesporte.globo.com/seu-bolso/noticia/2022/09/preco-medio-do-gnv-esta-apenas-r-027-mais-barato-do-que-o-litro-da-gasolina-no-brasil.ghtml>>. Citado na página 24.

CEMIG. **Valores de Tarifas e Serviços**. Acesso em: 30/08/2022. Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>>. Citado na página 24.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Portaria MTP n.º 806, de 13 de abril de 2022. Acesso em: 10/01/2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022.pdf>>. Citado na página 35.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR-13 - Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos de Armazenamento**. Portaria MTP nº 1.846, de 1º de julho de 2022. Acesso em: 10/01/2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/seguranca-e-saude-no-trabalho/normas-regulamentadoras/nr-13-atualizada-2022-retificada.pdf>>. Citado na página 34.

OLIVEIRA, J. A.; RODRIGUES, G. A.; GONÇALVES, L. A. **Projeto caldeira aquatubular na indústria Predilecta Alimentos LTDA**. Artigo Científico (Graduação) - Produção Industrial - FATEC, Taquaritinga: São Paulo, 2019. Acesso em: 25/08/2022. Disponível em: <<https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/574/383>>. Citado na página 19.

ECAL, **Caldeira Geradora de Vapor Horizontal a Lenha**. Acesso em: 26/08/2022. Disponível em: <<https://www.ecal.com.br/produtos/caldeira-geradora-de-vapor-horizontal-a-lenha>>. Citado na página 34 e 66.

HEWITT, G.F., **Handbook of Heat Exchanger Design**. 5ª. ed. New York: Begell House, 2009.

BERMO, **BP6 - Trocador de Calor a Placas Gaxetado**. Acesso em: 28/08/2022. Disponível em: <<https://bermo.com.br/produtos/detalhes/bp6-trocador-de-calor-a-placas-gaxetado/>>. Citado na página 39.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410:2004 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Versão corrigida. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

SANTIL, **Cabo PP 4x6 mm<sup>2</sup> preto e azul claro/verde e amarelo/marrom 300V/500V vendido por metro - SIL**. Acesso em: 29/08/2022. Disponível em: <<https://www.santil.com.br/produto/cabo-pp-4x6m-preto-e-azul-claroverde-e-amarelo-marrom-300v500v-vendido-por-metro/2897719/>>. Citado na página 41.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10300:1997 - Cabos de Instrumentação com Isolação Extrudada em PE ou PVC Para Tensões Até 300V**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

SANTIL, **Cabo Blindado para Detecção de Incêndio 2x1,5 Vermelho 600 V**. Acesso em: 29/08/2022. Disponível em: <<https://www.santil.com.br/produto/cabo-blindado-para-deteccao-de-incendio-2-x-1-5-600v-vermelho-gp-cabos/2881800/>>. Citado na página 42.

VIEWTECH, **Disjuntor Tripolar 32A Weg Mini DIN MDWH C32 10kA Curva C**. Acesso em: 29/08/2022. Disponível em: <<https://www.viewtech.ind.br/disjuntor-tripolar-32a-weg-mini-din-mdwh-c32-10ka-curva-c>>. Citado na página 43.

ECOTEC, **Isolamento Térmico de Tubulação Industrial**. Acesso em: 29/08/2022. Disponível em: <<https://www.ecotecmontagensindustriais.com.br/isolamento-termico-tubulacao/>>. Citado na página 44.

BERMO, **Válvula de Esfera Bipartida Passagem Plena Classe 150**. Acesso em: 29/08/2022. Disponível em: <<https://bermo.com.br/produtos/detalhes/valvula-de-esfera-bipartida-passagem-plena-classe-150/>>. Citado na página 44.

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática Financeira e suas Aplicações**. 12ª. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GOVERNO FEDERAL, **Taxa de Juros Selic**. Acesso em: 31/08/2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/orientacao-tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic#Selicmensalmente>>. Citado na página 48.

FOLHA DE S.PAULO, **CDB é o melhor investimento no 1º semestre e cripto, o pior; veja ranking**. Acesso em: 15/09/2022. Disponível em: <<https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2022/06/cdb-e-o-melhor-investimento-no-1o-semester-e-cripto-o-pior-veja-ranking.shtml>>. Citado na página 50.

**ANEXO A – TABELAS TERMODINÂMICAS DO VAPOR SATURADO**

Tabela 8 - Tabela de temperatura x pressão do vapor saturado

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m <sup>3</sup> /kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	$v_l$	$v_v$	$u_l$	$u_{lv}$	$u_v$	$h_l$	$h_{lv}$	$h_v$	$s_l$	$s_{lv}$	$s_v$
0,01	0,6113	0,001000	206,132	0,00	2375,33	2375,33	0,00	2501,35	2501,35	0,0000	9,1562	9,1562
5	0,8721	0,001000	147,118	20,97	2361,27	2382,24	20,98	2489,57	2510,54	0,0761	8,9496	9,0257
10	1,2276	0,001000	106,377	41,99	2347,16	2389,15	41,99	2477,75	2519,74	0,1510	8,7498	8,9007
15	1,705	0,001001	77,925	62,98	2333,06	2396,04	62,98	2465,93	2528,91	0,2245	8,5569	8,7813
20	2,339	0,001002	57,7897	83,94	2318,98	2402,91	83,94	2454,12	2538,06	0,2966	8,3706	8,6671
25	3,169	0,001003	43,3593	104,86	2304,90	2409,76	104,87	2442,30	2547,17	0,3673	8,1905	8,5579
30	4,246	0,001004	32,8922	125,77	2290,81	2416,58	125,77	2430,48	2556,25	0,4369	8,0164	8,4533
35	5,628	0,001006	25,2158	146,65	2276,71	2423,36	146,66	2418,62	2565,28	0,5052	7,8478	8,3530
40	7,384	0,001008	19,5229	167,53	2262,57	2430,11	167,54	2406,72	2574,26	0,5724	7,6845	8,2569
45	9,593	0,001010	15,2581	188,41	2248,40	2436,81	188,42	2394,77	2583,19	0,6386	7,5261	8,1647
50	12,350	0,001012	12,0318	209,30	2234,17	2443,47	209,31	2382,75	2592,06	0,7037	7,3725	8,0762
55	15,758	0,001015	9,56835	230,19	2219,89	2450,08	230,20	2370,66	2600,86	0,7679	7,2234	7,9912
60	19,941	0,001017	7,67071	251,09	2205,54	2456,63	251,11	2358,48	2609,59	0,8311	7,0784	7,9095
65	25,03	0,001020	6,19656	272,00	2191,12	2463,12	272,03	2346,21	2618,24	0,8934	6,9375	7,8309
70	31,19	0,001023	5,04217	292,93	2176,62	2469,55	292,96	2333,85	2626,80	0,9548	6,8004	7,7552
75	38,58	0,001026	4,13123	313,87	2162,03	2475,91	313,91	2321,37	2635,28	1,0154	6,6670	7,6824
80	47,39	0,001029	3,40715	334,84	2147,36	2482,19	334,88	2308,77	2643,66	1,0752	6,5369	7,6121
85	57,83	0,001032	2,82757	355,82	2132,58	2488,40	355,88	2296,05	2651,93	1,1342	6,4102	7,5444
90	70,14	0,001036	2,36056	376,82	2117,70	2494,52	376,90	2283,19	2660,09	1,1924	6,2866	7,4790
95	84,55	0,001040	1,98186	397,86	2102,70	2500,56	397,94	2270,19	2668,13	1,2500	6,1659	7,4158
100	101,3	0,001044	1,67290	418,91	2087,58	2506,50	419,02	2257,03	2676,05	1,3068	6,0480	7,3548
105	120,8	0,001047	1,41936	440,00	2072,34	2512,34	440,13	2243,70	2683,83	1,3629	5,9328	7,2958
110	143,3	0,001052	1,21014	461,12	2056,96	2518,09	461,27	2230,20	2691,47	1,4184	5,8202	7,2386
115	169,1	0,001056	1,03658	482,28	2041,44	2523,72	482,46	2216,50	2698,96	1,4733	5,7100	7,1832
120	198,5	0,001060	0,89186	503,48	2025,76	2529,24	503,69	2202,61	2706,30	1,5275	5,6020	7,1295
125	232,1	0,001065	0,77059	524,72	2009,91	2534,63	524,96	2188,50	2713,46	1,5812	5,4962	7,0774
130	270,1	0,001070	0,66850	546,00	1993,90	2539,90	546,29	2174,16	2720,46	1,6343	5,3925	7,0269
135	313,0	0,001075	0,58217	567,34	1977,69	2545,03	567,67	2159,59	2727,26	1,6869	5,2907	6,9777
140	361,3	0,001080	0,50885	588,72	1961,30	2550,02	589,11	2144,75	2733,87	1,7390	5,1908	6,9298
145	415,4	0,001085	0,44632	610,16	1944,69	2554,86	610,61	2129,65	2740,26	1,7906	5,0926	6,8832
150	475,9	0,001090	0,39278	631,66	1927,87	2559,54	632,18	2114,26	2746,44	1,8417	4,9960	6,8378
155	543,1	0,001096	0,34676	653,23	1910,82	2564,04	653,82	2098,56	2752,39	1,8924	4,9010	6,7934
160	617,8	0,001102	0,30706	674,85	1893,52	2568,37	675,53	2082,55	2758,09	1,9426	4,8075	6,7501
165	700,5	0,001108	0,27269	696,55	1875,97	2572,51	697,32	2066,20	2763,53	1,9924	4,7153	6,7078
170	791,7	0,001114	0,24283	718,31	1858,14	2576,46	719,20	2049,50	2768,70	2,0418	4,6244	6,6663
175	892,0	0,001121	0,21680	740,16	1840,03	2580,19	741,16	2032,42	2773,58	2,0909	4,5347	6,6256
180	1002,2	0,001127	0,19405	762,08	1821,62	2583,70	763,21	2014,96	2778,16	2,1395	4,4461	6,5857

Temp. °C	Pressão kPa	Volume específico (m <sup>3</sup> /kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
		Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
T	P	$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_{fg}$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
185	1122,7	0,001134	0,17409	784,08	1802,90	2586,98	785,36	1997,07	2782,43	2,1878	4,3586	6,5464
190	1254,4	0,001141	0,15654	806,17	1783,84	2590,01	807,61	1978,76	2786,37	2,2358	4,2720	6,5078
195	1397,8	0,001149	0,14105	828,36	1764,43	2592,79	829,96	1959,99	2789,96	2,2835	4,1863	6,4697
200	1553,8	0,001156	0,12736	850,64	1744,66	2595,29	852,43	1940,75	2793,18	2,3308	4,1014	6,4322
205	1723,0	0,001164	0,11521	873,02	1724,49	2597,52	875,03	1921,00	2796,03	2,3779	4,0172	6,3951
210	1906,3	0,001173	0,10441	895,51	1703,93	2599,44	897,75	1900,73	2798,48	2,4247	3,9337	6,3584
215	2104,2	0,001181	0,09479	918,12	1682,94	2601,06	920,61	1879,91	2800,51	2,4713	3,8507	6,3221
220	2317,8	0,001190	0,08619	940,85	1661,49	2602,35	943,61	1858,51	2802,12	2,5177	3,7683	6,2860
225	2547,7	0,001199	0,07849	963,72	1639,58	2603,30	966,77	1836,50	2803,27	2,5639	3,6863	6,2502
230	2794,9	0,001209	0,07158	986,72	1617,17	2603,89	990,10	1813,85	2803,95	2,6099	3,6047	6,2146
235	3060,1	0,001219	0,06536	1009,88	1594,24	2604,11	1013,61	1790,53	2804,13	2,6557	3,5233	6,1791
240	3344,2	0,001229	0,05976	1033,19	1570,75	2603,95	1037,31	1766,50	2803,81	2,7015	3,4422	6,1436
245	3648,2	0,001240	0,05470	1056,69	1546,68	2603,37	1061,21	1741,73	2802,95	2,7471	3,3612	6,1083
250	3973,0	0,001251	0,05013	1080,37	1522,00	2602,37	1085,34	1716,18	2801,52	2,7927	3,2802	6,0729
255	4319,5	0,001263	0,04598	1104,26	1496,66	2600,93	1109,72	1689,80	2799,51	2,8382	3,1992	6,0374
260	4688,6	0,001276	0,04220	1128,37	1470,64	2599,01	1134,35	1662,54	2796,89	2,8837	3,1181	6,0018
265	5081,3	0,001289	0,03877	1152,72	1443,87	2596,60	1159,27	1634,34	2793,61	2,9293	3,0368	5,9661
270	5498,7	0,001302	0,03564	1177,33	1416,33	2593,66	1184,49	1605,16	2789,65	2,9750	2,9551	5,9301
275	5941,8	0,001317	0,03279	1202,23	1387,94	2590,17	1210,05	1574,92	2784,97	3,0208	2,8730	5,8937
280	6411,7	0,001332	0,03017	1227,43	1358,66	2586,09	1235,97	1543,55	2779,53	3,0667	2,7903	5,8570
285	6909,4	0,001348	0,02777	1252,98	1328,41	2581,38	1262,29	1510,97	2773,27	3,1129	2,7069	5,8198
290	7436,0	0,001366	0,02557	1278,89	1297,11	2575,99	1289,04	1477,08	2766,13	3,1593	2,6227	5,7821
295	7992,8	0,001384	0,02354	1305,21	1264,67	2569,87	1316,27	1441,78	2758,05	3,2061	2,5375	5,7436
300	8581,0	0,001404	0,02167	1331,97	1230,99	2562,96	1344,01	1404,93	2748,94	3,2533	2,4511	5,7044
305	9201,8	0,001425	0,01995	1359,22	1195,94	2555,16	1372,33	1366,38	2738,72	3,3009	2,3633	5,6642
310	9856,6	0,001447	0,01835	1387,03	1159,37	2546,40	1401,29	1325,97	2727,27	3,3492	2,2737	5,6229
315	10547	0,001472	0,01687	1415,44	1121,11	2536,55	1430,97	1283,48	2714,44	3,3981	2,1821	5,5803
320	11274	0,001499	0,01549	1444,55	1080,93	2525,48	1461,45	1238,64	2700,08	3,4479	2,0882	5,5361
325	12040	0,001528	0,01420	1474,44	1038,57	2513,01	1492,84	1191,13	2683,97	3,4987	1,9913	5,4900
330	12845	0,001561	0,01300	1505,24	993,66	2498,91	1525,29	1140,56	2665,85	3,5506	1,8909	5,4416
335	13694	0,001597	0,01186	1537,11	945,77	2482,88	1558,98	1086,37	2645,35	3,6040	1,7863	5,3903
340	14586	0,001638	0,01080	1570,26	894,26	2464,53	1594,15	1027,86	2622,01	3,6593	1,6763	5,3356
345	15525	0,001685	0,00978	1605,01	838,29	2443,30	1631,17	964,02	2595,19	3,7169	1,5594	5,2763
350	16514	0,001740	0,00881	1641,81	776,58	2418,39	1670,54	893,38	2563,92	3,7776	1,4336	5,2111
355	17554	0,001807	0,00787	1681,41	707,11	2388,52	1713,13	813,59	2526,72	3,8427	1,2951	5,1378
360	18651	0,001892	0,00694	1725,19	626,29	2351,47	1760,48	720,52	2481,00	3,9146	1,1379	5,0525
365	19807	0,002011	0,00599	1776,13	526,54	2302,67	1815,96	605,44	2421,40	3,9983	0,9487	4,9470
370	21028	0,002213	0,00493	1843,84	384,69	2228,53	1890,37	441,75	2332,12	4,1104	0,6868	4,7972
374,1	22089	0,003155	0,00315	2029,58	0,00	2029,58	2099,26	0,00	2099,26	4,4297	0,0000	4,4297

Fonte: VAN WYLEN, G. J. *et al*, 2018.

**ANEXO B – TABELAS TERMODINÂMICAS DO VAPOR  
SUPERAQUECIDO**

Tabela 9 - Tabela de temperatura x pressão do vapor superaquecido

$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$
	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)
	<b>P = 10 kPa (45,81)</b>				<b>P = 50 kPa (81,33)</b>				<b>P = 100 kPa (99,62)</b>			
Sat.	14,67355	2437,89	2584,63	8,1501	3,24034	2483,85	2645,87	7,5939	1,69400	2506,06	2675,46	7,3593
50	14,86920	2443,87	2592,56	8,1749	-	-	-	-	-	-	-	-
100	17,19561	2515,50	2687,46	8,4479	3,41833	2511,61	2682,52	7,6947	-	-	-	-
150	19,51251	2587,86	2782,99	8,6881	3,88937	2585,61	2780,08	7,9400	1,93636	2582,75	2776,38	7,6133
200	21,82507	2661,27	2879,52	8,9037	4,35595	2659,85	2877,64	8,1579	2,17226	2658,05	2875,27	7,8342
250	24,13559	2735,95	2977,31	9,1002	4,82045	2734,97	2975,99	8,3555	2,40604	2733,73	2974,33	8,0332
300	26,44508	2812,06	3076,51	9,2812	5,28391	2811,33	3075,52	8,5372	2,63876	2810,41	3074,28	8,2157
400	31,06252	2968,89	3279,51	9,6076	6,20929	2968,43	3278,89	8,8641	3,10263	2967,85	3278,11	8,5434
500	35,67896	3132,26	3489,05	9,8977	7,13364	3131,94	3488,62	9,1545	3,56547	3131,54	3488,09	8,8341
600	40,29488	3302,45	3705,40	10,1608	8,05748	3302,22	3705,10	9,4177	4,02781	3301,94	3704,72	9,0975
700	44,91052	3479,63	3928,73	10,4028	8,98104	3479,45	3928,51	9,6599	4,48986	3479,24	3928,23	9,3398
800	49,52599	3663,84	4159,10	10,6281	9,90444	3663,70	4158,92	9,8852	4,95174	3663,53	4158,71	9,5652
900	54,14137	3855,03	4396,44	10,8395	10,82773	3854,91	4396,30	10,0967	5,41353	3854,77	4396,12	9,7767
1000	58,75669	4053,01	4640,58	11,0392	11,75097	4052,91	4640,46	10,2964	5,87526	4052,78	4640,31	9,9764
1100	63,37198	4257,47	4891,19	11,2287	12,67418	4257,37	4891,08	10,4858	6,33696	4257,25	4890,95	10,1658
1200	67,98724	4467,91	5147,78	11,4090	13,59737	4467,82	5147,69	10,6662	6,79863	4467,70	5147,56	10,3462
1300	72,60250	4683,68	5409,70	14,5810	14,52054	4683,58	5409,61	10,8382	7,26030	4683,47	5409,49	10,5182
	<b>P = 200 kPa (120,23)</b>				<b>P = 300 kPa (133,55)</b>				<b>P = 400 kPa (143,63)</b>			
Sat.	0,88573	2529,49	2706,63	7,1271	0,60582	2543,55	2725,30	6,9918	0,46246	2553,55	2738,53	6,8958
150	0,95964	2576,87	2768,80	7,2795	0,63388	2570,79	2760,95	7,0778	0,47084	2564,48	2752,82	6,9299
200	1,08034	2654,39	2870,46	7,5066	0,71629	2650,65	2865,54	7,3115	0,53422	2646,83	2860,51	7,1706
250	1,19880	2731,22	2970,98	7,7085	0,79636	2728,69	2967,59	7,5165	0,59512	2726,11	2964,16	7,3788
300	1,31616	2808,55	3071,79	7,8926	0,87529	2806,69	3069,28	7,7022	0,65484	2804,81	3066,75	7,5661
400	1,54930	2966,69	3276,55	8,2217	1,03151	2965,53	3274,98	8,0329	0,77262	2964,36	3273,41	7,8984
500	1,78139	3130,75	3487,03	8,5132	1,18669	3129,95	3485,96	8,3250	0,88934	3129,15	3484,89	8,1912
600	2,01297	3301,36	3703,96	8,7769	1,34136	3300,79	3703,20	8,5892	1,00555	3300,22	3702,44	8,4557
700	2,24426	3478,81	3927,66	9,0194	1,49573	3478,38	3927,10	8,8319	1,12147	3477,95	3926,53	8,6987
800	2,47539	3663,19	4158,27	9,2450	1,64994	3662,85	4157,83	9,0575	1,23722	3662,51	4157,40	8,9244
900	2,70643	3854,49	4395,77	9,4565	1,80406	3854,20	4395,42	9,2691	1,35288	3853,91	4395,06	9,1361
1000	2,93740	4052,53	4640,01	9,6563	1,95812	4052,27	4639,71	9,4689	1,46847	4052,02	4639,41	9,3360
1100	3,16834	4257,01	4890,68	9,8458	2,11214	4256,77	4890,41	9,6585	1,58404	4256,53	4890,15	9,5255
1200	3,39927	4467,46	5147,32	10,0262	2,26614	4467,23	5147,07	9,8389	1,69958	4466,99	5146,83	9,7059
1300	3,63018	4683,23	5409,26	10,1982	2,42013	4682,99	5409,03	10,0109	1,81511	4682,75	5408,80	9,8780
	<b>P = 500 kPa (151,86)</b>				<b>P = 600 kPa (158,85)</b>				<b>P = 800 kPa (170,43)</b>			
Sat.	0,37489	2561,23	2748,67	6,8212	0,31567	2567,40	2756,80	6,7600	0,24043	2576,79	2769,13	6,6627
200	0,42492	2642,91	2855,37	7,0592	0,35202	2638,91	2850,12	6,9665	0,26080	2630,61	2839,25	6,8158
250	0,47436	2723,50	2960,68	7,2708	0,39383	2720,86	2957,16	7,1816	0,29314	2715,46	2949,97	7,0384
300	0,52256	2802,91	3064,20	7,4598	0,43437	2801,00	3061,63	7,3723	0,32411	2797,14	3056,43	7,2327
350	0,57012	2882,59	3167,65	7,6328	0,47424	2881,12	3165,66	7,5463	0,35439	2878,16	3161,68	7,4088
400	0,61728	2963,19	3271,83	7,7937	0,51372	2962,02	3270,25	7,7078	0,38426	2959,66	3267,07	7,5715
500	0,71093	3128,35	3483,82	8,0872	0,59199	3127,55	3482,75	8,0020	0,44331	3125,95	3480,60	7,8672
600	0,80406	3299,64	3701,67	8,3521	0,66974	3299,07	3700,91	8,2673	0,50184	3297,91	3699,38	8,1332
700	0,89691	3477,52	3925,97	8,5952	0,74720	3477,08	3925,41	8,5107	0,56007	3476,22	3924,27	8,3770
800	0,98959	3662,17	4156,96	8,8211	0,82450	3661,83	4156,52	8,7367	0,61813	3661,14	4155,65	8,6033
900	1,08217	3853,63	4394,71	9,0329	0,90169	3853,34	4394,36	8,9485	0,67610	3852,77	4393,65	8,8153
1000	1,17469	4051,76	4639,11	9,2328	0,97883	4051,51	4638,81	9,1484	0,73401	4051,00	4638,20	9,0153
1100	1,26718	4256,29	4889,88	9,4224	1,05594	4256,05	4889,61	9,3381	0,79188	4255,57	4889,08	9,2049
1200	1,35964	4466,76	5146,58	9,6028	1,13302	4466,52	5146,34	9,5185	0,84974	4466,05	5145,85	9,3854
1300	1,45210	4682,52	5408,57	9,7749	1,21009	4682,28	5408,34	9,6906	0,90758	4681,81	5407,87	9,5575

$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$
	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)
<b><math>P = 1000</math> kPa (179,91)</b>				<b><math>P = 1200</math> kPa (187,99)</b>				<b><math>P = 1400</math> kPa (195,07)</b>				
Sat.	0,19444	2583,64	2778,08	6,5864	0,16333	2588,82	2784,82	6,5233	0,14084	2592,83	2790,00	6,4692
200	0,20596	2621,90	2827,86	6,6939	0,16930	2612,74	2815,90	6,5898	0,14302	2603,09	2803,32	6,4975
250	0,23268	2709,91	2942,59	6,9246	0,19235	2704,20	2935,01	6,8293	0,16350	2698,32	2927,22	6,7467
300	0,25794	2793,21	3051,15	7,1228	0,21382	2789,22	3045,80	7,0316	0,18228	2785,16	3040,35	6,9533
350	0,28247	2875,18	3157,65	7,3010	0,23452	2872,16	3153,59	7,2120	0,20026	2869,12	3149,49	7,1359
400	0,30659	2957,29	3263,88	7,4650	0,25480	2954,90	3260,66	7,3773	0,21780	2952,50	3257,42	7,3025
500	0,35411	3124,34	3478,44	7,7621	0,29463	3122,72	3476,28	7,6758	0,25215	3121,10	3474,11	7,6026
600	0,40109	3296,76	3697,85	8,0289	0,33393	3295,60	3696,32	7,9434	0,28596	3294,44	3694,78	7,8710
700	0,44779	3475,35	3923,14	8,2731	0,37294	3474,48	3922,01	8,1881	0,31947	3473,61	3920,87	8,1160
800	0,49432	3660,46	4154,78	8,4996	0,41177	3659,77	4153,90	8,4149	0,3528	3659,09	4153,03	8,3431
900	0,54075	3852,19	4392,94	8,7118	0,45051	3851,62	4392,23	8,6272	0,38606	3851,05	4391,53	8,5555
1000	0,58712	4050,49	4637,60	8,9119	0,48919	4049,98	4637,00	8,8274	0,41924	4049,47	4636,41	8,7558
1100	0,63345	4255,09	4888,55	9,1016	0,52783	4254,61	4888,02	9,0171	0,45239	4254,14	4887,49	8,9456
1200	0,67977	4465,58	5145,36	9,2821	0,56646	4465,12	5144,87	9,1977	0,48552	4464,65	5144,38	9,1262
1300	0,72608	4681,33	5407,41	9,4542	0,60507	4680,86	5406,95	9,3698	0,51864	4680,39	5406,49	9,2983
<b><math>P = 1600</math> kPa (201,40)</b>				<b><math>P = 1800</math> kPa (207,15)</b>				<b><math>P = 2000</math> kPa (212,42)</b>				
Sat.	0,12380	2595,95	2794,02	6,4217	0,11042	2598,38	2797,13	6,3793	0,09963	2600,26	2799,51	6,3408
250	0,14184	2692,26	2919,20	6,6732	0,12497	2686,02	2910,96	6,6066	0,11144	2679,58	2902,46	6,5452
300	0,15862	2781,03	3034,83	6,8844	0,14021	2776,83	3029,21	6,8226	0,12547	2772,56	3023,50	6,7663
350	0,17456	2866,05	3145,35	7,0693	0,15457	2862,95	3141,18	7,0099	0,13857	2859,81	3136,96	6,9562
400	0,19005	2950,09	3254,17	7,2373	0,16847	2947,66	3250,90	7,1793	0,15120	2945,21	3247,60	7,1270
450	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16353	3030,41	3357,48	7,2844
500	0,22029	3119,47	3471,93	7,5389	0,19550	3117,84	3469,75	7,4824	0,17568	3116,20	3467,55	7,4316
600	0,24998	3293,27	3693,23	7,8080	0,22199	3292,10	3691,69	7,7523	0,19960	3290,93	3690,14	7,7023
700	0,27937	3472,74	3919,73	8,0535	0,24818	3471,87	3918,59	7,9983	0,22323	3470,99	3917,45	7,9487
800	0,30859	3658,40	4152,15	8,2808	0,27420	3657,71	4151,27	8,2258	0,24668	3657,03	4150,40	8,1766
900	0,33772	3850,47	4390,82	8,4934	0,30012	3849,90	4390,11	8,4386	0,27004	3849,33	4389,40	8,3895
1000	0,36678	4048,96	4635,81	8,6938	0,32598	4048,45	4635,21	8,6390	0,29333	4047,94	4634,61	8,5900
1100	0,39581	4253,66	4886,95	8,8837	0,35180	4253,18	4886,42	8,8290	0,31659	4252,71	4885,89	8,7800
1200	0,42482	4464,18	5143,89	9,0642	0,37761	4463,71	5143,40	9,0096	0,33984	4463,25	5142,92	8,9606
1300	0,45382	4679,92	5406,02	9,2364	0,40340	4679,44	5405,56	9,1817	0,36306	4678,97	5405,10	9,1328
<b><math>P = 2500</math> kPa (223,99)</b>				<b><math>P = 3000</math> kPa (233,90)</b>				<b><math>P = 4000</math> kPa (250,40)</b>				
Sat.	0,07998	2603,13	2803,07	6,2574	0,06668	2604,10	2804,14	6,1869	0,04978	2602,27	2801,38	6,0700
250	0,08700	2662,55	2880,06	6,4084	0,07058	2644,00	2855,75	6,2871	-	-	-	-
300	0,09890	2761,56	3008,81	6,6437	0,08114	2750,05	2993,48	6,5389	0,05884	2725,33	2960,68	6,3614
350	0,10976	2851,84	3126,24	6,8402	0,09053	2843,66	3115,25	6,7427	0,06645	2826,65	3092,43	6,5820
400	0,12010	2939,03	3239,28	7,0147	0,09936	2932,75	3230,82	6,9211	0,07341	2919,88	3213,51	6,7689
450	0,13014	3025,43	3350,77	7,1745	0,10787	3020,38	3344,00	7,0833	0,08003	3010,13	3330,23	6,9362
500	0,13998	3112,08	3462,04	7,3233	0,11619	3107,92	3456,48	7,2337	0,08643	3099,49	3445,21	7,0900
600	0,15930	3287,99	3686,25	7,5960	0,13243	3285,03	3682,34	7,5084	0,09885	3279,06	3674,44	7,3688
700	0,17832	3468,80	3914,59	7,8435	0,14838	3466,59	3911,72	7,7571	0,11095	3462,15	3905,94	7,6198
800	0,19716	3655,30	4148,20	8,0720	0,16414	3653,58	4146,00	7,9862	0,12287	3650,11	4141,59	7,8502
900	0,21590	3847,89	4387,64	8,2853	0,17980	3846,46	4385,87	8,1999	0,13469	3843,59	4382,34	8,0647
1000	0,23458	4046,67	4633,12	8,4860	0,19541	4045,40	4631,63	8,4009	0,14645	4042,87	4628,65	8,2661
1100	0,25322	4251,52	4884,57	8,6761	0,21098	4250,33	4883,26	8,5911	0,15817	4247,96	4880,63	8,4566
1200	0,27185	4462,08	5141,70	8,8569	0,22652	4460,92	5140,49	8,7719	0,16987	4458,60	5138,07	8,6376
1300	0,29046	4677,80	5403,95	9,0291	0,24206	4676,63	5402,81	8,9442	0,18156	4674,29	5400,52	8,8099

$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$
	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)	(m <sup>3</sup> /kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg K)
	$P = 5000 \text{ kPa (263,99)}$				$P = 6000 \text{ kPa (275,64)}$				$P = 8000 \text{ kPa (295,06)}$			
Sat.	0,03944	2597,12	2794,33	5,9733	0,03244	2589,69	2784,33	5,8891	0,02352	2569,79	2757,94	5,7431
300	0,04532	2697,94	2924,53	6,2083	0,03616	2667,22	2884,19	6,0673	0,02426	2590,93	2784,98	5,7905
350	0,05194	2808,67	3068,39	6,4492	0,04223	2789,61	3042,97	6,3334	0,02995	2747,67	2987,30	6,1300
400	0,05781	2906,58	3195,64	6,6458	0,04739	2892,81	3177,17	6,5407	0,03432	2863,75	3138,28	6,3633
450	0,06330	2999,64	3316,15	6,8185	0,05214	2988,90	3301,76	6,7192	0,03817	2966,66	3271,99	6,5550
500	0,06857	3090,92	3433,76	6,9758	0,05665	3082,20	3422,12	6,8802	0,04175	3064,30	3398,27	6,7239
550	0,07368	3181,82	3550,23	7,1217	0,06101	3174,57	3540,62	7,0287	0,04516	3159,76	3521,01	6,8778
600	0,07869	3273,01	3666,47	7,2588	0,06525	3266,89	3658,40	7,1676	0,04845	3254,43	3642,03	7,0205
700	0,08849	3457,67	3900,13	7,5122	0,07352	3453,15	3894,28	7,4234	0,05481	3444,00	3882,47	7,2812
800	0,09811	3646,62	4137,17	7,7440	0,08160	3643,12	4132,74	7,6566	0,06097	3636,08	4123,84	7,5173
900	0,10762	3840,71	4378,82	7,9593	0,08958	3837,84	4375,29	7,8727	0,06702	3832,08	4368,26	7,7350
1000	0,11707	4040,35	4625,69	8,1612	0,09749	4037,83	4622,74	8,0751	0,07301	4032,81	4616,87	7,9384
1100	0,12648	4245,61	4878,02	8,3519	0,10536	4243,26	4875,42	8,2661	0,07896	4238,60	4870,25	8,1299
1200	0,13587	4456,30	5135,67	8,5330	0,11321	4454,00	5133,28	8,4473	0,08489	4449,45	5128,54	8,3115
1300	0,14526	4671,96	5398,24	8,7055	0,12106	4669,64	5395,97	8,6199	0,09080	4665,02	5391,46	8,4842
	$P = 10\ 000 \text{ kPa (311,06)}$				$P = 15\ 000 \text{ kPa (342,24)}$				$P = 20\ 000 \text{ kPa (365,81)}$			
Sat.	0,01803	2544,41	2724,67	5,6140	0,01034	2455,43	2610,49	5,3097	0,00583	2293,05	2409,74	4,9269
350	0,02242	2699,16	2923,39	5,9442	0,01147	2520,36	2692,41	5,4420	-	-	-	-
400	0,02641	2832,38	3096,46	6,2119	0,01565	2740,70	2975,44	5,8810	0,00994	2619,22	2818,07	5,5539
450	0,02975	2943,32	3240,83	6,4189	0,01845	2879,47	3156,15	6,1403	0,01270	2806,16	3060,06	5,9016
500	0,03279	3045,77	3373,63	6,5965	0,02080	2996,52	3308,53	6,3442	0,01477	2942,82	3238,18	6,1400
550	0,03564	3144,54	3500,92	6,7561	0,02293	3104,71	3448,61	6,5198	0,01656	3062,34	3393,45	6,3347
600	0,03837	3241,68	3625,34	6,9028	0,02491	3208,64	3582,30	6,6775	0,01818	3174,00	3537,57	6,5048
650	-	-	-	-	0,02680	3310,37	3712,32	6,8223	0,01969	3281,46	3675,32	6,6582
700	0,04358	3434,72	3870,52	7,1687	0,02861	3410,94	3840,12	6,9572	0,02113	3386,46	3809,09	6,7993
800	0,04859	3628,97	4114,91	7,4077	0,03210	3610,99	4092,43	7,2040	0,02385	3592,73	4069,80	7,0544
900	0,05349	3826,32	4361,24	7,6272	0,03546	3811,89	4343,75	7,4279	0,02645	3797,44	4326,37	7,2830
1000	0,05832	4027,81	4611,04	7,8315	0,03875	4015,41	4596,63	7,6347	0,02897	4003,12	4582,45	7,4925
1100	0,06312	4233,97	4865,14	8,0236	0,04200	4222,55	4852,56	7,8282	0,03145	4211,30	4840,24	7,6874
1200	0,06789	4444,93	5123,84	8,2054	0,04523	4433,78	5112,27	8,0108	0,03391	4422,81	5100,96	7,8706
1300	0,07265	4660,44	5386,99	8,3783	0,04845	4649,12	5375,94	8,1839	0,03636	4637,95	5365,10	8,0441
	$P = 30\ 000 \text{ kPa}$				$P = 40\ 000 \text{ kPa}$							
375	0,001789	1737,75	1791,43	3,9303	0,001641	1677,09	1742,71	3,8289				
400	0,002790	2067,34	2151,04	4,4728	0,001908	1854,52	1930,83	4,1134				
425	0,005304	2455,06	2614,17	5,1503	0,002532	2096,83	2198,11	4,5028				
450	0,006735	2619,30	2821,35	5,4423	0,003693	2365,07	2512,79	4,9459				
500	0,008679	2820,67	3081,03	5,7904	0,005623	2678,36	2903,26	5,4699				
550	0,010168	2970,31	3275,36	6,0342	0,006984	2869,69	3149,05	5,7784				
600	0,011446	3100,53	3443,91	6,2330	0,008094	3022,61	3346,38	6,0113				
650	0,012596	3221,04	3598,93	6,4057	0,009064	3158,04	3520,58	6,2054				
700	0,013661	3335,84	3745,67	6,5606	0,009942	3283,63	3681,29	6,3750				
800	0,015623	3555,60	4024,31	6,8332	0,011523	3517,89	3978,80	6,6662				
900	0,017448	3768,48	4291,93	7,0717	0,012963	3739,42	4257,93	6,9150				
1000	0,019196	3978,79	4554,68	7,2867	0,014324	3954,64	4527,59	7,1356				
1100	0,020903	4189,18	4816,28	7,4845	0,015643	4167,38	4793,08	7,3364				
1200	0,022589	4401,29	5078,97	7,6691	0,016940	4380,11	5057,72	7,5224				
1300	0,024266	4615,96	5343,95	7,8432	0,018229	4594,28	5323,45	7,6969				

Fonte: VAN WYLEN, G. J. et al, 2018.

## **ANEXO C – DIMENSIONAMENTO DO GERADOR DE VAPOR VLI-2000**

Na Imagem está representado o desenho técnico do gerador de vapor VLI-2000, com todas as suas dimensões detalhadas, os detalhes dos seus elementos construtivos e suas especificações técnicas.

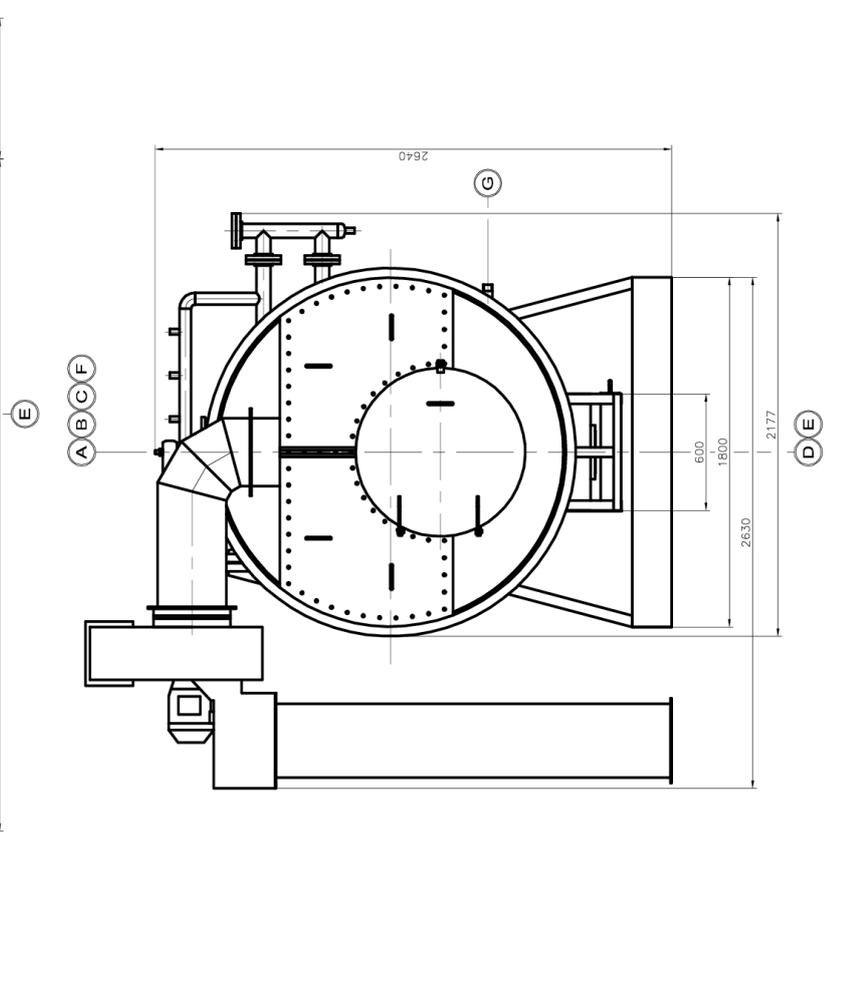
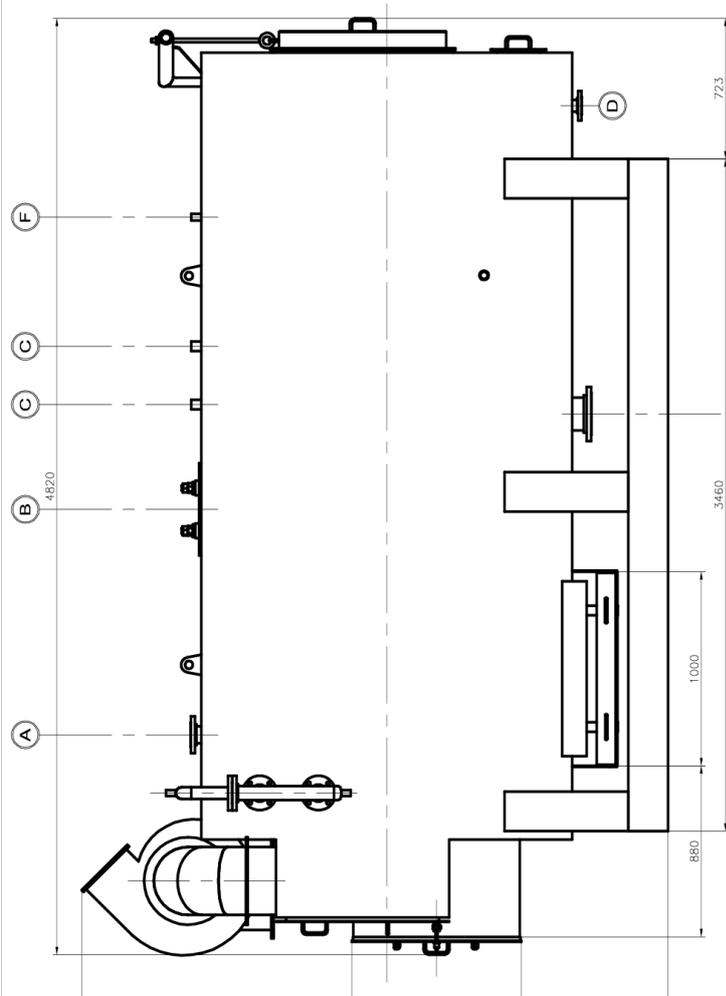
Figura 17 – Desenho técnico do gerador de vapor VLI-2000

Fonte: ECAL, 2022.

DADOS DE REFERÊNCIA		ASME SEÇÃO I		CORROSAO ADMISSIVEL	
FLUIDO	ÁGUA	TIPO DE ESPELHO	PLANO	3mm	
PRESSÃO MÁXIMA DE OPERAÇÃO - PMTA	8 kgf/cm <sup>2</sup>	INTERNA	NÃO		
PRESSÃO DE PROJETO	8,5 kgf/cm <sup>2</sup>	EXTERNA	2 DEMÁOS PRIMER ÓXIDO DE FERRO		
PRESSÃO DE TESTE (HIDROSTÁTICO)	12,75 kgf/cm <sup>2</sup>	SERPENTINA	NA		
TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	170 °C	CORPO CILINDRICO	ASTM-A-516 Gr 70 - #1/2"		
TEMPERATURA DE PROJETO	350 °C	ESPELHOS	ASTM-A-516 Gr 70 - #5/8"		
VOLUME ÚTIL	4200 litros	TUBULAÇÃO	ASTM-A-516 Gr 70 - #1/2"		
ISOLAMENTO TÉRMICO - LÁ DE ROCHA (ESP)	50,8 mm	TUBOS	ASTM-A-178 Gr A - Ø2"		
REVESTIMENTO EXTERNO-CH. ALUMINIO ESTLUCO	0,7 mm	INTERNO	NÃO		
PESO APROXIMADO (VAZIO)	7900 kg	ACABAMENTO	Isolamento térmico c/ lâ de rocha, espessura 2" revestida c/ alumínio espessura 0,7mm.		
EFICIÊNCIA DE JUNTAS	12100 kg	EXTERNO			
RADIOGRAFIAS	100 %				
	SIM				

**ORIENTAÇÃO DE BOCAIS**

POS.	Ø	QTD.	CLASSE	TIPO FACE	DESCRIÇÃO PEÇA	FUNÇÃO NO PROCESSO
A	3"	01	150#		FLANGE SO - ANSI B.16.5	SADA DE VAPOR
B	-	01	-		BOCA DE VISITA (PADRÃO)	INSPEÇÃO
C	1.1/2"	02	SCH80		TUBO COM ROSCA EXTERNA	VALVULA DE SEGURANÇA
D	2"	01	150#		FLANGE SO - ANSI B.16.5	DRENO
E	6"	01	150#		FLANGE SO - ANSI B.16.5	LIMPEZA
F	1"	01	SCH80		TUBO COM ROSCA EXTERNA	TOMADA DE VAPOR
G	1.1/2"	01	SCH80		TUBO COM ROSCA EXTERNA	ENTRADA DE ÁGUA FRIA



POS.	QUANT.	DENOMINAÇÃO	MATERIAL	DIMENSÃO	PESO
<b>ECAL SENA ECAL EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES LTDA</b>					
TÍTULO: VLI 2000 - DIMENSIONAL					
CLIENTE: RCM INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA		DESENHO Nº: DJ-091101		REVISÃO Nº: 0	
PROJ.: Sena Ecol	DES.: Junior	VER.: Junior	APROV.: Fernando	DATA: 08/02/2010	ESCALA: s/escala
				TOLERÂNCIAS:	
				MEDIDAS %	
				LONGITUDINAL ±0,3	
				OVALIZAÇÃO 1,0	