



UNISUL

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA

VANESSA VILARINS

**DIMENSIONAMENTO E ISOLAMENTO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR
EM UMA EMPRESA DE ALIMENTOS**

Tubarão

2019



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
VANESSA VILARINS

**DIMENSIONAMENTO E ISOLAMENTO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR
EM UMA EMPRESA DE ALIMENTOS**

Relatório Técnico/Científico apresentado ao Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Prof^ª. Eng. Maria Lúcia Soares Cochlar, MSc. (Orientadora)

Tubarão
2019

VANESSA VILARINS

**DIMENSIONAMENTO E ISOLAMENTO DA LINHA DE
DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR EM UMA EMPRESA DE ALIMENTOS**

Este relatório técnico/científico foi julgado adequado a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química e aprovado em sua forma final pelo Curso de Graduação em Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina.

Tubarão, 19 de junho de 2019.



Professora Eng. Maria Lúcia Soares Cochlar, MSc. (Orientadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Eng. Wilson Alano, MSc. (Avaliador)
Universidade do Sul de Santa Catarina



Professor Lic. Jacilene Feltrin, Dra. (Avaliadora)
Universidade do Sul de Santa Catarina

Dedico este trabalho especialmente aos meus pais, Edson e Valdenice, por todo apoio e carinho durante esta trajetória e, também, a todos os demais familiares que contribuíram de maneira direta e indireta para a realização desse sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por minhas orações serem concedidas.

Aos meus pais Edson e Valdenice por não medirem esforços em me ajudar nas situações em que mais precisei, acreditando em meu sonho e em minha capacidade em concluir essa tão sonhada faculdade. Agradeço também a minha irmã Camila por compreender todas as vezes que deixei de assistir suas séries preferidas para poder estudar.

Ao meu namorado Rodinei, por todo carinho, apoio e paciência.

Aos meus familiares e amigos que contribuíram de maneira direta e indireta ao longo desses anos de faculdade. Especialmente a minha grande amiga Andreza, amiga que este curso me presenteou e que, em vários momentos, me cedeu seu ombro amigo.

A empresa em que trabalho, que me concedeu a oportunidade em realizar o desenvolvimento desse relatório.

Ao meu orientador da empresa, Deivid Costa Rodrigues, por toda sua paciência e conhecimento técnico que foram necessários para me ajudar no desenvolvimento desse relatório.

Aos professores da UNISUL que por meio dos conhecimentos repassados contribuíram para que chegasse até aqui.

Enfim, muito obrigada a todos!

“Se existir fé e determinação, o resto é apenas detalhe.” (Autor Desconhecido).

RESUMO

O uso consciente das fontes de energia elétrica e a constante preocupação com a eficiência dos equipamentos fizeram com que a empresa, campo de estágio, estimulasse a realização desse trabalho. Como a empresa está no mercado há mais de 50 anos, existem linhas no processo que são antigas e que, quando projetadas, não tiveram avaliados os impactos se a linha de distribuição de vapor não fosse bem dimensionada. A linha de produção estudada trabalha dezesseis horas por dia e os equipamentos utilizados para o processo utilizam vapor d'água para sua operação. Com o intuito de estudar a possibilidade de melhoria na eficiência dos equipamentos, foi necessário avaliar o dimensionamento das tubulações que transportam o vapor da caldeira até os equipamentos. Para isso, primeiramente, realizaram-se cálculos do diâmetro das tubulações a fim de verificar se são ideais para as condições atuais e futuras de operação, já que a empresa pretende expandir o número de equipamentos no setor. Após calcular o diâmetro adequado para as tubulações, foi necessário estudar o seu isolamento, pois o isolante térmico atual está prejudicado pelo desgaste dos anos. Escolheu-se um novo isolante para as tubulações e comparou-se à eficiência do isolante térmico em uso com o novo isolante dimensionado. Os cálculos demonstraram que, trocando de isolante e aumentando a sua espessura, a perda de calor pode ser reduzida em aproximadamente 45%, considerando uma temperatura externa do isolante também irá diminuir. Diminuir a temperatura externa do isolante pode minimizar o risco de queimaduras dos operadores ao encostar nas tubulações, além de reduzir a temperatura ambiente. Foi possível estimar o valor de R\$ 7.000,00 por mês, de economia para a empresa, com a redução do desperdício de vapor. Para finalizar, avaliou-se a necessidade de estudar os purgadores de vapor que estão instalados, atualmente, a fim de verificar sua eficiência na eliminação do condensado das tubulações. Consultando a literatura, verificou-se que, para as condições atuais do processo, será necessário instalar purgadores mecânicos, que agem por diferença de densidade, eliminando apenas o condensado das tubulações e conservando o vapor.

Palavras-chave: Dimensionamento; Isolantes térmicos; Vapor.

ABSTRACT

The conscious use of electric energy sources and the constant concern with the efficiency of the equipment made the company, an internship field, to stimulate this work. Since the company has been in the market for more than 50 years, there are lines in the process that are old and that, when designed, have not evaluated the impacts if the steam distribution line was not well dimensioned. The production line studied works sixteen hours a day and the equipment used for the process uses water vapor for its operation. In order to study the possibility of improving the efficiency of the equipment, it was necessary to evaluate the design of the pipes that transport the steam from the boiler to the equipment. In order to do this, we first carried out calculations of the diameter of the pipes in order to verify if they are ideal for the current and future conditions of operation, since the company intends to expand the number of equipments in the sector. After calculating the suitable diameter for the pipes, it was necessary to study their insulation, because the current thermal insulation is damaged by the years wear. A new insulation was chosen for the pipes and compared to the efficiency of the thermal insulation in use with the new dimensioned insulation. The calculations showed that by changing the insulation and increasing its thickness, the heat loss could be reduced by approximately 45%, considering that an external temperature of the insulation will also decrease. Decreasing the external temperature of the insulation can minimize the risk of operator burns by touching the pipes and reducing the ambient temperature. It was possible to estimate the value of R \$ 7,000.00 per month, of saving for the company, with the reduction of steam waste. Finally, we evaluated the need to study the steam traps that are currently installed in order to verify their efficiency in the elimination of the condensate of the pipes. By consulting the literature, it was verified that for the current conditions of the process, it would be necessary to install mechanical traps, which act by difference of density, eliminating only the condensate from the pipes and conserving the steam.

Keywords : Sizing; Thermal insulation; Steam.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Isométrico dos equipamentos.....	12
Figura 2 – Caldeira mista.	17
Figura 3 – Transferência de calor unidimensional por condução (difusão de energia).	21
Figura 4 – Tipos de purgadores de vapor.	23
Figura 5 – Situação atual do isolante tipo lã de vidro.	29
Figura 6 – Purgador termodinâmico em funcionamento.....	34
Figura 7 – Purgador mecânico tipo boia.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados das tubulações em uso.	27
Tabela 2 – Dados para o cálculo do diâmetro econômico.	28
Tabela 3 – Dados para o cálculo da troca de calor.	30
Tabela 4 – Dados para o cálculo da redução de custo do setor.	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	13
1.2 HIPÓTESES	14
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.1.1 Objetivos Específicos	14
1.4 RELEVÂNCIA SOCIAL E CIENTÍFICA DA PESQUISA	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	16
2.2 TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS	17
2.2.1 Tubos de aço carbono	18
2.2.2 Velocidade econômica de escoamento	18
2.3 ISOLAMENTOS TÉRMICOS	19
2.4 O QUE É TRANSFERÊNCIA DE CALOR? UM BREVE CONCEITO	20
2.4.1 Condução.....	20
2.4.2 Convecção	21
2.5 FORMAÇÃO DE CONDENSADO	22
2.6 PURGADORES DE VAPOR	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1 CONSTRUÇÃO TEÓRICA DA PESQUISA	25
3.1.1 Instrumentos de coleta de dados.....	26
3.2 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	26
3.2.1 Cálculo do diâmetro das tubulações.....	26
3.2.2 Cálculo da espessura do isolamento das tubulações	29
3.2.2.1 Retorno financeiro	32
3.2.3 Escolha do purgador de vapor para retorno do condensado.....	33
4 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36
APÊNDICE	38
APÊNDICE A – PLANTA BAIXA COM O COMPRIMENTO DAS TUBULAÇÕES..	39
ANEXO.....	40

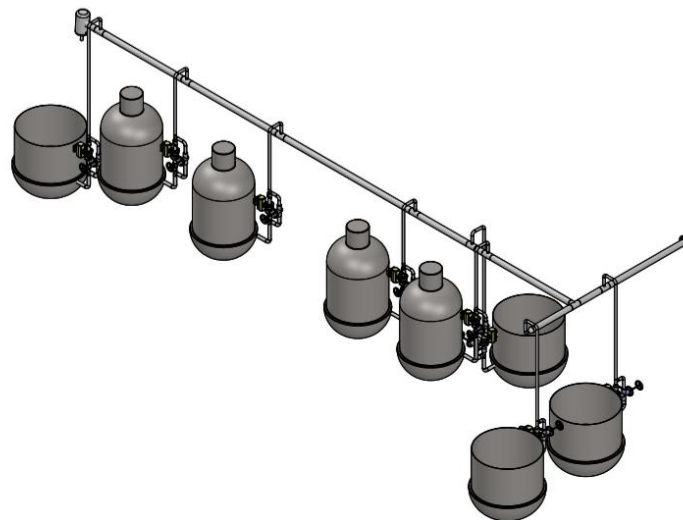
ANEXO A – TABELA PARA VAPOR D'ÁGUA EM ESTADO DE SATURAÇÃO41

1 INTRODUÇÃO

A empresa em estudo possui uma ampla linha de processos, com diferentes linhas de produção alimentícia. A linha de processo selecionada para o estudo possui equipamentos capazes de produzir alimentos como: doces de frutas, geleias, ketchup, mostarda, dentre outros tipos de alimentos. A produção desses alimentos é por meio de tachos cozinhadores de aço inox com capacidade para 1000 kg/h, responsáveis pelo cozimento de alguns ingredientes e, em seguida, são utilizados concentradores de aço inox, a vácuo, que possuem a mesma capacidade de 1000 kg/h, utilizado na etapa final da produção do alimento. No setor, atualmente há 4 tachos cozinhadores e 4 concentradores a vácuo, porém com a crescente demanda de produção, a empresa visa a colocação de mais um equipamento de cada tipo, a fim de expandir o volume de produção.

O fluido utilizado para o funcionamento dos equipamentos é o vapor d'água, que é transportado através de uma linha geral de distribuição de 15,25 m desde a caldeira até os equipamentos com pressão de 10 kgf/cm². A pressão utilizada em cada equipamento é de no máximo 5kgf/cm², sendo controlada por meio de manômetros. Atualmente esta linha de distribuição de vapor possui isolante térmico de lã de vidro, porém com o passar dos anos foi havendo desgastes e a falta de inspeção preventiva fez com que o isolante fosse danificado, amassando e, algumas partes, acabaram caindo. Com isso, o isolante foi perdendo sua eficiência.

Figura 1 – Isométrico dos equipamentos



Fonte: da autora, 2019.

Uma linha de distribuição de vapor bem dimensionada e com o purgador de vapor correto contribui para a empresa ter ganho no consumo de vapor, pois o papel fundamental de uma tubulação bem dimensionada e com o purgador correto é manter o calor do vapor ao longo da tubulação sem que ele sofra perdas de temperatura ao longo do processo.

Sendo assim, cabe aos engenheiros químicos estudar maneiras de diminuir este impacto econômico e, assim, contribuir com a sustentabilidade da empresa.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

O consumo de energia elétrica é um dos assuntos mais discutidos no século XXI. Alternativas são estudadas para a minimização do impacto ambiental gerado pela produção convencional de energia elétrica. Programas de conscientização são criados pelos governos para que a população mundial a utilize com consciência, pois no mundo de hoje existem múltiplas tecnologias e processos automatizados que surgem para facilitar atividades diárias de pessoas e indústrias. Porém, estas tecnologias e automatizações exigem um consumo maior das fontes energéticas, especialmente nas indústrias, que representam quase a metade do consumo no planeta.

O Brasil, nos últimos anos, enfrentou uma grande estiagem que, conseqüentemente, acarretou uma crise energética sazonal haja vista que a maior parte da energia elétrica brasileira vem de usina hidrelétricas. Esse fato ocasionou o aumento tarifário na energia, agravando ainda mais a crise. Assim, várias indústrias buscam alternativas para diminuir o impacto ambiental e financeiro e, simultaneamente, procuram maneiras para reduzir custos no processo por meio de sistemas mais eficientes.

Na indústria de alimentos, o uso do vapor é predominante no processo produtivo. Por esse motivo é importante que a geração de distribuição de vapor através das tubulações e os isolamentos dos equipamentos sejam bem dimensionadas para evitar perdas, gerando menor impacto ambiental e financeiro.

Levando em consideração ao que foi descrito anteriormente se faz necessária a pergunta: **qual o dimensionamento e isolamento adequado para uma linha de distribuição de vapor em uma empresa de alimentos localizada no sul de Santa Catarina?**

1.2 HIPÓTESES

O correto dimensionamento da linha de distribuição de vapor com o diâmetro da tubulação adequado para a vazão de vapor atual do processo, resultará em menor troca de calor ao longo da tubulação.

Varável independente: Tubulações.

Variável dependente: Diminuição da perda de calor.

Com o isolamento adequado para a tubulação de vapor, a troca de calor ao longo da tubulação será menor.

Varável independente: Isolamento.

Variável dependente: Redução da troca de calor.

Através do purgador mecânico tipo boia, o retorno do condensado será eficiente.

Varável independente: Purgador ideal.

Variável dependente: Retorno do condensado mais eficaz.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar qual o dimensionamento isolamento adequado para maior eficiência da linha de distribuição de vapor, em uma empresa de alimentos, buscando eficácia energética, contribuindo com o meio ambiente e reduzindo custos para a empresa.

1.3.1.1 Objetivos Específicos

- a) Calcular as velocidades atuais do fluido na linha de distribuição de vapor;

- b) Encontrar os diâmetros adequados das tubulações para que atendam a demanda atual e futura;
- c) Identificar o isolante térmico mais indicado para as tubulações;
- d) Calcular a espessura econômica do novo isolante térmico;
- e) Comparar a troca de calor das tubulações utilizadas atualmente e das novas tubulações dimensionadas;
- f) Avaliar o ganho financeiro com a redução da perda de calor com o novo isolante térmico;
- g) Selecionar um purgador mais eficiente.

1.4 RELEVÂNCIA SOCIAL E CIENTÍFICA DA PESQUISA

O estudo proposto para este relatório tem como relevância social a importância da redução do consumo da energia elétrica, não apenas pelas empresas, mas em todos os locais que fazem uso dessa fonte energética.

Em relação à relevância para a ciência do tema abordado, fica caracterizada através do estudo do dimensionamento adequado e a escolha do purgador ideal para uma linha de distribuição de vapor d'água, que além de propiciarem economia de energia elétrica minimizarão o uso dos recursos naturais necessários para a geração de vapor, que são a água, a biomassa e os produtos químicos. De outro lado considerando-se que os custos para geração de vapor são elevados, com o adequado dimensionamento haverá menor perda de calor o que propiciará contenção de despesas e ganho de recursos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

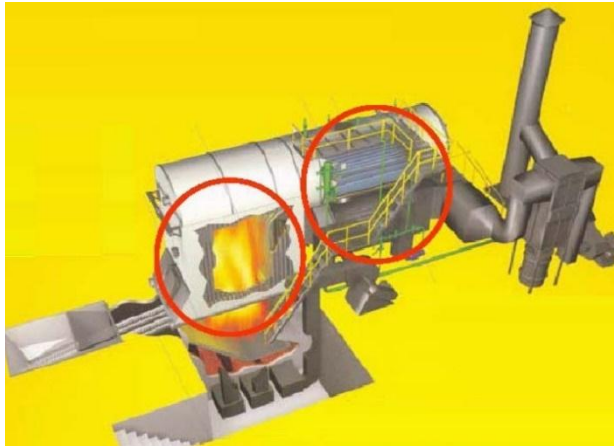
2.1 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A utilização do vapor de água como principal vetor de geração de energia térmica nas indústrias possui grandes vantagens, pois além da água ser um recurso natural de fácil aquisição, ela é pouco agressiva quimicamente, possuindo grande capacidade de transportar energia nas indústrias. Fazer o uso consciente da energia ajuda melhorar a eficiência na distribuição e utilização do vapor e, conseqüentemente, reduzindo o seu desperdício. (BRASIL, 2005).

O mais importante gerador de vapor é a caldeira, que é, basicamente um trocador de calor que trabalha com pressão superior à pressão atmosférica, produzindo vapor a partir da energia térmica fornecida por uma fonte qualquer. É constituída por diversos equipamentos integrados para permitir a obtenção do maior rendimento térmico possível e maior segurança. Esta definição abrange todos os tipos de caldeiras, sejam as que vaporizam água, mercúrio ou outros fluídos e que utilizam qualquer tipo de energia: térmica (seja convencional, como combustíveis, ou não convencional, como energia nuclear ou solar) ou, mesmo, elétrica. Quase sempre a fonte de calor é um combustível especificamente utilizado com esta finalidade, mas podem ser aproveitados também calores residuais de processos industriais, escape de motores diesel ou turbinas a gás, dando ênfase à racionalização energética de sistemas complexos. Neste caso, o equipamento é chamado caldeira de recuperação. Algumas vezes, o fluido permanece no estado líquido, apenas com temperatura elevada para ser aproveitado nos processos de aquecimento (calefação), formando, deste modo, caldeiras de água quente ou aquecedores de água. Para produzir o vapor d'água, é necessário que haja a combustão na caldeira. (BRASIL, 2005, p. 58).

No mercado há alguns tipos de caldeiras e cabe a cada empresa avaliar qual a sua necessidade na geração de vapor antes de escolher a que mais se adequa ao seu processo. Além das caldeiras aquatubulares e caldeiras flamotubulares, há a caldeira mista. Este tipo de caldeira é responsável pela geração de vapor da empresa em estudo. A caldeira mista possui uma capacidade menor que as outras e o combustível utilizado nela é sólido, no caso da caldeira da empresa em estudo o combustível utilizado é a biomassa, matéria-prima de fácil aquisição na região.

Figura 2 – Caldeira mista.



Fonte: <https://pt.slideshare.net>, 2019.

Vimos, então, a caldeira mista utilizada no parque industrial da empresa investigada. No tópico seguinte, discutiremos as tubulações industriais que irão balizar futuras discussões.

2.2 TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS

Tubulação é um conjunto de tubos com seus respectivos acessórios e é utilizado para transportar e armazenar fluidos que estão distantes do seu ponto de utilização. Possibilita transportar todos os materiais que são capazes de escoar, ou seja, fluidos líquidos e gasosos, assim como materiais pastosos ou sólidos suspensos, todos em toda faixa de variação de pressões e temperatura (TELLES, 2001).

Segundo Brasil (2005, p. 110) “O dimensionamento de linhas de vapor é um problema que envolve tanto misto entre a fluidodinâmica quanto a termodinâmica...”, e ao realizar o dimensionamento deve ser previsto os esforços que a tubulação irá sofrer por dilatação térmica.

Ao selecionar o diâmetro do tubo em um projeto deve ser levado em consideração o custo do tubo, dos acessórios, da montagem e do isolamento, assim como a perda de carga admissível, descarga e condições do fluido. (SILVA, 1978).

Ter as tubulações desenhadas é uma ferramenta útil, pois por meio dele é possível identificar válvula e componentes, desnível, mudança de direção e demais trajetos da tubulação e, dessa forma, visualizar os equipamentos e outras características por onde as tubulações passam. (LOPES, 2012).

A ASTM especifica uma grande quantidade de variedades de materiais para tubos, sendo mais de 500 tipos diferentes. Nesta especificação, os tubos possuem características metálicas, que se enquadram os ferrosos e não ferrosos e de característica não metálicas, que são materiais plásticos, cimento-amianto, vidro, ente outros. Deve ser levado em consideração diversos fatores ao escolher o tipo de material para a tubulação. (TELLES, 2001).

A característica do material utilizado nas tubulações em estudo é o de aço carbono, uma tubulação de material metálico e ferroso e seu custo é baixo, possui excelente qualidade mecânica e é fácil de soldar e conformar.

2.2.1 Tubos de aço carbono

Os tubos de aço carbono representam 90% dos tubos nas indústrias. Apresentam menor relação custo/resistência e é fácil de ser encontrado no comércio. Por apresentar baixa resistência à corrosão, sua utilização é indicada quando utilizado com revestimento ou com sobreespessura. (TELLES, 2001).

O tubo de aço carbono pode ser encontrado sem tratamento, sendo chamado de tubo preto ou protegidos com revestimentos de zinco depositado a quente, sendo chamado de tubo galvanizado. Para determinação de seus diâmetros comerciais há a norma ANSI. B.36.10, que é aplicável para tubos de aço carbono e de aço liga. Esta caracterização pode ser feita com um número chamado de diâmetro nominal ou bitola nominal.

2.2.2 Velocidade econômica de escoamento

Ao realizar o dimensionamento de uma linha de distribuição de vapor o diâmetro escolhido deverá estar de acordo com a velocidade econômica de escoamento do fluido, pois se o diâmetro da tubulação estiver menor que o ideal para determinada velocidade de escoamento, a velocidade de vapor irá aumentar e, conseqüentemente, a perda de carga será maior. Se dimensionado um diâmetro maior que o necessário, não haverá perda de carga, porém haverá um custo maior com a instalação da tubulação e, muitas vezes, não sendo viável financeiramente para a empresa.

A velocidade econômica de escoamento além de ter grande influência na perda de carga em uma tubulação, ela também influencia na troca de calor do fluido com o meio

ambiente. Quanto maior a velocidade de escoamento do fluido menor será a troca de calor do fluido com o ambiente, porém maior será a perda de carga e a vibração ao longo da tubulação.

O cálculo para determinação do diâmetro econômico é feito pela seguinte equação:

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{m_s \cdot V}{3600v}}$$

Onde:

d = diâmetro econômico (m)

$m_s = Q$ = vazão mássica do fluido (kg/h)

V = volume específico (m³/kg)

v = velocidade econômica de escoamento (m/s)

2.3 ISOLAMENTOS TÉRMICOS

Os isolamentos térmicos têm como objetivo minimizar a troca de calor do fluido que está dentro da tubulação para o meio externo ou vice-versa. Nas indústrias se faz necessário o uso dos isolamentos por motivo econômico, pois as perdas de calor nas tubulações causam um consumo maior de energia e conseqüentemente causando o consumo desnecessário para o aquecimento ou refrigeração do fluido na tubulação. Além de razões econômicas, o isolamento também é indispensável para que o fluido da tubulação possa chegar a sua origem com a temperatura desejada para operação. A proteção pessoal é outro motivo importante que também pode-se mencionar, pois com o isolamento térmico das tubulações se evita o risco de queimadura em alguém que se encoste nas tubulações. (TELLES, 2001).

Ao realizar a escolha de um isolante térmico além das propriedades dos materiais, deve ser levado em consideração as particularidades pertinentes ao seu uso fazendo-se necessário observar os fatores que podem influenciar o desempenho térmico do isolante, como por exemplo, temperatura de operação, umidade e esforços mecânicos. (FONSECA, 1999).

Sua escolha é uma das partes mais importantes do projeto e deve ser levado em consideração a temperatura que o fluido escoar na tubulação para conseqüentemente avaliar a temperatura de utilização do isolante. Fonseca (1999, p.39) explica que: "...os isolantes térmicos são classificados em granulados, flexíveis, semirrígidos e rígidos. ”

Os isolantes térmicos convencionais do tipo não condutor recebem esse nome porque em sua estrutura armazena-se grande quantidade de ar, que, praticamente, não transmite calor por convecção. Tal situação se, de um lado, fornece isolante eficiente

e adequado às condições usuais, de outro, apresenta um limite mínimo intransponível para a eficiência desses materiais, ou seja, a condutibilidade do ar, 0,02 Kcal/h.m.°C. Os melhores isolantes desse tipo têm condutibilidade próxima de 0,03 Kcal/h. m. °C.. (NOGUEIRA, 2005, p. 123).

Para Yang (*et al.*, 2018, p.4 – nossa tradução) “a espessura do isolamento não é tratada como um parâmetro a ser otimizado. Para uma tubulação o isolamento é distribuído uniformemente ao longo dela, e sua espessura é projetada para atender aos requisitos térmicos”.

Há vários tipos de isolantes térmicos em forma de materiais sólidos, o tipo utilizado atualmente pela empresa em estudo é o de lã de vidro, porém como está danificado será avaliado a possibilidade de trocá-lo pelo isolante de lã de rocha.

2.4 O QUE É TRANSFERÊNCIA DE CALOR? UM BREVE CONCEITO

De acordo com Incropera (2005, p. 2), “Transferência de calor (ou calor) é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperaturas no espaço”, ou seja, sempre que houver diferença de temperatura entre um meio ou um meio e uma vizinhança haverá uma transferência de calor, sendo necessário estes tipos de transferência de calor para a empresa em estudo, pois os equipamentos necessitam do processo de aquecimento para sua operação.

Quando existe um gradiente de temperatura em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, usamos o termo condução para nos referirmos à transferência de calor que ocorrerá através do meio. Em contraste, o termo convecção se refere à transferência de calor que ocorrerá entre uma superfície e um fluido em movimento quando eles estiverem a diferentes temperaturas. O terceiro modo de transferência de calor é o chamado de radiação térmica. Todas as superfícies com temperatura não nulas emitem energia na forma de ondas eletromagnéticas. Desta forma, na ausência de um meio interposto participante, há transferência de calor líquida, por radiação, entre duas superfícies a diferentes temperaturas. (INCROPERA, 2005, p. 2).

Para o desenvolvimento do presente estudo, foi necessário realizar cálculos envolvendo troca de calor por condução e convecção para determinar a espessura do isolante mais adequado, afim de reduzir a perda de energia do fluido nas tubulações.

2.4.1 Condução

A transferência de calor por condução ocorre quando uma determinada energia é transferida de um meio com alta temperatura para outro meio com a temperatura mais baixa,

este meio pode ser sólido, líquido ou gasoso, podendo ocorrer também entre meios diferentes em contato direto. Esta transferência pode ser notada quando a mudança de partículas mais energéticas se transferem para as partículas menos energéticas, devido a sua interação.

De acordo com Incropera (2005, p. 3), “ É possível quantificar processos de transferência de calor em termos de equações de taxa apropriadas. Essas equações podem ser usadas para calcular a quantidade de energia sendo transferida por unidade de tempo.” A equação que Incropera cita ela é reconhecida como lei de Fourier, que é utilizada para parede plana unidimensional, com distribuição de temperaturas $T(x)$:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$$

Onde:

q_x'' = taxa de transferência de calor na direção x por unidade de área perpendicular à direção de transferência (W/m^2)

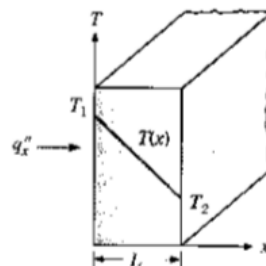
dT/dx = gradiente de temperatura

k = condutividade térmica (W/mK)

Ainda segundo Incropera (2005, p. 3), “...o gradiente de temperatura pode ser representado de acordo com a equação abaixo quando a distribuição de temperatura for linear:”

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L}$$

Figura 3 – Transferência de calor unidimensional por condução (difusão de energia).



Fonte: Incropera, 2005.

2.4.2 Convecção

Na transferência de calor por convecção, a energia é transposta através do contato quente com o contato frio de um fluido, combinando a condução de calor, o armazenamento

de energia e o movimento das duas interações. Há duas maneiras dessa interação acontecer, as quais são chamadas de convecção forçada e convecção natural.

Na convecção forçada o movimento da interação do fluido é induzido por um agente externo, como por exemplo, um ventilador. Enquanto na convecção natural, como o próprio nome já diz, o movimento da interação do fluido acontece de forma natural, um exemplo que se pode mencionar é o aquecimento da água em uma panela, onde é fácil de observar o movimento o fluido.

Incropera (2005, p.6) explica que, “Independente da natureza específica do processo de transferência de calor por convecção, a equação apropriada para a taxa de transferência possui a forma:”

$$q'' = h(T_s - T_\infty)$$

Onde:

q'' = fluxo de calor (W/m²)

T_s = temperatura da superfície (K)

T_∞ = temperatura do fluido (K)

h = coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m²K)

2.5 FORMAÇÃO DE CONDENSADO

A perda de calor, que pode ser perda por convecção ou por radiação, de uma tubulação de vapor para o meio ambiente faz com haja a formação de condensado na tubulação e este condensado necessita ser drenado da tubulação de vapor através dos purgadores de vapor. (SERRA, 2006).

Segundo Telles (2001), deve ser feito a remoção do condensado do ar e outros gases da linha de vapor pelos seguintes motivos:

- a) Conservar a energia de vapor;
- b) Evitar vibrações e golpes de aríete nas tubulações que ocorrem por causa do condensado formado, quando é empurrado pelo vapor que está em alta velocidade;
- c) Evitar a erosão rápida das palhetes das turbinas;
- d) Diminuir os efeitos da corrosão;
- e) Evitar a redução da seção transversal útil de escoamento do vapor causado pelo acúmulo do condensado;
- f) Evitar o resfriamento do vapor causado pela mistura com o ar e outros gases.

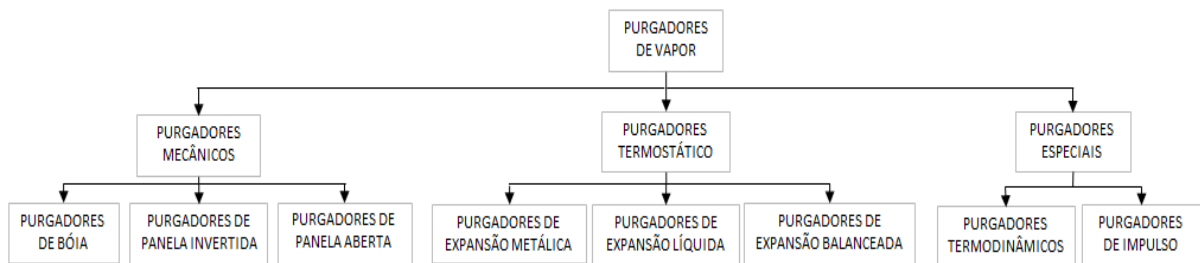
Usar como alimentação da caldeira a água do condensado reduz o excessivo consumo de água para a geração de energia e tratamento da água, conseqüentemente reduzindo o custo do combustível da caldeira.

2.6 PURGADORES DE VAPOR

Os purgadores de vapor são usados para separar e eliminar o condensado formado nas tubulações de vapor e em aparelhos de aquecimento, sem que o vapor escape. Possui também como função a eliminação do ar e outros gases incondensáveis, como por exemplo, o CO₂, que possam estar presentes nas tubulações. Existem três categorias gerais que os purgadores de vapor podem ser classificados: os mecânicos, que agem por diferença entre densidades; os termostáticos, que agem por diferença de temperaturas e os purgadores especiais. (TELLES, 2001).

Na figura 4 é possível verificar as 3 classes de purgadores de vapor:

Figura 4 – Tipos de purgadores de vapor.



Fonte: da autora, 2019.

Os purgadores mecânicos têm como finalidade separar a água do vapor agindo por diferença de densidade entre os dois fluídos, enquanto os purgadores termostáticos separam a água do vapor por diferença de pressão. Após a escolha do purgador ideal, se faz necessário determinar as suas medidas, assim como o do orifício que o condensado irá passar. (SILVA, 1978).

A seleção do purgador de vapor adequado para um determinado serviço é feita em duas etapas: primeiro a seleção do tipo geral e em seguida a determinação do modelo do purgador, que é principalmente relacionado com a sua capacidade de eliminação de condensado. (TELLES, 2001, p.84).

Uma linha de vapor somente será mais eficiente, quando o vapor que a tubulação transporta esteja bem seco, pois quanto mais película de água tiver no vapor transportado pela tubulação, maior será a transferência de calor com o ambiente e conseqüentemente o rendimento do vapor caindo. Mesmo sendo identificado o purgador ideal para a remoção do condensado e bem instalado, ele não irá remover as películas de água que o vapor possa ter, mesmo sendo muito pequena. (BRASIL, 2005).

É essencial que se tenha inspeção preventiva dos purgadores, pois por conta do seu uso com o passar do tempo pode ocorrer problemas na sua funcionalidade, ocorrida por conta de tais motivos como: desgaste, sujeira, golpe de aríete, uma instalação errada e até mesmo por conta do mal dimensionamento dos mesmos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CONSTRUÇÃO TEÓRICA DA PESQUISA

Para resposta ao problema determinado, o método de abordagem adequado foi o quantitativo. Isso porque para a avaliação do dimensionamento adequado das tubulações utilizadas na rede de distribuição de vapor e da espessura do isolante térmico, na busca da eficiência energética, a abordagem conceitual e a matemática é a mais adequada.

O método de procedimento foi experimental, por meio de estudo em campo. Diferentemente dos experimentos de campo, os experimentos de laboratório, os pesquisadores isolam o objeto de estudo em uma situação física delimitada, manipulam e mensuram variáveis sob condições cuidadosamente especificadas e controladas. (KERLINGER, 2003).

Quanto ao nível, o estudo caracterizou-se como explicativo. Nesses casos, são determinadas variáveis que, neste caso, foram manipuladas.

Gil (1999, p. 44), afirma que: “As pesquisas deste tipo têm como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômenos ou o estabelecimento de relações entre variáveis.”

A partir da definição das variáveis do estudo, foram elaboradas as hipóteses que, no processo, foram validadas ou refutadas. A investigação levou às seguintes variáveis e hipóteses parciais:

Nesses casos, são determinadas variáveis que foram manipuladas

H1: O correto dimensionamento da linha de distribuição de vapor com o diâmetro da tubulação adequado para a vazão de vapor atual do processo, resultará em menor troca de calor ao longo da tubulação.

Varável independente: Tubulações.

Variável dependente: Diminuição da perda de calor.

H2: Com o isolamento adequado para a tubulação de vapor, a troca de calor ao longo da tubulação será menor.

Varável independente: Isolamento

Variável dependente: Redução da troca de calor.

H3: Através do purgador mecânico tipo boia, o retorno do condensado será eficiente.

Varável independente: Purgador ideal.

Variável dependente: Retorno do condensado mais eficaz.

3.1.1 Instrumentos de coleta de dados

A coleta de dados ocorreu por meio de anotação das relações entre as variáveis, tais como temperatura do vapor, temperaturas externas da tubulação e do isolante, diâmetros das tubulações utilizadas atualmente, vazão mássica de vapor, por hora, em cada equipamento e as condutividades térmicas dos isolantes, em tabela do tipo Excel. Além disso, artigos científicos e bibliografia também foram utilizados na coleta. Outro instrumento relevante e que permitiu a descrição de dados não coletados em outros instrumentos, foi a observação direta da técnica que analisou os dados à luz da teoria e o comportamento físico do sistema investigado.

3.2 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

3.2.1 Cálculo do diâmetro das tubulações

Para dar início aos cálculos do diâmetro das tubulações, primeiramente fez-se necessário medir o diâmetro das tubulações utilizadas.

Estas tubulações atualmente estão isoladas, porém como os isolantes térmicos são antigos, há partes nas tubulações em que os isolantes estão danificados, sendo possível medir os diâmetros externos dessas tubulações.

Com um paquímetro mediu-se os diâmetros externos, na linha geral a tubulação possui 4” e nas linhas secundárias 1^{1/2}”, tubulações que transportam o vapor d’água até os equipamentos.

Fez-se necessário conhecer o volume específico do vapor saturado que, para o caso em estudo, foi obtido através da tabela de propriedade do vapor disponibilizado pelo fornecedor Empresa Bermo, que consta no anexo A do relatório. A tabela indica o volume específico para cada pressão de vapor.

O vapor é transportado da caldeira para os equipamentos através da linha de vapor com a pressão de 10 kgf/cm², sendo o volume específico, para esta condição, de 0,1943 m³/kg.

Foi necessário conhecer a vazão mássica que cada equipamento consome, informação esta disponibilizada pela empresa.

Tabela 1 – Dados das tubulações em uso.

	Linha geral	Linhas secundárias – concentradores à vácuo	Linhas secundárias - tachos cozinhadores	
Dados	DN 4 in	DN 1^{1/4} in	DN 1^{1/4} in	Unidade
Diâmetro interno - Di	0,09586	0,03454	0,03708	m
Diâmetro interno - Di	3,8	1,4	1,5	in
Volume específico - V	0,1943	0,1943	0,1943	m ³ /kg
Vazão mássica de vapor - Q	2240	380	180	kg/h

Fonte: da autora, 2019.

Com os dados acima foi possível calcular a velocidade do vapor nas tubulações com os diâmetros utilizados atualmente.

- Linha geral:

$$v = \frac{4.Q.V}{Di^2 \cdot \pi \cdot 3600} = 17 \text{ m/s}$$

- Linhas secundárias:

$$v = \frac{4.Q.V}{Di^2 \cdot \pi \cdot 3600} = 22 \text{ m/s para o concentrador a vácuo}$$

$$v = \frac{4.Q.V}{Di^2 \cdot \pi \cdot 3600} = 10 \text{ m/s para o tacho cozinhador}$$

De acordo com Telles (2001), a velocidade econômica em uma tubulação de vapor deve ficar entre 20 à 30 m/s nas linhas gerais e de, no máximo, 15 m/s nas linhas secundárias. Os cálculos demonstraram que a velocidade do vapor na linha geral está abaixo da velocidade econômica para este tipo de linha. Nas linhas secundárias, as velocidades do vapor nos concentradores a vácuo estão acima da velocidade econômica, somente atendendo o recomendado, a velocidade nas tubulações dos tachos cozinhadores.

Como os diâmetros não estão atendendo as velocidades econômicas indicadas pela literatura, fez-se necessário calcular o diâmetro econômico das novas tubulações.

Como já explicado anteriormente, a empresa visa a colocação de mais dois equipamentos no setor, sendo assim calculou-se qual o diâmetro ideal para esta condição, prevendo uma vazão maior de vapor na linha de distribuição.

Tabela 2 – Dados para o cálculo do diâmetro econômico.

Dados	Linha geral	Linhas secundárias – concentradores à vácuo	Linhas secundárias - tachos cozinhadores	Unidade
Velocidade econômica - v	25	15	15	m/s
Volume específico - V	0,1943	0,1943	0,1943	m ³ /kg
Vazão mássica atual de vapor - Q	2240	380	180	kg/h
Vazão mássica futura de vapor - Q	3000	380	180	kg/h

Fonte: da autora, 2019.

Para o cálculo dos diâmetros optou-se pela escolha da velocidade econômica de 25 m/s na linha geral e de 15 m/s nas linhas secundárias:

- Linha geral:

$$Di = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot V}{\pi \cdot 3600 \cdot v}} = 3,1 \text{ in com a vazão de vapor atual}$$

$$Di = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot V}{\pi \cdot 3600 \cdot v}} = 3,6 \text{ in com a vazão de vapor futura}$$

- Linhas secundárias:

$$Di = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot V}{\pi \cdot 3600 \cdot v}} = 1,6 \text{ in para o concentrador à vácuo}$$

$$Di = \sqrt{\frac{4 \cdot Q \cdot V}{\pi \cdot 3600 \cdot v}} = 1,1 \text{ in para o tacho cozinhador}$$

Os resultados mostraram que para a vazão mássica atual de 2240 kg/h, o diâmetro econômico da tubulação, na linha geral, deverá ser menor do que o atual, ou seja, DN 4" Sch40, para reduzir a perda de carga. Porém, com a inclusão dos novos equipamentos não haveria necessidade de reduzir o tamanho delas, já que a vazão de vapor será maior.

Já os resultados dos diâmetros econômicos nas linhas secundárias, mostraram que o diâmetro nominal da tubulação, na linha secundária, deverá ser de DN 1^{1/2}" Sch40 para reduzir a perda de carga ao longo da tubulação.

3.2.2 Cálculo da espessura do isolamento das tubulações

Além dos diâmetros bem dimensionados, uma tubulação adequadamente isolada reduz a troca de calor entre o fluido interno e o ambiente, ocasionado pelo gradiente de temperatura entre os meios, conseqüentemente reduzindo o consumo de energia elétrica na empresa.

As tubulações em estudo atualmente estão isoladas com isolante térmico que utiliza lã de vidro, porém com o passar dos anos este isolante foi sendo danificado e a falta de manutenção preventiva prejudicou sua eficiência.

Figura 5 – Situação atual do isolante tipo lã de vidro.



Fonte: da autora, 2019.

Para diminuir a perda de calor foi necessário realizar um novo dimensionamento do isolante.

Os cálculos foram feitos por meio do método de comparação em que foi comparado a perda de calor nas condições atuais do isolante, adotado como termo q_1 , e a perda de calor com o novo isolante térmico, adotado como termo q_2 .

O novo isolante térmico escolhido para o cálculo foi o de lã de rocha, por ser um isolante de baixo custo, instalação fácil, não favorece a proliferação de fungos ou bactérias, além de não ser tão rígido quanto à lã de vidro.

Primeiramente, foi medida a temperatura externa da lã de vidro com um termômetro infravermelho. Em seguida, foi identificada qual a temperatura que o vapor d'água está sendo transportado pelas tubulações. Esta informação foi possível consultar na tabela de propriedades do vapor, que consta no anexo A onde, cada pressão de vapor está relacionada com a sua temperatura.

Os dados da condutividade térmica dos materiais foram retirados da literatura.

Tabela 3 – Dados para o cálculo da troca de calor.

Dados	DN 4 in	DN 1 ^{1/4} in	DN 1 ^{1/2} in	Unidade
Comprimento da tubulação* - L	1	1	1	m
Temperatura do vapor - T1	452,88	452,88	452,88	K
Temperatura externa do isolante (lã de vidro) - T4	313	313		K
Temperatura externa do isolante (lã de rocha) - T4'	303		303	K
Raio interno da tubulação - r ₁	0,04793	0,01727		m
Raio interno da tubulação - r ₁ '	0,04793		0,02045	m
Raio externo da tubulação - r ₂	0,05367	0,02083		m
Raio externo da tubulação - r ₂ '	0,05367		0,02413	m
Raio externo do isolante lã de vidro - r ₃	0,08867	0,04083		m
Condutividade térmica aço	50	50	50	W/m.K
Condutividade térmica lã de vidro	0,047	0,047		W/m.K
Condutividade térmica lã de rocha	0,039		0,039	W/m.K

* Considerando cálculo apenas para 1 m de tubulação

Fonte: da autora, 2019.

Supondo que $q_1 = q_2$, teremos as seguintes equações:

$$q_1 = \frac{T_1 - T_4}{\frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_{aço} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi \cdot k_{al} \cdot L} + \frac{1}{h_e \cdot A}}$$

$$q_2 = \frac{T_1 - T_4'}{\frac{1}{h_i \cdot A} + \frac{\ln\left(\frac{r_2'}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_{aço} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3'}{r_2'}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4'}{r_3'}\right)}{2\pi \cdot k_{al} \cdot L} + \frac{1}{h_e \cdot A}}$$

Para o cálculo da perda de calor na linha geral as variáveis do aço e da chapa de alumínio puderam ser eliminadas, assim como os coeficientes de películas, pois nos dois casos os dados seriam similares.

- Linha geral

$$q_1 = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L}} = 82,23 \text{ W/m} \times 1,3 \rightarrow q_1 = 106,90 \text{ W/m}$$

Já para o cálculo da perda de calor nas linhas secundárias, foi necessário considerar os dados do aço, pois como foi mostrado no cálculo anterior em que se encontrou o diâmetro econômico dessa linha, foi necessário aumentar o diâmetro das tubulações.

$$q_1 = \frac{T_1 - T_4}{\cancel{\frac{1}{h_i A}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_{aço} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{2\pi \cdot k_{al} \cdot L} + \cancel{\frac{1}{h_e A}}}$$

$$q_2 = \frac{T_1 - T_4'}{\cancel{\frac{1}{h_i A}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2'}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_{aço} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3'}{r_2'}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_4'}{r_3'}\right)}{2\pi \cdot k_{al} \cdot L} + \cancel{\frac{1}{h_e A}}}$$

Sendo assim:

- Linhas secundárias

$$q_1 = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_{aço} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L}} = 61,33 \text{ W/m} \times 1,3 \rightarrow q_1 = 79,81 \text{ W/m}$$

Como o isolante atual está com sua eficiência prejudicada, foi necessário considerar 30% a mais de perda de calor em cada cálculo, sendo este um valor estimado pelo técnico responsável da empresa.

Na próxima etapa, substituiu-se o valor encontrado de q_1 na equação, por comparação, para encontrar a espessura do isolante tipo lã de rocha, levando em consideração que a temperatura externa do isolante deverá ser de 303 K.

- Linha geral:

$$q_1 = \frac{T_1 - T_4'}{\frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L}} \rightarrow r_3 = 0,0757 \text{ m}$$

$$e = r_2 - r_3 = 0,02 \text{ m ou } 2,2 \text{ cm}$$

- Linhas secundárias:

$$q_1 = \frac{T_1 - T_4'}{\frac{\ln\left(\frac{r_2'}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k_{aço} \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_3'}{r_2'}\right)}{2\pi \cdot k_{iso} \cdot L}} \rightarrow r_3' = 0,0382 \text{ m}$$

$$e = r_2' - r_3' = 0,01 \text{ m ou } 1,4 \text{ cm}$$

Após conhecer a espessura do novo isolante, substituiu-se o r_3' . Encontrou-se o valor da perda de calor do novo isolante (q_2) e avaliou se o percentual de redução na perda de calor.

$$\text{Linha geral:}$$

$$q_2 = \frac{T1-T4'}{\frac{\ln(\frac{r3'}{r2'})}{2\pi.kiso.L}} = 106,90 \text{ W/m}$$

$$\% \text{ redução} = \frac{q1-q2}{q1} \times 100 = 0\%$$

$$\text{Linhas secundárias:}$$

$$q_2 = \frac{T1-T4'}{\frac{\ln(\frac{r2'}{r1'})}{2\pi.kaço.L} + \frac{\ln(\frac{r3'}{r2'})}{2\pi.kiso.L}} = 79,81 \text{ W/m}$$

$$\% \text{ redução} = \frac{q1-q2}{q1} \times 100 = 0\%$$

Pelo método de comparação, não foi possível obter uma redução da perda de calor comparando com o isolante atual, pois as condutividades térmicas dos dois isolantes são bem próximas.

Sendo assim, realizou-se um novo cálculo, propondo uma espessura maior do isolante de lã de rocha a fim de avaliar novamente o percentual de redução na perda de calor.

Adotou-se a espessura de 4 cm para ambas linhas de transferência de vapor.

$$\text{Linha geral:}$$

$$q_2 = \frac{T1-T4'}{\frac{\ln(\frac{r3'}{r2'})}{2\pi.kiso.L}} = 65,91 \text{ W/m}$$

$$\% \text{ redução} = \frac{q1-q2}{q1} \times 100 = 38\%$$

$$\text{Linhas secundárias:}$$

$$q_2 = \frac{T1-T4'}{\frac{\ln(\frac{r2'}{r1'})}{2\pi.kaço.L} + \frac{\ln(\frac{r3'}{r2'})}{2\pi.kiso.L}} = 37,55 \text{ W/m}$$

$$\% \text{ redução} = \frac{q1-q2}{q1} \times 100 = 53\%$$

Com a espessura de 4 cm foi possível reduzir a perda de calor ao longo da tubulação, chegando a mais de 50% nas linhas secundárias. Considerando uma média entre os dois percentuais de redução, pode-se considerar uma redução de 45% na perda de calor.

3.2.2.1 Retorno financeiro

Após a realização dos cálculos da perda de calor do processo com o novo dimensionamento da linha de distribuição de vapor e novo isolante, calculou-se o valor financeiro desta redução.

Tabela 4 – Dados para o cálculo da redução de custo do setor.

Dados do setor em estudo		
Descrição	Quantidade	Unidade
Comprimento total das tubulações	17.915,25	m
Dias trabalhados no mês	20	dias
Horas trabalhadas no mês	320	Horas/mês
Consumo de cavaco de madeira		
Descrição	Quantidade	Unidade

Custo do cavaco	21,77	R\$/m ³
Volume de cavaco	2,5679	m ³ /h
Perda de calor com isolante atual	2.875.993,44	Kcal/h
Perda de calor com novo isolante	1.593.649,41	Kcal/h

Fonte: da autora, 2019.

Dados como o custo e o volume de cavaco de madeira foram disponibilizados pela empresa para que fosse possível a realização deste cálculo.

Multiplicou-se a quantidade em volume de cavaco pelo custo do cavaco e horas trabalhadas no mês para poder encontrar o desperdício mensal do vapor de acordo com as perdas de calor encontradas na etapa anterior.

Com a condição de mal isolamento atual da linha de distribuição de vapor, a empresa está perdendo R\$ 17.888,68 ao mês em vapor. Com as mudanças sugeridas por meio do presente trabalho, a empresa terá uma redução prevista de R\$ 7.976,18 ao mês.

3.2.3 Escolha do purgador de vapor para retorno do condensado

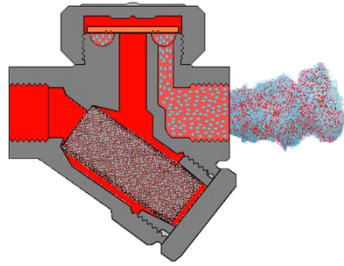
Sabendo que uma linha de vapor somente será eficiente se o vapor responsável pelo aquecimento dos equipamentos estiver bem seco, fez-se necessário avaliar os purgadores instalados atualmente nos equipamentos.

O purgador instalado é o termodinâmico. Ao observá-lo notou-se que está havendo uma eliminação de vapor contínua, ou seja, não está havendo a conservação do vapor necessário para retornar ao processo.

Atualmente estes purgadores não possuem um plano de inspeção preventiva para avaliar se está havendo um bom funcionamento dos mesmos. Como sua instalação é antiga, na época, provavelmente, não foi avaliado se este tipo de purgador é o ideal para o uso.

Tendo em vista a necessidade de mudança do purgador, primeiramente consultou-se a literatura para entender o funcionamento dos purgadores. O purgador termodinâmico é um tipo de purgador que trabalha por diferença de temperatura, ou seja, quando há uma diferença de temperatura ocorrida entre o vapor e o condensado, ele é acionado e como não possui o selo hermético o vapor é eliminado juntamente com o condensado. Sendo assim, não é possível manter o vapor para retornar ao processo.

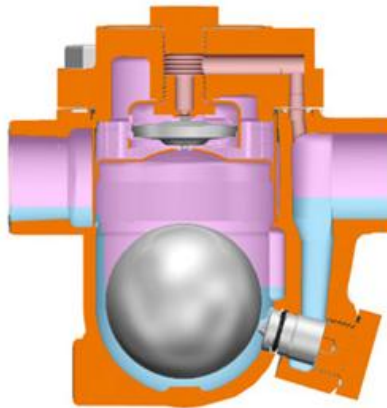
Figura 6 – Purgador termodinâmico em funcionamento.



Fonte: Empresa Bermo, 2019.

A literatura traz várias opções de purgadores, optou-se pela escolha de purgadores mecânicos, especificamente o de boia, que é um tipo de purgador que possui uma boia e de acordo com a quantidade de condensado depositado nele, seu orifício abre e fecha, permitindo apenas a eliminação do condensado e conservando o vapor. Este tipo de purgador de vapor funciona corretamente mesmo nas maiores variações de temperaturas.

Figura 7 – Purgador mecânico tipo boia.



Fonte: <https://www.tlv.com>, 2019.

Vale ressaltar que para o bom funcionamento dos purgadores e a constante eficiência dos equipamentos será necessário que seja feita a inspeção frequente dos mesmos, a fim de garantir que não haja falha na coleta do condensado.

4 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho pode-se concluir que, com o diâmetro das tubulações utilizados atualmente, apenas a linha geral do vapor tem seu diâmetro adequado para a demanda do setor. Já, nas linhas secundárias, será necessário aumentar o diâmetro das tubulações, pois o diâmetro atual não está atendendo a velocidade econômica especificada na literatura, ou seja, está havendo maior perda de carga ao longo das tubulações.

Ao calcular a perda de energia das tubulações, pode-se observar que há oportunidade de melhoria na redução do consumo de energia elétrica proveniente da redução da perda de calor das tubulações do setor, se o isolante atual for substituído por um novo isolante com a mesma espessura. Com o aumento da espessura do novo isolante para 4 cm, a redução de perda de calor poderá chegar a 45%.

Uma linha de distribuição de vapor bem dimensionada e isolada é o que vai definir a eficiência dos equipamentos, pois se ao longo do comprimento da tubulação estiver ocorrendo perda de calor, a caldeira terá que produzir mais vapor para atender a demanda do equipamento e conseqüentemente levando mais tempo de processo. Vale ressaltar também que a temperatura do ambiente de trabalho se torna mais agradável e o risco de queimadura dos operadores será reduzido.

Ao realizar os cálculos de retorno do investimento, considerando o custo/desperdício atual do vapor, a empresa terá uma economia de R\$7.976,18 mensal com o dimensionamento e nova espessura do isolante escolhido.

Como a pesquisa tinha foco na eficiência da linha de distribuição de vapor avaliou-se a viabilidade técnica na troca do purgador de vapor, onde notou-se que o atual não está sendo eficiente para eliminação do condensado. Após pesquisas através da literatura, pode-se chegar à conclusão que o purgador ideal para o caso em estudo será o mecânico, mais especificamente o purgador de boia, sendo mais eficiente na eliminação do condensado da linha e conservando a qualidade do vapor que retornará ao processo.

Após a substituição do purgador de vapor, a empresa poderá criar junto ao setor de manutenção um plano de inspeção dos purgadores, garantindo que, se durante a inspeção for identificado algum problema com os purgadores, a ação de correção seja imediata para evitar a improdutividade dos equipamentos.

Como sugestão para continuidade desse trabalho, sugere-se realizar o levantamento da viabilidade econômica com a implantação das modificações sugeridas e o seu payback, pois não houve tempo suficiente para o desenvolvimento dessa etapa do trabalho.

REFERÊNCIAS

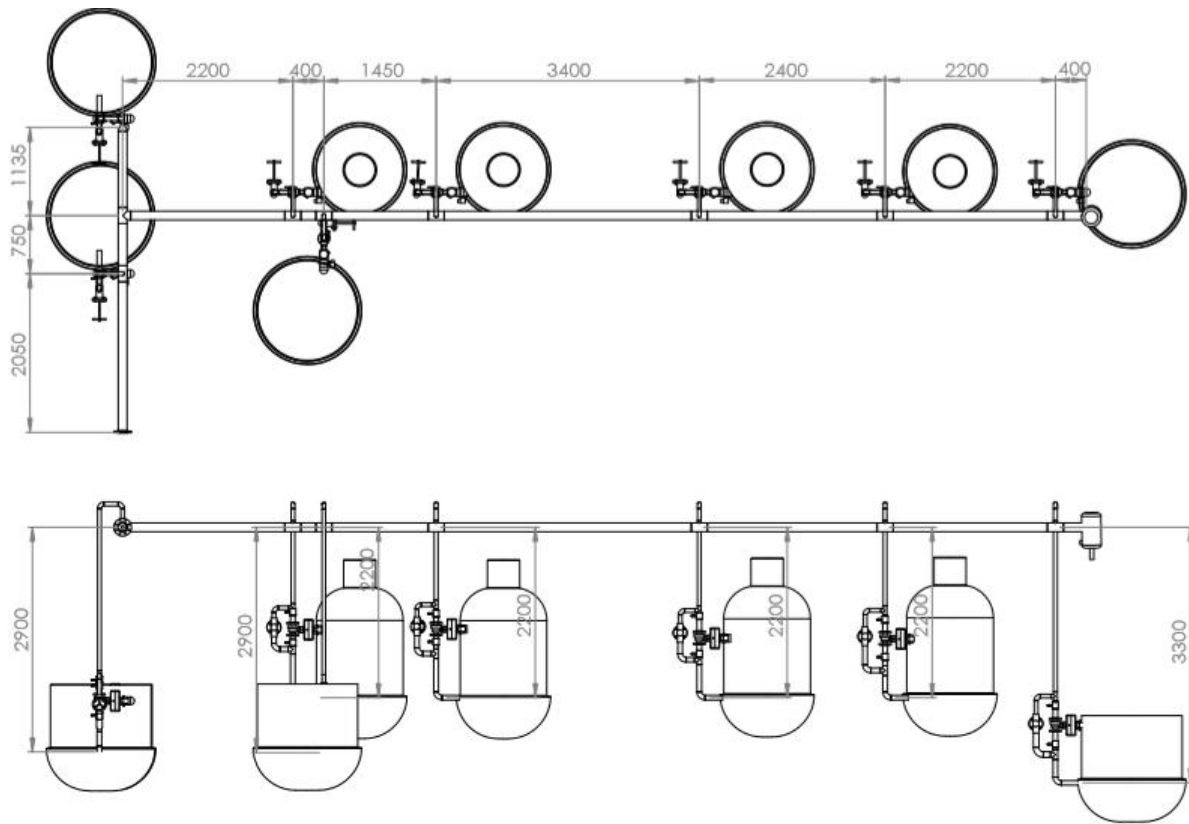
- BRASIL. Centrais elétricas brasileiras – ELETROBRÁS. Programa de conservação de energia elétrica – PROCEL. Eficiência energética no uso de vapor. Disponível em: <https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/uploads/arquivos/LivroVapor.pdf>. Acesso em 23 de mai. de 2019.
- CALDEIRA INDUSTRIAIS. Disponível em: https://pt.slideshare.net/Love_Pharmacy/caldeiras-industriais-11837358. Acesso em: 10 mai de 2019.
- COSTA, Wanderley da. **Estudo do condicionamento magnético da água para fins industriais**. 2006. 104f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2006.
- FONSECA, Margarete Regina Gonçalves. **Isolantes térmicos fabricados a partir de cinza de casca de arroz: Obtenção, caracterização de propriedades e sua relação com a microestrutura**. 1999. 140f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.
- GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999, 206 p.
- INCROPERA, Frank P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- LOPES, Camila Cristina de Freitas. **Estudo da degradação energética em tubulações industriais**. 2012. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- KERLINGER, Fred Nichols. **Metodologia da pesquisa em ciências sociais: um tratamento conceitual**. 9. ed. Tradução: Helena Mendes Rotundo. São Paulo: EPU, 2003. 378 p.
- SERRA, Osmar Carvalho. **Identificação de oportunidades para redução das perdas de água e energia em um sistema de geração de distribuição de vapor**. 2006. 202f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.
- SILVA, Remi Benedito. **Tubulações**. 2. ed. São Paulo, 1978.
- Tabela para Vapor d'água em Estado de Saturação. Disponível em: http://www.bermo.com.br/wp-content/uploads/2016/06/Tabelas_para_Vapor_Bermo.pdf?x88542. Acesso: 01 de jun 2019.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações industriais: materiais, projeto, montagem.** 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

TLV, Uma Empresa Especializada em Vapor. Disponível em: <https://www.tlv.com/global/BR/steam-theory/history-of-steam-traps-pt1.html>. Acesso: 08 de jun. 2019.

YANG, Jiankun. *et al.* **Thermal insulation of subsea pipelines for different materials.** 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030801611830098X?via%3Dihub#ec-research-data>. Acesso em: 03 de jun 2019.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Planta Baixa com o Comprimento das Tubulações

Fonte: da autora, 2019.

ANEXO

ANEXO A – Tabela para Vapor d'água em Estado de Saturação

Pressão Absoluta kgf/cm ²	Temperatura de vaporização C°	Volume específico do vapor saturado m ³ /kg	Peso do vapor saturado kg/m ³	Entalpia específica		Calor latente de evaporação kJ/kg
				do líquido saturado kJ/kg	do vapor saturado kJ/kg	
0,010	6,98	129,20	0,00774	29,34	2514,4	2485,0
0,015	13,04	87,98	0,01137	54,71	2525,5	2470,7
0,020	17,51	67,01	0,01492	73,46	2533,6	2460,2
0,025	21,10	54,26	0,01843	88,45	2540,2	2451,7
0,030	24,10	45,67	0,02190	101,00	2545,6	2444,6
0,035	26,69	39,48	0,02533	111,85	2550,4	2438,5
0,040	28,98	34,80	0,02873	121,41	2554,5	2433,1
0,045	31,04	31,14	0,03211	129,99	2558,2	2428,2
0,050	32,90	28,19	0,03547	137,77	2561,6	2423,8
0,055	34,61	25,77	0,03880	144,91	2564,7	2419,8
0,060	36,18	23,74	0,04212	151,50	2567,5	2416,0
0,065	37,65	22,02	0,04542	157,64	2570,2	2412,5
0,070	39,03	20,53	0,04871	163,38	2572,6	2409,2
0,075	40,32	19,24	0,05198	168,77	2574,9	2406,2
0,080	41,53	18,10	0,05523	173,86	2577,1	2403,2
0,085	42,69	17,10	0,05848	178,69	2579,2	2400,5
0,090	43,79	16,20	0,06171	183,28	2581,1	2397,9
0,095	44,83	15,40	0,06493	187,65	2583,0	2395,3
0,10	45,83	14,67	0,06814	191,83	2584,8	2392,9
0,15	54,00	10,02	0,09977	225,97	2599,2	2373,2
0,20	60,09	7,650	0,1307	251,45	2609,9	2358,4
0,25	64,99	6,204	0,1612	271,99	2618,3	2346,4
0,30	69,12	5,229	0,1912	289,30	2625,4	2336,1
0,40	75,89	3,993	0,2504	317,65	2636,9	2319,2
0,45	78,74	3,576	0,2796	329,64	2641,7	2312,0
0,50	81,35	3,240	0,3086	340,56	2646,0	2305,4
0,55	83,74	2,964	0,3374	350,61	2649,9	2299,3
0,60	85,95	2,732	0,3661	359,93	2653,6	2293,6
0,65	88,02	2,535	0,3945	368,62	2656,9	2288,3
0,70	89,96	2,365	0,4229	376,77	2660,1	2283,3
0,75	91,79	2,217	0,4511	384,45	2663,0	2278,6
0,80	93,51	2,087	0,4792	391,72	2665,8	2274,0
0,85	95,15	1,972	0,5071	398,63	2668,4	2269,8
0,90	96,71	1,869	0,5350	405,21	2670,9	2265,6
0,95	98,20	1,777	0,5627	411,49	2673,2	2261,7
1,00	99,63	1,694	0,5904	417,51	2675,4	2257,9
1,5	111,37	1,159	0,8628	467,13	2693,4	2226,2
2,0	120,23	0,8854	1,129	504,70	2706,3	2201,6
2,5	127,43	0,7184	1,392	535,34	2716,4	2181,0
3,0	133,54	0,6056	1,651	561,43	2724,7	2163,2
3,5	138,87	0,5240	1,908	584,27	2731,6	2147,4
4,0	143,62	0,4622	2,163	604,67	2737,6	2133,0
4,5	147,92	0,4138	2,417	623,16	2742,9	2119,7
5,0	151,84	0,3747	2,669	640,12	2747,5	2107,4
5,5	155,46	0,3426	2,920	655,78	2751,7	2095,9
6,0	158,84	0,3155	3,170	670,42	2755,5	2085,0
6,5	161,99	0,2925	3,419	684,12	2758,8	2074,0
7,0	164,96	0,2727	3,667	697,06	2762,0	2064,9
7,5	167,75	0,2554	3,915	709,29	2764,8	2055,5
8,0	170,41	0,2403	4,162	720,94	2767,5	2046,5
8,5	172,94	0,2268	4,409	732,02	2769,9	2037,9
9,0	175,36	0,2148	4,655	742,64	2772,1	2029,5
9,5	177,66	0,2040	4,901	752,81	2774,2	2021,4
10,0	179,88	0,1943	5,147	762,61	2776,2	2013,6

Fonte: Empresa Bermo, 2019.