

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

WASHINGTON ALVES RIBEIRO JUNIOR

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR

Uberlândia

2022

WASHINGTON ALVES RIBEIRO JUNIOR

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes

Uberlândia

2022

WASHINGTON ALVES RIBEIRO JUNIOR

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE VAPOR DE UMA LAVANDERIA HOSPITALAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica.

Uberlândia, 2022.

Banca Examinadora:

Prof. Arthur Heleno Pontes – Doutor (UFU)

Prof. João Rodrigo Andrade – Doutor (UFU)

Prof. Luis Manoel de Paiva Souza – Doutor (Fatec Mogi Mirim)

Agradeço a minha família, que fizeram parte
de toda essa jornada

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que fizeram parte dessa jornada e que de alguma forma contribuíram com minha formação.

Agradeço a toda minha família em especial a minha mãe Marli de Campos e avó Maura Maria de Campos que fizeram ser possível meu sonho de se tornar Engenheiro Mecânico.

Agradeço ao Prof. Dr. Arthur Heleno Pontes pela orientação no planejamento e execução deste respectivo trabalho.

“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos.”

Marcel Proust

RESUMO

Nos últimos anos as empresas das mais distintas áreas, procuram novos conhecimentos que possibilitem a criação de valor para seus clientes com perdas mínimas possíveis, seja com tempo, produtos defeituosos ou processos. Na área da Saúde, no setor de lavanderia hospitalar não é diferente. Por ser considerado um serviço de extrema importância e contribuir diretamente para o cuidado com a saúde de seus pacientes e usuários, esse setor é indispensável para o excelente funcionamento do hospital. Diante da importância desempenhada pelo setor de lavanderia do hospital, se torna indispensável avaliar o sistema e seus processos. O objetivo do presente estudo é analisar e dimensionar a rede de distribuição de vapor de modo a obter dados quantitativos das perdas e diâmetros econômicos. Bem como avaliar o sistema de geração e distribuição de vapor da lavanderia hospitalar.

Palavras-chave: Eficiência Energética; Dimensionamento; Lavanderia Hospitalar; Fontes de Vapor; Distribuição de Vapor.

ABSTRACT

In the last few years, companies from the most different areas have been looking for new knowledge that allows them to create value for their customers with minimal possible losses, whether with time, defective products or processes. In the health care, the hospital laundry sector is no different. Accordingly, as it is considered an extremely important service and contributes directly to the health care of its patients and users, this sector is indispensable for the effective hospital running. Due to this importance of the hospital's laundry sector, it is essential to evaluate its systems and processes. The goal of the present study is to analyze and dimension the steam distribution network in order to obtain quantitative data on losses and the economic diameters, as well to evaluate the steam generation and distribution system of the hospital laundry.

Keywords: Energy Efficiency; Sizing; Hospital Laundry; Steam Sources; Steam Distribution.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo de funcionamento de uma lavanderia hospitalar.....	22
Figura 2 – Caldeira utilizada na lavanderia em estudo.....	26
Figura 3 – Tipos de purgadores.	30
Figura 4 – Modelo de filtro provisório.	32
Figura 5 – Modelo de filtro permanente em Y.	32
Figura 6 – Dilatação em tubo reto e não reto.	36
Figura 7 – Planta baixa da lavanderia do hospital.....	42
Figura 8 – Modelo e ficha técnica da caldeira utilizada na lavanderia.....	43
Figura 9 – Modelo e ficha técnica da lavadora utilizada na lavanderia.	44
Figura 10 – Modelo e ficha técnica da secadora utilizada na lavanderia.	45
Figura 11 – Modelo e ficha técnica da calandra utilizada na lavanderia.....	46
Figura 12 – Orientação para determinação da perda de carga.	48
Figura 13 – Troca térmica nos tubos.	53
Figura 14 – Resistência elétrica e térmica.	57
Figura 15 – Cálculo do Coeficiente de Atrito, Diagrama de Moody..	64
Figura 16 – Comportamento da temperatura de superfície em função do isolamento.....	69
Figura 17 – Curva de Capacidade do Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif. Termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciadas.....	71
Figura 18 – Curva de Capacidade do Purgador Termodinâmico de Fluxo Simples.	72
Figura 19 – Curva de Capacidade dos Purgadores de Boia para Vapor (FT-10-1.1/2" e2")... ..	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais características dos purgadores a vapor de acordo com seu modelo.	31
Quadro 2 - Velocidades Econômicas.....	47
Quadro 3 - Rugosidade Absoluta.....	49
Quadro 4 – Parâmetros numéricos.....	54
Quadro 5 – Divisão das Redes de Distribuição.....	60
Quadro 6 – Prontuário Caldeira.....	61
Quadro 7 – Intervalo de pressão e temperatura mínima e máxima prontuário.....	61
Quadro 8 – Resultado Final da Temperatura de Superfície com Isolamento (51mm).....	69
Quadro 9 – Tipos de purgadores de acordo com o Trecho.....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Formas físicas e adequação dos isolantes térmicos.	35
Tabela 2 - Principais isolamentos térmicos utilizados em uma instalação a vapor.	35
Tabela 3 - Características dos equipamentos utilizados na lavanderia.	42
Tabela 4 - Dimensionamento Método da Velocidade.	62
Tabela 5 – Diâmetro Comercial Anexo A.	62
Tabela 6 – Diâmetro determinado através do Layout da Planta.	63
Tabela 7 – Cálculos com base no Anexo B.	63
Tabela 8 – Dimensionamento por perda de carga.	64
Tabela 9 – Convecção Interna Forçada.	65
Tabela 10 – Resultado (He) Coeficiente Convectivo.	66
Tabela 11 – Resultado Temperatura de Superfície Sem Isolamento.	67
Tabela 12 – Resultado Temperatura de Superfície Com Isolamento 25mm.	67
Tabela 13 – Resultado Temperatura de Superfície Com Isolamento 38mm.	68
Tabela 14 – Resultado Temperatura de Superfície Com Isolamento 51mm.	68
Tabela 15 – Resultados da Quantidade de Condensado de cada trecho.	70
Tabela 16 – Determinação dos tipos de purgadores.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
HCU	Hospital de Clínicas de Uberlândia
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada

LISTA DE SÍMBOLOS

D, d	Diâmetro da tubulação
Q	Vazão volumétrica do fluido
\dot{m}	Vazão mássica do fluido
v, V	Velocidade
\mathcal{S}	Volume específico na temperatura do vapor saturado
μ	Viscosidade dinâmica
ρ	Massa específica
Re	Número de Reynolds
Δp	Variação de pressão
L	Comprimento da tubulação
g	Aceleração da gravidade
f	Fator de atrito
e	Rugosidade absoluta
$L_{\text{acessorio}}$	Comprimento equivalente dos acessórios
L_{linear}	Comprimento linear da tubulação
L_t	Comprimento total da tubulação
ΔT	Diferencial de temperatura
β	Coefficiente de dilatação térmica
T_s	Temperatura da superfície da tubulação
ϑ	A viscosidade cinemática do fluido
Gr_L	Número Adimensional Grashof
q_{conv}	Taxa de transferência de calor por convecção
h	Coefficiente convectivo de transferência de calor
A	Área da seção transversal
T_{∞}, T_f	A temperatura média entre o ambiente e a superfície do tubo
Nu_D	Número de Nusselt adimensional
Pr	Número de Prant adimensional
C_p	Calor específico do fluido
q_{cond}	Taxa de transferência de calor por condução
k	Condutividade térmica
A_t	Área da seção transversal

$\frac{dT}{dr}$	Taxa de variação de temperatura ao longo do raio
T_e	Temperatura externa tubulação
$R1$	Resistência térmica por convecção
$R2$	Resistências térmicas por condução
$R3$	Resistências térmicas por condução
$R2$	Resistência térmica por convecção
P_t	Peso do tubo
$T_{i.tub}$	Temperatura inicial do tubo
T_i	Temperatura do fluido interna a tubulação
T_f, vap	Temperatura máxima do vapor
c	Calor específico do material do tubo
Cl	Calor latente
t	Tempo desejado aquecimento de toda tubulação
Q_a	Quantidade de condensado formado no aquecimento do sistema
Pl	Peso linear
Q_t	Quantidade total de condensado
Q_s	Quantidade de condensado gerado por perda de calor por irradiação
n	Fator de segurança
q_e	Taxa de Emissão
f_{iso}	Fator de isolamento
f_e	Fator de emissão
L	Comprimento da tubulação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos.....	17
1.2.1 Objetivo Geral.....	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 Estruturação do Trabalho	18
2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1 Breve Contexto Sobre a Evolução de Lavar Roupas.....	19
2.1.1 Lavanderia Hospitalar	20
2.1.2 Vantagens das Fontes de Vapor para uso em Lavanderias	23
2.2 Eficiência Energética em Fontes a Vapor.....	24
2.3 Geração de vapor	25
2.4 Distribuição de vapor	27
2.5 Função dos Purgadores	29
2.6 Relevância do uso de Filtros	31
2.7 Importância do Isolamento Térmico	33
2.8 Dilatação da tubulação.....	36
2.9 Indicações para Correta Instalação das Tubulações.....	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
3.1 Construção Teórica da Pesquisa	40
3.1.1 Hospital em Estudo.....	41
3.2 Dados Coletados.....	41
3.2.1 Caldeira	43
3.2.2 Lavadora.....	44
3.2.3 Secadora.....	45
3.2.4 Calandra	46
3.3 Dimensionamento de Tubulação	47
3.4 Espessura Econômica	51
3.5 Dimensionamento de Purgadores.....	58
4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	60
4.1 Dimensionamento de Tubulação	60
4.2 Isolamento Térmico	65

4.3	Purgadores.....	70
5	CONCLUSÃO.....	74
	REFERÊNCIAS.....	75
	ANEXOS.....	79

1 INTRODUÇÃO

Administradores e gestores de empresas nas mais distintas áreas de produção, serviços e operação, procuram sempre conhecimentos que possibilitem a criação de valor para seus clientes com perdas mínimas possíveis, seja com tempo, produtos defeituosos ou processos. Na área da Saúde, essa situação não é diferente, grande parte das atividades desenvolvidas estão relacionadas a geração de informação e logística, o que na maioria das vezes se torna mais difícil de se identificar onde ocorre de fato os desperdícios.

O setor de lavanderia hospitalar é considerado um serviço de extrema importância e que contribui diretamente para o cuidado com a saúde de seus pacientes e usuários. Este setor é responsável pelo processo de limpeza, descontaminação e distribuição de todas as roupas hospitalares em perfeitas condições de uso, conservação e na quantidade adequada. Dentro do ambiente da lavanderia, os processos possuem em sua maioria lotes e fluxos desordenados, e a entrega do produto final (roupa limpa e adequada para o uso) tem impacto na assistência prestada aos seus pacientes, pois se relaciona efetivamente ao funcionamento eficiente da instituição de saúde e agrega valor sob ponto de vista e percepção do cliente em relação ao cuidado recebido (MACÊDO et al., 2002).

Perante a busca pela diminuição de custos e impactos ambientais causadas pelo uso da energia em máquinas e equipamentos, a troca pelo uso de aparelhos que utilizam o vapor é a alternativa mais viável acerca de atender essa busca. (PEDERIVA; MATTIONI; MICHELS, 2013). Pois, o vapor é uma fonte de calor que gera uma energia limpa ao mesmo tempo, em que aquece de maneira mais rápida e instantânea (SEGUNDO, 2014).

O vapor é uma fonte de energia essencial no ramo de lavanderia hospital, nesses estabelecimentos ele pode ser utilizado em várias etapas do processo de limpeza e higienização das roupas utilizadas. Se tornando indispensável pela qualidade dos produtos entregues aos seus usuários e condições sanitárias para uma nova utilização.

Assim tanto a forma de uso quanto a distribuição de vapor são um procedimento crítico em todas as indústrias de maneira em geral uma vez que, durante o próprio, existem muitas perdas inerentes por meio da formação de condensado ao longo da distribuição do vapor. Ao mesmo tempo, existe também a preocupação em relação à criticidade do procedimento em relação ao fato de normalmente as linhas são pressurizadas, o que traz riscos aos colaboradores em caso de acidentes.

De acordo com a Eletrobrás (2005), quando utilizada uma linha de distribuição de vapor que seja bem dimensionada e com o purgador de vapor instalado de maneira correta, a

empresa terá ganho no consumo de vapor, pois o objetivo principal de uma tubulação bem dimensionada e com o purgador ideal é conservar o calor do vapor em toda a extensão da tubulação sem que haja perdas ou variações de temperatura no decorrer do processo.

Dessa forma, é indispensável que as linhas de vapor utilizadas estejam muito bem ajustadas e dimensionadas, tanto para minimizar os riscos aos colaboradores quanto para manter a eficácia durante todo o processo. Cabendo aos engenheiros responsáveis a análise de ferramentas que diminuam os impactos tanto econômicos quanto ambientais e de segurança.

1.1 Justificativa

Os serviços das lavanderias hospitalares são de extrema importância tanto para apoio ao atendimento de seus usuários quanto ao papel que exerce no desempenho do hospital de modo geral, uma vez que, a eficiência do seu funcionamento reflete diretamente na eficiência do hospital. Entre suas diversas responsabilidades estão as de processar as roupas com qualidade e segurança por meio de técnicas adequadas para o processamento com o objetivo de fornecer, o controle de infecções, segurança e conforto do paciente. O vapor dentro do ambiente da lavanderia hospitalar é fundamental em várias partes do processo, sendo usado em diversas etapas e procedimentos como a lavagem, secagem, calandragem, prensagem e passagem de roupas e peças planas. Assim, a procura de um sistema sem perdas e um planejamento com precisão são indispensáveis para o desenvolvimento dessa área. Sendo relevante um estudo que analisa a eficiência energética de distribuição e geração de vapor em uma lavanderia hospitalar.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho de conclusão de curso é analisar e dimensionar a rede de distribuição de vapor a fim de obter dados quantitativos das perdas e diâmetros econômicos e melhorar a eficiência energética. Bem como avaliar o sistema de geração e distribuição de vapor em uma lavanderia hospitalar.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do presente estudo são: (i) Analisar layout e propor uma rede de distribuição de vapor da lavanderia hospitalar; (ii) Descrever a eficiência energética de fontes a vapor e suas principais etapas; (iii) Dimensionar as tubulações e isolamento térmicos.

1.3 Estruturação do Trabalho

O presente estudo está estruturado da seguinte forma: após a introdução, encontram-se os objetivos propostos para a pesquisa bem como sua importância e justificativa, logo após temos a seção de contextualização teórica na segunda parte, onde todo o embasamento teórico referente a conceitos e definições foram utilizados nesse estudo; na terceira parte da pesquisa, apresentam-se os materiais e métodos que foram usados no decorrer do estudo; na quarta parte, são apresentados as análises realizadas e os cálculos utilizados para atender o objetivo geral e por fim, concluindo a pesquisa, a quinta e última parte expõe as considerações finais acerca do objetivo da pesquisa, limitações do estudo e sugestões para estudos futuros.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO TEÓRICA

2.1 Breve Contexto Sobre a Evolução de Lavar Roupas

O processo de lavar roupas antigamente trazia à memória as lavadeiras, na beira de um rio, lavando suas roupas usando sabão em barra caseiro e como ferramenta uma pedra ou cascalhos e areias do próprio rio para limpar a sujeira das peças.

Segundo Alves (2019), era comum nos povos antigos, fazer a lavagem das roupas atendo-as em pedras a beira de riachos e córregos, as esfregando com areia mais áspera. Já no período romano, foi inventada uma espécie de sabão cru que era composta por cinza e gorduras de animais usados em sacrifícios. Nos tempos de período colonial, o método mais utilizado para a lavagem de roupa era o de cozinhá-las em um grande caldeirão e posteriormente usar para batê-las uma pá usada como ferramenta ao qual era chamada de boneca.

No ano de 1797 foi criado o primeiro modelo de máquina de lavar, que consistia apenas em uma prancha, mais que foi o suficiente para proporcionar que as mulheres abandonassem o processo de bater roupas contra as pedras (BARANHUK, 2013 apud SARAIVA, 2013).

Em meados do século XIX, os Estados Unidos estão passando pelo processo de revolução industrial. Conforme o estado ia se expandido para o oeste e a indústria se desenvolvia, as populações urbanas cresciam e a classe média emergiu com dinheiro e um desejo por dispositivos que poupassem seu tempo e trabalho (ALVES, 2019).

De acordo com Baranhuk (2013) apud Saraiva (2013), no ano de 1851, James King criou a máquina de tambor, diminuía o tempo, porém ainda era necessário o trabalho manual. O funcionamento dessa máquina consistia em um tambor giratório que era movido mediante impulso manual para agitar a água.

Com o trabalho de eletricidade desenvolvido por Thomas Edison, foi possível um salto no processo de industrial dos Estados Unidos. Assim, em 1858, Hamilton Smith inventou a primeira máquina rotativa movida semielétrica. E menos de 20 anos depois, em 1874, William Blackstone presenteou a sua mulher a primeira máquina de lavar projetada para tirar a sujidade das roupas. Mais ainda necessitava de ajustes já que eram feitas de aço e tinham tampas pesadas.

De acordo com Wong (2010), as máquinas de lavar do início do século XX ainda não eram totalmente automatizadas, ainda era preciso enchê-las e esvaziá-las manualmente, e não

havia normas de segurança que visavam o bem-estar do usuário, assim muitas vezes ocorriam choques elétricos.

Somente em 1908, foi criada por Alva J. Fisher, que na época trabalhava para a Companhia de Máquinas Hurley, a primeira máquina de lavar totalmente movida a energia elétrica, e ela foi batizada de “Thor”. Essas máquinas de lavar possuíam um motor elétrico e uma cuba galvanizada (BARANHUNK (2013) apud SARAIVA, 2013).

Com o decorrer do desenvolvimento do século XX, as máquinas e o processo de lavar roupas foram se desenvolvendo e modernizando, agregando novos valores, normas e manuais de uso, itens de segurança aos usuários e novas tecnologias. Tornando, cada vez mais seguro e confiável o processo de lavagem (WONG, 2010).

2.1.1 Lavanderia Hospitalar

O processo de lavagem de roupas hospitalares é um procedimento rigoroso que afeta e impacta significativamente a qualidade do produto final, relacionados à segurança e bem-estar de todos os seus usuários.

A unidade de lavanderia hospitalar segundo Godoy (2004), pode ser vista como um setor de apoio, que exerce uma atividade especializada, podendo esse serviço ser próprio ou ainda terceirizado, desde que garanta sempre o atendimento correto à demanda e o prosseguimento da assistência.

A principal função da lavanderia hospitalar é transformar toda a roupa que esteja suja ou contaminada utilizada no ambiente hospitalar em roupa limpa apta ao uso novamente. Tal processo de limpeza, além de essencial é extremamente importante para o perfeito funcionamento do hospital, pois se trata de um setor de assistência. Um processamento de roupas feito de maneira correta é um fator aliado à diminuição dos índices de infecção e contaminação hospitalar aos pacientes e trabalhadores (MACÊDO et al., 2002).

Para o processo de lavagem ser realizada da melhor maneira possível, existe o Manual de Processamento de Roupas de Serviço de Saúde: Prevenção e Controle de Risco (2009), elaborado pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), e nele, traz preconizado legalmente os requisitos indispensáveis relacionados ao funcionamento do setor de lavanderia, agrupando as normas estabelecidas com o intuito de atender as seguintes condições: controle das infecções; recuperação, segurança do paciente; racionalização de tempo e material; redução dos custos operacionais, entre outros.

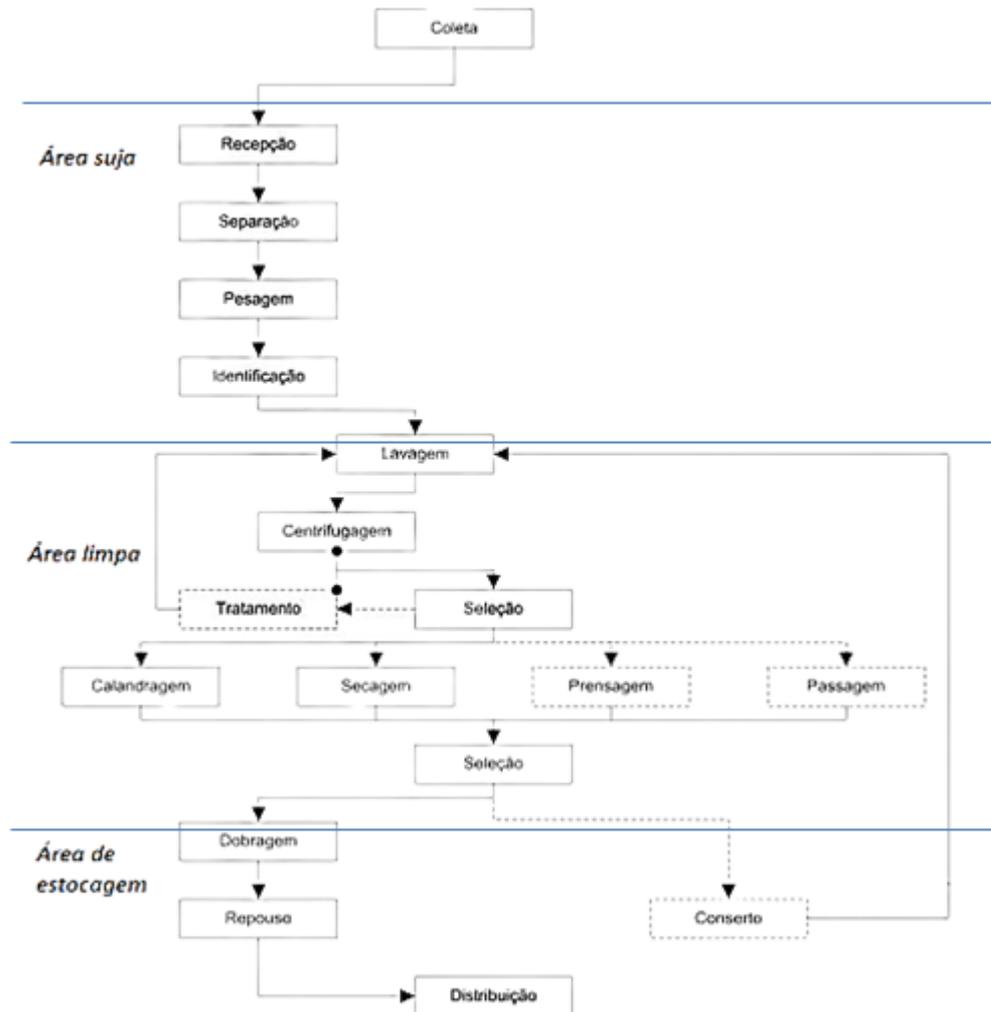
As roupas usadas no ambiente hospitalar e em serviços de saúde em geral, compreendem lençóis, capas de almofadas, mantas, cobertores, toalhas, colchas, cortinas, roupas de pacientes, máscaras, aventais, toucas, dentre outros. Através desses exemplos, vê-se que dentro da lavanderia hospitalar existe uma extensa variedade de sujidades, em diversos locais de origem e formas de uso dessas peças (KONKEWICZ, 2006).

De acordo com a Resolução - RDC Nº 50, de 12 fevereiro 2002 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) as principais atribuições de uma lavanderia hospitalar além da prestação de serviços de apoio é transformar por meio da lavagem, roupas com sujidades em roupas limpas próprias para o uso, o que engloba todo um processo que segue as seguintes funções:

- Coletar as peças utilizadas (sujas) e armazená-las até o devido encaminhamento ao setor de lavanderia;
- Receber as peças de rouparia e pesá-las se necessário e classificá-las conforme a norma existente;
- Lavar e centrifugar a roupa;
- Secar a roupa;
- Efetuar reparos como costuras nas rouparias, quando necessário;
- Passar a roupa através da calandra prensa ou ferro;
- Separar e dobrar a roupa limpa (lavada);
- Guardar a rouparia limpa adequadamente;
- Separar e preparar as peças a ser esterilizadas;
- Distribuir a roupa lavada;
- Limpar e higienizar corretamente o ambiente e os equipamentos utilizados no processo.

De acordo com SOUZA et al (2016), dentro desses processos da lavagem de roupa hospitalar, existe medidas que devem ser seguidas para o controle das infecções, uma delas foi a utilização de barreiras de contaminação onde dentro da própria lavanderia é separado em duas áreas básicas distintas: a área suja onde fica a parte de coleta, separação, pesagem e processo de lavagem da roupa hospitalar; e a área limpa, onde se destina a centrifugarem, secagem, calandragem e prensagem da roupa hospitalar. Podemos citar ainda, uma terceira área, a de estocagem onde ocorre o repouso/estocagem da roupa, distribuição e costura, conforme Figura 1.

FIGURA 1 - Fluxograma do processo de funcionamento de uma lavanderia hospitalar.



Fonte: Adaptado de SOUZA et al (2016).

Após o processo de lavagem é imprescindível que a roupa siga o curso do processo para a área limpa. Para Morales et al (2010):

Rouparia é um elemento da área física, complementar a área limpa, e centraliza o movimento de toda a roupa do hospital. A centralização em um único local permite um controle eficiente da roupa limpa, do estoque e sua distribuição adequada, em quantidade e qualidade, às diversas unidades do hospital. É na rouparia que se faz a estocagem (repouso) da roupa, distribuição e costura, incluindo conserto, baixa e reaproveitamento (MORALES et al, 2010, p. 6).

Esses processos realizados dentro da lavanderia hospitalar devem ser realizados com eficiência independentes de sua natureza. O tempo estimado para finalização de cada etapa

pode modificar em relação à reatividade dos produtos empregados, em função da marca utilizada.

2.1.2 Vantagens das Fontes de Vapor para uso em Lavanderias

Diante da procura por um melhor aproveitamento de energia nos procedimentos industriais, onde em sua maioria existe a busca pela redução de custos nos processos realizados, sem perder a qualidade e eficiência, e ao mesmo tempo diminuindo os impactos ambientais causados pela energia gerada na utilização de máquinas e equipamentos, o uso de máquinas a vapor é uma das diversas ferramentas que podem ser utilizados para que este desejo seja alcançado (PEDERIVA; MATTIONI; MICHELS, 2013).

O vapor possui uma grande importância como fonte industrial de calor. Em um ambiente hospitalar, ele pode ser usado em diversas etapas do processo de limpeza e higienização das roupas. Segundo Maruff (2020), dentre tais processos, pode-se citar, por exemplo, as seguintes etapas:

- Lavagem: durante esse processo a alta temperatura pode aprimorar a ação dos elementos químicos dos produtos expandindo melhor a fibra e apresentando um resultado mais acelerado e, na maioria das vezes, com um menor uso em relação à quantidade de produtos químicos utilizados;
- Secagem: onde o vapor auxilia no processo de secagem das roupas;
- Calandragem: pode ocorrer o processo de passagem e secar ao mesmo tempo, as peças planas como: mantas, lençóis, capas de travesseiros, toalhas de mesa, fronhas, cobertores, bandagens, etc.;
- Prensagem: quando se usam prensas para a realização do acabamento das peças;
- Passagem: de roupas de pacientes ou uniformes de colaboradores em mesas de passar.

Além desses pontos positivos para a lavanderia, o vapor de acordo com Segundo (2014), pode ser considerado uma energia limpa que proporciona um aquecimento mais instantâneo e igualitário. Segundo o autor, um aquecimento realizado a vapor proporciona de 1,5 a 2 vezes mais eficiência do que quando se é utilizado água quente.

2.2 Eficiência Energética em Fontes a Vapor

O vapor é considerado um elemento importantíssimo como fonte industrial de calor. Além de ser considerada uma energia limpa, ele é capaz de fornecer um aquecimento mais acelerado e constante. De acordo com Segundo (2014), um aquecimento de vapor proporciona 1,5 a 2 vezes mais eficácia do que os processos que empregam água quente.

O uso do vapor como energia remota, teve o início de sua história há muitos anos, no primeiro século. Contudo, acredita-se que o motor a vapor mais moderno e que pode ser comercializado de maneira bem-sucedido, só surgiu entre o final do século XVII e início do século XVIII. Existem diversas funcionalidades para o uso a vapor, que vai desde a geração de eletricidade, até limpeza e esterilização, além de ser um excelente condutor de energia térmica em forma de gás. Para fazer o vapor, a água é esquentada por meio da combustão de algum combustível em um equipamento chamado caldeira, esse processo irá ocorrer até sua temperatura de saturação e formar o vapor (PELEGRINI, 2019, apud YAZAWA; KOH; SHAKOURI, 2013).

Pode-se caracterizar um sistema de vapor como um conjunto de equipamentos que proporcionam que o vapor vá de uma caldeira até a ponta e retorne. Assim, o processo de instalação do sistema deve ser realizado da melhor maneira possível, pois esse processo irá impactar tanto na eficiência de como o vapor é transferido de um ponto para outro, como também no bom funcionamento de equipamentos como válvulas e purgadores. Em resumo, os objetivos desse processo são a perda mínima de vapor, mantendo uma máxima passagem de calor e a remoção de gases indesejados durante o processo. Projetos com falhas durante o processo ou de seus componentes podem fazer o inverso do processo, fazendo com que o vapor é condensado formando água, provocando, assim, um alto e caro desperdício de energia de calor (VAPORTEC, 2017).

Segundo Pelegrini (2019), eficiência energética pode ser definida como a análise da minimização de perdas na conversão de energia primária em energia útil, pois em toda forma de energia, existe perda, sejam elas térmicas, mecânicas ou elétricas. Dessa forma, eficiência energética denota fazer mais com menos, conservando o conforto e a qualidade. Assim o processo de avaliação e eficiência é uma ferramenta de otimização que reduz os custos de operação através de uma melhor aplicação dos recursos utilizados no processo. Quando falamos de energia, em resumo, a eficiência energética significa produzir a mesma quantidade de energia com menor uso dos recursos (energia).

De acordo com a Eletrobrás (2005):

A eficiência energética de um sistema, de maneira geral, indica o quanto um equipamento real aproxima-se de um comportamento ideal, no qual não existem perdas. Como perdas sempre significam maiores custos busca-se constantemente minimizar estes valores de energia perdida procurando-se trabalhar com equipamentos de alto rendimento e manter a eficiência em um nível máximo. Desta maneira, a determinação do valor da eficiência é de relevante importância (ELETROBRÁS, 2005, p.143).

Para Pelegrini (2019), os sistemas de vapor são utilizados como fonte de energia total em processos industriais para a finalização do produto. Dessa forma, os sistemas de vapor são caracterizados pelo fornecimento de energia durante todo o processo de aquecimento, controle de pressão, ativações mecânicas, separação de componentes e produção de água quente para processo. Diante dos altos custos de energia, a otimização energética desse sistema é capaz de diminuir o uso de energia e os custos, mantendo ou até mesmo aumentando a produtividade, uma vez que dentro das indústrias ocorrem desperdício de energia imensuráveis devido a tubulações mal dimensionadas e perdas de vapor por purgadores por conta de mal dimensionamento, o que resulta diretamente no custo final da geração de energia térmica.

Ainda para o autor, é essencial que seja realizada sempre a avaliação da eficiência desses sistemas, medindo a quantidade de calor que está sendo utilizada pelo vapor originado na quantidade líquida de calor provido à caldeira, e ainda identificar novas ferramentas que possa ampliar ainda mais sua eficiência (PELEGRINI, 2019).

2.3 Geração de Vapor

De acordo com a Togawa Engenharia (2018), o sistema de geração de vapor, em grande parte, é formado pelo sistema de alimentação de água da caldeira, equipamentos da linha de combustível, caldeiras ou geradores de vapor, e outros elementos e equipamentos. Entende-se que a caldeira é o conjunto de, tubulações e ferramentas objetivadas a produção de vapor saturado ou superaquecido. Sendo um aparelho que opera pela transferência de calor, com pressão maior que à pressão atmosférica. Nos dias atuais, o equipamento gerador de vapor mais importante é a caldeira.

Segundo a Eletrobrás (2005), a constituição da caldeira é feita por aparelhos integrados com o objetivo de permitir o maior rendimento térmico possível e segurança. Ainda de acordo com a Eletrobrás (2005):

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 (ELETROBRAS, 2005, p. 58).

A Figura 2 demonstra a caldeira a vapor, utilizada na lavanderia em estudo.

Figura 2 – Caldeira utilizada na lavanderia em estudo.



Fonte: Autor (2022).

O vapor originado de uma caldeira se origina por meio da transferência do calor dos gases quentes à água através da troca térmica. O processo se inicia quando a própria água absorve uma grande quantidade de calor que a faz mudar da fase líquida para o próprio vapor em si de maneira gradual (TOGAWA, 2018).

Segundo Ferreira (2018), a caldeira é uma máquina que requer cuidados diários. Para o autor:

Por se tratar de uma máquina que trabalha com altas pressões e com produtos inflamáveis, é de extrema importância os cuidados diários com a mesma e com seus componentes, tanto na parte operacional quanto na parte técnica. E para garantir que a mesma esteja trabalhando em perfeitas condições, sem representar um perigo para quem está próximo a ela e à sua vizinhança, existem inspeções anuais com profissionais habilitados que qualificam sua funcionalidade (FERREIRA, 2018, p.18).

Diante dos altos custos para aquisição, operação e manutenção de uma caldeira, algumas empresas optam por possuir apenas uma sala de caldeiras para cada área, podendo em alguns casos ser até compartilhada, no sistema de compra de vapor. Contudo, quando as áreas de uso são distantes entre si, sugere-se que haja outras salas de caldeiras.

2.4 Distribuição de vapor

O processo de distribuição de vapor, na maioria das vezes é realizado por meio de tubulações soldadas ou flangeadas, a fim de se obter uma vedação sem imperfeições para se trabalhar em um sistema pressurizado. De acordo com Zattoni (2008), grandes partes das tubulações são feitas por tubos inteiros e sem costuras, pois dessa forma, diminui as chances de ter furos na tubulação, que possam atrapalhar o processo de distribuição de vapor. Os tubos podem classificar como um conduto fechado, oco, na maioria das vezes circular proposto para o transporte de líquidos.

Para Ribeiro (2016), a eficiência energética de um sistema a vapor é a indicação do quanto o aparelho real se equivale ao seu funcionamento ideal, onde não existem prejuízos. A procura por diminuir perdas deve ser sempre constante, pois quanto maiores as perdas proporcionalmente maiores serão os custos envolvidos. Dessa forma, indica que sempre que possível, deve-se trabalhar com equipamentos e aparelhos com um alto nível de rendimento e assim, sustentar ao nível máximo sua eficiência. Assim, é indispensável para qualquer segmento da indústria saber o verdadeiro valor da eficiência energética.

As tubulações de vapor são por diversas vezes submetidas a forças pelo processo e a uma alteração expressiva de temperatura. Com isso, são mais suscetíveis a ter dilatações e contrações, resultado da permuta térmica suportada durante o processo, demandando assim uma flexibilidade da rede.

Segundo Telles (2012), sugere que se devem usar tubulações que sejam constituídas por aço de carbono ou cobre, para evitar possíveis desgastes como corrosão e ferrugem, e ainda, indica-se o uso de isolamento térmico para diminuição de perda. Ainda para o autor, o

tamanho da tubulação que fará o transporte de vapor deve estar de acordo com a sua vazão, caso não esteja de acordo com o tamanho ideal para o processo, pode acarretar gerar um desgaste maior, carga de vapor insuficiente, golpes de aríete e até cavitação. Em contrapartida, uma tubulação com um superdimensionamento no diâmetro aumenta o custo do projeto com materiais e isolamentos, e ainda pode vir a aumentar a constituição de condensado. Assim, se torna imprescindível que haja um equilíbrio no projeto de tubulações, sua instalação e peças utilizadas, para assim evitar perdas de calor por radiação (TELLES, 2012).

Para Ferreira (2018):

Caso a formação de condensado seja muito intensa, aliado com o subdimensionamento da linha de vapor, pode ocorrer o fenômeno da cavitação. Como consequência, quanto menor o diâmetro da tubulação maior a velocidade e menor a pressão. Se o valor da pressão do escoamento for inferior à pressão de vapor do fluido na temperatura do escoamento, o líquido sofrerá uma vaporização (flash) parcial, formando bolhas de vapor que, ao se dirigirem para regiões de maior pressão, sofrem colapso. A cavitação provoca ruídos e vibrações o suficiente para danificar válvulas, tubulações e equipamentos acoplados a elas, em face da ação periódica dos pulsos de pressão que se propagam a partir do local em que as bolhas colapsam. Além disso, a formação das bolhas em áreas de seção mínima impede o aumento significativo da vazão no sistema (FERREIRA, 2018, p.20).

Segundo a Eletrobrás (2005), em um sistema a vapor, a perda principal de energia acontece por meio da permuta de calor para o ambiente e diminuirá por meio do uso indicado do isolamento térmico nas linhas. A perda também pode ocorrer através das linhas de vapor saturado, onde por meio da perda de energia térmica acarreta a formação de condensado, que necessita ser retirado através dos purgadores.

Assim, é indispensável que durante o processo de concepção e desenho da distribuição de vapor, fique em concordância com a demanda e a perda de carga aceitável, e por sua vez, os purgadores necessitam serem os especificados e alocados no melhor posicionamento indicado a eles. Também frequentemente deve-se realizar a manutenção nas redes de distribuição, levando sempre em consideração o estado do isolamento, que é essencial para preservar a condensação do vapor em valores permitidos e o perfeito funcionamento dos purgadores de vapor (ELETROBRÁS, 2005).

2.5 Função dos Purgadores

Os purgadores são ferramentas mecânicas utilizadas com o intuito principal de purificar determinado líquido ou gás que não pertence e não deveria se apresentar em determinada tubulação. Eles operam como mecanismos automáticos que se abrem e fecham conforme necessidade, a fim de permitir a saída de gases indesejados do sistema, conservando o vapor puro (VAPORTEC, 2017).

De acordo com Telles (2001), os purgadores também possuem como função, a eliminação do ar e outros gases incondensáveis que podem apresentar dentro das tubulações, como por exemplo, o CO₂ (dióxido de carbono).

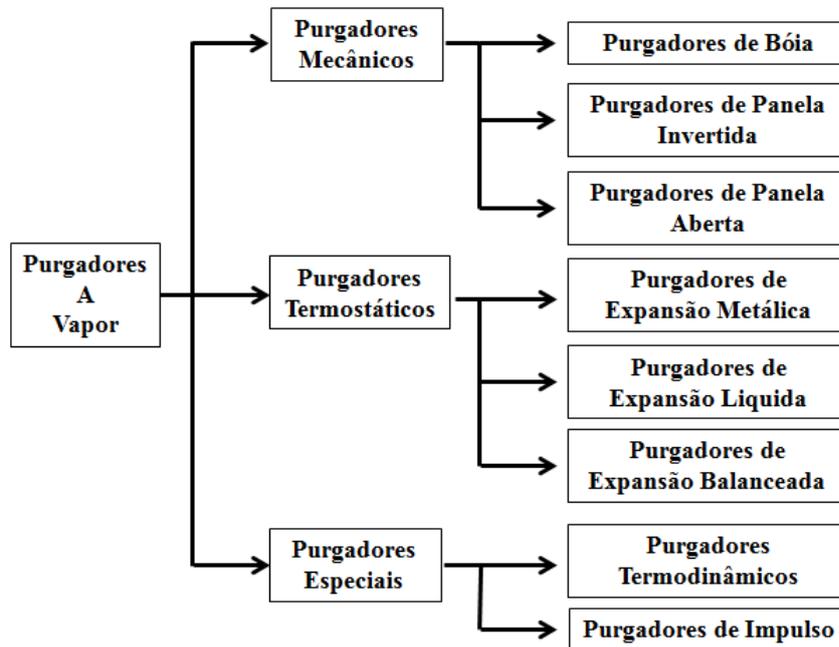
Dessa forma, os purgadores podem ser considerados uma ferramenta indispensável e vital do sistema de vapor, pois através dele é realizada a transferência de calor, sem que impurezas se prendam, o que é essencial durante o processo. Quando os purgadores não trabalham conforme o esperado, dentro do sistema a vapor apresenta-se uma contrapressão, trazendo como consequência, falhas no processo e problemas de qualidade no produto (VAPORTEC, 2017).

Além disso, se a funcionalidade do purgador não for capaz de eliminar o ar no momento do arranque ou se não conseguir remover a condensação a uma taxa satisfatória, o processo terá sua capacidade reduzida, o que resultará em um período mais longo para aquecer e ocasionará desperdício de energia (PELEGRINI, 2019).

Um purgador onde se é feito regularmente sua manutenção e verificação de sua funcionalidade é capaz de economizar energia de até 10% e o período de retorno é de até 6 meses (PELEGRINI, 2019). Apesar do período de resposta seja curto, nem todos os sistemas de purgadores a vapor são implementados, em usinas de vapor, por exemplo, alguns gerentes optam por realizar a análise de seus custos de manutenção e energia separadamente. Acredita-se que a opção pelo uso de monitoramento automático economize 5% a mais além do que a manutenção do purgador de vapor, com retorno estimado de 12 meses (GATES; LESKIW, 2010).

Segundo Telles (2001), os purgadores podem ser classificados em três categorias gerais: os mecânicos, os termostáticos e os especiais. Na figura 3 é possível apreciar às três classificações e suas subclassificações de purgadores de vapor:

Figura 3 – Tipos de Purgadores.



Fonte: Adaptado de Vilarins (2019).

As categorias de purgadores possuem funcionalidades diferentes. Os purgadores mecânicos funcionam objetivando a drenagem de condensado (água) em equipamentos a vapor e trabalham utilizando diferença entre densidades; já os purgadores nos modelos termostáticos, operam com o intuito de fazer a drenagem de ar de sistemas de vapor e trabalham por diferença de temperaturas; e por último, os purgadores especiais funcionam com o objetivo de efetuar a drenagem de água em tubulações de vapor (TELLES, 2001; VAPORTEC, 2017).

Segundo Ferreira (2018):

Os principais fatores que influenciam na decisão de qual purgador utilizar são: Pressão e temperatura do vapor na entrada do purgador; Natureza da instalação e finalidade do purgador; Pressão e temperatura do condensado; Pressão na descarga do purgador; Quantidade de condensado a ser eliminado; Ação corrosiva ou erosiva do vapor ou condensado; Facilidade de manutenção. Além disso, é importante ressaltar onde é necessário colocar um purgador em uma linha de vapor (FERREIRA, 2018, p. 22).

No Quadro 1 é possível apreciar um resumo comparativo das principais características dos tipos de purgadores mais empregados e importantes nas linhas a vapor.

Quadro 1 – Principais características dos purgadores a vapor de acordo com seu modelo.

TIPO	Pressão Máxima do vapor (kg/cm ²)	Capacidade máxima (kg/h)	Permite descarga contínua	Eliminação do ar	Resistência a golpes de ariete	Perdas de Vapor	Necessidade de manutenção
Bóia	35	50.000	Sim	Pode ser	Não	Pouca	Regular
Panela invertida	180	15.000	Não	Sim	Sim	Pouca	Bastante
Panela aberta	100	6.000	Não	Sim	Sim	Pouca	Bastante
Expansão metálica	50	4.000	Pode ser	Sim	Sim	Bastante	Regular
Expansão líquida	35	4.000	Pode ser	Sim	Não	Bastante	Regular
Expansão balanceada	35	1.000	Pode ser	Sim	Não	Bastante	Regular
Termodinâmico	100	3.000	Não	Sim	Sim	Regular	Quase
Impulso	100	5.000	Não	Não	Sim	Regular	Quase

Fonte: Eletrobrás (2005).

A Vaportec (2017) faz uma apresentação das utilizações mais comuns para uso de purgadores a vapor e os modelos indicados e frequentemente utilizados em cada situação. São elas:

- Linhas de transporte de vapor: recomenda-se a utilização de modelos de purgadores classificados como mecânicos e especiais;
- Equipamentos para o aquecimento de vapor: nesses tipos de equipamentos aconselha-se empregar purgadores mecânicos e de modelo termostático;
- Inspeções, proteger contra o congelamento e aquecer o ambiente: nesses casos podem ser utilizados purgadores dos tipos: termostático, mecânicos e especiais.

O uso de filtro é indispensável antes de cada purgador, sendo obrigatória a colocação deles antes dos purgadores do modelo boia e termostáticos. Contudo, essa instalação pode ser dispensada quando os modelos de purgadores utilizados já possuem seu próprio filtro atrelado (TELLES, 2012).

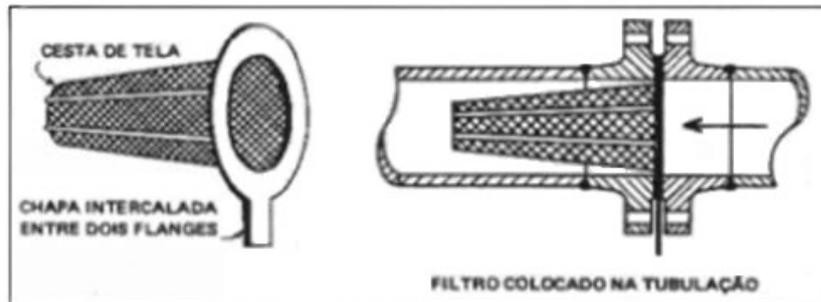
2.6 Relevância do uso de Filtros

Os filtros são ferramentas utilizadas que possuem como principal intuito reter poeira, partículas sólidas e corpos estranhos, que se apresentam durante o processo originado nos líquidos ou gases. Em se tratando de tubulações industriais, os filtros podem ser classificados em duas classes existentes: os filtros provisórios e permanentes (FERREIRA, 2018).

Os filtros provisórios (FIGURA 4) são utilizados durante o período de instalação das tubulações com o objetivo de evitar que sujeiras e corpos estranhos sejam deixados durante o

processo de montagem. Dessa forma, evita que as sujidades entrem no equipamento quando o aparelho for colocado em funcionamento.

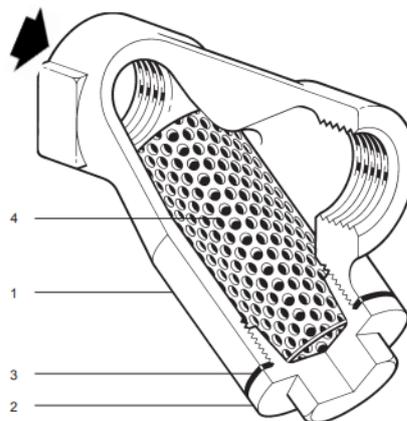
Figura 4 – Modelo de Filtro provisório.



Fonte: Eletrobrás (2005).

Em contrapartida, conforme o próprio nome sugere os filtros permanentes, são ferramentas utilizadas de maneira definitiva, instalados na tubulação. O modelo mais empregado nos processos industriais são os Filtros Y. A Figura 5 apresenta um Filtro Permanente em Y, fabricado em aço carbono e sua principal função é remover sujeira, borras de solda e outras sujidades que podem aparecer nas tubulações. O processo de coleta e remoção da sujeira realizada pelo filtro é um ponto positivo em relação ao custo de manutenção ou perdas na produção, já que as sujidades não entram em contato durante o processo (SPIRAX SARCO, 2011).

Figura 5 – Modelo de filtro permanente em Y.



Materials		
No. Parte	Material	Especificação
1	Aço Carbono	ASTM A 216 Gr. WCB
2	Aço Carbono	ASTM A 216 Gr. WCB
3	Grafoil	
4	Aço Inoxidável	ASTM A 240 Gr. 316
5	Aço Carbono	ASTM A 105

(*) opcional

Fonte: Spirax Sarco (2011).

Segundo Ferreira (2018), a utilização de filtros do modelo permanente é recomendada diante dos seguintes casos: quando as tubulações estiverem com fluidos que exibam corpos estranhos; em processos que se exige uma purificação rigorosa e controlada do fluido; e em tubulações cuja entrada de aparelhos seja muito sensível a corpos estranhos, tais como: bombas de engrenagens, medidores volumétricos, alguns modelos de purgadores, etc.

2.7 Importância do Isolamento Térmico

O processo de passagem de calor por meio da condução térmica, acontece devido à diferença de temperatura do ambiente externo em relação à temperatura do vapor. Assim, a quantidade de calor repassado varia de acordo com o gradiente de temperatura do ambiente, da espessura da tubulação utilizada e da sua condutividade térmica (INCROPERA e DEWITT, 2008).

Segundo Milcent (2007), em uma linha de vapor com variações de temperaturas em relação ao ambiente, serão constantes as trocas de calor, o que trará como consequência a mudança também de temperatura do fluido e como resultado haverá uma perda de energia. Para diminuir essa perda é utilizada a camada de um produto como barreira de transmissão de calor, formado por vários espaços microscópicos com ar, que possui baixa capacidade de transferência térmica sobre as superfícies de troca de calor.

A principal função dos isolamentos térmicos de acordo com Telles (2001) é diminuir a troca de calor do produto que está dentro da tubulação para o ambiente externo. Grande parte das indústrias utiliza-se de isolamentos térmicos com o objetivo de gerar uma economia financeira, pois durante a perda de calor dentro das tubulações, há um aumento no consumo de energia e como consequência o uso sem necessidade para o aquecimento ou refrigeração do líquido na tubulação. Além de economia financeira, o autor cita também que o isolamento térmico é essencial para que o fluido da tubulação chegue a sua origem com a temperatura esperada para o andamento do processo; e para a segurança do trabalho, porque o isolamento diminui a temperatura da superfície da tubulação, assim reduz o risco de acidentes com queimaduras caso alguém encoste na parte externa da tubulação (TELLES, 2001).

Corroborando, com o autor, Torreira (1995, p.634) cita outras finalidades aplicáveis para o uso do isolamento térmico:

- Economia de energia;
- Estabilidade operacional;
- Conforto térmico;

- Proteção do pessoal;
- Evitar condensação;
- Proteção de estruturas.

De acordo com Fonseca (1999), a escolha pelo isolamento térmico ideal, deve ser orientada não apenas pelas propriedades dos materiais do isolante, mas também, deve-se observar outras particularidades em relação ao seu uso levando em consideração, fatores que influenciam diretamente na funcionalidade do isolante, tais como: temperatura do processo, umidade e os esforços mecânicos realizados. Assim, para o autor, o processo de escolha do isolante ideal pode ser considerado uma das partes mais importantes do processo.

A Eletrobrás (2005) descreve os quatro principais tipos de estrutura dos isolamentos térmicos, são eles:

Isolantes refletivos - Os materiais mais comumente usados são folhas metálicas, com grande poder refletor de ondas de calor, com baixa absorção e emissividade dessas mesmas frequências. Os materiais mais comuns para uso como isolantes refletores são o alumínio e os aços inoxidáveis, pela sua reflexão das ondas infravermelhas e visíveis, inalteráveis ao longo de sua vida útil. **Isolantes fibrosos** - Os materiais mais usuais nesta classe são as lãs de rocha, de escória e de vidro, o asbesto, o feltro e a madeira. Para o isolamento de equipamentos frios, devem ser bem impermeabilizados, pois são higroscópicos. A compactação das fibras não deve favorecer nem a condução nem a convecção natural. Assim, uma compactação excessiva aumenta o contato entre as fibras, facilitando a condução de calor. De outro lado, uma compactação insuficiente aumenta os espaços com ar, podendo facilitar a convecção natural. As fibras com diâmetros entre 1 e 15 [μm] retêm o ar, resistindo à transferência de calor por condução. **Isolantes granulares** - Comumente constituídos de grânulos, que, isolados ou aglomerados, prendem ar, dificultando sua movimentação, fazendo com que a transferência de calor seja mínima. Os materiais mais comuns são o silicato de cálcio, a magnésia, a diatomita e a cortiça. **Isolantes celulares** - São materiais altamente porosos, porém impermeáveis. Isto é, apesar de serem constituídas de micro células, estas não são interconectadas. Desta maneira, a convecção é mínima e a condução restringe-se às paredes das micro células. As espumas sólidas modernas são exemplos típicos. Nesses isolantes é facilmente utilizável o enchimento dos poros com os mais diversos gases, aumentando a eficiência de isolamento térmico. Os materiais usuais são as espumas de borracha, de vidro, espumas plásticas (estireno, poliuretano) e o aero gel de sílica (ELETROBRÁS, 2005, p. 123).

A Tabela 1 expõe as formas físicas e adequação dos isolantes térmicos e a Tabela 2 descreve os principais isolamentos térmicos utilizados em uma instalação de vapor.

Tabela 1 - Formas físicas e adequação dos isolantes térmicos.

FORMA FÍSICA DOS ISOLANTES TÉRMICOS	TUBO	VASO	FLANGE, VÁLVULO, BOCA DE VISITA	FORMA COMPLEXA
Rígidas	Uso geral	Não se recomenda expansão com extremas tensões	Recomendado	Não recomendado
Enchimento	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado	Recomendar, pode-se colocar forma na caixa
Flexíveis	Recomendar só com uso de revestimento metálico	Recomendado para uso geral	Recomendar, se necessário frequente acesso	Superior a opção de plástico. Melhor é enchimento
Fitas Flexíveis	Uso temporário	Não recomendado	Não recomendado	Não recomendado
Plásticos	Recomendar para sistemas pequenos e complexos	Recomendar a pistola para grandes vasos	Recomendado para pequenas válvulas, quando em uso de material rígido	Recomendar quando o fecho é de difícil uso a pistola p/ dutos retangulares

Fonte: Eletrobras, 2005.

Tabela 2 - Principais isolamentos térmicos utilizados em uma instalação de vapor.

Material	Limite de Temp. °C	Resistência à			Condutividade Térmica Média BTU (h°F pé²/pol)					Obs.
		Água ou Umidade	Fogo	Danos Mecânicos	a 40°C	a 100°C	a 200°C	a 300°C	a 400°C	
<i>Isolantes térmicos rígidos</i>										
<i>Materiais em forma de calha ou segmentos pré-moldados</i>										
Hidrossilicato de Ca	até 1000	Boa	Boa	Fraca à tração	0,38	0,40	0,47	0,57		1,2
Composição de Mg 85%	até 320	Fraca	Boa	Fraca à tração	0,40	0,43	0,51	0,59		3,4
Lã mineral (Lã de rocha)	até 900	Boa	Excelente	Fraca	0,32	0,37	0,50	0,64	0,77	5,6,7
Sílica diatomácea (Terra diatomácea)	até 1000	Fraca	Regular	Fraca	0,58	0,60	0,68	0,78	0,86	7,8
Lã de vidro	-180 a 540	Excelente	Excelente	Fraca	0,25	0,28	0,30			9
Espuma de plástico (poliestireno expan.)	-50 a 80	Excelente	Não resiste	Regular	0,40					10,11
Cortiça	-50 a 80	Boa	Não resiste	Regular	0,25	0,26				11,12,13
<i>Isolantes térmicos flexíveis</i>										
<i>Materiais em forma de mantas (tecidos)</i>										
Amianto	até 400	Boa	Excelente	Regular	0,47	0,50	0,57	0,65		14
Lã de vidro	Como acima									
Lã mineral	Como acima									
<i>Materiais aplicados por "spray"</i>										
Poliuretanos	-240 a 100	Boa	Não resiste	Regular	0,14					11

OBSERVAÇÕES SOBRE A TABELA

- | | |
|--|--|
| <p>1 – Material mais usado para tubulação quente</p> <p>2 – Material especificado nas normas PNB-141 e PEB-221 da ABNT, e C-345 da ASTM</p> <p>3 – Material de emprego tradicional antes do aparecimento do hidrossilicato de cálcio</p> <p>4 – Material especificado na norma C-320 da ASTM</p> <p>5 – Material de custo elevado, podendo ser mais econômico devido à menor condutividade térmica</p> <p>6 – Material flexível e capaz de absorver grandes dilatações dos tubos</p> <p>7 – Material não recomendado quando existem cargas externas na tubulação</p> | <p>8 – Material de custo elevado e de alta condutividade térmica. Indicado para temperaturas superiores a 650°C</p> <p>9 – Material macio, flexível e leve</p> <p>10 – Material muito usado para tubulações de baixas temperaturas</p> <p>11 – Para uso em baixas temperaturas</p> <p>12 – Material moldado ou granulado e aglutinado</p> <p>13 – Material de boa resistência a choques e vibrações</p> <p>14 – Empregado como segunda camada para recobrir outros materiais isolantes</p> |
|--|--|

Fonte: Ferreira (2018, p. 26 apud ELETROBRAS, 2005).

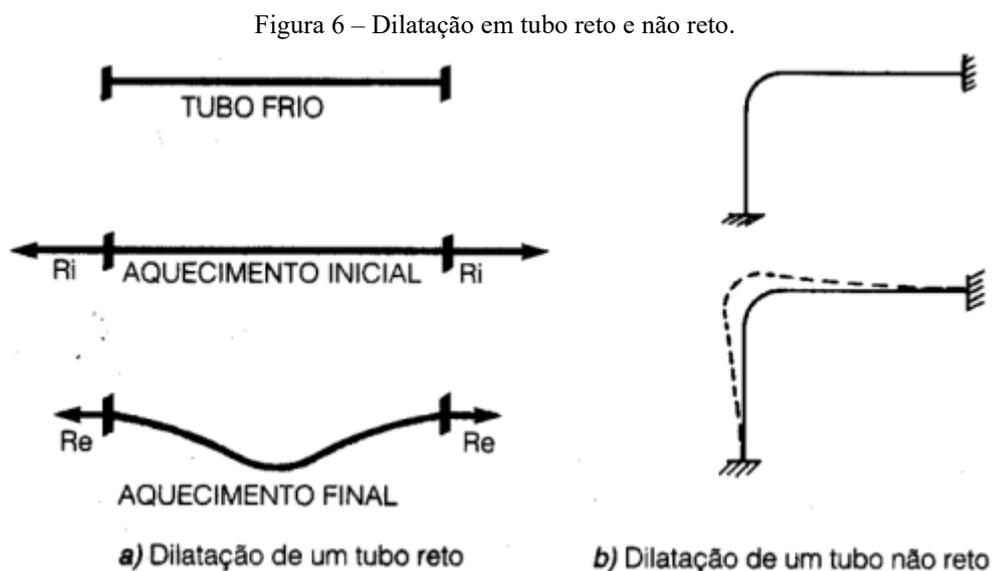
É essencial que todas as superfícies que apontem perda de calor sejam devidamente isoladas, sejam elas tubulações, válvulas, flanges, conexões, entre outras. Uma superfície não isolada ou isolada de forma irregular traz a queima indesejada do combustível o que resulta em uma camada extensa de condensado, influenciando diretamente na qualidade do vapor.

2.8 Dilatação da tubulação

Tubulações de vapor, assim como diversos materiais, trabalham sob um diferencial de temperaturas elevadas, e assim sofrem alterações em suas dimensões. Dessa forma, a dilatação térmica não pode ser desconsiderada na maioria dos casos, e a instalação necessita de maneiras para impedir indesejáveis as possíveis tensões mecânicas que podem vir a surgir.

Segundo Medina (2019), ao se ter conhecimento do processo da dilatação das tubulações, é possível por meio dos gestores e engenheiros determinar qual o melhor e ideal sistema de proteção e quais serão os lugares onde será necessária a implementação de isolamento térmico e quais os pontos de suportação. Para o autor, um projeto bem-planejado, permite-se conhecer melhor o processo estrutural possibilitando alocar a dilatação, assim impedir possíveis pontos de acumulações de tensão, o que na maioria das vezes resulta em rachaduras nas tubulações e em situações mais complexas como, por exemplo, o deslocamento da própria tubulação sobre seus suportes (MEDINA, 2019).

A Figura 6 traz os modelos de dilatação para tubo reto e não reto.



Fonte: Dutra (2019, p.8).

De acordo com Dutra (2019), existem algumas medidas que podem ser utilizadas para controlar a dilatação em tubos. Abaixo o autor, lista os principais métodos utilizados para controlar as consequências da dilatação térmica em tubulações, são elas:

Trajetória da tubulação afastando-se da linha reta, por meio de ângulos no plano ou no espaço, de maneira que a tubulação fique com flexibilidade própria, capaz de absorver as dilatações por meio de deformações de flexão e/ou de torção, nos trechos retos e nos ângulos. O **Uso de elementos deformáveis** intercalados na tubulação, de maneira a absorverem as dilatações ocorridas. O **Pré-tensionamento**, introduzindo tensões iniciais opostas às tensões geradas pela dilatação térmica (DUTRA, 2019, p.8).

Dentro dos elementos deformáveis, as juntas de expansão são as ferramentas mais usadas. Essas juntas por sua vez são peças não rígidas utilizadas para intercalar a tubulação com o objetivo de absorver de maneira total ou parcial as dilatações originárias das mudanças de temperatura e de impedir o aumento das vibrações (SPIRAX SARCO, 2008).

Contudo, de acordo com Dutra (2019), as juntas de expansão são raramente empregadas por ser restrita a determinados casos especiais, com exceção em tubulações de baixa responsabilidade, nas quais as juntas podem ser utilizadas sem restrições. A utilização do pré-tensionamento igualmente é limitada na prática a alguns poucos casos. Em sua maioria, o método utilizado nas tubulações industriais é o alcance de flexibilidade que é necessária por meio de um traçado que não segue a direção em linha reta (não retilíneo).

Corroborando com o autor, a Spirax Sarco (2008) diz que na maioria das vezes o controle da dilatação térmica na tubulação é realizado por meio de um traçado apropriado dado à tubulação, com variações de direção, de forma que a tubulação tenha flexibilidade própria suficiente.

2.9 Indicações para Correta Instalação das Tubulações

Durante o desenvolvimento de um projeto de tubulações a vapor, diversas medidas e decisões devem ser tomadas de maneiras otimizadas, a fim de assegurar o bom funcionamento do sistema que faz parte do processo e ainda, poder ampliar sua vida útil, além de oferecer segurança e facilidade durante as manutenções periódicas (FERREIRA, 2018).

Dessa forma, existem recomendações e indicações de como deve ser realizada a instalação das tubulações, bem como de outros equipamentos que fazem parte do processo.

Abaixo uma lista simplificada de algumas dessas indicações de acordo com Ferreira (2018) e Procknor (2002):

- É recomendado em tubulações a vapor, que todas as derivações dos tubos devem ser realizadas na parte superior deles, assim, será possível evitar a saída de líquidos de dentro dos tubos;
- Nas tubulações na forma horizontal as peças de redução devem ser excêntricas e niveladas por baixo, com o intuito conservar os tubos elevados, para evitar golpes de aríetes que podem acontecer no processo. Se as tubulações forem á forma vertical, as peças de redução utilizadas devem ser concêntricas;
- Em lugares onde as tubulações apresentem trechos longos retilíneos, as dilatações podem ser mais ponderadas, o que podem vir a trazer problemas tanto para seus suportes quanto para os equipamentos que estão ligados a tubulação. Assim, sempre que possível nesses trechos e preferível utilizar traçados que auxiliem nas mudanças de direção quando necessário. Caso não seja possível a utilização de traçados, pode ser liras quando viável ou ainda pode-se empregar juntas de dilatação conforme orientação para o trecho;
- Deve-se evitar que as válvulas sejam montadas com a haste apontada para baixo, pois quando montadas dessa maneira há possíveis acumulações de resíduos no castelo da válvula que serão durante o processo, transportados junto com o condensado. Sugere-se que tais válvulas, quando não seja viável coloca-las viradas para cima, sejam posicionadas lateralmente, contudo deve ser observado se montado dessa forma não irá dificultar o processo ou ainda, causar possíveis acidentes;
- Conforme visto durante a contextualização do presente trabalho, os purgadores são importantes e essenciais, principalmente nas tubulações onde há condução de vapor não superaquecido e onde é possível verificar o acúmulo de condensado. Sugere-se então, a instalação de purgadores com filtro, visor e um sistema de dreno em paralelo. A intenção é que qualquer resíduo ou impureza se aloje no dreno ao invés do purgador. Apesar de essenciais, os purgadores requerem que suas manutenções sejam realizadas periodicamente. Sempre que dentro dessas manutenções sejam verificadas desnível na instalação dos equipamentos, o uso de sifões se torna a melhor opção para equilibrar a pressão interna;

- Na instalação da tubulação, em seus pontos baixos, a indicação é que se tenha uma tomada com mecanismos para a drenagem dos tubos. Já nos pontos altos da tubulação, indica-se que também se tenha uma tomada com dispositivo para admissão e purgar de ar;
- Os ramais das tubulações devem ser conectados aos seus coletores pela parte superior dos tubos, para que se possa evitar o arraste de condensados. Assim é indicado que não se tenha turbinas no fim da linha das tubulações. Caso não seja possível que não haja turbinas, a alternativa é posterior à turbina a linha deve continuar por aproximadamente seis metros, e assim, ser instalado um sistema de purga adequado àquela linha;
- De início, sugere-se que as tubulações não sejam embutidas dentro de paredes ou pisos, contudo, quando não é possível de ser evitado, deve sempre deixar uma boa folga. Pois, as tubulações de vapor, são compostas por tubos quentes que durante seu uso está sujeito a dilatação, o que necessita uma folga de acordo com a dilatação tanto dentro da parede quanto por fora do revestimento isolante;
- Nas tubulações de vapor de escape, por conta do diâmetro grande, é essencial a instalação de juntas de dilatação, pois o extenso diâmetro inibe as mudanças de sentido da tubulação. Tornando o uso de juntas a solução mais indicada e menos criticada por tratar de pressões baixas;
- Indica-se que em equipamentos onde o serviço pode ser temporariamente dispensado (válvulas de redução de pressão, filtros, medidores, entre outros), devem possuir uma tubulação de contorno com equipamento de regulagem e bloqueio, tanto antes quanto depois, para que não seja necessário para todo o processo quanto tirado de operação. Assim, será mais fácil efetuar a conservação ou a mudança da válvula, ou equipamento;
- O uso de válvulas redutoras de pressão e alívio é essencial e devem ser bem escolhidas pensando sempre na questão dos ruídos do processo. Quando as válvulas não são escolhidas de acordo com o necessário, o barulho do ambiente durante o processo torna-se ao seu redor insuportável com ruído.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Construção Teórica da Pesquisa

Segundo Raupp e Beuren (2006), um estudo pode ser classificado de acordo com os procedimentos utilizados da seguinte forma:

Pesquisa quanto aos objetivos, que contempla a pesquisa exploratória, descritiva e explicativa; pesquisa quanto aos procedimentos, que aborda o estudo de caso, o levantamento, a pesquisa bibliográfica, documental, participante e experimental; e a pesquisa quanto à abordagem do problema, que compreende a pesquisa qualitativa e quantitativa (RAUPP; BEUREN, 2006, p. 79).

A presente pesquisa, sob ponto de vista dos objetivos trata-se de um estudo descritivo, pois, discorre sobre os fatos e fenômenos de um determinado objeto ou ambiente (TRIVIÑOS, 1987), que, no estudo em questão corresponde a analisar e redimensionar a eficiência energética de distribuição de vapor a fim de obter dados quantitativos das perdas e diâmetros econômicos.

Em relação à abordagem do problema, classifica-se essa pesquisa predominantemente como qualitativa. Para Pereira (1999, p. 21), este modelo “ocupa-se da investigação de eventos qualitativos, aqueles representados por dados qualitativos com referenciais teóricos menos restritivos e com maior oportunidade de manifestação para a subjetividade do pesquisador”. Assim, a pesquisa realizada de maneira qualitativa, fornece ao pesquisador uma maior liberdade de expressão de sua opinião tendo como base seus diagnósticos.

Para a sua realização, foi utilizado o estudo de casos da lavanderia hospitalar do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU). Nesse modelo de procedimento o principal objetivo é obter informações sobre o ambiente em análise, bem como interpretá-lo, fazer observações e coletar evidências. O estudo de caso é abordagem empírica utilizada para a investigação de dados atuais, por meio da análise de um ou mais componentes (OLIVEIRA, 2010).

A coleta de dados ocorreu durante o período de janeiro a fevereiro de 2022. O estudo de caso deu-se início por meio de uma pesquisa campo através de visitas regulares a lavanderia hospitalar do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU), após conhecer a estrutura física e o processo da lavanderia, foi realizado um levantamento de dados acerca do objetivo principal e objetivos específicos do presente trabalho.

3.1.1 Hospital em Estudo

O hospital analisado para o desenvolvimento do presente estudo foi o Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU). O mesmo se trata de um hospital geral destinado a atendimentos médicos de média e alta complexidades para diversos municípios pelo Sistema Único de Saúde. Sendo o maior hospital público da região, contando com mais de 520 leitos de internação e prestação de serviço de emergência durante 24 horas.

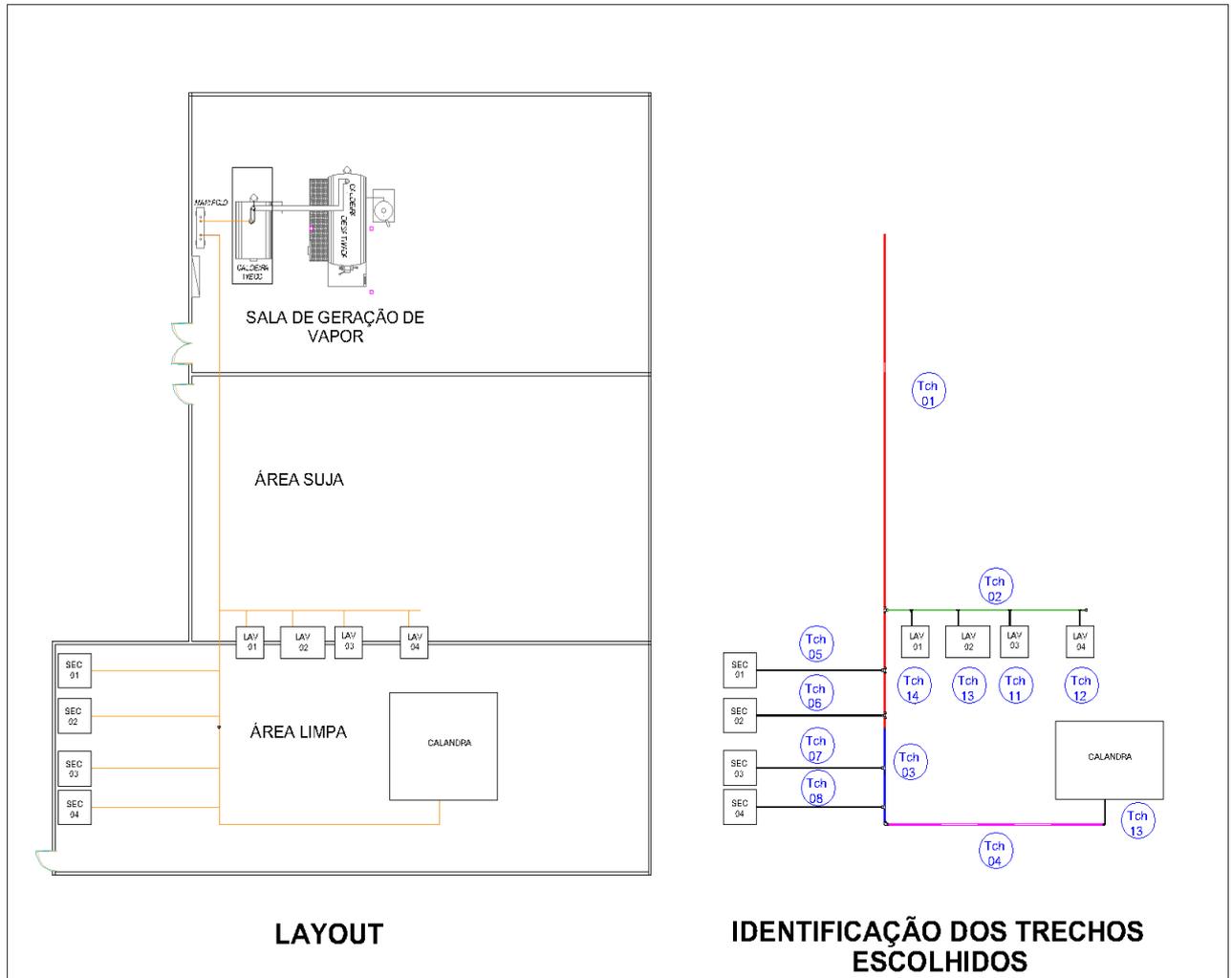
Além de proporcionar assistência em diversas especialidades médicas clínicas e cirúrgicas, até mesmo nas áreas de oncologia e transplantes, o HCU participa da formação de recursos humanos nas diferentes áreas do conhecimento, atendendo cursos de graduação como Medicina, Enfermagem, Nutrição, entre outros, e também a programas de Residência Médica e Multiprofissional. O Hospital de Clínicas de Uberlândia é estimado também como um campo amplo para pesquisa, o que possibilita que os estudantes das mais diversas áreas desenvolvam estudos dentro do próprio hospital.

3.2 Dados Coletados

Conforme descrito em materiais e métodos, para a realização do presente estudo, foi realizado uma pesquisa de campo dentro da lavanderia hospitalar do Hospital de Clínicas de Uberlândia (HCU), onde após o conhecimento da estrutura física e o processo da lavanderia, foi realizado um levantamento de dados onde coletaram-se informações acerca dos principais equipamentos utilizados, são eles: caldeira, lavadora, secadora e calandra.

Para a análise do sistema de rede de distribuição de vapor do HCU realizou-se o dimensionamento, a fim de aumentar a eficiência energética do sistema, obteve-se a planta baixa da edificação em questão conforme Figura 7 e verificou-se o levantamento sobre as principais características dos equipamentos utilizados (TABELA 3) e a localização das tubulações foram determinadas.

Figura 7 – Planta baixa da lavanderia do hospital.



Fonte: Adaptado pelo autor conforme planta baixa fornecida pelo HCU.

Tabela 3 – Características dos equipamentos utilizados na lavanderia.

TAG	Nome Equipamento	Temperatura de Operação	Desvio (+)	Desvio (-)	Pressão de Operação	Consumo Partida	Consumo Regime
		°C	°C	°C	Bar	Kg/h	Kg/h
L-01	Lavadora 200 Kg Sitec Modelo SXLE 2004	178	2	2	8,27	140	56
L-02	Lavadora 200 Kg Sitec Modelo SXLE 2004	178	2	2	8,27	140	56
L-03	Lavadora 200 Kg Sitec Modelo SXLE 2004	178	2	2	8,27	140	56
L-04	Lavadora 200 Kg Sitec Modelo SXLE 2004	178	2	2	8,27	140	56
S-01	Secadora Sitec 100 Kg Modelo SSV100	178	2	2	8,27	120	48
S-02	Secadora Sitec 100 Kg Modelo SSV100	178	2	2	8,27	120	48
S-03	Secadora Sitec 100 Kg Modelo SSV100	178	2	2	8,27	120	48
S-04	Secadora Sitec 50 Kg Modelo SSV5	178	2	2	8,27	90	36
C-01	Calandra Sitec Modelo 4SCV270/45	178	2	2	8,27	156	62,4
CF-01	Carga Futura	178	2	2	8,27	250	100
Total						1416	566,4

Fonte: Autor (2022).

3.2.1 Caldeira

A caldeira utilizada no hospital de Clínicas de Uberlândia-(HCU) é do tipo mista utilizando vapor saturado. De acordo com Bizzo (2003), as caldeiras mistas apresentam vantagens e aproveitam a radiação da queima do combustível para a troca térmica e utilizam combustíveis com baixo custo e alta disponibilidade em determinadas regiões.

A caldeira mista, por ser uma caldeira tipo flamotubular no boiler e aquatubular na fornalha, ela faz com que o calor da queima seja reaproveitado aumentando a eficiência energética. Através do calor reaproveitado, o conjunto de tubos com água reaquece, estes estão localizados na fornalha, porém o combustível utilizado para geração da queima deverá ter um controle de umidade, devido ao seu tipo de combustível ser sólido esse fator pode diminuir a eficiência (SANTOS, 2021).

A Figura 8 apresenta o modelo de caldeira utilizada na lavanderia do hospitalar bem como sua ficha técnica.

Figura 8 – Modelo e ficha técnica da caldeira utilizada na lavanderia.



Fabricante	WECO S.A - Indústria de Equipamento Termo-Mecânico
Modelo	HM - 09/12
Ano de Fabricação	2019
Nº Registro	612
Categoria	B
Capacidade de Produção de Vapor	4.400 kgv/h
PMTA	12,00 kgf/cm ²
Fluido	Vapor Saturado
Água de Alimentação	80° C
Combustível	Lenha em toras
Poder Calorífico Inf.	2900 kcal/kg
Tiragem	Natural () Forçada (X)

Fonte: Adaptado pelo autor com base no catálogo do fabricante WECO (2022).

3.2.2 Lavadora

A lavadora é instalada na área suja do setor da lavanderia e a retirada das roupas limpas é feito no setor de área limpa da mesma para que não ocorra contaminação, existe no HCU 4 unidades da lavadora SITEC MODELO SXLE 200 KG SITEC MODELO SXLE que é um modelo de extratora hospitalar, no seu processo é feito lavagem, enxágue e centrifugação das roupas segundo seu fabricante SITEC. O equipamento contém inversor de frequência, reduzindo assim seu consumo de energia.

A Figura 9 apresenta o modelo de lavadora utilizada na lavanderia do hospital bem como sua ficha técnica.

Figura 9 – Modelo e ficha técnica da lavadora utilizada na lavanderia.



MODELO MANUAL / AUTOMÁTICO		UNIDADES	SLEX-30HA	SLEX-60HA	SLEX-120HA	SLEX-200HA
Vapor	Capacidade (kg de roupa seca por operação)	kg	30 a 32	50 a 60	100 a 120	200 a 235
	Conexão / <i>Connection</i>	ØBSP	3/4"	3/4"	1.1/2"	2"
Steam	Pressão / <i>Pressure</i>	psi	100 a 120	100 a 120	100 a 120	100 a 120
	Consumo / <i>Consumption</i>	kg/h	21	42	84	140
Temperatura	(em cada aquecimento de 20 a 80°C)					
Dreno	Saída / <i>Exit</i>	Ø	3"	3"	6"	8"

Fonte: Adaptado pelo autor com base no catálogo do fabricante SITEC (2022).

3.2.3 Secadora

A secadora é instalada na área limpa do setor da lavanderia, e segue seu processo sentido a calandra e dobragem, existe no HCU 3 unidades de SECADORA SITEC 100KG MODELO SSV100 e 1 unidade do modelo SECADORA SITEC 50 KG MODELO SSV5 rotativo hospitalar. O equipamento contém inversor de frequência, reduzindo assim seu consumo de energia.

A Figura 10 apresenta o modelo de secadora utilizada na lavanderia do hospital bem como sua ficha técnica.

Figura 10 – Modelo e ficha técnica da secadora utilizada na lavanderia.



MODELO GÁS / VAPOR / ELÉTRICO		UNIDADES	SSG-15 SSV-15 SSE-15	SSG-20 SSV-20 SSE-20	SSG-30 SSV-30 SSE-30	SSG-50 SSV-50 SSE-50	SSG-100 SSV-100 SSE-100
Vapor	Capacidade (kg de roupa seca por operação)	kg	15	20	30	50	100
	Conexão / Connection	ØBSP	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"	1"
Steam	Pressão / Pressure	psi	100 a 120	100 a 120	100 a 120	100 a 120	101 a 120
	Consumo / Consumption	kg/h	27	34	54	90	180
Dreno	Saída / Exit	Ø	1/2"	1/2"	1/2"	1/2"	3/4"

Fonte: Adaptado pelo autor com base no catálogo do fabricante SITEC (2022).

3.2.4 Calandra

A calandra instalada na área limpa do setor da lavanderia deve seguir as normas e diretrizes regulamentadas descritas pela NR – 32. Portanto a calandra tem como sua principal função a secagem e passagem principalmente de roupas e lençóis dos centros cirúrgicos com uma temperatura variando de 120 a 180 °C, logo após o processo de calandragem segue para o dobramento manual e estocagem.

No HCU existe 1 unidade da Calandra Sitec Modelo 4SCV270/45 com multi rolos hospitalar. O equipamento contém inversor de frequência, reduzindo assim seu consumo de energia.

A Figura 11 apresenta o modelo de calandra utilizada na lavanderia do hospital bem como sua ficha técnica.

Figura 11 – Modelo e ficha técnica da calandra utilizada na lavanderia.



MODELO GÁS / VAPOR / ELÉTRICO		UNIDADES	2SCG-200-250 2SCV-200-250 2SCE-200-250	3SCG-200-250 3SCV-200-250 3SCE-200-250	4SCG-200-250 4SCV-200-250 4SCE-200-250	6SCG-200-250 6SCV-200-250
Capacidade de produção		kg/h	110	135	156	220
Vapor	Conexão de entrada / <i>Inlet connection</i>	ØBSP	1"	1.1/4"	1.1/4"	1.1/2"
	Pressão / <i>Pressure</i>	psi	100 a 120	100 a 120	100 a 120	100 a 120
Steam	Consumo / <i>Consumption</i>	kg/h	55 – 66	95 - 114	130 – 156	210 – 252
Dreno	Saida de condensado / <i>Condensed outlet</i>	ØBSP	1"	1"	1"	1"

Fonte: Adaptado pelo autor com base no catálogo do fabricante SITEC (2022).

3.3 Dimensionamento de Tubulação:

O dimensionamento da rede de distribuição de vapor é algo importante em um sistema de vapor. Devemos ter atenção para não superdimensionarmos a rede o que acarreta um custo alto em tubulações, pois o aumento do diâmetro tende a ser proporcional ao aumento do custo da tubulação. Além de haver maior área de troca de calor diminuindo assim a eficiência do isolamento térmico (aumentando a perda de calor) e tende a ter maior acúmulo de condensado na sua rede de distribuição. Quando se trata de uma rede subdimensionada haverá um aumento de velocidade e uma maior perda de carga na tubulação (atrato), logo terá menor pressão no final da rede ocasionando uma perda de vazão, golpes de aríete devido à alta velocidade e erosão segundo (TELLES, 2012).

Devemos usar para fazer o dimensionamento da tubulação dois métodos, são eles: o método da velocidade e o método da perda de carga. Ressalta-se que dentro da lavanderia hospitalar os equipamentos listados no tópico anterior têm uma pressão mínima.

Segundo Telles (2006), o cálculo do dimensionamento pelo método de velocidade, procura obter uma velocidade econômica. O autor lista, algumas velocidades econômicas conforme descrito na tabela abaixo:

Quadro 2 - Velocidades Econômicas

Água doce: redes em cidades	1 a 2	Ar comprimido:	15 a 20
redes em instalações industriais	2 a 3	Hidrocarbonetos (instalações industriais):	
alimentação de caldeiras	4 a 8	líquidos (linhas de sucção)	1 a 2
sucção de bombas	1 a 1,5	idem, outras linhas gasosas	1,5 a 2,5 25 a 30
Vapor: até 2 kg/cm ² (saturado)	20 a 40	Água salgada (tubos de aço com revestimentos)	1,5 a 2,5
2 a 10 kg/cm ²	40 a 60	idem, tubos de latão	1,5 (máx.)
mais de 10 kg/cm ²	60 a 100	idem, tubos de metal	
		Monel	3 (máx.)
		Acetileno	20 a 25

Fonte: Telles (2006).

Porém, de acordo com Bermo (2020), deve-se admitir velocidade de 20 a 35 m/s, tentando sempre estar próximo a 35 m/s. Para tanto, o cálculo do diâmetro inicialmente deve determinar a vazão conforme equação abaixo:

$$Q = \dot{m} * \delta \quad (1)$$

$$D = \left(354 * \frac{Q * \delta}{v} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

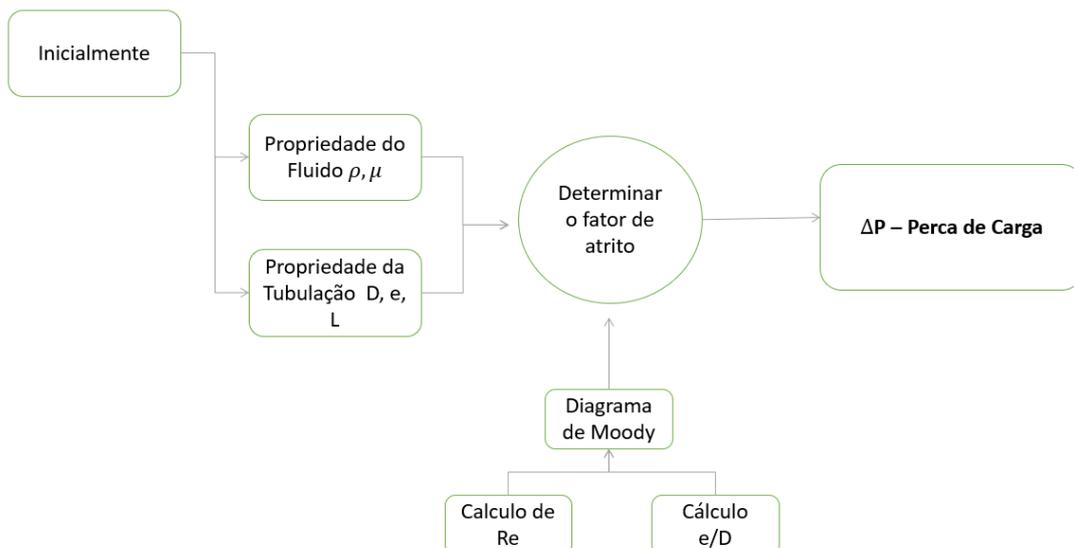
Onde:

- D \Rightarrow Diâmetro interno da tubulação (mm);
- Q \Rightarrow Vazão (Kg/h);
- \dot{m} \Rightarrow Vazão mássica do fluido (Kg/s);
- v \Rightarrow Velocidade econômica (m/s);
- δ \Rightarrow volume específico na temperatura do vapor saturado (m³/kg);

Dessa forma, é possível determinar o diâmetro das tubulações que se deve utilizar por meio dos dados do fabricante, e posteriormente calcula-se pelo método de perda de carga para verificação e validação dos dados.

O método de perda de carga objetiva verificar o quanto de energia se perde no escoamento entre a tubulação e o fluido. A verificação da perda de carga é realizada através da pressão, e por meio dela é possível verificar o quanto existe de atrito entre o fluido e a tubulação. Para determinar a perda de carga, serão seguidos os passos descritos conforme a Figura 12.

Figura 12 – Orientação para determinação da perda de carga



Fonte: Autor (2022).

Determinado as propriedades do fluido e da tubulação podemos então calcular o número de Reynolds que nos demonstra o tipo de escoamento que estamos tratando, o número de Re é um número adimensional.

$$Re = \frac{\rho * D * V}{\mu} \quad (3)$$

Onde:

- D \Rightarrow Diâmetro interno da tubulação (m);
- μ \Rightarrow Viscosidade dinâmica do vapor (m²/s)
- ρ \Rightarrow Massa específica do fluido vapor (Kg/m³);
- V \Rightarrow Velocidade do fluido (m/s);

Para usarmos o diagrama de moody é necessária a determinação das propriedades da tubulação, para tanto vamos seguir a tabela abaixo para determinação da rugosidade absoluta.

Quadro 3 – Rugosidade absoluta

MATERIAL	RUGOSIDADE ABSOLUTA (mm)
Aço comercial novo	0,045
Aço laminado novo	0,04 a 0,1
Aço soldado novo	0,05 a 0,1
Aço soldado limpo, usado	0,15 a 0,2
Aço soldado moderadamente oxidado	0,4
Aço soldado revestido de cimento centrifugado	0,1
Aço laminado revestido de asfalto	0,05
Aço rebitado novo	1 a 3
Aço rebitado em uso	6
Aço galvanizado, com costura	0,15
Aço galvanizado, sem costura	0,06
Ferro forjado	0,05
Ferro fundido novo	0,25 a 5
Ferro fundido com leve oxidação	0,3
Ferro fundido velho	3 a 5
Ferro fundido centrifugado	0,05
Ferro fundido em uso com cimento centrifugado	0,1
Ferro fundido com revestimento asfáltico	0,12
Ferro fundido oxidado	1 a 1,5
Cimento amianto novo	0,025
Concreto centrifugado novo	0,16
Concreto armado liso, vários anos de uso	0,2 a 0,3
Concreto com acabamento normal	1 a 3
Concreto protendido Freyssinet	0,04
Cobre, latão, aço revestido de epóxi, PVC, plásticos em geral, tubos extrudados	0,0015

Fonte: Adaptado de Barral (2022).

Para utilizar o diagrama de Moody devemos usar a rugosidade relativa, então aplicamos a equação (4).

$$\frac{e}{D} = \text{Rugosidade relativa} \quad (4)$$

Onde:

- D \Rightarrow Diâmetro interno da tubulação (m);
- e \Rightarrow Rugosidade absoluta (mm)

Assim determinamos o fator de fricção utilizando o diagrama de Moody através das variáveis acima, número de Reynolds e a rugosidade relativa.

Por ser um escoamento turbulento a perda de carga será determinada pela equação(5), segundo (Benzor 2017).

$$\Delta P = \frac{f * l * v^2}{2 * D * \delta} \quad (5)$$

Onde:

- D \Rightarrow Diâmetro interno da tubulação (m);
- v \Rightarrow velocidade do fluido em (m/s)
- ΔP \Rightarrow Queda de pressão em (Pa)
- δ \Rightarrow volume específico na temperatura do vapor saturado (m³/kg);
- L \Rightarrow Comprimento total em (m)
- f \Rightarrow Fator de atrito (adimensional)

Logo temos que o L comprimento total é determinado não somente pelo comprimento linear da tubulação e sim pela soma entre os comprimentos dos acessórios como (curvas, válvulas e reduções) e o comprimento linear como visto abaixo na equação (6).

$$L = L_{\text{acessorio}} + L_{\text{linear}} \quad (6)$$

Onde:

- $L_{\text{acessorio}}$ \Rightarrow Comprimento equivalente dos acessórios (m);
- L_{linear} \Rightarrow Comprimento linear da tubulação (m)
- L \Rightarrow Comprimento total da tubulação (m)

Os valores do comprimento equivalente dos acessórios são experimentais vão ser demonstrados quando for analisado o dimensionamento.

3.4 Espessura Econômica

A transferência de calor ocorre devido ao diferencial de temperatura (ΔT) entre o vapor dentro da tubulação e o ambiente externo. Segundo Incropera e Dewitt (2008) a quantidade de calor transferido depende de vários fatores de troca de calor como irradiação, condução, convecção e espessura da tubulação e seu diâmetro. Devido a esses vários fatores é que utilizamos camadas de isolante térmico para que consiga evitar uma perda drástica de calor da tubulação para o meio, diminuindo assim o condensado nas tubulações e aumentando a eficiência térmica da mesma.

Segundo Eletrobras (2005), existem vários tipos de isolamentos térmicos. São eles:

- Isolantes refletivos: folhas metálicas de aço inoxidável e alumínio (reflexão de ondas infravermelhas);
- Isolantes fibrosos: lã de rochas, lã de vidro (a compactação das fibras faz com que não tenha uma condução e nem uma convecção natural facilitada);
- Isolantes granulares: o silicato de cálcio, a magnésia, a diatômica e a cortiça (formados por grânulos prendem ar dificultando a transferência de calor);
- Isolantes celulares: os materiais usuais são as espumas de borracha, de vidro, espumas plásticas (estireno, poliuretano) e o aero gel de sílica – (materiais altamente porosos e impermeáveis, com condução mínima e convecção conforme suas paredes).

Porém, o que deve ser levado em consideração é a condutividade térmica, absorção de umidade, inflamabilidade, custo e temperatura a ser isolada. Dessa forma, existe três tipos de dimensionamento de isolamentos térmicos. São eles: método da perda térmica máxima permissível; método da espessura necessária à proteção do indivíduo; e método da espessura econômica.

Para determinação da espessura econômica do isolamento térmico, verifica-se a transferência de calor nos corpos. Temos como definição que corpos estão sujeitos a condução e convecção sendo estas (natural e forçada), porém temos considerações de similaridades que nos traz algumas simplificações.

Para determinação de correlações necessitamos de alguns números adimensionais:

- Número de Grashof é a medida da razão da força de empuxo e as forças viscosas atuantes no fluido de análise. Temos a seguinte equação para-se obter tal resultado:

$$Gr_D = \frac{g * \beta(Ts - T_{\infty}) * L^3}{\vartheta^2} \quad (7)$$

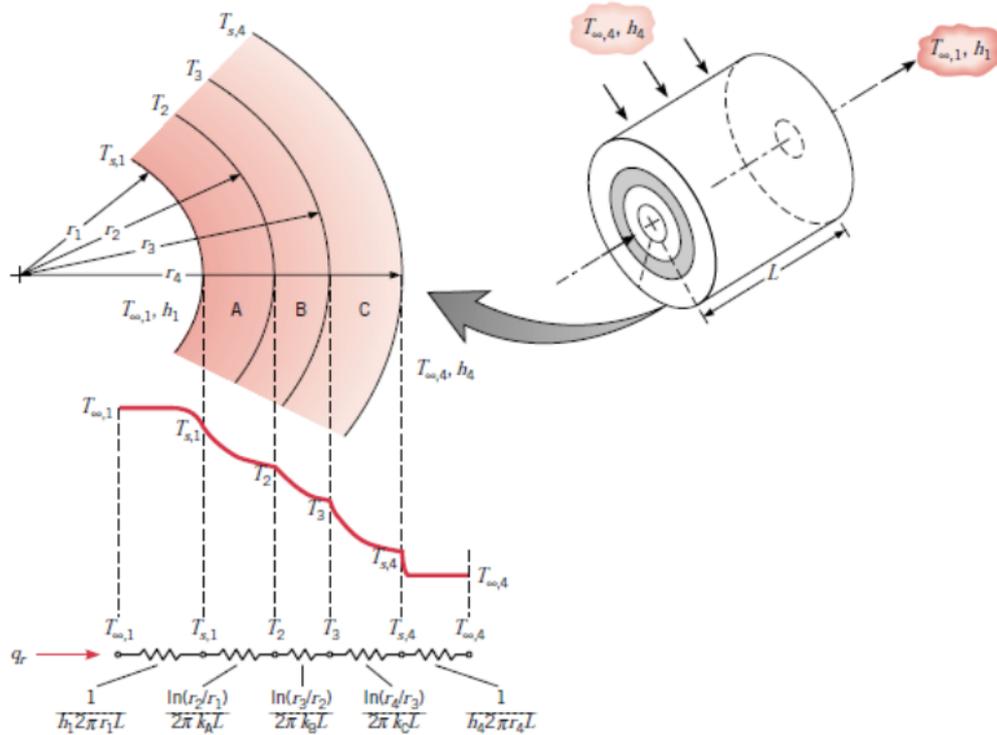
- Número de Reynolds é a medida da razão de forças inerciais e forças viscosas atuantes no fluido, determinado na equação (3).

Onde

- g \Rightarrow Representa a aceleração da gravidade (m/s²);
- β \Rightarrow Coeficiente de expansão térmica (K⁻¹);
- Ts \Rightarrow Representa a temperatura da superfície da tubulação(K);
- L \Rightarrow O comprimento característico da tubulação (m);
- ϑ \Rightarrow A viscosidade cinemática do fluido (m²/s);
- T_{∞} \Rightarrow A temperatura média entre o ambiente e a superfície do tubo(K);
- Gr_D \Rightarrow Número Adimensional Grashof;

Logo tem-se a troca térmica nos tubos, conforme exemplificado pela Figura 13, adaptado utilizando duas camadas.

Figura 13 – Troca térmica dos tubos



Fonte: Incropera e Dewitt (2008).

Para o primeiro e último trecho a transferência de calor deverá ser por convecção forçada e natural, dentro e no entorno da tubulação a transferência de calor deverá ser por condução. Assim segundo Incropera e Dewitt (2008), usaremos a equação (8), para determinar a taxa de transferência de calor por convecção.

$$q_{conv} = h * A * (Ts - T_{\infty}) \quad (8)$$

Onde:

- q_{conv} \Rightarrow Taxa de transferência de calor por convecção (W);
- h \Rightarrow Coeficiente convectivo de transferência de calor (W/(m*K));
- A \Rightarrow Área da seção transversal (m²);
- Ts \Rightarrow Temperatura da Superfície (K);
- T_{∞} \Rightarrow Temperatura do Fluido(K);
- **Taxa de Transferência de Calor por Convecção interna Forçada**

Na convecção interna forçada usaremos para determinar o coeficiente convectivo de transferência de calor correlações da convecção: Escoamento Turbulento em Tubos Circulares, para escoamentos turbulentos plenamente desenvolvidos. O número de Nusselt, segundo Incropera e Dewitt (2008), pode ser determinado através da equação (9) abaixo, desde que sigam os parâmetros descritos no Quadro 4.

Quadro 4 – Parâmetros numéricos

$Re_D \geq 10.000$
$\frac{L}{D} \geq 10$
$0,6 \leq Pr \leq 160$

Fonte: Incropera e Dewitt (2008).

$$Nu_D = 0,023 * Re_D^{4/5} * Pr^n \quad (9)$$

Onde:

- Nu_D ⇒ Número de Nusselt adimensional;
- Pr ⇒ Número de Prant adimensional;
- n ⇒ Variação 0,4 aquecimento e 0,2 resfriamento

O número de Prant, é adimensional e busca aproximar a razão da difusidade de movimento e a difusidade térmica segundo Incropera e Dewitt (2008), temos:

$$Pr = \frac{cp * \mu}{k} \quad (10)$$

Onde:

- cp ⇒ Calor específico do fluido (J/(kg*K));
- μ ⇒ Viscosidade dinâmica (Pa*s)

Para determinamos o número de Nusselt que mede a transferência de calor por convecção, temos assim os seguintes resultados:

- $Nu = 1$: não temos transferência de calor por convecção apenas condução;
- $Nu > 1$: tende a ter maior transferência de calor por convecção que por condução.

Logo, de acordo com Incropera e Dewitt (2008), podemos determinar o coeficiente convectivo médio de convecção forçada interna usando a equação abaixo:

$$h = \frac{Nu * k_{vapor}}{D} \quad (11)$$

- **Taxa de Transferência de Calor por Convecção Externa e Natural)**

Para a determinação do número de Nusselt temos três correlações distintas, sendo duas para tubulações na vertical e uma na horizontal. Determinando o número de Nusselt podemos usar a equação (15), para obter os resultados do coeficiente convectivo de transferência de calor por convecção externa natural.

- Equação de transferência de calor em cilindro longo na vertical:

$$Nu_D = \left\{ 0,825 + \frac{(0,387 * (Gr_L * Pr))^{1/6}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad Gr_L * Pr \geq 10^9 \quad (12)$$

$$Nu_D = \left\{ 0,68 + \frac{(0,67 * (Gr_L * Pr))^{1/4}}{[1 + (\frac{0,492}{Pr})^{9/16}]^{4/9}} \right\}^2 \quad Gr_L * Pr \leq 10^9 \quad (13)$$

- Equação de transferência de calor em cilindro longo na horizontal:

$$Nu_D = \left\{ 0,60 + \frac{0,387 * (Gr_L * Pr)^{1/6}}{[1 + (\frac{0,559}{Pr})^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad Gr_L * Pr \leq 10^{12} \quad (14)$$

Para determinação do coeficiente convectivo usaremos a equação:

$$h = \frac{Nu * k_{ar}}{D} \quad (15)$$

- **Taxa de Transferência de Calor por Condução**

O modelo Figura 14 temos que a $T_i > T_e$, portanto o calor tende a seguir o fluxo do $A \rightarrow C$, sabemos que o fluxo do calor é de dentro da tubulação para fora do isolamento, além disso a transferência de calor da parede da tubulação até o isolamento é por condução.

Simplificações:

- Regime Permanente;
- Unidirecional radial;
- Sem geração interna de calor;
- Condutividade interna constante.

Segundo Incropera e Dewitt (2008) o equacionamento se dá por:

$$q_{cond} = k * At * \frac{dT}{dr} \quad (16)$$

Onde:

- q_{cond} \Rightarrow Taxa de transferência de calor por condução (W);
- k \Rightarrow Condutividade térmica (W/(m*K));
- At \Rightarrow Área da seção transversal (m²);
- $\frac{dT}{dr}$ \Rightarrow Taxa de variação de temperatura ao longo do raio (°C/m);

Integrando a equação (1) temos a taxa de transferência de calor radial de um cilindro, conforme equação abaixo:

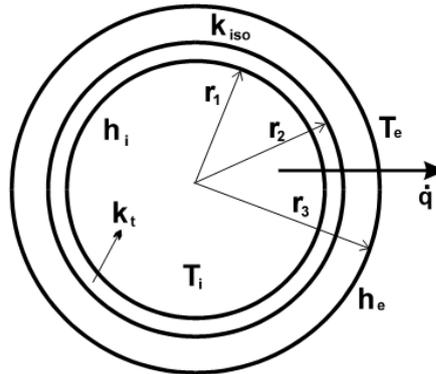
$$q_{cond}' * \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) = k * At * (T_e - T_i) \quad (17)$$

Onde:

- T_e \Rightarrow Temperatura externa da tubulação (K);
- T_i \Rightarrow Temperatura interna da tubulação (K);

Para Incropera e Dewitt (2008), podemos fazer uma analogia entre resistência elétrica e térmicas assim podemos propor que:

Figura 14 – Resistência elétrica e térmica



Fonte: Incropera e Dewitt (2008).

$$q' = \frac{\Delta T_{total}}{R_{total}} = \frac{\Delta T_{total}}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} = \frac{(T_i - T_e)}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} \quad (18)$$

Onde:

- R_1 e R_4 \Rightarrow Resistências térmicas por convecção (forçada e natural);
- R_2 e R_3 \Rightarrow Resistências térmicas por condução;

$$q' = \frac{(T_i - T_e)}{(R_1 + R_2 + R_3 + R_4)} = \frac{(T_i - T_e)}{\frac{1}{h_i * A_i} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{k_t * 2 * \pi * L} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{k_{iso} * 2 * \pi * L} + \frac{1}{h_e * A_e}} \quad (19)$$

As áreas internas (A_i) e externas (A_e) dependem do raio r_2 e r_1 , logo temos:

$$q' = \frac{(T_i - T_e)}{\frac{1}{h_i * 2 * \pi * r_1 * L} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{k_t * 2 * \pi * L} + \frac{\ln(\frac{r_3}{r_2})}{k_{iso} * 2 * \pi * L} + \frac{1}{h_e * 2 * \pi * r_3 * L}} \quad (20)$$

Assim, sabemos que:

$$q'_{total} = q'_{t_i-t_1} = q'_{t_1-t_2} = q'_{t_2-t_3} = q'_{t_3-t_4} \quad (21)$$

Então, o comportamento utilizado para transporte de vapor através das tubulações para o cálculo da espessura do isolamento, utilizaremos adotar valores para o r_3 e analisar a convecção natural em específico a temperatura da superfície, esta deve estar dentro das normas de segurança do Ministério do Trabalho que recomenda, quando houver contato de

operadores em superfícies aquecidas essa superfície tem que estar a uma temperatura até 60°C (Eletrobras, 2005).

3.5 Dimensionamento de Purgadores

Purgadores são dispositivos que separam e eliminam o condensado das tubulações de vapor, segundo Eletrobras (2005). Para determinamos a quantidade total de condensado, utilizaremos o método segundo Benzor (2020).

- **Quantidade de condensado gerado por perda de calor por irradiação devido à falta de isolamento:**

$$Qs = \frac{3,6 * qe * L * fiso * fe}{Cl} \quad (22)$$

Onde:

- qe ⇒ Taxa de emissão (W/m);
- L ⇒ Comprimento da tubulação (m);
- $fiso$ ⇒ Fator de isolamento;
- fe ⇒ fator de emissão;
- Cl ⇒ Calor latente em (KJ/Kg);
- Qs ⇒ Quantidade de condensado formado na tubulação (Kg/h);

- **Peso da tubulação:**

$$Pt = Pl * L \quad (23)$$

Onde:

- Pt ⇒ Peso do tubo (kg);
 - Pl ⇒ Peso linear (kg/m);
 - l ⇒ Comprimento do tubo (m);
- **Quantidade de condensado gerado na partida do sistema devido ao aquecimento da tubulação:**

$$Qa = \frac{60 * Pt * (Tf, vap - Ti, tub) * c}{Cl * t} \quad (24)$$

Onde:

- Pt ⇒ Peso do tubo (kg);
- Tf, vap ⇒ Temperatura máxima do vapor interna (°C);
- Ti, tub ⇒ Temperatura inicial do tubo (°C);
- c ⇒ Calor específico do material do tubo (KJ/Kg. °C);
- Cl ⇒ Calor latente em (KJ/Kg);
- t ⇒ Tempo desejado aquecimento de toda tubulação;
- Qa ⇒ Quantidade de condensado formado (Kg/h);

- **Quantidade total de condensado:**

$$Qt = n * (Qa + Qs) \quad (5)$$

Onde:

- Qt ⇒ Quantidade total de condensado (kg/h);
- Qa ⇒ Quantidade de condensado gerado na partida do sistema devido ao aquecimento da tubulação (kg/h);
- Qs ⇒ Quantidade de condensado gerado por perda de calor por irradiação (kg/h);
- n ⇒ Fator de segurança.

Para determinação da quantidade de condensado, existem várias tabelas e gráficos. Alguns utilizam apenas o Qs (Quantidade de condensado gerado por perda de calor por irradiação) para redução de custo, porém muitas vezes os purgadores não conseguem sua melhor eficiência do sistema. Podendo ocorrer falhas no seu isolamento térmico, então iremos utilizar a metodologia acima descrita que de certa forma é mais conservadora, além de prevenir erros na partida de equipamentos quando não são feitos a drenagem do condensado corretamente.

4 ANÁLISE DOS DADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Dimensionamento da Tubulação

Iniciamos o projeto pela determinação de localização das tubulações seguindo o layout da planta bem como, seguindo as diretrizes e recomendações de boas práticas de instalações de rede de vapor. Assim vamos determinar as redes de distribuição, que são elas:

- Rede primária (rede mestre);
- Rede secundária;
- Rede terciária (alimentação).

Serão divididos os trechos, conforme o Quadro 5 abaixo:

Quadro 5 – Divisão das Redes de Distribuição

Descrição	Comprimento (m)
Linha de Vapor Primária (Mestre)	
Trecho 01	23,697
Linha de Vapor Secundária	
Trecho 02	10,5
Trecho 03	5,865
Trecho 04	4,624
Linha de Vapor Terciária (Alimentação)	
Trecho 05 (Secadora 01)	8,7
Trecho 06 (Secadora 02)	8,7
Trecho 07 (Secadora 03)	8,7
Trecho 08 (Secadora 04)	8,7
Trecho 09 (Lavadora 01)	2,28
Trecho 10 (Lavadora 02)	2,28
Trecho 11 (Lavadora 03)	2,28
Trecho 12 (Lavadora 04)	2,28
Trecho 13 (Calandra)	14,22

Fonte: Autor (2022).

Para determinação do diâmetro usaremos a equação (2) onde necessitamos das variáveis da Caldeira da marca WECO. Depois de algum tempo instalada seguimos o prontuário da Caldeira, com os parâmetros atualizados e reais, conforme o Quadro 6 abaixo:

Quadro 6 – Prontuário Caldeira

Localização:	Lateral da Caldeira	
Dados Originais:	Fabricante:	WECO S.A – INDÚSTRIA DE EQUIPAMENTO TERMO-MECÂNICO
	Modelo:	HM 09/12
	Nº Registro:	612
	Ano de Fabricação:	2019
	PMTA:	12 kgf/cm ²
	Pressão de Teste Hidro.	18 kgf/cm ²
	Superfície de aquecimento:	125,7 m ²
	Produção de Vapor:	4000 kgv/h
	Água de alimentação:	80°C
	Código de Projeto:	ASME – SEC I ED2007
	Categoria da Caldeira:	B

Fonte: Prontuário WECO (2022).

Por meio dos equipamentos em que foram analisados os dados da lavanderia do HCU, foi possível, determinar através da tabela do Apêndice (A) fazendo uma interpolação linear das propriedades do vapor saturado, temperatura de saturação e pressão absoluta. As variações dos equipamentos de pressões (máxima e mínima) e temperaturas (máxima e mínima) são demonstradas no Quadro 7 abaixo.

Quadro 7 - Intervalo de pressão e temperatura mínima e máxima.

Pressão Absoluta (bar)	Temperatura de Saturação (°C)
8,27	171
6,89	163,5

Fonte: Autor com base no Anexo A (2022).

Para a determinação da linha de vapor primária (mestre), será utilizado a capacidade nominal da caldeira determinada pelo fabricante (WECO, 2022) de 4 t/h. Nos outros trechos (secundárias e terciárias) usaremos a capacidade determinada dos equipamentos seguindo a demanda dos trechos, por meio da ficha técnica das lavadoras, secadoras e calandra.

Para o dimensionamento das tubulações pelo método da velocidade será utilizada a equação (2). Logo conforme a Tabela 4, obteve os seguintes resultados:

Tabela 4 – Dimensionamento Método da Velocidade.

Descrição	Q(kg/h)	Pressão (bar)	δ (m ³ /kg)	v(m/s)	D(mm) interno	D (in) interno
Trecho 01	4000	9	0,21636	35	93,5595	3,68345
Trecho 02	560	8,27	0,23938	35	36,8222	1,44969
Trecho 03	856	8,27	0,23938	35	45,5252	1,79233
Trecho 04	366	8,27	0,23938	35	29,7684	1,17198
Trecho 05 (Secadora 01)	120	8,27	0,23938	35	17,0453	0,67108
Trecho 06 (Secadora 02)	120	8,27	0,23938	35	17,0453	0,67108
Trecho 07 (Secadora 03)	120	8,27	0,23938	35	17,0453	0,67108
Trecho 08 (Secadora 04)	90	8,27	0,23938	35	14,7617	0,58117
Trecho 09 (Lavadora 01)	140	8,27	0,23938	35	18,4111	0,72485
Trecho 10 (Lavadora 02)	140	8,27	0,23938	35	18,4111	0,72485
Trecho 11 (Lavadora 03)	140	8,27	0,23938	35	18,4111	0,72485
Trecho 12 (Lavadora 04)	140	8,27	0,23938	35	18,4111	0,72485
Trecho 13 (Calandra)	156	8,27	0,23938	35	19,4347	0,76515

Fonte: Autor (2022).

Os valores determinados são para o caso mais crítico onde todos os equipamentos estão operando no máximo das suas vazões e pressões, sem analisar fatores de simultaneidade, além disso, com a determinação da vazão do trecho primário (mestre) como a da caldeira podemos ainda já prever uma capacidade futura de expansão da lavanderia.

Para o dimensionamento pela perda de carga devemos escolher um diâmetro comercial, utilizaremos o catálogo de tubos no Apêndice (B) do tipo Schedule 40 após a seleção devemos corrigir assim a velocidade. Determinamos a quantidade de acessórios e comprimento total conforme a equação (6), assim foi calculado o número de Reynolds (Re) equação (3) e junto à rugosidade efetiva (e/D) equação (4). Com as duas informações foram determinadas no Diagrama de Moody o fator de atrito da tubulação (f) assim, verificou-se que o diâmetro escolhido está dentro do limite determinado para o dimensionamento por perda de carga seguindo a equação (5).

A quantidade de acessórios e seu comprimento equivalente estão descritos nas Tabelas 5, 6 e 7, abaixo.

Tabela 5 - Diâmetro Comercial Anexo B

Descrição	D(mm) calculado	Diâmetro Comercial (Nominal)	Diâmetro Comercial (externo) (mm)	Diâmetro Comercial (interno) (mm)
Trecho 01	93,559524	4"	114,3	102,26
Trecho 02	36,822155	1.1/2"	48,26	40,9

Trecho 03	45,525222	2"	60,33	52,51
Trecho 04	29,768416	1.1/4"	42,16	35,04
Trecho 05 (Secadora 01)	17,045346	3/4"	26,67	20,93
Trecho 06 (Secadora 02)	17,045346	3/4"	26,67	20,93
Trecho 07 (Secadora 03)	17,045346	3/4"	26,67	20,93
Trecho 08 (Secadora 04)	14,761702	1/2"	21,34	15,8
Trecho 09 (Lavadora 01)	18,411077	3/4"	26,67	20,93
Trecho 10 (Lavadora 02)	18,411077	3/4"	26,67	20,93
Trecho 11 (Lavadora 03)	18,411077	3/4"	26,67	20,93
Trecho 12 (Lavadora 04)	18,411077	3/4"	26,67	20,93
Trecho 13 (Calandra)	19,434684	3/4"	26,67	20,93

Fonte: Autor (2022).

Tabela 6 – Diâmetro determinado através do Layout da Planta.

Descrição	Comprimento Linear (m)	Nº Válvulas de Bloqueio	Nº Curvas de raio longo	Nº Curvas de raio curto	Nº de tê de passagem direta	Nº de te de passagem indireta
Trecho 01	23,697	2	0	4	0	1
Trecho 02	10,5	0	0	0	4	0
Trecho 03	5,865	0	0	0	4	0
Trecho 04	4,624	0	0	0	2	0
Trecho 05 (Secadora 01)	8,7	1	0	1	1	1
Trecho 06 (Secadora 02)	8,7	1	0	1	1	1
Trecho 07 (Secadora 03)	8,7	1	0	1	1	1
Trecho 08 (Secadora 04)	8,7	1	0	1	1	1
Trecho 09 (Lavadora 01)	2,28	1	0	1	1	1
Trecho 10 (Lavadora 02)	2,28	1	0	1	1	1
Trecho 11 (Lavadora 03)	2,28	1	0	1	1	1
Trecho 12 (Lavadora 04)	2,28	1	0	1	1	1
Trecho 13 (Calandra)	14,222	1	0	1	1	1

Fonte: Autor (2022).

Tabela 7 – Cálculos com base no Anexo C.

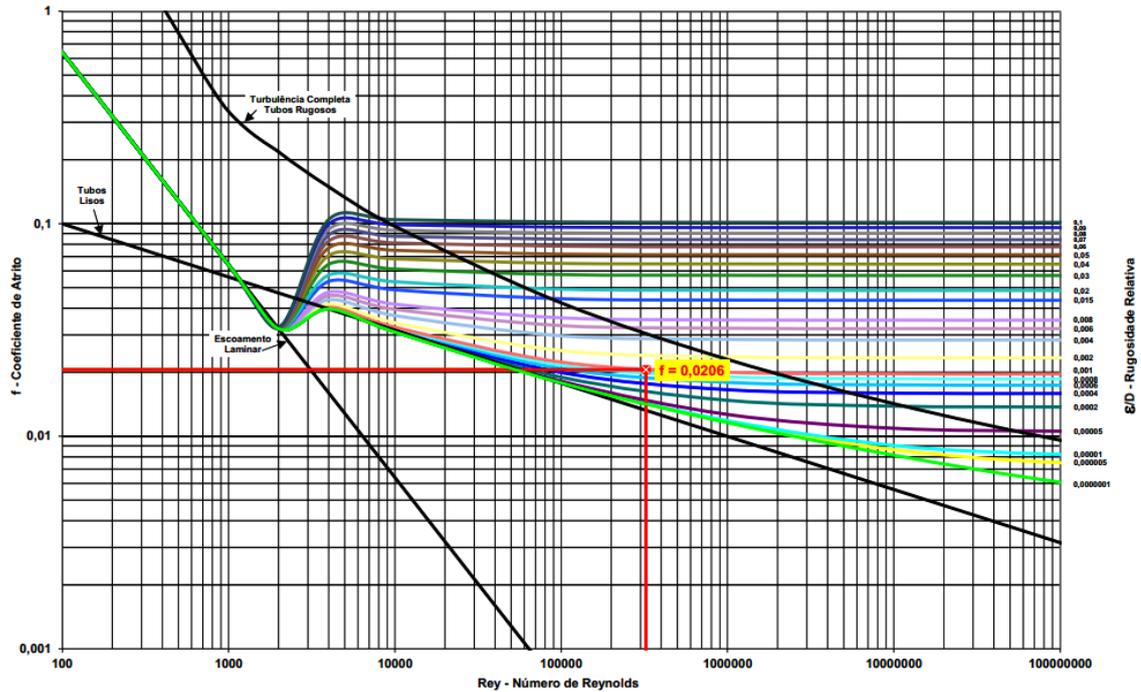
Descrição	D Comercial	Comprimento Linear (m)	Válvulas de Bloqueio (m)	Curvas de raio longo (m)	Curvas de raio curto (m)	Tê de passagem direta (m)	Tê de passagem bilateral (m)	Comprimento Total (m)X
Trecho 01	4"	23,697	1,4	0	6,4	0	6,7	38,197
Trecho 02	1.1/2"	10,5	0	0	0	3,6	0	14,1
Trecho 03	2"	5,865	0	0	0	4,4	0	10,265
Trecho 04	1.1/4"	4,624	0	0	0	1,4	0	6,024
Trecho 05 (Secadora 01)	3/4"	8,7	0,1	0	0,4	0,4	1,4	11
Trecho 06 (Secadora 02)	3/4"	8,7	0,1	0	0,4	0,4	1,4	11
Trecho 07 (Secadora 03)	3/4"	8,7	0,1	0	0,4	0,4	1,4	11
Trecho 08 (Secadora 04)	1/2"	8,7	0,1	0	0,4	0,4	1,4	11
Trecho 09 (Lavadora 01)	3/4"	2,28	0,1	0	0,4	0,4	1,4	4,58
Trecho 10 (Lavadora 02)	3/4"	2,28	0,1	0	0,4	0,4	1,4	4,58
Trecho 11 (Lavadora 03)	3/4"	2,28	0,1	0	0,4	0,4	1,4	4,58
Trecho 12 (Lavadora 04)	3/4"	2,28	0,1	0	0,4	0,4	1,4	4,58

Trecho 13 (Calandra)	3/4"	14,222	0,1	0	0,4	0,4	1,4	16,522
----------------------	------	--------	-----	---	-----	-----	-----	--------

Fonte: Autor (2022).

Na Figura 15 abaixo é demonstrado o Diagrama de Moody, que foi utilizado para obtenção do fator de atrito do primeiro trecho (Trecho 01) e dos demais procedimentos.

Figura 15 – Cálculo do Coeficiente de Atrito, Diagrama de Moody.



Fonte – Marcuzzo e Wendland (2007).

Logo, pode-se determinar o resultado da perda de carga nas tubulações, conforme Tabela 8, abaixo:

Tabela 8 - Dimensionamento por Perda de Carga

Reynolds	ρ (kg/m ³)	D(m)	v(m/s)	μ (kg/m.s)	e/D	F	L(m)	δ (m ³ /kg)	ΔP (Bar)
923137,1	4,621885729	0,10226	29,29763	0,000015	0,000391	0,016557	38,2	0,2163619	0,122673046
323129,6	4,177388298	0,0409	28,36873	0,000015	0,000978	0,020579	14,1	0,23938402	0,119255604
384719,1	4,177388298	0,05251	26,30802	0,000015	0,000762	0,019443	10,265	0,23938402	0,054946532
246506,8	4,177388298	0,03504	25,26104	0,000015	0,001142	0,021495	6,024	0,23938402	0,049252434
135308,2	4,177388298	0,02093	23,21353	0,000015	0,001911	0,024652	11	0,23938402	0,145827666
135308,2	4,177388298	0,02093	23,21353	0,000015	0,001911	0,024652	11	0,23938402	0,145827666
135308,2	4,177388298	0,02093	23,21353	0,000015	0,001911	0,024652	11	0,23938402	0,145827666
134430,4	4,177388298	0,0158	30,55109	0,000015	0,002532	0,026269	11	0,23938402	0,356542084
157859,5	4,177388298	0,02093	27,08245	0,000015	0,001911	0,024475	4,58	0,23938402	0,082049679
157859,5	4,177388298	0,02093	27,08245	0,000015	0,001911	0,024475	4,58	0,23938402	0,082049679

157859,5	4,177388298	0,02093	27,08245	0,000015	0,001911	0,024475	4,58	0,23938402	0,082049679
157859,5	4,177388298	0,02093	27,08245	0,000015	0,001911	0,024475	4,58	0,23938402	0,082049679
175900,6	4,177388298	0,02093	30,17759	0,000015	0,001911	0,024358	16,522	0,23938402	0,365748495

Fonte: Autor (2022).

Na Tabela 8 (dimensionamento por método da velocidade e por perda de carga) foram realizadas várias interações para melhor escolha do diâmetro da tubulação. De acordo com Bermo (2020) a cada 100 metros a perda de carga admitida será de 0,3 Bar. No último trecho, (trecho 13) e no (trecho 08), foi admitido 0,36 bar na perda de carga devido à escolha do próximo diâmetro de tubulação não atender a velocidade do escoamento estar abaixo de $v=20(m/s)$.

4.2 Isolamento Térmico

Para o dimensionamento do isolante térmico usaremos o método da espessura econômica, combinado com método da espessura necessária à proteção do indivíduo.

Para determinar o isolamento térmico, será realizado primeiro o cálculo da correlação de Escoamento Turbulento em Tubos Circulares, para escoamentos turbulentos plenamente desenvolvidos o número de Nusselt, a equação (9), dessa forma, obtém-se o valor do coeficiente convectivo utilizando a equação (11) como visto abaixo na Tabela 9.

Tabela 9 – Convecção Interna Forçada

Descrição dos Trechos	NuD	ReD	Pr	T(°C)	P (Pa)	kvap (W/m.K)	Hi (W/m ² .K)
Trecho 01	1435,56	937476,40	1,11	175,4	900000	0,03565	500,467917
Trecho 02	632,92	337929,84	1,10	171,8	827000	0,03505	542,388979
Trecho 03	727,71	402340,33	1,10	171,8	827000	0,03505	485,742125
Trecho 04	509,69	257797,56	1,10	171,8	827000	0,03505	509,837625
Trecho 05 (Secadora 01)	315,43	141505,67	1,10	171,8	827000	0,03505	528,22965
Trecho 06 (Secadora 02)	315,43	141505,67	1,10	171,8	827000	0,03505	528,22965
Trecho 07 (Secadora 03)	315,43	141505,67	1,10	171,8	827000	0,03505	528,22965
Trecho 08 (Secadora 04)	313,79	140587,67	1,10	171,8	827000	0,03505	696,103216
Trecho 09 (Lavadora 01)	356,83	165089,95	1,10	171,8	827000	0,03505	597,558195
Trecho 10 (Lavadora 02)	356,83	165089,95	1,10	171,8	827000	0,03505	597,558195
Trecho 11 (Lavadora 03)	356,83	165089,95	1,10	171,8	827000	0,03505	597,558195
Trecho 12 (Lavadora 04)	356,83	165089,95	1,10	171,8	827000	0,03505	597,558195
Trecho 13 (Calandra)	311,31	139198,40	1,10	171,8	827000	0,03505	394,482872

Fonte: Autor (2022).

Todas as propriedades foram tiradas das tabelas termodinâmicas desenvolvidas por Incropera e Dewitt (2008) com adaptações quando necessária de Interpolação linear, além disso, foram calculadas todas as condições para utilização dessa correlação de Nusselt como (L/D) , no cálculo do número de Reynolds (Re) utilizando a equação (3). Logo conseguimos determinar o coeficiente convectivo (Hi) .

Para prosseguir com os cálculos, foi necessário determinar outro coeficiente convectivo de escoamento externo com convecção natural onde há 3 correlações sendo as equações (12), (13) e (14). A título de simplificação cerca de 90% das tubulações do layout estão dispostas na horizontal, então só usaremos nesse trabalho a equação (14).

Tabela 10 - Resultado (He) Coeficiente Convectivo

Descrição dos Trechos	NuD	GrD	Pr	β (K-1)	Kar (W/m.K)	Ni (m ² /s)	Tf (°C)	De (m)	He (W/m ² . K)
Trecho 01	20,42	4517750,21	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,1143	4,8228569
Trecho 02	9,90	340052,11	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,04826	5,5377495
Trecho 03	11,88	664329,44	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,06033	5,3169667
Trecho 04	8,88	226717,65	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,04216	5,6863499
Trecho 05 (Secadora 01)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 06 (Secadora 02)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 07 (Secadora 03)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 08 (Secadora 04)	5,26	29401,32	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02134	6,6528341
Trecho 09 (Lavadora 01)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 10 (Lavadora 02)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 11 (Lavadora 03)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 12 (Lavadora 04)	6,22	57392,16	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,02667	6,2907065
Trecho 13 (Calandra)	7,39	112725,70	0,723	0,003145	0,02699	1,75E-05	45	0,0334	5,9726481

Fonte: Autor (2022).

Os cálculos foram feitos levando em consideração a temperatura de superfície (Ts) menor ou igual a temperatura de segurança $(Tseg= 60^{\circ}C)$ devido ao método de proteção do indivíduo segundo Eletrobras (2005). Para a determinação das propriedades termodinâmicas usamos a temperatura de filme (Tf) sendo $Tf = (Ts + T\infty)/2$, onde $(T\infty)$ é a temperatura externa do ar, que utilizaremos como $30^{\circ} C$.

Com os resultados dos coeficientes convectivo interno e externo podemos então usar a equação (20) e (21) para determinação da taxa de calor total do sistema assumindo espessuras de isolamento comerciais como visto no apêndice (H) assim, utilizando a equação (21) assumimos como a taxa de calor externa natural na equação (8) será igual à taxa de calor total do sistema na equação (20), logo temos a temperatura de superfície (Ts) e faremos a

comparação com a temperatura de segurança (T_{seg}). O material escolhido como isolante térmico é o hidrossilicato de cálcio onde o mesmo tem uma condutividade térmica

$k_{iso} = 0,06$ (W/m.K), logo os resultados do dimensionamento estão descritos nas Tabelas 11, 12, 13 e 14, conforme abaixo:

Tabela 11 - Resultado Temperatura de Superfície Sem Isolamento.

SEM ISOLAMENTO												
Descrição	He (W/m ² .K)	k _{iso} (W/m.K)	k _{tub} (W/m.K)	L(m)	r1 (m)	r2 (m)	Q _{total} (W)	r3 (m)	T _s (°C)	T _e (°K)	Hi (W/m ² .K)	Ti (°K)
Trecho 01	4,823	0,06	50	23,7	0,05113	0,05715	5900	0,05715	173,8	303	500,5	448,4
Trecho 02	5,538	0,06	50	10,5	0,02045	0,02413	1235	0,02413	170,1	303	542,4	444,8
Trecho 03	5,317	0,06	50	5,865	0,02626	0,03017	827,3	0,03017	170	303	485,7	444,8
Trecho 04	5,686	0,06	50	4,624	0,01752	0,02108	487,1	0,02108	169,9	303	509,8	444,8
Trecho 05 (Secadora 01)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	640,3	0,01334	169,6	303	528,2	444,8
Trecho 06 (Secadora 02)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	640,3	0,01334	169,6	303	528,2	444,8
Trecho 07 (Secadora 03)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	640,3	0,01334	169,6	303	528,2	444,8
Trecho 08 (Secadora 04)	6,653	0,06	50	8,7	0,0079	0,01067	543	0,01067	169,9	303	696,1	444,8
Trecho 09 (Lavadora 01)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	168,1	0,01334	169,9	303	597,6	444,8
Trecho 10 (Lavadora 02)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	168,1	0,01334	169,9	303	597,6	444,8
Trecho 11 (Lavadora 03)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	168,1	0,01334	169,9	303	597,6	444,8
Trecho 12 (Lavadora 04)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	168,1	0,01334	169,9	303	597,6	444,8
Trecho 13 (Calandra)	5,973	0,06	50	14,22	0,01383	0,0167	1241	0,0167	169,2	303	394,5	444,8

Fonte: Autor (2022).

Tabela 12 - Resultado Temperatura de Superfície com isolamento 25mm.

25MM												
Descrição	He (W/m ² .K)	k _{iso} (W/m.K)	k _{tub} (W/m.K)	L (m)	r1 (m)	r2 (m)	Q _{total} (W)	r3 (m)	T _s (°C)	T _e (°K)	Hi (W/m ² .K)	Ti (°K)
Trecho 01	4,823	0,06	50	23,7	0,05113	0,05715	2513	0,08215	72,61	303	500,5	448,4
Trecho 02	5,538	0,06	50	10,5	0,02045	0,02413	598,9	0,04913	63,37	303	542,4	444,8
Trecho 03	5,317	0,06	50	5,865	0,02626	0,03017	385,6	0,05517	65,67	303	485,7	444,8
Trecho 04	5,686	0,06	50	4,624	0,01752	0,02108	242,8	0,04608	61,9	303	509,8	444,8
Trecho 05 (Secadora 01)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	353,4	0,03834	56,8	303	528,2	444,8
Trecho 06 (Secadora 02)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	353,4	0,03834	56,8	303	528,2	444,8
Trecho 07 (Secadora 03)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	353,4	0,03834	56,8	303	528,2	444,8
Trecho 08 (Secadora 04)	6,653	0,06	50	8,7	0,0079	0,01067	316,2	0,03567	54,37	303	696,1	444,8

Trecho 09 (Lavadora 01)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	92,7	0,03834	56,83	303	597,6	444,8
Trecho 10 (Lavadora 02)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	92,7	0,03834	56,83	303	597,6	444,8
Trecho 11 (Lavadora 03)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	92,7	0,03834	56,83	303	597,6	444,8
Trecho 12 (Lavadora 04)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	92,7	0,03834	56,83	303	597,6	444,8
Trecho 13 (Calandra)	5,973	0,06	50	14,22	0,01383	0,0167	651,3	0,0417	59,27	303	394,5	444,8

Fonte: Autor (2022).

Tabela 13 - Resultado Temperatura de Superfície Com Isolamento 38mm.

38 MM												
Descrição	He (W/m ² .K)	kiso (W/m.K)	ktub (W/m.K)	L (m)	r1 (m)	r2 (m)	Qtot (W)	r3 (m)	Ts (°C)	Te (°K)	Hi (W/m ² .K)	Ti (°K)
Trecho 01	4,823	0,06	50	23,7	0,05113	0,05715	2020	0,09515	59,57	303	500,5	448,4
Trecho 02	5,538	0,06	50	10,5	0,02045	0,02413	498,6	0,06213	51,97	303	542,4	444,8
Trecho 03	5,317	0,06	50	5,865	0,02626	0,03017	318,1	0,06817	53,81	303	485,7	444,8
Trecho 04	5,686	0,06	50	4,624	0,01752	0,02108	203,3	0,05908	50,82	303	509,8	444,8
Trecho 05 (Secadora 01)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	301	0,05134	47,05	303	528,2	444,8
Trecho 06 (Secadora 02)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	301	0,05134	47,05	303	528,2	444,8
Trecho 07 (Secadora 03)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	301	0,05134	47,05	303	528,2	444,8
Trecho 08 (Secadora 04)	6,653	0,06	50	8,7	0,0079	0,01067	271,3	0,04867	45,33	303	696,1	444,8
Trecho 09 (Lavadora 01)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	78,95	0,05134	47,06	303	597,6	444,8
Trecho 10 (Lavadora 02)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	78,95	0,05134	47,06	303	597,6	444,8
Trecho 11 (Lavadora 03)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	78,95	0,05134	47,06	303	597,6	444,8
Trecho 12 (Lavadora 04)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	78,95	0,05134	47,06	303	597,6	444,8
Trecho 13 (Calandra)	5,973	0,06	50	14,22	0,01383	0,0167	550,4	0,0547	48,85	303	394,5	444,8

Fonte: Autor (2022).

Tabela 14 - Resultado Temperatura de Superfície com isolamento 51mm.

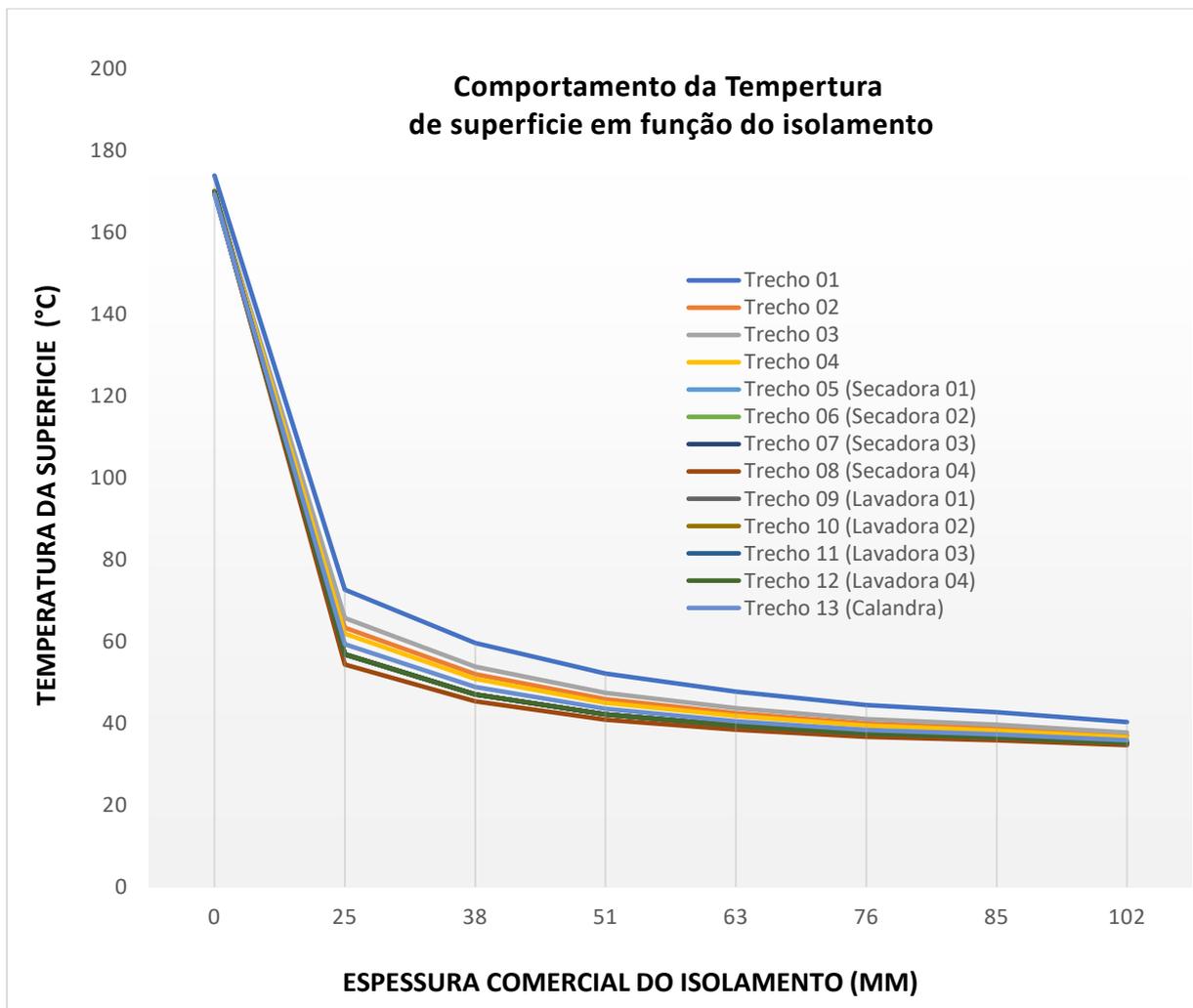
51 MM												
Descrição	He (W/m ² .K)	kiso (W/m.K)	ktub (W/m.K)	L (m)	r1 (m)	r2 (m)	Qtot (W)	r3 (m)	Ts (°C)	Te (°K)	Hi (W/m ² .K)	Ti (°K)
Trecho 01	4,823	0,06	50	23,7	0,05113	0,05715	1720	0,1082	52,14	303	500,5	448,4
Trecho 02	5,538	0,06	50	10,5	0,02045	0,02413	436,6	0,07513	45,91	303	542,4	444,8
Trecho 03	5,317	0,06	50	5,865	0,02626	0,03017	276,5	0,08117	47,39	303	485,7	444,8
Trecho 04	5,686	0,06	50	4,624	0,01752	0,02108	178,8	0,07208	45,01	303	509,8	444,8
Trecho 05 (Secadora 01)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	268,3	0,06434	42,13	303	528,2	444,8
Trecho 06 (Secadora 02)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	268,3	0,06434	42,13	303	528,2	444,8
Trecho 07 (Secadora 03)	6,291	0,06	50	8,7	0,01047	0,01334	268,3	0,06434	42,13	303	528,2	444,8
Trecho 08 (Secadora 04)	6,653	0,06	50	8,7	0,0079	0,01067	243,3	0,06167	40,85	303	696,1	444,8

Trecho 09 (Lavadora 01)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	70,37	0,06434	42,14	303	597,6	444,8
Trecho 10 (Lavadora 02)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	70,37	0,06434	42,14	303	597,6	444,8
Trecho 11 (Lavadora 03)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	70,37	0,06434	42,14	303	597,6	444,8
Trecho 12 (Lavadora 04)	6,291	0,06	50	2,28	0,01047	0,01334	70,37	0,06434	42,14	303	597,6	444,8
Trecho 13 (Calandra)	5,973	0,06	50	14,22	0,01383	0,0167	487,6	0,0677	43,49	303	394,5	444,8

Fonte: Autor (2022).

Os resultados nos mostram que os valores calculados estão bem próximos dos determinados pelo fornecedor no Anexo (H). Na Figura 16 apresenta todas as espessuras dos isolamentos determinadas pelo fabricante e suas temperaturas de superfície conforme cada trecho.

Figura 16 - Comportamento da temperatura de superfície em função do isolamento.



Fonte: Autor (2022).

Logo a determinação do isolamento mais eficiente e de menor custo será conforme os dados do Quadro 8:

Quadro 8 - Resultado Final Temperatura de Superfície com isolamento (51mm e 38 mm).

Descrição	Espessura do Isolamento (mm)	Temperatura de Superfície (°C)
Trecho 01	51	52,14
Trecho 02	38	51,97
Trecho 03	38	53,81
Trecho 04	38	50,82
Trecho 05 (Secadora 01)	38	47,05
Trecho 06 (Secadora 02)	38	47,05
Trecho 07 (Secadora 03)	38	47,05
Trecho 08 (Secadora 04)	38	45,33
Trecho 09 (Lavadora 01)	38	47,06
Trecho 10 (Lavadora 02)	38	47,06
Trecho 11 (Lavadora 03)	38	47,06
Trecho 12 (Lavadora 04)	38	47,06
Trecho 13 (Calandra)	38	48,85

Fonte: Autor (2022).

4.3 Purgadores

Para continuar o desenvolvimento do estudo, foram selecionados os purgadores através da quantidade de condensado total formada pela quantidade de condensado gerado por perda de calor por irradiação devido à falta de isolamento e quantidade de condensado gerado na partida do sistema devido ao aquecimento da tubulação além disso foi adicionado um fator de segurança de 2 vezes. Mesmo tendo um custo maior, foi escolhido a utilização da quantidade de condensado total para não haver a necessidade do operador fazer a drenagem inicial do sistema diminuindo assim erros humanos. As equações usadas serão (22), (23) e (24). Segundo Spirax Sarco (2008) é necessário colocar purgadores, de 30 a 50 m de tubulações, redução, entrada de equipamento e válvulas de bloqueio. Para o caso em análise necessitamos de um purgador a cada trecho.

Tabela 15 – Resultados da Quantidade de Condensado de cada trecho

Descrição	D (Comercial)	Comprimento Linear (m)	Qa (kg/h)	Qs (kg/h)	QTotal (kg/h)
Trecho 01	4"	38,197	3856,174549	2,806897	7715,156

Trecho 02	1.1/2"	14,1	348,9460412	1,3031194	699,1952
Trecho 03	2"	10,265	341,2259041	0,9096755	683,3615
Trecho 04	1.1/4"	6,024	124,786844	0,5683079	250,142
Trecho 05 (Secadora 01)	3/4"	11	112,9239618	1,0914003	226,9393
Trecho 06 (Secadora 02)	3/4"	11	112,9239618	1,0914003	226,9393
Trecho 07 (Secadora 03)	3/4"	11	112,9239618	1,0914003	226,9393
Trecho 08 (Secadora 04)	1/2"	11	85,36513783	1,1098621	171,8401
Trecho 09 (Lavadora 01)	3/4"	4,58	47,01743139	0,4544194	94,48928
Trecho 10 (Lavadora 02)	3/4"	4,58	47,01743139	0,4544194	94,48928
Trecho 11 (Lavadora 03)	3/4"	4,58	47,01743139	0,4544194	94,48928
Trecho 12 (Lavadora 04)	3/4"	4,58	47,01743139	0,4544194	94,48928
Trecho 13 (Calandra)	1"	16,522	252,3984981	1,6392833	506,4363

Fonte: Autor (2022).

Para os Cálculos da equação (22) na determinação da taxa de emissão (q_e), fator de isolamento (f_{iso}) e fator de emissão (f_e), será utilizado os Anexos (D), (E) e (F).

Com base na contextualização teórica na Tabela 1 (Principais características dos purgadores a vapor de acordo com seu modelo), vamos determinar qual o tipo de purgador será utilizado.

Tabela 16 – Determinação dos tipos de purgadores

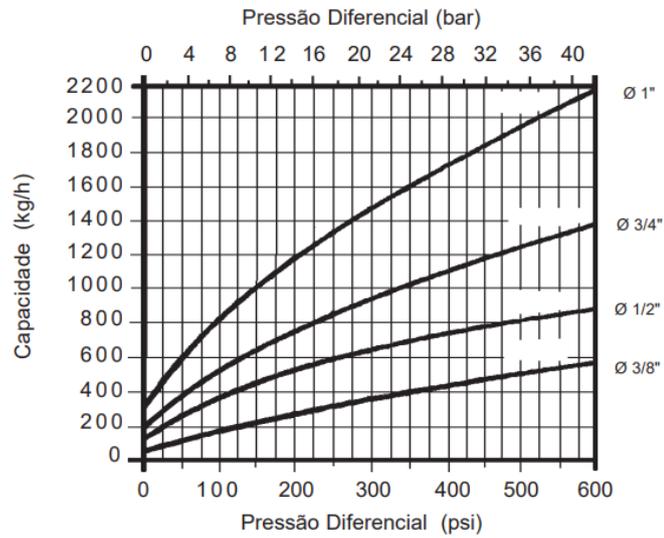
Descrição	Tipos de Purgadores	Pressão (Bar)	ΔP (Bar)	Vazão(kg/h)
Trecho 01	Boia	9	0,8	7715,156
Trecho 02	Termodinâmico	8,2	0,3	699,1952
Trecho 03	Termodinâmico	8,2	0,3	683,3615
Trecho 04	Termodinâmico	8,2	0,3	250,142
Trecho 05 (Secadora 01)	Termodinâmico	8,2	0,3	226,9393
Trecho 06 (Secadora 02)	Termodinâmico	8,2	0,3	226,9393
Trecho 07 (Secadora 03)	Termodinâmico	8,2	0,3	226,9393
Trecho 08 (Secadora 04)	Termodinâmico	8,2	0,3	171,8401
Trecho 09 (Lavadora 01)	Termodinâmico	8,2	0,3	94,48928
Trecho 10 (Lavadora 02)	Termodinâmico	8,2	0,3	94,48928
Trecho 11 (Lavadora 03)	Termodinâmico	8,2	0,3	94,48928
Trecho 12 (Lavadora 04)	Termodinâmico	8,2	0,3	94,48928
Trecho 13 (Calandra)	Termodinâmico	8,2	0,3	506,4363

Fonte: Autor (2022).

Na seleção dos purgadores utilizaremos o catálogo do fornecedor Spirax Sarco (2008), conforme a figura do Ábaco de seleção abaixo.

Figura 17 – Curva de Capacidade do Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif. Termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais.

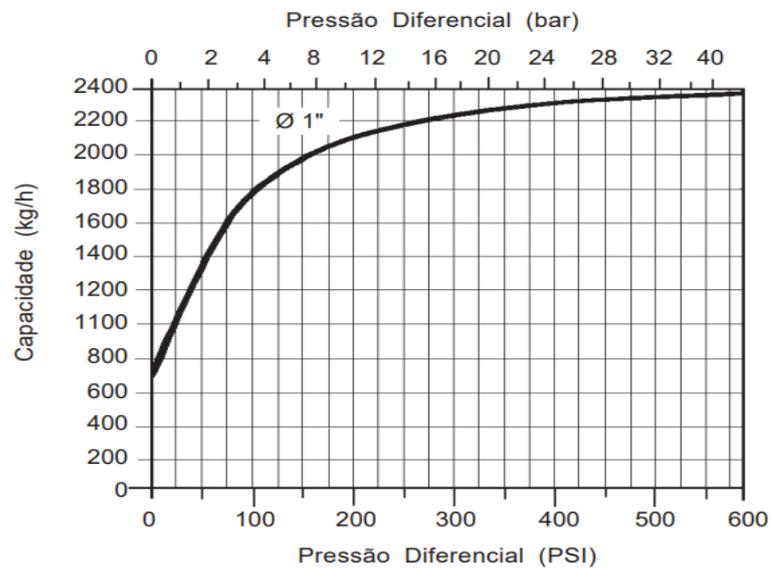
Curva de Capacidade



Fonte: Sipirax Sarco (2011).

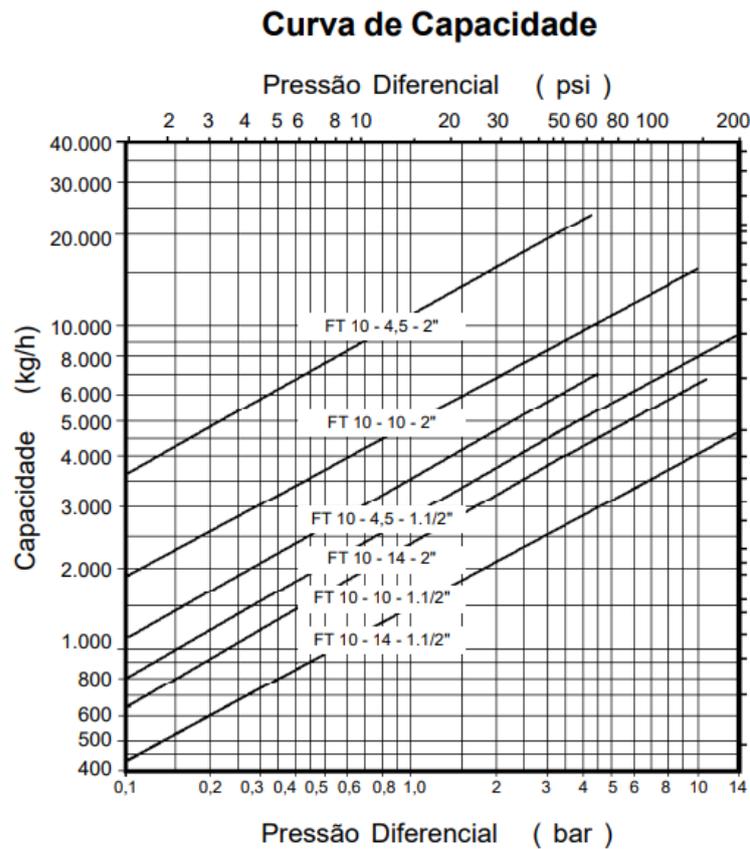
Figura 18 – Curva de Capacidade do Purgador Termodinâmico de Fluxo Simples.

Curva de Capacidade



Fonte: Sipirax Sarco (2011).

Figura 19 – Curva de Capacidade dos Purgadores de Boia para Vapor (FT - 10 - 1.1/2" e 2")



Fonte: Sipirax Sarco (2011).

Dessa forma, o Quadro 9 demonstra os tipos de purgadores que serão usados seguindo os trechos.

Quadro 9 – Tipos de purgadores de acordo com o Trecho

Descrição	Tipos de Purgadores	Modelo	Capacidade (kg/h)	Vazão(kg/h)
Trecho 01	Boia	FT 10-4,5 2"	10000	7715,156
Trecho 02	Termodinâmico	TD 50 Purgador Termodinâmico de Fluxo Simples - (1")	850	699,1952
Trecho 03	Termodinâmico	TD 50 Purgador Termodinâmico de Fluxo Simples - (1")	850	683,3615
Trecho 04	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	250,142
Trecho 05 (Secadora 01)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	226,9393
Trecho 06 (Secadora 02)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	226,9393

Trecho 07 (Secadora 03)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	226,9393
Trecho 08 (Secadora 04)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	171,8401
Trecho 09 (Lavadora 01)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	94,48928
Trecho 10 (Lavadora 02)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	94,48928
Trecho 11 (Lavadora 03)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	94,48928
Trecho 12 (Lavadora 04)	Termodinâmico	TD 52 Purgador Termodinâmico para Baixas Pressões Dif termodinâmico para Baixas Pressões Diferenciais (1/2")	300	94,48928
Trecho 13 (Calandra)	Termodinâmico	TD 50 Purgador Termodinâmico de Fluxo Simples - (1")	850	506,4363

Fonte: Autor (2022).

5 CONCLUSÃO

Para uma lavanderia hospitalar a geração e distribuição de vapor é algo vital para seu funcionamento, assim é um local onde se deve ter uma melhoria contínua além do mais na atualidade a uma preocupação com a sustentabilidade e evitar as perdas desnecessárias. Portanto esse trabalho vem mostrar a melhor forma de se dimensionar a rede de vapor melhorando a eficiência e reduzindo custos na instalação.

Para o dimensionamento do sistema de distribuição de vapor, utilizamos, dois métodos sendo eles o da velocidade e perda de carga, para a determinação do isolamento térmico usamos dois métodos comparando-os, sendo o primeiro método da espessura econômica e o segundo da proteção do indivíduo. Nos purgadores foi determinado a quantidade de condensado gerado através de duas formas sendo elas devido ao aquecimento inicial do sistema que é na maioria das vezes o mais crítico e o condensado gerado através da tubulação, além disso foi adicionado um fator de segurança de duas vezes. Esse dimensionamento muitas vezes pode ser identificado como um superdimensionamento, porém o custo dos purgadores é baixo comparado com as instalações no geral, por isso foi utilizado a quantidade de condensado total do sistema, aumentando assim as vazões dos purgadores para um melhor funcionamento e evitando erros humanos ao iniciar o sistema.

O trabalho em questão busca um estudo inicial do tema podendo haver trabalhos futuros com cálculos de viabilidade financeira do isolamento térmico. Além de poder dimensionar mais profundamente alguns temas que não foram abordados nesse trabalho como rede de condensado, liras de dilatação e boias coletoras.

REFERÊNCIAS

ALVES, Gilvan. Equipe do telégrafo. **Uma linha do tempo das invenções**. 2019. Disponível em: <https://www.dicasecuriosidades.net/2019/02/a-historia-das-maquinas-de-lavar-oupa.html> Acesso em: 12 mar. 2022.

BARANHUK, Luiz. **Substituição e Melhoria do Sistema de Acionamento do Motor em Máquina de Lavar Roupa Industrial**. 2013. Apud SARAIVA, Vasco. História da máquina de lavar roupa. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16929/1/PG_DAELE_2013_2_04.pdf Acesso em 15 de abr. 2022.

BARRAL, F. Manuel. **Perca de Carga**. Aula 7. 2022. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb472/Aula_7/Perda_de_carga_Manuel%20Barral.pdf Acesso em 31 mar. 2022.

BENZOR. Soluções em engenharia e tecnologia. **Projetos de Rede de Vapor**. 2016. Disponível em: <https://portaldoaluno.benzor.com.br/lesson/detail/21/936/>

BERMO. Grupo ARI Armaturen. **Válvulas e Equipamentos Industriais**. 2020. Disponível em: <https://bermo.com.br/produtos/sistemas/> Acesso em 14 abr. 2022.

BIZZO, W. A. **Geração, distribuição e utilização de vapor**. Unicamp, 2003. Disponível em: <https://azdoc.tips/documents/geraaodistribuiãoeutilizaãodevapor-5c144799c1f11> Acesso em 22 abr. de 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC/Anvisa n. 50, de 21 de fevereiro de 2002**. Regulamento técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. Diário Oficial da União, Brasília, 20 mar. 2022.

BRASIL. Secretaria de Trabalho. Normas Regulamentadoras. **NR-32 – Calandra, Máquinas de Lavar, Centrifugas e Secadoras**: Dispositivos de proteção. 2020. 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-32.pdf/view> Acesso em 21 abr. 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Processamento de Roupas de Serviços de Saúde**. Prevenção e controle de riscos. Diário Oficial da União, Brasília, 1ª Edição, 2009. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br/centraisdeconteudo/publicacoes/servicosde-saude/publicacoes/manual-processamento-de-roupas-de-servicos-de-saude-prevencao-e-contr-ole-de-riscos.pdf/view> Acesso em: 30 mar. 2022.

ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J. Transferência de Calor e Massa – Uma abordagem prática, 4ª ed. Porto Alegre: Mc Grall-hill, 2012.

DUTRA, Kaio. **Tubulações Industriais**: Dilatação térmica e flexível. 2019. Disponível em: https://kaiohdutra.files.wordpress.com/2019/04/ti_aula-13-14_dilatac3a7c3a3o-tc3a9mica-e-flexibilidade.pdf Acesso em 15 de mar. 2022.

ELETROBRAS. 2005. **Eficiência energética no uso de vapor**. Rio de Janeiro: s.n., 2005.

FERREIRA, B. G. **Análise e desenvolvimento de uma tubulação de vapor para uma indústria alimentícia**. 2018. 78p. Projeto de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, Brasil.

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.

GODOY, S. C. B. et al. Riscos para o trabalhador em lavanderias hospitalares. **Rev. Min. Enf. [S.l.]**, v. 8, n. 3, p. 382-387, jul./set. 2004.

INCROPERA, Frank e DEWITT, David. 2008. **Fundamentos da Transferência de Calor e Massa**. 6. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

KONKEWICZ, L. R. **Prevenção e controle de infecções relacionado ao processamento das roupas hospitalares**. 2006. Disponível em: <https://docplayer.com.br/4040118-Prevencao-e-controle-de-infeccoes-relacionado-ao-processamento-das-roupas-hospitalares.html> Acesso em: 22 mar. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; WENDLAND, E. Análise de Coeficientes de Perda de Carga em Tubulações com Múltiplas Derivações Sob Diferentes Condições. In: XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Bonito-MS, 2007. **Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal - SP: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2007. Resumo.

MARUFF, Alexandre. **Entenda as Vantagens do Vapor para a sua Lavanderia**: melhore a qualidade do seu processo e reduza custos. 2020. Disponível em: <https://sistemaswl.com.br/beneficios-do-vapor-entrevista/> Acesso em: 18 mar. 2022.

MEDINA, Kleber. **Qual a importância do cálculo de flexibilidade em tubulações e como isso pode afetar seu projeto**. 2019. Disponível em: <https://www.greenfoxengenharia.com/post/qual-a-importancia-do-calculo-de-flexibilidade-em-tubulacoes> Acesso em 15 de mar. 2022.

MILCENT, Paul Fernand. 2007. **Noções de Isolamento Térmico de Tubulações**. Curitiba: UFPR, 2007.

MORALES, Daily. **Análise dos riscos ergonômicos para o trabalhador em uma lavanderia hospitalar**. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267269151_ANALISE_DOS_RISCOS_ERGONOMICOS_PARA_O_TRABALHADOR_EM_UMA_LAVANDERIA_HOSPITALAR Acesso em 14 de abr. 2022.

OLIVEIRA. M. M. **Como fazer uma pesquisa qualitativa**. 3 ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2010.

PEDERIVA, A. C.; MATTIONI, R.; MICHELS, A. **Dimensionamento de uma tubulação de vapor para uma fábrica de ração animal**. 3ª SEMANA INTERNACIONAL DAS ENGENHARIAS DA FAHOR, 2013.

PELEGRINI, Marcos José. **Eficiência Energética em Sistemas de Vapor**. 2019. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/4924?mode=full> Acesso em 18 de fev. 2022.

PELEGRINI, Marcos José. **Eficiência Energética em Sistemas de Vapor**. 2019. Apud YAZAWA, K.; KOH, Y. R.; SHAKOURI, A. Optimization of thermoelectric topping combined steam turbine cycles for energy economy. Applied Energy, v. 109, p. 1–9, 1 set. 2013. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/4924?mode=full> Acesso em 18 de fev. 2022.

PELEGRINI, Marcos José. **Eficiência Energética em Sistemas de Vapor**. 2019. Apud GATES, I. D.; LESKIW, C. Impact of steam trap control on performance of steam-assisted gravity drainage. Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 75, n. 1–2, p. 215–222, 2010. Disponível em: <https://rdu.unicesumar.edu.br/handle/123456789/4924?mode=full> Acesso em 18 de fev. 2022.

PEREIRA, Júlio Cesar Rodrigues. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências de saúde, humanas e sociais**. 2. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

PROKNOR, Celso. **Tubulações para Vapor e Condensado**. 2002. Disponível em: <https://www.procknor.com.br/br/artigos/tubulacoes-para-vapor-e-condensado> Acesso em 27 de mar. 2022.

RAUPP, Fabiano Maury; BEUREN, Ilse Maria. **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

RIBEIRO, Nayssa M. **Análise de uma instalação de vapor em uma indústria de papel e celulose**. 2016. 71f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15151/2/PB_DAMEC_2016_2_18.pdf Acesso em 10 de abr. 2022.

SANTOS, E.B.A. **Análise energética de uma caldeira mista utilizando cavaco de bambu como combustível**. 2021. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2021. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/42923/1/AnaliseEnergeticaCaldeira_Santos_2021.pdf Acesso em 15 de abr. 2022.

SEGUNDO, Valdir Bernardino da Silva. **Princípio de Balanços Termo energéticos em Caldeiras Geradoras de Vapor nas Industrias Sucroalcooleiras**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/913/4/VBSS17042015.pdf> Acesso em: 01 abr. 2022.

SOUZA et al. **Análise das práticas de reuso de água residual: estudo de casos em lavanderias industriais**. 2016. REGET - V. 20, n. 1, jan.- abr. 2016, p.497-514.

SPIRAX SARCO. 2008. **Projeto de instalações de vapor**. Rio de Janeiro: s.n., 2008.

SPIRAX SARCO. 2011. **Projeto de instalações de vapor**. Rio de Janeiro: s.n., 2011.

SITEC. **Equipamentos para Lavanderia**. Catálogo de Produtos. 2022. Disponível em: <http://grupositec.com.br/> Acesso em 30 mar. 2022.

TELLES, Pedro C. Silva. 2012. **Tubulações industriais** materiais, projeto, montagem. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

TELLES, Pedro Carlos da Silva. **Tubulações industriais: cálculos**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

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

TOGAWA ENGENHARIA. **Sistema de Vapor**. 2018. Disponível em: <http://togawaengenharia.com.br/sistema-de-vapor-geracao-distribuicao-aplicacao-e-retorno/> Acesso em 21 fev. 2022.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Geradores de Vapor**. 1. ed. rev. São Paulo: Melhoramentos, 1995.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

VAPORTEC. **Importância dos Purgadores nos Sistemas de Vapor**. 2017. Disponível em: <https://www.vaporotec.com.br/ind/2017/01/04/importancia-dos-purgadores-nos-sistemas-de-vapor/> Acesso em 21 fev. 2022.

VILLARINS, Vanessa. **Dimensionamento e Isolamento da Linha de Distribuição de Vapor em uma Empresa de Alimentos**. 2019. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4072> Acesso em 25 de abr. 2022.

WECO. **Indústria e Equipamento Termomecânico**. Catálogo de Produtos. 2022. Disponível em: <https://www.weco.ind.br/site/principal/produto.asp?codConteudo=399> Acesso em 13 abr. 2022.

WONG, Nelson Jue. **Acionamento de motor de indução monofásico PSC com inversor de frequência aplicados a máquina de lavar roupas domésticas**. 2010. Disponível em: <https://docplayer.com.br/18788635-Acionamento-de-motor-de-inducao-monofasico-psc-com-inversor-de-frequencia-aplicados-a-maquinas-de-lavar-roupas-domesticas.html> Acesso em 15 de abr. 2022.

ZATTONI, Celio Carlos. 2008. **Materiais para tubulação**. São Paulo: FATEC-SP, 2008.

ANEXOS:

Anexo A - Tabela de apresentação de propriedades termodinâmicas do vapor d'água saturado.

TABELA A-16							
Propriedades dos gases a 1 atm de pressão (continuação)							
Temp. T , °C	Densidade ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , J/kg·K	Condutividade térmica k , W/m·K	Difusividade térmica α , m ² /s ²	Viscosidade dinâmica μ , kg/m·s	Viscosidade cinemática ν , m ² /s	Número de Prandtl Pr
300	0,04287	14.481	0,2843	$4,580 \times 10^{-4}$	$1,403 \times 10^{-5}$	$3,274 \times 10^{-4}$	0,7149
400	0,03650	14.540	0,3180	$5,992 \times 10^{-4}$	$1,570 \times 10^{-5}$	$4,302 \times 10^{-4}$	0,7179
500	0,03178	14.653	0,3509	$7,535 \times 10^{-4}$	$1,730 \times 10^{-5}$	$5,443 \times 10^{-4}$	0,7224
1.000	0,01930	15.577	0,5206	$1,732 \times 10^{-3}$	$2,455 \times 10^{-5}$	$1,272 \times 10^{-3}$	0,7345
1.500	0,01386	16.553	0,6581	$2,869 \times 10^{-3}$	$3,099 \times 10^{-5}$	$2,237 \times 10^{-3}$	0,7795
2.000	0,01081	17.400	0,5480	$2,914 \times 10^{-3}$	$3,690 \times 10^{-5}$	$3,414 \times 10^{-3}$	1,1717
Nitrogênio, N₂							
- 50	1,5299	957,3	0,02001	$1,366 \times 10^{-5}$	$1,390 \times 10^{-5}$	$9,091 \times 10^{-6}$	0,6655
0	1,2498	1.035	0,02384	$1,843 \times 10^{-5}$	$1,640 \times 10^{-5}$	$1,312 \times 10^{-5}$	0,7121
50	1,0564	1.042	0,02746	$2,494 \times 10^{-5}$	$1,874 \times 10^{-5}$	$1,774 \times 10^{-5}$	0,7114
100	0,9149	1.041	0,03090	$3,244 \times 10^{-5}$	$2,094 \times 10^{-5}$	$2,289 \times 10^{-5}$	0,7056
150	0,8068	1.043	0,03416	$4,058 \times 10^{-5}$	$2,300 \times 10^{-5}$	$2,851 \times 10^{-5}$	0,7025
200	0,7215	1.050	0,03727	$4,921 \times 10^{-5}$	$2,494 \times 10^{-5}$	$3,457 \times 10^{-5}$	0,7025
300	0,5956	1.070	0,04309	$6,758 \times 10^{-5}$	$2,849 \times 10^{-5}$	$4,783 \times 10^{-5}$	0,7078
400	0,5072	1.095	0,04848	$8,727 \times 10^{-5}$	$3,166 \times 10^{-5}$	$6,242 \times 10^{-5}$	0,7153
500	0,4416	1.120	0,05358	$1,083 \times 10^{-4}$	$3,451 \times 10^{-5}$	$7,816 \times 10^{-5}$	0,7215
1.000	0,2681	1.213	0,07938	$2,440 \times 10^{-4}$	$4,594 \times 10^{-5}$	$1,713 \times 10^{-4}$	0,7022
1.500	0,1925	1.266	0,11793	$4,839 \times 10^{-4}$	$5,562 \times 10^{-5}$	$2,889 \times 10^{-4}$	0,5969
2.000	0,1502	1.297	0,18590	$9,543 \times 10^{-4}$	$6,426 \times 10^{-5}$	$4,278 \times 10^{-4}$	0,4483
Oxigênio, O₂							
- 50	1,7475	984,4	0,02067	$1,201 \times 10^{-5}$	$1,616 \times 10^{-5}$	$9,246 \times 10^{-6}$	0,7694
0	1,4277	928,7	0,02472	$1,865 \times 10^{-5}$	$1,916 \times 10^{-5}$	$1,342 \times 10^{-5}$	0,7198
50	1,2068	921,7	0,02867	$2,577 \times 10^{-5}$	$2,194 \times 10^{-5}$	$1,818 \times 10^{-5}$	0,7053
100	1,0451	931,8	0,03254	$3,342 \times 10^{-5}$	$2,451 \times 10^{-5}$	$2,346 \times 10^{-5}$	0,7019
150	0,9216	947,6	0,03637	$4,164 \times 10^{-5}$	$2,694 \times 10^{-5}$	$2,923 \times 10^{-5}$	0,7019
200	0,8242	964,7	0,04014	$5,048 \times 10^{-5}$	$2,923 \times 10^{-5}$	$3,546 \times 10^{-5}$	0,7025
300	0,6804	997,1	0,04751	$7,003 \times 10^{-5}$	$3,350 \times 10^{-5}$	$4,923 \times 10^{-5}$	0,7030
400	0,5793	1.025	0,05463	$9,204 \times 10^{-5}$	$3,744 \times 10^{-5}$	$6,463 \times 10^{-5}$	0,7023
500	0,5044	1.048	0,06148	$1,163 \times 10^{-4}$	$4,114 \times 10^{-5}$	$8,156 \times 10^{-5}$	0,7010
1.000	0,3063	1.121	0,09198	$2,678 \times 10^{-4}$	$5,732 \times 10^{-5}$	$1,871 \times 10^{-4}$	0,6986
1.500	0,2199	1.165	0,11901	$4,643 \times 10^{-4}$	$7,133 \times 10^{-5}$	$3,243 \times 10^{-4}$	0,6985
2.000	0,1716	1.201	0,14705	$7,139 \times 10^{-4}$	$8,417 \times 10^{-5}$	$4,907 \times 10^{-4}$	0,6873
Vapor de água, H₂O							
- 50	0,9839	1.892	0,01353	$7,271 \times 10^{-6}$	$7,187 \times 10^{-6}$	$7,305 \times 10^{-6}$	1,0047
0	0,8038	1.874	0,01673	$1,110 \times 10^{-5}$	$8,956 \times 10^{-6}$	$1,114 \times 10^{-5}$	1,0033
50	0,6794	1.874	0,02032	$1,596 \times 10^{-5}$	$1,078 \times 10^{-5}$	$1,587 \times 10^{-5}$	0,9944
100	0,5884	1.887	0,02429	$2,187 \times 10^{-5}$	$1,265 \times 10^{-5}$	$2,150 \times 10^{-5}$	0,9830
150	0,5189	1.908	0,02861	$2,890 \times 10^{-5}$	$1,456 \times 10^{-5}$	$2,806 \times 10^{-5}$	0,9712
200	0,4640	1.935	0,03326	$3,705 \times 10^{-5}$	$1,650 \times 10^{-5}$	$3,556 \times 10^{-5}$	0,9599
300	0,3831	1.997	0,04345	$5,680 \times 10^{-5}$	$2,045 \times 10^{-5}$	$5,340 \times 10^{-5}$	0,9401
400	0,3262	2.066	0,05467	$8,114 \times 10^{-5}$	$2,446 \times 10^{-5}$	$7,498 \times 10^{-5}$	0,9240
500	0,2840	2.137	0,06677	$1,100 \times 10^{-4}$	$2,847 \times 10^{-5}$	$1,002 \times 10^{-4}$	0,9108
1.000	0,1725	2.471	0,13623	$3,196 \times 10^{-4}$	$4,762 \times 10^{-5}$	$2,761 \times 10^{-4}$	0,8639
1.500	0,1238	2.736	0,21301	$6,288 \times 10^{-4}$	$6,411 \times 10^{-5}$	$5,177 \times 10^{-4}$	0,8233
2.000	0,0966	2.928	0,29183	$1,032 \times 10^{-3}$	$7,808 \times 10^{-5}$	$8,084 \times 10^{-4}$	0,7833

Nota: Para gases ideais, as propriedades c_p , k , μ e Pr são independentes da pressão. As propriedades ρ , ν e α na pressão P (em atm) diferente de 1 atm são calculadas multiplicando-se os valores de ρ na temperatura dada por P e dividindo ν e α por P .

Fonte: Dados gerados a partir do programa EES desenvolvido por S. A. Klein e F. L. Alvarado. Originalmente baseados em várias fontes.

Fonte: ÇENGEL, Y.A.; GHAJAR, A.J.

Anexo B - Tabela de Apresentação da Tubos Schedule Aço Carbono – NBR5590

Schedule

NBR5590 / ASTM A106 / ASTM A53 / API 5L

Polegada	D. Externo (mm)	D. Interno (mm)	Parede (mm)	SCH	Kg/mt	Polegada	D. Externo (mm)	D. Interno (mm)	Parede (mm)	SCH	Kg/mt				
1/4"	13,70	9,24	2,24	40	0,63	8"	219,10	206,38	6,35	20	33,28				
		7,68	3,02	80	0,80			205,00	7,04	30	36,76				
3/8"	17,10	12,53	2,31	40	0,85			202,72	8,18	40	42,49				
		10,75	3,20	80	1,10			198,46	10,31	60	53,07				
1/2"	21,30	15,80	2,77	40	1,26			193,68	12,70	80	64,57				
		13,88	3,73	80	1,62			188,90	15,09	100	75,79				
		11,78	4,78	160	1,95			182,56	18,26	120	90,32				
3/4"	26,70	20,93	2,87	40	1,68			177,84	20,62	140	100,89				
		18,85	3,91	80	2,19			174,62	22,23	XXS	107,78				
		15,55	5,56	160	2,89			173,06	23,01	160	111,18				
1"	33,40	26,64	3,38	40	2,50			10"	273,00	260,35	6,35	20	41,73		
		24,30	4,55	80	3,23					257,45	7,80	30	50,96		
		20,70	6,35	160	4,24					254,51	9,27	40	60,24		
1.1/4"	42,20	35,04	3,56	40	3,38					247,65	12,70	60	81,46		
		32,46	4,85	80	4,46					242,87	15,09	80	95,84		
		29,46	6,35	160	5,60					236,53	18,26	100	114,59		
1.1/2"	48,30	40,90	3,68	40	4,05					230,17	21,44	120	132,85		
		38,10	5,08	80	5,40					222,25	25,40	140	154,97		
		33,98	7,14	160	7,25					215,93	28,56	160	172,11		
2"	60,30	52,51	3,91	40	5,43					12"	323,80	311,15	6,35	20	49,68
		49,25	5,54	80	7,47							307,09	8,38	30	65,14
		42,85	8,74	160	11,10							304,79	9,53	STD	73,76
2.1/2"	73,00	62,71	5,16	40	8,62							303,23	10,31	40	79,74
		59,01	7,01	80	11,40							298,45	12,70	XS	97,36
		53,97	9,53	160	14,90	295,31	14,27					60	108,97		
3"	88,90	77,92	5,49	40	11,28	288,89	17,48					80	131,81		
		73,66	7,62	80	15,25	280,97	21,44					100	159,67		
		66,64	11,13	160	21,30	273,05	25,40					120	186,75		
3.1/2"	101,60	90,12	5,74	40	13,56	266,69	28,58					140	207,87		
		85,44	8,08	80	18,62	257,21	33,32					160	238,60		
4"	114,30	102,26	6,02	40	16,06	14"	355,60					342,90	6,35	10	54,63
		97,18	8,56	80	22,29							339,76	7,92	20	67,98
		92,04	11,13	120	28,25							336,54	9,53	30	81,21
		87,32	13,49	160	33,51							334,34	11,13	40	94,31
5"	141,30	128,30	6,55	40	21,76			330,20	12,70			XS	107,28		
		124,24	9,53	80	30,92			325,42	15,09			60	126,51		
		115,90	12,70	120	40,24			317,50	19,05			80	157,94		
		109,54	15,88	160	49,05			307,94	23,83			100	194,64		
6"	168,30	154,06	7,11	40	28,23			300,02	27,79			120	224,36		
		146,34	10,97	80	42,54			292,10	31,75			140	253,32		
		139,74	14,27	120	54,20			284,18	35,71			160	281,49		
		131,76	18,26	160	67,47										

Fonte: Allitubos Tubos de Aço

Anexo C - Tabela de apresentação do comprimento equivalente de tubos e acessórios



MANUAL TÉCNICO

Tabela de comprimentos equivalentes em conexões

Tabela de comprimentos equivalentes em metros de canalização, para cálculo das perdas de carga localizadas.											
CONEXÃO	Material	Diâmetro nominal X Equivalência em metros de canalização									
		3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	
Curva 90°	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9	
	Metal	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1	
Curva 45°	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	
	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	
Joelho 90°	PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9	
	Metal	0,7	0,8	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2	
Joelho 45°	PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5	
	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,5	1,9	
Tê de passagem direta	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3	
	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	
Tê de saída lateral	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0	
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	
Tê de saída bilateral	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0	
	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	
União	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25	
	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	
Saída de canalização	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9	
	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	
Luva de redução (*)	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2	
	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07	
Registro de gaveta ou esfera aberto	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	
	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	
Registro de globo aberto	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0	
Registro de ângulo aberto	Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0	
Válvula de pé com crivo	PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4	
	Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0	
Válvula de Retenção	Horizontal	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
	Vertical	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

Observações:

1. Os valores acima estão de acordo com a NBR 5626/82 e Tabela de Perda de Carga da Tigre para PVC rígido e cobre, e NBR 92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

2. (*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concêntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.

Ex.: 1 1/4" x 1" - 1 1/2" x 1 1/4"

Anexo D - Tabela de apresentação da Taxa de Emissão de Calor dos Tubos

Temperature difference steam to air °C	Taxa de emissão de calor (W/m) para tubos									
	Pipe size (DN)									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
	W/m									
60	60	72	88	111	125	145	172	210	250	351
70	72	87	106	132	147	177	209	253	311	432
80	86	104	125	155	171	212	248	298	376	519
90	100	121	146	180	196	248	291	347	443	610
100	116	140	169	207	223	287	336	400	514	706
110	132	160	193	237	251	328	385	457	587	807
120	149	181	219	268	282	371	436	517	664	914
130	168	203	247	301	313	417	490	581	743	1025
140	187	226	276	337	347	464	547	649	825	1142
150	208	250	306	374	382	514	607	720	911	1263
160	229	276	338	413	418	566	670	794	999	1390
170	251	302	372	455	457	620	736	873	1090	1521
180	275	330	407	499	497	676	805	955	1184	1658
190	299	359	444	544	538	735	877	1041	1281	1800
200	325	389	483	592	582	795	951	1130	1381	1947

Fonte: Spirax Sarco (2006)

Anexo E - Tabela de apresentação do fator de isolamento

Φ TUBO NB (mm)	PRESSÃO DO VAPOR			
	1 bar	5 bar	15 bar	20 bar
Espessura de isolamento = 50 mm				
15	0,16	0,14	0,13	0,12
20	0,15	0,13	0,12	0,11
25	0,14	0,12	0,11	0,10
32	0,13	0,11	0,10	0,10
40	0,12	0,11	0,10	0,09
50	0,12	0,10	0,09	0,08
65	0,11	0,10	0,09	0,08
80	0,10	0,10	0,08	0,07
100	0,10	0,09	0,08	0,07
150	0,10	0,09	0,07	0,07
Espessura de isolamento = 75 mm				
15	0,14	0,13	0,12	0,11
20	0,13	0,11	0,11	0,10
25	0,13	0,11	0,10	0,09
32	0,11	0,10	0,09	0,08
40	0,10	0,09	0,09	0,08
50	0,10	0,09	0,08	0,07
65	0,10	0,08	0,08	0,07
80	0,09	0,08	0,07	0,07
100	0,08	0,08	0,07	0,06
150	0,08	0,07	0,07	0,06
Espessura de isolamento = 100 mm				
15	0,12	0,11	0,10	0,08
20	0,11	0,10	0,09	0,07
25	0,10	0,09	0,08	0,07
32	0,10	0,08	0,08	0,06
40	0,09	0,08	0,08	0,06
50	0,08	0,08	0,07	0,06
65	0,08	0,07	0,06	0,05
80	0,07	0,07	0,06	0,05
100	0,07	0,07	0,06	0,05
150	0,07	0,06	0,05	0,04

Fonte: Benzor (2020)

Anexo F - Tabela de apresentação do fator de isolamento conforme a velocidade do vento e o aumento da emissão.

Aumento da emissão de calor devido a velocidade do vento

VELOCIDADE DO AR (m/s)	FATOR DE EMISSÃO (-)
0,00	1,0
0,50	1,0
1,00	1,3
1,5	1,5
2,00	1,7
2,50	1,8
3,00	2,0
4,00	2,3
6,00	2,9
8,00	3,5
10,00	4,0

Fonte: Benzor 2020

Anexo G - Tabela de apresentação de fator de segurança mínimo recomendado conforme os tipos de purgadores

Tipos de Purgadores	Fator de Segurança Mínimo Recomendado
Bóia livre	1,5
Balde invertida	2
Disco	2
Termo estático (elemento X)	2
Bimetálico	3 a 5

Fonte: Disparco

Anexo H - Tabela de apresentação da espessura de isolamento hidrossilicato de cálcio

Espessura do isolamento térmico (mm) com Hidrossilicato de cálcio

Diâmetro Nominal (pol)	Temperatura de operação da tubulação (°C)													
	75	100	125	150	175	200	250	300	350	400	450	500	550	600
3/4	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	63	63
1	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	63	63
2	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	63	76	76
3	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	63	76	76	89
4	25	25	38	38	51	51	63	63	63	63	76	76	89	89
6	25	25	38	38	51	51	63	63	76	76	89	102	102	114
8	25	25	38	38	51	51	63	76	76	89	102	114	114	126
10	25	38	38	51	51	63	63	76	89	102	102	114	126	126
12	25	38	38	51	63	63	76	76	89	102	114	126	126	126
14	25	38	38	51	63	63	76	89	89	102	114	126	126	126
16	25	38	51	51	63	63	76	89	102	102	114	126	126	126
20	25	38	51	51	63	63	76	89	102	114	126	126	126	126
24	25	38	51	51	63	63	76	89	102	114	126	126	126	126



Fonte: Benzor (2020)