

CENTRO UNIVERSITARIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

LUIS JUNIOR BELEGANTE

**ISOLAMENTO TÉRMICO COM PAINÉIS REFLETIVOS MULTICAMADAS COM
BOLHAS DE AR EM TUBOS DE VAPOR**

CASCADEL - PR

2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

LUIS JUNIOR BELEGANTE

**ISOLAMENTO TÉRMICO COM PAINÉIS REFLETIVOS MULTICAMADAS COM
BOLHAS DE AR EM TUBOS DE VAPOR**

Trabalho apresentado na disciplina e Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

**Professor Orientador Mestre Engenheiro
Mecânico: Eliseu Avelino Zanella Junior**

CASCADEL - PR

2019

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

LUIS JUNIOR BELEGANTE

**ISOLAMENTO TÉRMICO COM PAINÉIS REFLETIVOS MULTICAMADAS COM
BOLHAS DE AR EM TUBOS DE VAPOR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eliseu Avelino Zanella Junior.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof^a. Mestre Eliseu Avelino Zanella Junior
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Professor Esp. José Claudio Terra Silveira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico

Professora Mestre Rosemar Dal Ponte
Faculdade Assis Gurgacz – FAG

Cascavel, 2019

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe e meu pai, pelo exemplo de coragem e simplicidade em suas metas, e com muito carinho me ensinaram o significado das palavras humildade e gratidão, a minha querida esposa Indyanara que foi em grande parte a fonte para as minhas inspirações, e, a todos os meus colegas de curso que contribuíram para o meu crescimento e aprendizagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

A minha mãe, Leonida Hein Belegante, que desde sempre me incentivou a nunca desistir dos meus sonhos, ao meu pai, Luiz Alberto Belegante que nunca mediu esforços me ajudar e aconselhar nos momentos mais difíceis, a minha irmã Giceli Aparecida Belegante Freschi e seu cônjuge Marcelo Freschi, que se sempre estiveram dispostos e presentes.

Agradeço a minha esposa Indyanara Aparecida Almeida Belegante, a quem devo muito pelo apoio prestado ao longo do meu percurso acadêmico.

A todos os professores do curso de Engenharia Mecânica pela dedicação e contribuição para minha formação.

Agradeço em especial ao meu orientador Professor Mestre Eliseu Avelino Zanella Junior, por toda paciência e disciplina que teve durante as sessões de orientação para que esse trabalho fosse concluído.

A todos os meus colegas, que estiveram comigo nas dificuldades e conquistas, fazendo com que esses 5 anos passassem rapidamente e se tornassem inesquecíveis, em especial destaco minha gratidão ao meu colega de curso Leandro Martins Soares, que muito me ajudou na elaboração desse trabalho.

E a todos que de alguma forma participaram deste trabalho. Meu sincero obrigado.

RESUMO

Sempre há necessidade de evolução quando se fala em tecnologia, seja na área industrial ou de lazer, o presente trabalho fez uma análise sobre transferência de calor em tubos de vapor de uma caldeira industrial, o principal objetivo desse trabalho é um comparativo de isolamento térmico com bolhas de ar e isolamento térmico com lã de rocha em tubos de vapor em uma fábrica de ração para frango de corte. A preservação da temperatura de um fluído nos tubos de distribuição de vapor em uma fábrica de ração para frango de corte é um fator decisivo para que a efetividade dessa energia térmica seja suficiente para o trabalho desejado, o fluído utilizado é vapor de água a uma temperatura próxima a 180°C. Um isolante amplamente utilizado para esse fim é constituído por lã de rocha que realiza a vedação de forma eficaz, porém pode trazer prejuízos à saúde humana, se inalado a fuligem que solta quando se manuseia de forma incorreta ou quando exposto dentro da indústria pode gerar fungos e bactérias, vindo a contaminar os alimentos ali processados. Com isso abre possibilidades para a substituição por outros materiais igualmente ou superiores em eficiência, mas sendo completamente higienizável e ainda pode ser reutilizado ou montado conforme a necessidade. Propõe-se através desta pesquisa demonstrar as vantagens de se utilizar o isolante com bolhas de ar no lugar do isolante com lã de rocha, mostrando que graças a facilidade de instalação pode se tornar uma opção viável economicamente. Para isso foram realizados cálculos do fluxo de calor medições, e, registramos com uma câmera térmica o calor emitido nos tubos de vapor do setor de ração para frango de corte na renomada empresa Copacol – Cooperativa Agroindustrial Consolata, localizada em Cafelândia-PR. Percebemos ao final dessa pesquisa que os resultados foram satisfatórios para justificar a pesquisa.

Palavras Chaves: Isolamento Térmico. Tubos De Vapor. Eficiência Térmica. Isolante Convencional (Lã De Rocha)

ABSTRACT

When it is called in technology, whether in the industrial or leisure area, the present work makes an analysis on the heat transfer in a steam pipe of an industrial boiler, the main objective is a comparative work of thermal insulation with bicarbonate of air and thermal insulation with rock wool in steam pipes at a chicken feed factory. Cleaning the temperature of a fluid in the steam distribution pipes at a feed mill for the broiler is a decisive factor so that energy may be required for the desired job, the fluid used is water vapor at a nearby temperature at 180 ° C. Empiricism consists of an effective form that can bring harm to human health when an individual reaches loneliness when it becomes incorrect or when it presents itself within the industry. and bacteria, contaminating the food processed there. What is easier to run and can be completely improved? It is proposed through this research to demonstrate how the advantages of isolating the airwaves at the site of insulation with rock wool, showing that an installation installation can be an economically viable option. For this purpose, the caloric fluxes were exported, and we registered with a thermal camera the calorific heat in the steam tubes of the chicken feed sector in the renowned company Copacol - Cooperativa Agroindustrial Consolata, located in Cafelândia-PR. We realized at the end of this research that the results were satisfactory to justify the research.

KEYWORDS: Thermal insulation. Steam Tubes. Thermal Efficiency. Conventional Insulation (Rock Wool)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Faixas de condutividade térmica para vários materiais a temperatura ambiente	17
Figura 2: Partições do isolamento com bolhas de ar	19
Figura 3: FLIR T1020 28°	27
Figura 4: Calculadora HP Prime	28
Figura 5: Tubos de vapor sem isolante térmico: 127,9 °C.....	29
Figura 6: Isolamento com lã de rocha: 44,5 °C.....	30
Figura 7: Isolamento com bolhas de ar: 39 °C	31
Figura 8: Partições do isolamento instalado	32
Figura 9: Temperatura ambiente: 27,2 °C.....	33
Figura 10: Corte de um tubo isolado com lã de rocha	34
Figura 11: Comparação dos isolantes com lã de rocha e com bolhas de ar	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens da lã de rocha	18
Tabela 2: Vantagens e Desvantagens do Isolamento Com Painéis Refletivos	20
Tabela 3: Espessura da parede do tubo	21
Tabela 4: Valores médios do Coeficiente de convecção natural.....	23
Tabela 5: Valores médios de coeficiente de convecção.....	24
Tabela 6: Custo de implantação do isolamento com lã de rocha	43
Tabela 7: Custo de implantação do isolamento com bolhas de ar.....	44

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Transferência de calor por condução	22
Equação 2: Transferência de calor por convecção	23
Equação 3: Taxa de transferência de calor.....	35
Equação 4: Produto do coeficiente global pela área de troca.....	35
Equação 5: Transferência de calor por convecção no interior do tubo	36
Equação 6: Transferência de calor por condução na parede do tubo	37
Equação 7: Transferência de calor por condução no isolamento com lã de rocha.....	37
Equação 8: Transferência de calor por convecção entre o isolamento e o ar ambiente	38
Equação 9: Transferência de calor global	38
Equação 10: Coeficiente global de troca térmica para lã de rocha	39
Equação 11: Área de troca de referência	39
Equação 12: Taxa global de transferência de calor, de forma direta.....	40
Equação 13: Coeficiente global de troca térmica para bolhas de ar.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ΔT – Diferença de temperatura

A – Área

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANSI – American National Standards Institute

ASMT – American Society for Testing and Materials

C_p – Capacidade térmica

DN – Diâmetro Externo

h – Coeficiente de convecção natural

HP – Hewlett Packard

IARC – Agência Internacional de Pesquisa do Câncer

in – Polegadas

ISO – International Organization for Standardization

K – Condutividade Térmica

kcal – Quilocaloria;

kg – Quilograma

Kg/cm² – Quilograma por centímetro quadrado

Kg/m – Quilograma por metro

L - Comprimento

m – Massa

m – Metro

ṁ – Vazão de massa

mm – Milímetro

NBR – Norma Brasileira

Pg – Página

Q – Quantidade de calor

R\$ – Reais;

T – Temperatura

U – Coeficiente de troca térmica

Un – Unidade

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

w - Watts

W/m².K - Watts por metro ao quadrado vezes kelvin

W/m.°C – Watts por metro vezes graus célsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVO	13
1.1.1 Objetivo Geral.....	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	15
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 ISOLANTES TÉRMICOS	16
2.1.1 Lã de Rocha	17
2.1.1.1 Vantagens e Desvantagens da Lã de Rocha.....	18
2.1.2 Isolamento Com Painéis Refletivos Com Bolhas de Ar.....	19
2.1.2.1 Vantagens e Desvantagens do Isolamento Com Painéis Refletivos	19
2.1.3 Contaminação Alimentar	20
2.2 TUBOS PARA O TRANSPORTE DE VAPOR.....	21
2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR	22
2.3.1 Condução	22
2.3.2 Convecção.....	22
2.3.2.1 Coeficiente de Transferência de calor	23
2.3.3 Condutividade Térmica	24
3 METODOLOGIA.....	25
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	26
3.2 MÉTODOS SEGUIDOS	26
3.3 CÁLCULOS DO ISOLAMENTO COM LÃ DE ROCHA	34
3.4 CÁLCULOS DO ISOLAMENTO COM BOLHAS DE AR	41
3.5 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	45
5 CONCLUSÃO.....	47
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

Em uma busca constante por aperfeiçoamento, o ser humano está sempre evoluindo, cada dia que passa, portas se abrem para novas tecnologias e com isso abre um leque de oportunidades. Mesmo quando se fala em erros cometido por um determinado processo, são na verdade valiosas experiências e conhecimentos adquiridos.

O presente trabalho foca em comparar o desempenho do isolamento multicamadas com painéis refletivos com bolha de ar em substituição ao isolamento com lã de rocha em tubos de vapor. Amplamente utilizada dentro de indústrias como isolante térmico a lã de rocha pode ser causadora de desconfortos a saúde, não só quando há o manuseio errôneo na instalação e inalação de sua fuligem, mas também, por se tratar nesse caso de uma indústria alimentícia, há sempre a possibilidade de contaminação dos alimentos ali industrializados. A Pós-Graduada Rosalina Aparecida da Silva, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, em 2012, afirma que os alimentos podem ser contaminados no seu manejo ou no próprio ambiente em que foram produzidos, o que seria correto considerar a lã de rocha sendo hospedeira para diversos tipos de fungos e bactérias.

Com o propósito de verificar qual a melhor opção de escolha entre os isolantes térmicos, fora realizada visita à empresa Copacol – Cooperativa Agroindustrial Consolata, localizada na cidade de Cafelândia/PR. Com o auxílio de diversos equipamentos foi realizado uma série de testes e cálculos de transferência de calor por metro de isolamento, para que houvesse o comparativo de desempenho e melhor custo benefício de ambos isolamentos.

Diante dos estudos elaborados, dos dados coletados e da conclusão, fica claro a relevância do presente tema e estudo, visto que a indústria como um todo, vem, cada mais, evoluindo e, por necessidade de mercado precisam a cada dia aumentar a produção e diminuir custos. Dessa forma, ao realizar tal pesquisa, chegou-se à conclusão de qual dos isolantes térmicos melhor desempenha sua função, e que possui melhor custo benefício, assim como, causa menos risco a saúde, tal comparativo entre o isolamento com lã de rocha e o isolamento com bolha de ar, serve como um norte para futuras pesquisas, abrindo uma variedade de possíveis inovações no campo industrial.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Comparar qual isolante térmico é mais eficaz entre bolhas de ar e lã de rocha no sistema de distribuição de vapor em uma fábrica de ração para frango de corte.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar o fluxo de calor por metro em ambos os isolantes.
- Examinar o melhor custo benefício, considerando a compra e montagem do isolante nos tubos.
- Verificar a eficiência térmica do isolador com bolhas de ar, comparando com o isolador de lã de rocha.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o passar dos anos a tecnologia vem alcançando níveis intrigantes, que comprovam cada vez mais a competência do homem em se desenvolver e se aperfeiçoar em todos os campos, mas é a engenharia e a ciência que ganha destaque, o nível em que a robótica se encontra e a engenharia, são níveis considerados muito altos se comparado ao tempo de pesquisa focado em tal desenvolvimento.

Assim, com o presente trabalho foi possível realizar uma análise aprofundada da evolução da tecnologia quanto a isolamentos térmicos, onde observamos uma oportunidade de pesquisa gigante, a fim de analisar possíveis melhoras quanto a eficiência e acabamento, além de agilizar o processo de instalação do isolamento térmico em tubos de vapor substituindo o convencional de lã de rocha, por isolamento térmico com bolhas de ar, estratificando o ar entre chapas de aço, buscando um progresso no seu desempenho e redução de gastos na sua instalação, manutenção e redução de possíveis danos à saúde de quem fica exposto a tal elemento.

Observa-se que atualmente na grande maioria dos casos onde há necessidade de se usar um isolante térmico, devido às altas temperaturas nas tubulações de vapor de industriais, é utilizado o isolante térmico confeccionado a partir de lã de vidro ou lã de rocha, que por sua vez é um produto irritante a pele, e quando a exposição elevada da fuligem podem irritar a

garganta dificultando a respiração , haja visto ser composto por um material fibroso e de fácil inalação ou de entrar em contato com os olhos ao ser manuseado durante a instalação quando não são observados os devidos cuidados de manuseio. Porém, segundo a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) que inicialmente classificava o material no grupo 2B como o agente sendo provavelmente carcinogênico aos humanos, passou a entender que esse material se enquadra no grupo 3 onde o agente não é classificado como carcinogênico aos seres humanos.

SILVA, 2012, afirma em seu trabalho que todo alimento exposto a qualquer tipo de material não higienizado ou higienizado de forma incorreta, pode fazer com que o alimento quando produzido nesse ambiente se torne um meio de transmissão de diversos tipos de contaminações, sejam elas por bactérias, fungos, protozoários, toxinas, entre outros, afetando diretamente a pessoa que o consome.

Com a presente pesquisa, buscar-se-á uma análise de mecanismos que proporcionem um vasto campo de vantagens, passando principalmente pelo efeito qualitativo do uso do isolamento térmico com bolhas de ar, com a redução de desconfortos da mesma e atingindo um maior desempenho com um menor custo. Ainda com o objetivo de atrair mais atenção para o tema, o trabalho buscará melhorias baseado na teoria adquirida em sala de aula quanto à eficiência em transferência de calor no processo de isolamento evitando a troca térmica entre as tubulações e o ambiente, conseguindo desta forma um melhor aproveitamento de energia e aumentando a produtividade, além de uma análise física comparando os dois tipos de isolantes atuando ao mesmo tempo.

1.3 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Qual isolante térmico é mais eficiente em um comparativo entre bolhas de ar e lã de rocha no sistema de distribuição de vapor em uma fábrica de ração para frango de corte?

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esse trabalho de conclusão de curso foi desenvolvido na empresa Copacol – Cooperativa Agroindustrial Consolata, localizada em Cafelândia-PR, para tal foi coletado informações de temperatura de tubos de vapor através de uma câmera termográfica, dentro de uma indústria de produção de ração para frangos de corte, e limitou-se a utilizar os equipamentos que dispunham no local, para efeito de cálculo foram desprezadas trocas térmicas por radiação, e também, utilizamos os coeficiente de troca térmica por convecção tabelados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta etapa descreve-se uma breve análise sobre a proposta desse trabalho, buscando e evidenciando o conhecimento adquirido de diversos autores, afim de proporcionar ao leitor um melhor entendimento sobre o assunto.

2.1 ISOLANTES TÉRMICOS

São constituídos por materiais de baixa condutividade térmica combinada para obter uma condutividade térmica ainda menor. Nos isolantes tradicionais do tipo fibras, o material sólido encontra-se finamente disperso num espaço contendo ar. Tais sistemas são caracterizados por uma condutividade térmica efetiva (INCROPERA, 2008).

O uso de isolamentos térmicos para a condução de fluido quente é uma das aplicações nos campos térmicos e de materiais que tem merecido destaque em pesquisas científicas, na busca de um material que tenha as características de boa eficiência térmica, boa resistência e baixo custo (SANTOS, 2008).

Segundo afirmação de (PROTOLAB) o material com menor condutividade térmica é o ar com um valor aproximado de $0,020 \text{ W/m}^\circ \text{C}$, entretanto o ar deve estar seco e estático, pois qualquer movimento ativo a troca térmica por convecção aumenta sensivelmente a troca térmica, A lã de rocha tem uma taxa de condutividade térmica de aproximadamente $0,040 \text{ W/m}^\circ \text{C}$, isso mostra claramente que usar o ar como isolante térmico resulta em uma menor troca térmica com o ambiente. Já os metais, ao contrário do ar ou lã de rocha, são considerados excelentes condutores de calor, possuem uma alta taxa de condutividade térmica variando de acordo com o tipo de metal podendo ser de $52 \text{ W/m}^\circ \text{C}$ no caso de aços e ferros até algo em torno de $372 \text{ W/m}^\circ \text{C}$ no caso do cobre.

O mais perfeito isolante térmico é o vácuo, mas devido à ampla dificuldade para alcançar e manter essas condições, ela é utilizada em poucas situações. Uma opção é usar o ar, que possui uma condutividade térmica muito baixa e um baixo coeficiente de absorção da radiação, compõe um elemento com muita capacidade de retenção de calor (FILHO, 2013).

Çengel, 2014, disponibiliza uma tabela de condutividade térmica para diversos materiais em temperatura ambiente como podemos acompanhar na figura 1.

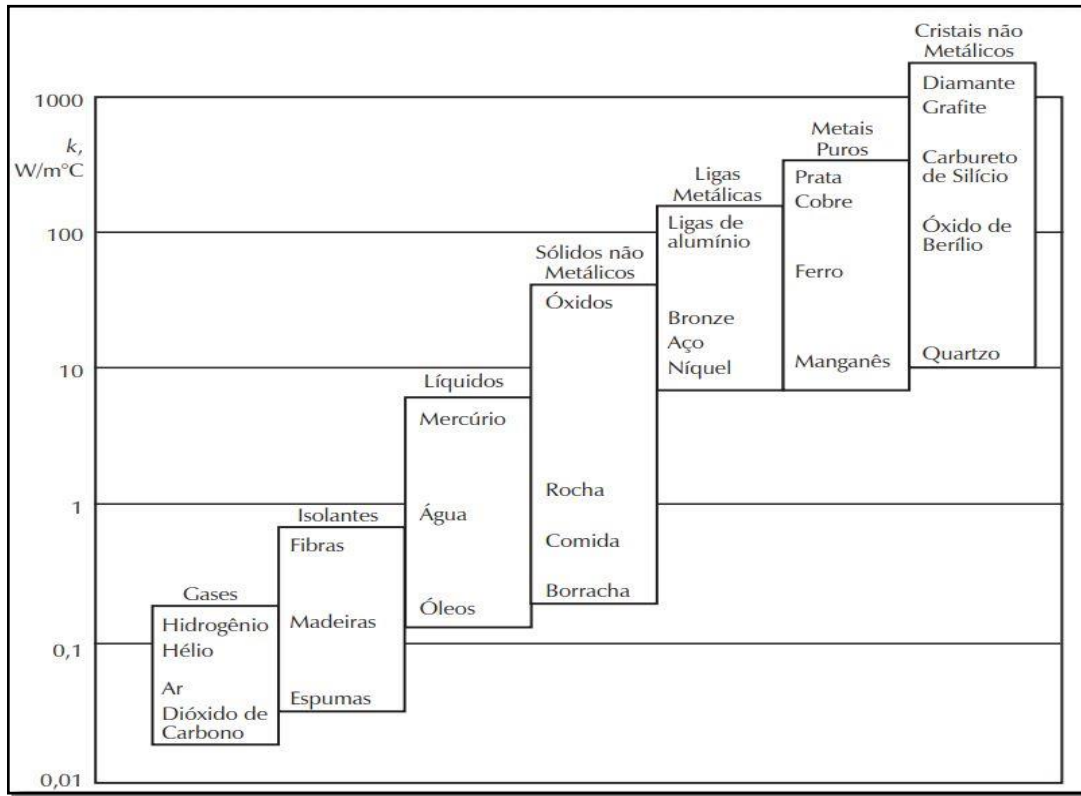


Figura 1: Faixas de condutividade térmica para vários materiais a temperatura ambiente

(Fonte: Çengel, 2014, p. 21)

2.1.1 Lã de Rocha

A lã de rocha procede de fibras minerais de rochas vulcânicas, dentre elas o basalto e o calcário. Esta fibra procedente de depósitos vulcânicos era já aproveitada pelos nativos das ilhas havaianas para cobrir suas moradas para abrigá-los do frio e do calor. É produzida, através de um processo químico chamado fusão. A lã de rocha é confeccionada a partir de lã mineral. Depois de aquecer as rochas basálticas e outros minerais a cerca de 1500 °C, estes são transformados em filamentos que, aglomerados com soluções de resinas orgânicas, permitem a fabricação de produtos leves e flexíveis ou até muito rígidos, dependendo do grau de compactação (QUERCUS).

Com uma Condutibilidade térmica de 0,037 W/m.° C, a lã de rocha é considerado um excelente isolante térmico e acústico, muito utilizado tanto na construção civil quando em projetos industriais. A lã de rocha é um material incombustível e completamente permeável ao ar e ao vapor de água.

Segundo o ROCKFIBRAS, as fibras mais habitualmente usadas como a lã de rocha para isolamento são agora consideradas não classificáveis como cancerígenas para os seres humanos passando a pertencer ao (grupo 3). SILVA. 2013 interpretou em seu trabalho que a Agência Internacional de pesquisa do câncer (IARC) recomenda evitar o contato com este material e procurar impedir o contato com o ar interior da habitação, por ela pertencer ao (grupo 2B) que pode ser um carcinogênico humano.

A NBR 11356 – Isolantes Térmicos a base de bras minerais: Painéis, mantas e feltros. – Determinação das Dimensões, determina que para isolamento em tubos de vapor com a temperatura usada nesse projeto deve ser usado uma camada de 200mm de lã de rocha.

2.1.1.1 Vantagens e Desvantagens da Lã de Rocha

Vemos na tabela 1, as vantagens e desvantagens do uso do isolamento com lã de rocha.

Tabela 1: Vantagens e Desvantagens da lã de rocha

Vantagens no uso de lã de rocha	Desvantagens no uso da lã de rocha
Baixo custo	Desempenho térmico reduzido na presença de umidade
Vida útil prolongada, não se degrada com o passar do tempo	Proteção necessária para a sua colocação
Boa eficiência térmica em ambiente com condições adequadas	Recurso não renovável
	Impacto na saúde e impacto ambiental

(Fonte: SILVA, 2013, p. 14).

2.1.2 Isolamento Com Painéis Refletivos Com Bolhas de Ar

Flexibilidade total para adicionar a espessura da proteção mecânica para se adaptar à necessidade do cliente (ISOTERMAS, 2017). Na figura 2 podemos acompanhar a quantidade de partições necessárias de acordo com a temperatura do fluido, percebemos com isso que a cada partição aumenta-se a espessura do isolamento em 9mm.

TUBO OD	TUBO DN	TEMPERATURA DE OPERAÇÃO (°C)					
		até 80	de 80 até 150	de 150 até 200	de 200 até 280	de 280 até 320	de 320 até 350
		QUANTIDADE DE PARTIÇÕES E LACUNAS DE AR / ESPESSURA EM mm					
12	½"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
19	¾"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
25	1"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
38	1 ½"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
51	2"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
63	2 ½"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
76	3"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
100	4"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
168	6"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
219	8"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
273	10"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
323	12"	1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
Ø ≤ 500 mm		1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63
Ø > 500 mm		1P2L – 18	2P3L – 27	3P4L – 36	4P5L – 45	5P6L – 54	6P7L – 63

Figura 2: Partições do isolamento com bolhas de ar

(Fonte: Isotermas, 2017).

2.1.2.1 Vantagens e Desvantagens do Isolamento Com Painéis Refletivos

Segundo ISOTERMAS, 2017, este dispositivo pode ser reutilizável ou reaplicável, admite que as equipes de manutenção retirem e recolorem no momento que for necessário, caso uma linha saia de operação o sistema poderá ser aproveitado em outra linha ou guardado para aplicações futuras.

Vemos na tabela 2, as vantagens e desvantagens do uso do isolamento com painéis refletivos multicamadas com bolhas de ar.

Tabela 2: Vantagens e Desvantagens do Isolamento Com Painéis Refletivos

Vantagens	Desvantagens
Não libera fibras ou resíduos para o ambiente	Custo ligeiramente maior nos materiais
É totalmente reciclável atendendo a ISO 14000	
Não encharca de água, óleo, bactérias	
É totalmente higienizável	Mão de Obra especializada mais escassa
Maior praticidade em instalar	
Elevada resistência Mecânica	
Vida útil indeterminada, com condições adequadas	

(Fonte: Isotermas, 2017).

2.1.3 Contaminação Alimentar

Admitimos que o número de intoxicação alimentar no Brasil está cada vez menor, mas a quantidade de pessoas que adoecem em virtude do consumo de bebidas e alimentos contaminados ainda é amplo. Segundo (TERRA SERVIÇOS, 2017). Durante o ano 2017, foram registrados pela Vigilância Epidemiológica, 2014 pessoas doentes em todo o país devido a intoxicações e 133 surtos de intoxicação.

A Pós-Graduada Rosalina Aparecida da Silva, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, afirma em sua monografia, que os alimentos podem ser contaminados no seu manejo ou no próprio ambiente em que foram produzidos. Assim, a finalidade do serviço de alimentação não é simplesmente alimentar o ser humano. E alimentar não é somente oferecer uma comida gostosa e nutritiva, mas também uma comida segura do ponto de vista higiênico, sem estar contaminada. Os alimentos são considerados condutores para agentes infecciosos e tóxicos e podem ser contaminados durante toda a etapa da cadeia alimentar por qualquer matéria estranha. Entende-se por perigos as contaminações ou agentes de natureza física, química ou microbiológica que podem tornar um alimento não seguro para o consumo.

2.2 TUBOS PARA O TRANSPORTE DE VAPOR

RIBEIRO, 2014 afirma em seu curso sobre tubulações industriais que cerca de 90% dos tubos utilizados nas indústrias por ser de baixo custo e possuir altas qualidades mecânicas, é simples de soldar e de conformar, o Aço Carbono pode ser utilizado para: Água doce, vapor, condensado, ar comprimido, óleo, gases além de outros fluídos que não são muito corrosivos.

O dimensionamento de uma tubulação deve ser feito visando a obter uma rede que atenda as condições de temperatura e pressão desejados (TORREIRA, 1995).

Existem mais de uma norma regulamentadora da espessura da parede de tubulações industriais, como por exemplo a ASMT A-53 e A-106 e Norma Americana ANSI. B.36.10 ou a NBR 5590. A baixo na tabela 3 a espessura da parede do tubo, Shedule 40 com 6 polegadas de diâmetro, identificamos que a espessura da parede precisa ser de 7,11 mm.

Tabela 3: Espessura da parede do tubo

SCHEDULE 40					
Diâmetro Nominal (in)	Diâmetro Exterior (mm)	Parede Mínima (mm)	Média do Diâmetro Interno (mm)	Peso da Tubulação (kg/m)	Pressão Máxima de Água a 23 °C (kg/cm²)
¼	13.700	2.240	8.992	0.131	54.841
⅜	17.100	2.310	12.268	0.174	43.592
½	21.300	2.770	15.443	0.263	42.186
¾	26.700	2.870	20.574	0.350	33.748
1	33.400	3.380	26.238	0.519	31.639
1 ¼	42.200	3.560	34.646	0.701	26.014
1 ½	48.300	3.680	40.437	0.844	23.202
2	60.300	3.910	52.045	1.131	19.686
2 ½	73.000	5.160	62.103	1.793	21.093
3	88.900	5.490	77.267	2.348	18.280
4	114.300	6.020	101.549	3.344	15.468
6	168.300	7.110	153.187	5.893	12.655
8	219.100	8.180	201.752	8.858	11.249
10	273.100	9.270	253.390	12.575	9.843
12	323.900	10.310	302.006	16.611	9.140
14	355.600	11.100	332.029	19.693	9.140
16	406.400	12.700	379.476	25.708	9.140

(Fonte: Corzan).

2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A ciência da termodinâmica opera com a quantidade de calor transferido quando um sistema passa de um processo para outro buscando um ponto de equilíbrio, não fazendo menção ao tempo que esse processo possa demorar. Seguindo os princípios básicos de transferência de calor por meio da condução, convecção e radiação (ÇENGEL, 2012).

2.3.1 Condução

A condução térmica é definida como a transferência de energia por meio das partículas mais carregadas energeticamente para as partículas menos energizadas do material, resultando em um contato entre as partículas, a qual pode ocorrer em sólidos, líquidos e gases, esses dois últimos quando estão inertes (ÇENGEL, 2012).

Em sólidos a condução térmica é a combinação das vibrações das moléculas estrutura do material e na transferência de energia pelos elétrons livres (ÇENGEL, 2012).

O fluxo térmico para a transferência por condução pode ser calculado através da Equação 1 extraída de Çengel, 2012.

$$q = \frac{k * A * (\Delta T)}{L} \quad (1)$$

Onde:

q = Taxa de transferência de calor [W]

k = Condutividade térmica do material [W/m*°C]

A = Área de transferência do calor [m²]

ΔT = Diferença de temperatura [°C, K]

L = Espessura do material [m].

2.3.2 Convecção

A transferência de calor por convecção acontece entre a superfície de um sólido, líquido ou gás com o fluido em movimento que pode ser natural (livre) ou em um sistema forçado, e, quanto mais rápido a movimentação dos fluidos, maior será a transferência de calor (ÇENGEL, 2012).

Em um sistema com convecção forçada, caracteriza-se quando os fluidos são forçados devido a uma força externa como uma bomba, um ventilador ou o vento. Convecção natural quando o movimento do fluido acontece por causa da variação de temperatura do e densidade do fluido (ÇENGEL, 2012).

Çengel afirma que é possível calcular o fluxo térmico por convecção em uma superfície por meio da equação 2.

$$q = h * A * \Delta T \quad (2)$$

Onde:

q = Taxa de transferência de calor [W]

h = Coeficiente de transferência por convecção [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

A = Área de transferência do calor [m^2]

ΔT = Diferença de temperatura [$^{\circ}\text{C}$, K]

2.3.2.1 Coeficiente de Transferência de calor

Seguindo estudos do Professor Mestre Engenheiro Mecânico Carlos Boabaid Neto, 2010, deixa claro que o coeficiente de transferência de calor por convecção (h) depende de vários fatores, fazendo com que cada caso particular de transferência de calor terá uma equação distinta, porém ele admite alguns valores médios habitualmente usados, baseados em estudos mais aprofundados sobre o assunto, e, demonstra na tabela 4. Diante disso, adotaremos o valor de $15 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, para os cálculos que serão apresentados mais adiante.

Tabela 4: Valores médios do Coeficiente de convecção natural

PROCESSO CONVECÇÃO NATURAL	h [$\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$]
Ar	5 - 30
Gases	4 - 25
Líquidos	120 - 1.200
Água, líquida	20 - 100
Água em ebulição	120 - 24.000
Água em condensação	5.000 - 100.000

(Fonte: Neto).

A Dra. Milena Martelli Tosi [entre 2008 e 2019], publica que no caso de convecção forçada por vapor podemos considerar um valor entre 25 a 250 Kcal/h.m².C conforme vemos na tabela 5. Convertendo para o sistema de unidades adotado nesse trabalho temos que ficará entre 29,07 e 290,76 W/m².K, para nos beneficiar dos cálculos adiante adotaremos o valor de 200 W/m².K.

Tabela 5: Valores médios de coeficiente de convecção

PROCESSO CONVECÇÃO	kcal/h.m ² .C
Ar, convecção natural	5-25
Vapor, convecção forçada	25-250
Óleo, convecção forçada	50-1500
Água, convecção forçada	250-10000

(Fonte: Tosi).

2.3.3 Condutividade Térmica

A condutividade térmica é uma característica específica de cada material que apresenta uma taxa em que a energia é transferida por um processo chamado difusão. A condutividade estar sujeito a estrutura física da matéria, atômica e molecular (INCROPERA, 2008).

Segundo (ÇENGEL, 2012), quanto maior o valor para a condutividade térmica de um determinado material, melhor condutor de calor ele será, enquanto um valor mais baixo mostra que o material é um mal condutor ou um isolante térmico.

O espaçamento entre as moléculas nos líquidos e gases fazem com que eles não tenham uma boa condutividade térmica quando comparados com os sólidos (INCROPERA, 2008).

3 METODOLOGIA

O presente trabalho consiste em uma análise desenvolvida por meio de pesquisa descritiva, onde abordará através de estudos e pesquisas, uma opção alternativa que melhor desempenhe a função de isolamento térmico com maior eficiência, substituindo a lã de rocha utilizada em tubos de vapor em caldeiras industriais por isolamento com bolhas de ar.

Vergara (2000, p. 47 apud Oliveira 2011) defende que a pesquisa descritiva evidencia as características de determinada população ou fenômeno, indica ligações entre variáveis e define sua natureza. "Não têm o compromisso de explicar os fenômenos que descreve, embora sirva de base para tal explicação", tal descrição serve como base para o bom desenvolvimento metodológico do trabalho que aqui se pretende elaborar.

A pesquisa adota uma abordagem quantitativa, que segundo Mattar (2001 apud Oliveira 2011), procura validar as hipóteses através dos dados sistemáticos, estatísticos, analisando casos representativos, propondo um curso final da ação. Ela quantifica os dados e divulga os resultados da amostra para os interessados.

O trabalho que aqui se desenvolve busca demonstrar que o serviço de instalação em isolamentos térmicos feitos com bolhas de ar se mostra superior aos demais, devido ao seu maior desempenho, além de ter um material mais refinado, podendo inclusive ser higienizado, e com estética melhor.

Quanto à montagem, observa-se que o isolamento térmico de bolhas de ar, tem como base chapas de aço inox, que se mostra ser extremamente mais prático no momento de manuseio e montagem, não sendo necessário nem um tipo de cuidado diverso do rotineiro, mostrando-se diferente da lã de rocha, que requer cuidados extras, visto que vem sendo comprovado que o referido material é nocivo à saúde humana, quando inalada a fuligem por ela expelida.

No tocante, a eficiência térmica do isolamento com bolhas de ar, é baseado em teorias, e se mostra superior, visto que a condutividade térmica do ar, quando o mesmo está parado e seco é de aproximadamente $0,020 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, diferentemente do isolamento térmico feito com lã de rocha que se mostra com condutividade térmica de $0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, o que se mostra superior à condutividade térmica obtida com lã de rocha.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

O levantamento dos dados para a elaboração da comparação dos isolantes térmicos foi possível com o auxílio dos seguintes materiais:

- Históricos operacionais da empresa;
- *Know-how* de empresas especializadas em equipamentos;
- Câmera Termográfica FLIR modelo T1020 28°
- Calculadora HP Prime Graphing Calculator

3.2 MÉTODOS SEGUIDOS

O primeiro passo do estudo visou conhecer a temperatura do fluido e a massa de vapor que passa pelas tubulações no local dos testes, essas informações foram coletadas a partir do controle de distribuição de vapor, nesse caso a temperatura e a vazão de massa fornecida pelo responsável técnico atuante na empresa foi de 175°C e 6 toneladas/hora, nos concentramos em realizar o comparativo em uma área em que houvesse os dois tipos de isolamento, lã de rocha, e com painéis refletivos com bolhas de ar, para evitar o máximo possível de divergências. Verificamos que toda rede de distribuição precisa seguir uma norma, pois além dela estar em alta temperatura também está sob alta pressão,

Posteriormente registramos em diversos pontos da tubulação, isolado termicamente tanto com lã de rocha quanto com painéis refletivos com bolhas de ar.

Ao final, depois de concluir as fotos passamos para os cálculos onde vimos o fluxo de calor que foi através de ambos os isolamentos, para facilitar utilizamos uma calculadora científica.

Para registrar a temperatura externa dos tubos de vapor sem isolamento, desmontamos aproximadamente 2 metros do isolamento com painéis refletivo com bolhas de ar, utilizamos uma câmera térmica da marca FLIR modelo T1020 28°, como podemos ver na figura 3.



Figura 3: FLIR T1020 28°

(Fonte: FLIR, 2018).

Todos os cálculos foram realizados com auxílio da Calculadora HP Prime, conforme figura 4.



Figura 4: Calculadora HP Prime

(Fonte: Próprio autor).

A partir das fotos tiradas no local conseguimos obter uma perceptível diferença na temperatura externa do isolamento. Na figura 5 podemos acompanhar o resultado obtido pela imagem da câmera termográfica, nesse caso a tubulação sem isolamento térmico.

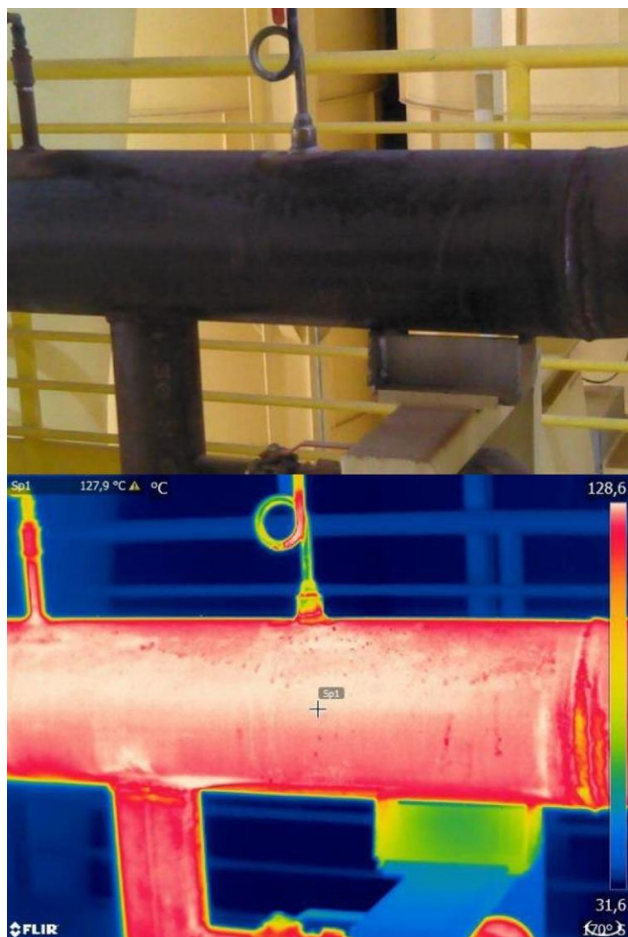


Figura 5: Tubos de vapor sem isolante térmico: 127,9 °C

(Fonte: Próprio Autor).

Podemos verificar na figura 6 a tubulação de vapor com o isolamento térmico com lã de rocha, se considerarmos que esse ponto no centro de cada imagem registrada pela câmera térmica significa uma base para que possamos obter valores de comparação, então conseguimos delta de temperatura de 83,4 °C.



Figura 6: Isolamento com lã de rocha: 44,5 °C

(Fonte: Próprio Autor).

A imagem a seguir, na figura 7 mostra um tubo isolado termicamente com os painéis multicamadas com bolhas de ar, podemos ver a redução de temperatura de aproximadamente 128 °C para 39 °C no centro do isolamento.

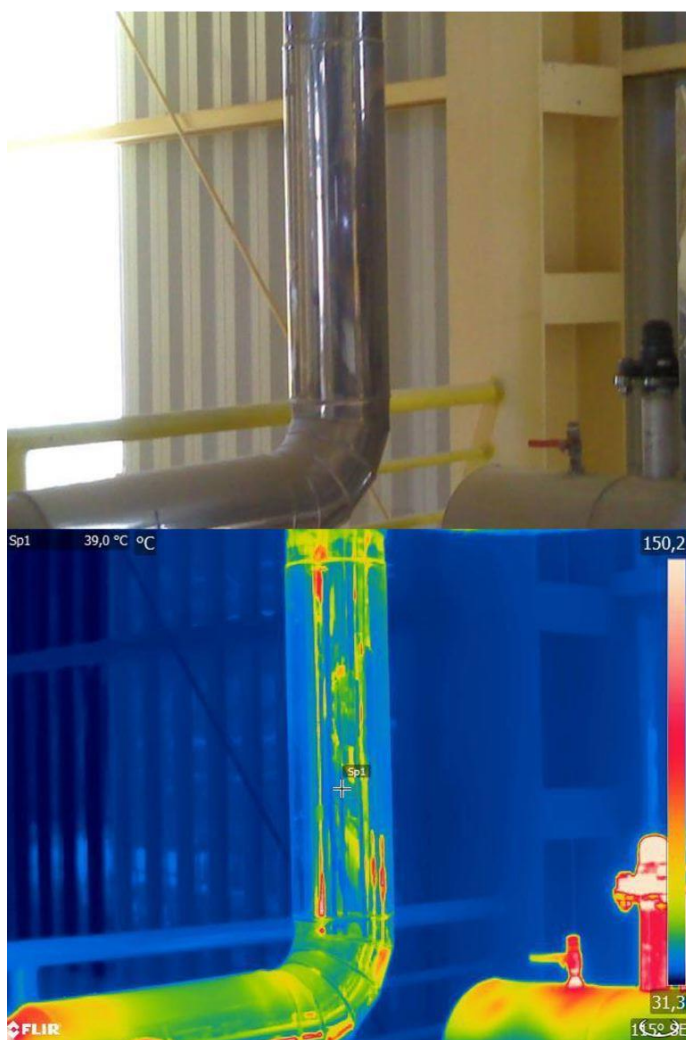


Figura 7: Isolamento com bolhas de ar: 39 °C

(Fonte: Próprio Autor).

Apesar da tabela demonstrar 3 partições para essa temperatura de fluido, foi usado 5 partições no momento da instalação. Conforme figura 8.



Figura 8: Partições do isolamento instalado

(Fonte: Próprio autor).

A temperatura na sala no momento dos testes estava em 27,2 °C, como verificamos na figura 9.

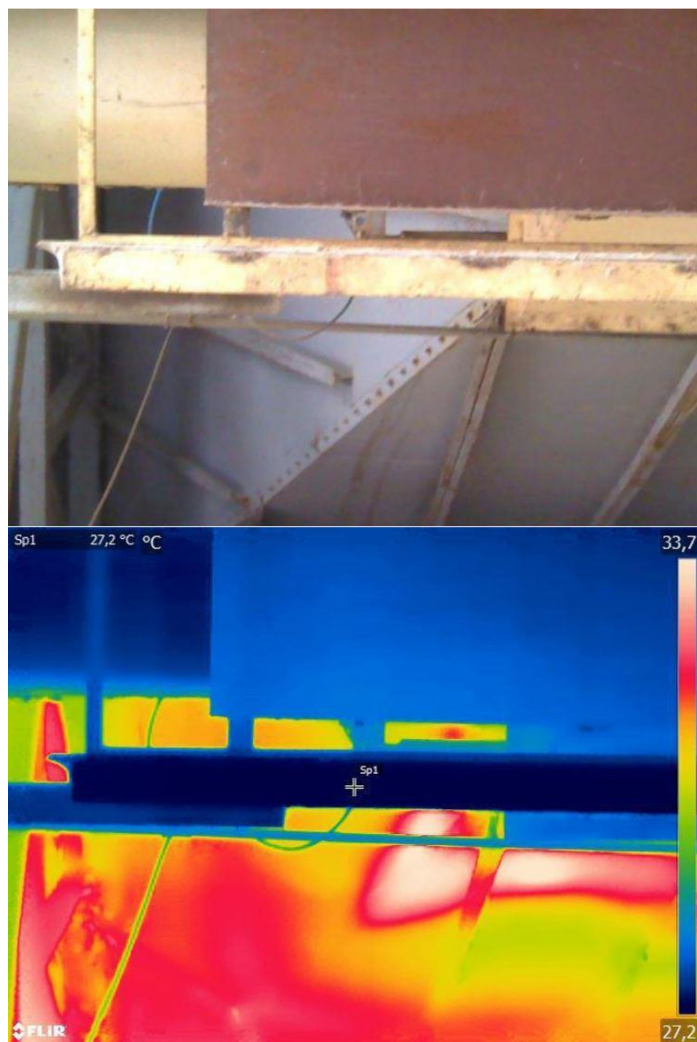


Figura 9: Temperatura ambiente: 27,2 °C

(Fonte: Próprio Autor).

3.3 CÁLCULOS DO ISOLAMENTO COM LÃ DE ROCHA

A figura 10 demonstra o corte de uma tubulação com isolamento com lã de rocha, onde a troca térmica nesse caso ocorre através da condução, passando pela parede interna do tubo até a parede externa do tubo, e posteriormente pelo isolante, onde podemos ver a temperatura da face externa do isolante, com isso conseguimos calcular o fluxo de calor presente nesse tipo de isolante.

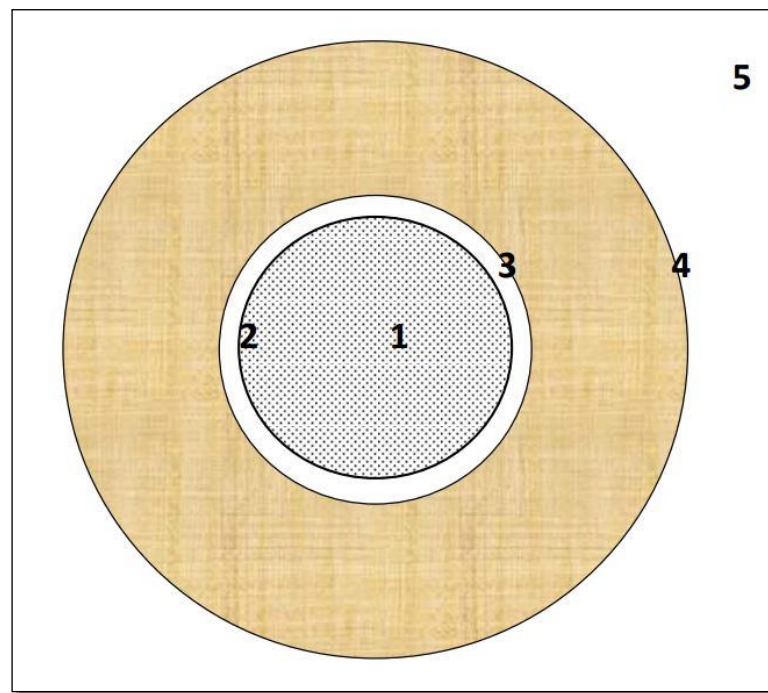


Figura 10: Corte de um tubo isolado com lã de rocha

(Fonte: Próprio Autor).

Com respeito a essa figura, entende-se:

- 1 – Região no interior do tubo (Fluído Vapor)
- 2 – Face Interna da Parede do tubo
- 3 – Face Externa da Parede do tubo
- 4 – Superfície Externa do Isolamento
- 5 – Ambiente Externo (Ar)

Segundo (Neto, 2010), podemos calcular a taxa de transferência de calor através da equação 3:

$$Q = (UA)_g * \Delta T_g \quad (3)$$

Onde:

Q: Taxa de transferência de calor (W)

(UA)_g: Produto do coeficiente global pela área de troca (W/m².K)

ΔT_g: Diferença de temperatura global (°C).

Definimos o (UA)_g, através da Equação 4, fornecida por Neto, 2010:

$$(UA)_g = \frac{2 * \pi * L}{\left(\frac{1}{r_2 h_{vapor}}\right) + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{aço}} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{K_{iso}} + \left(\frac{1}{r_4 h_{ar}}\right)} \quad (4)$$

Onde:

(UA)_g: Produto do coeficiente global pela área de troca (W/m².K)

L: Comprimento do tubo (m)

h: Coeficiente de convecção (W/m².K)

K: Condutividade térmica (W/m.° C)

ln: Logaritmo natural

r: raio (m).

Como foi visto anteriormente na figura 5, pg 28, a temperatura na parede externa do tubo de vapor é 127,9°C e seguindo as informações do técnico responsável pela rede de distribuição de vapor da empresa, a temperatura do fluído no interior do tubo é 175°C, dadas as informações, calculamos o fluxo de calor que ocorre de dentro para fora na parede do tubo, seguindo as informações da tabela 3, pg 20, temos que os diâmetros interno e externo do tubo utilizado na construção da rede de distribuição de vapor são 153,187mm e 168,3mm respectivamente, para efeito de cálculo desconsideraremos eventuais efeitos tidos por corrosão ao longo do tempo, e, desconsideraremos também possíveis variações na espessura, devido a fabricação.

$$(UA)_g = \frac{2 * \pi * 1}{\left(\frac{1}{0,0765935 * 200}\right) + \frac{\ln\left(\frac{0,08415}{0,0765935}\right)}{52} + \frac{\ln\left(\frac{0,28415}{0,08415}\right)}{0,037} + \left(\frac{1}{0,28415 * 15}\right)}$$

$$(UA)_g = 0,189304 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Com o resultado, conseguimos calcular a taxa de transferência de calor para 1 metro de tubo através da Equação 3.

$$Q = (UA)_g * \Delta T_g$$

$$Q = 0,189304 * (175 - 27,2)$$

$$Q = 27,979 \text{ w}$$

Segundo Çengel, Podemos calcular a taxa de transferência de calor por convecção do vapor no interior do tubo através da Equação 5.

$$q_{1-2} = \dot{m} * C_p * (T_s - T_e) \quad (5)$$

Onde:

q_{1-2} : Taxa de transferência de calor por convecção (W)

$\dot{m}$: Vazão de massa (kg/s)

C_p : Capacidade térmica (kJ/(kg K))

T_s : Temperatura do fluido (°C)

T_e : Temperatura da face interna do tubo (°C)

$$q_{1-2} = \left(\frac{6000 \text{ kg}}{3600 \text{ s}}\right) * 1,872 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} * (175 - 127,9)^\circ \text{C}$$

$$q_{1-2} = 146,952 \text{ w}$$

Prosseguindo, vamos calcular a taxa de transferência de calor por condução na parede do tubo através da Equação 6, obtida através do estudo do Professor Paul Fernand Milcent, 2006. Para calcularmos esse fluxo de calor consideramos a temperatura da parede interna do tubo igual a temperatura do fluido.

$$q_{2-3} = \frac{2\pi \cdot L \cdot k_{2-3} \cdot (T_2 - T_3)}{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)} \quad (6)$$

Onde:

q_{2-3} : Taxa de transferência de calor por condução (W)

T_2 : Temperatura da face interna do tubo (°C)

T_3 : Temperatura da face externa do tubo (°C)

L : Comprimento do tubo (m)

K : Condutividade térmica (W/m.° C)

$\ln$: Logaritmo natural

r : raio (m)

$$q_{2-3} = \frac{2 * \pi * 1 * 52 \text{ W/m.}^\circ \text{ C} * (175 - 127,9)^\circ \text{ C}}{\ln\left(\frac{0,08415 \text{ m}}{0,0765935 \text{ m}}\right)}$$

$$q_{2-3} = 163,556 \text{ KW}$$

Analisando o fluxo de calor através do isolamento com lã de rocha chegamos a Equação 7, extraída de Milcent, 2006, e obtemos o seguinte resultado.

$$q_{3-4} = \frac{2\pi \cdot L \cdot k_{3-4} \cdot (T_3 - T_4)}{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)} \quad (7)$$

Onde:

q_{3-4} : Taxa de transferência de calor por condução (W)

T_4 : Temperatura da face externa do isolamento (°C)

T_3 : Temperatura da face externa do tubo (°C)

L : Comprimento do tubo (m)

K : Condutividade térmica (W/m.° C)

$\ln$: Logaritmo natural

r: raio (m)

$$q_{3-4} = \frac{2\pi \cdot 1.0,037 \text{ W/m} \cdot ^\circ \text{C} \cdot (127,9 - 44,5)^\circ \text{C}}{\ln\left(\frac{0,28415\text{m}}{0,08415\text{m}}\right)}$$

$$q_{3-4} = 15,93 \text{ W}$$

A transferência de calor por convecção ocorrerá também na superfície externa do isolamento, em contato com o ar. Segue a Equação 8:

$$q_{4-5} = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (8)$$

Onde:

q_{4-5} = Taxa de transferência de calor (W)

h = Coeficiente de transferência por convecção (W/m².K)

A = Área de transferência do calor (m²)

ΔT = Diferença de temperatura (°C)

$$q_{4-5} = 15 \cdot (\pi \cdot 0,28415^2 \cdot 1) \cdot (44,5 - 27,2)$$

$$q_{4-5} = 65,832 \text{ W}$$

A taxa de transferência de calor global fica sendo dada pela equação 9 de Milcent, 2006:

$$q = U_j \cdot A_j \cdot \Delta T \quad (9)$$

Onde:

q = Taxa de transferência de calor (W)

U_j : Coeficiente global de troca térmica

A_j : Área de troca de referência (m²)

ΔT = Diferença de temperatura (°C)

Para determinar o U_j e A_j , (Milcent, 2006) adota as expressões 10 e 11:

$$\frac{1}{U_j} = \frac{r_4}{r_2 h_{1-2}} + \frac{r_4 * \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{2-3}} + \frac{r_4 * \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{K_{3-4}} + \frac{1}{h_{4-5}} \quad (10)$$

Onde:

U_j : Coeficiente global de troca térmica

h = Coeficiente de transferência por convecção ($W/m^2 \cdot K$)

K : Condutividade térmica ($W/m \cdot ^\circ C$)

$\ln$: Logaritmo natural

r : raio (m)

$$\frac{1}{U_j} = \frac{0,28415m}{0,0765935m * 200 W/m \cdot ^\circ C} + \frac{0,28415 * \ln\left(\frac{0,08415m}{0,0765935m}\right)}{52 W/m \cdot ^\circ C} + \frac{0,28415m * \ln\left(\frac{0,28415m}{0,08415m}\right)}{0,037 W/m \cdot ^\circ C} + \frac{1}{15 W/m \cdot ^\circ C}$$

$$U_j = 0,10603 W/m^2 \cdot K$$

$$A_j = A_4 = 2\pi * r_4 * L \quad (11)$$

Onde:

A_j : Área de troca de referência (m^2)

r : raio (m)

π : Pi

L : Comprimento do tubo (m)

$$A_4 = 2\pi * 0,28415m * 1m$$

$$A_4 = A_j = 1,785367m^2$$

Agora podemos seguir com o cálculo da taxa de transferência de calor através da Equação 9.

$$q = U_j * A_j * \Delta T$$

$$q = 0,10603 * 1,785367m^2 * (175 - 27,2)^\circ C$$

$$q = 27,9789 \text{ w}$$

Segundo (Milcent, 2006), é possível calcular a taxa global de transferência de calor através da equação 12.

$$q' = \frac{2 * \pi * L * (Ti - Te)}{\left(\frac{1}{r_2 h_{vapor}}\right) + \frac{\ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{aço}} + \frac{\ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right)}{K_{iso}} + \left(\frac{1}{r_4 h_{ar}}\right)} \quad (12)$$

Onde:

q' : Taxa global de transferência de calor (W)

Te: Temperatura ambiente ($^\circ C$)

Ti: Temperatura do fluído ($^\circ C$)

L: Comprimento do tubo (m)

K: Condutividade térmica (W/m. $^\circ C$)

h = Coeficiente de transferência por convecção (W/m² · K)

ln: Logaritmo natural

r: raio (m)

$$q' = \frac{2 * \pi * 1m * (175 - 27,2)^\circ C}{\left(\frac{1}{0,0765935m * 200W/m.^{\circ} C}\right) + \frac{\ln\left(\frac{0,08415m}{0,0765935m}\right)}{52W/m.^{\circ} C} + \frac{\ln\left(\frac{0,28415m}{0,08415m}\right)}{0,037W/m.^{\circ} C} + \left(\frac{1}{0,28415m * 15W/m.^{\circ} C}\right)}$$

$$q' = 27,9789 \text{ W}$$

Isso significa que a cada metro, o sistema de rede de vapor isolado com lã de rocha perde para o ambiente 27,97 W.

3.4 CÁLCULOS DO ISOLAMENTO COM BOLHAS DE AR

Como vimos na Figura 2, (Partições do isolamento com bolhas de ar, pg 18), entendemos que, a cada partição extra no isolamento com bolhas de ar aumenta-se 9 mm, sendo esse 1mm a espessura da parede da chapa de aço inox que retém o ar, e 8mm de espaço preenchido com o fluído. A indicação de partições fornecida pela empresa ISOTERMAS, recomenda 3 partições para isolar os tubos de vapor com temperatura do fluido até 200°C com diâmetro de 6 polegadas. Por precaução foram usadas 5 partições para reduzir a taxa de transferência.

Para calcular a taxa global de transferência de calor no sistema com bolhas de ar, usaremos a equação 13, expressão adaptada do estudo do professor Paul Fernand Milcent, 2006. Usaremos também as equações 10 e 12.

$$q = U_j * A_j * \Delta T$$

$$\frac{1}{U_j} = \frac{r_e}{r_2 h_{vapor}} + \frac{r_e * \ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{K_{aço}} + \frac{r_e}{p_1 h_{ar}} + \frac{r_e}{p_2 h_{ar}} + \frac{r_e}{p_3 h_{ar}} + \frac{r_e}{p_4 h_{ar}} + \frac{r_e}{p_5 h_{ar}} + \frac{1}{h_{ar}} \quad (13)$$

Onde:

U_j : Coeficiente global de troca térmica ($W/m^2 \cdot K$)

h = Coeficiente de transferência por convecção ($W/m^2 \cdot K$)

K : Condutividade térmica ($W/m \cdot ^\circ C$)

$\ln$: Logaritmo natural

p : Partição (m)

r_e : raio externo (m).

$$\begin{aligned} \frac{1}{U_j} = & \frac{0,12915}{0,0765935 * 200} + \frac{0,12915 * \ln\left(\frac{0,08415}{0,0765935}\right)}{52} + \frac{0,12915}{0,008 * 15} + \frac{0,12915}{0,008 * 15} \\ & + \frac{0,12915}{0,008 * 15} + \frac{0,12915}{0,008 * 15} + \frac{0,12915}{0,008 * 15} + \frac{1}{15} \end{aligned}$$

$$U_j = 0,2058 W/m^2 \cdot K$$

$$A_j = 2\pi * r_e * L$$

Onde:

A_j : Área de troca de referência (m²)

r : raio (m)

π : Pi

L : Comprimento do tubo (m)

$$A_j = 2\pi * 0,12915 * 1$$

$$A_j = 0,8114 \text{ m}^2$$

$$q = U_j * A_j * \Delta T$$

$$q = 0,2058 * 0,8114 * (175 - 27,2)$$

$$q = 24,68 \text{ W}$$

Isso significa que a cada metro, o sistema de rede de vapor isolado com bolhas de ar perde para o ambiente 24,68 W.

3.5 CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

De todas as etapas, até o momento já definidas, esta fase da pesquisa tem o propósito de expor os valores na instalação do isolamento com lã de rocha e com bolhas de ar.

Foi realizado orçamento com a empresa DJW, para 180 metros de tubos e isolamento com lã de rocha, conforme a tabela 6a, incluindo a fabricação e instalação dos isolantes, onde estão incluídos todos os acessórios necessários, como, tubulação, válvulas, filtros, flanges, curva.

Tabela 6: Custo de implantação do isolamento com lã de rocha

Descrição	Unidade	Quant.	Valor un.	Valor total
Tubulação DN 6" (vapor até 200°C)	m	180	R\$ 120,85	R\$ 21.753,00
Curva 90° DN 6"	un	15	R\$ 120,85	R\$ 1.812,75
Curva 45° DN 6"	un	3	R\$ 120,85	R\$ 362,55
Acessórios DN 6" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 212,22	R\$ 212,22
Tubulação DN 4" (vapor até 200°C)	m	40	R\$ 115,98	R\$ 4.639,20
Curva 90° DN 4"	un	6	R\$ 115,98	R\$ 695,88
Curva 45° DN 4"	un	4	R\$ 115,98	R\$ 463,92
Acessórios DN 4" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 186,80	R\$ 186,80
Tubulação DN 1" (vapor até 200°C)	m	75	R\$ 55,84	R\$ 4.188,00
Curva 90° DN 1"	un	15	R\$ 55,84	R\$ 837,60
Acessórios DN 1" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 48,84	R\$ 48,84
Tubulação DN 1/2" (vapor até 200°C)	m	15	R\$ 46,82	R\$ 702,30
Curva 90° DN 1/2"	un	5	R\$ 65,82	R\$ 329,10
Acessórios DN 1/2" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 88,36	R\$ 88,36
Tubulação DN 2" (condensador até 80°C)	m	195	R\$ 53,90	R\$ 10.510,50
Curva 90° DN 2"	un	16	R\$ 53,90	R\$ 862,40
Curva 45° DN 2"	un	3	R\$ 53,90	R\$ 161,70
Acessórios Dn 2" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 28,14	R\$ 28,14
Mão de obra de execução	ua	1	R\$32.600,00	R\$ 32.600,00
Total				R\$ 80.483,26

(Fonte: Próprio autor).

Abaixo vemos na tabela 7, a cotação para o isolamento com bolhas de ar passado pela empresa ISOTERMAS, já incluindo materiais e mão de obra necessária.

Tabela 7: Custo de implantação do isolamento com bolhas de ar

Descrição	Unidade	Quant.	Valor un.	Valor total
Tubulação DN 6" (vapor até 200°C)	m	180	R\$ 160,65	R\$ 28.917,00
Curva 90° DN 6"	un	15	R\$ 160,65	R\$ 2.409,75
Curva 45° DN 6"	un	3	R\$ 160,65	R\$ 481,95
Acessórios DN 6" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 269,22	R\$ 269,22
Tubulação DN 4" (vapor até 200°C)	m	40	R\$ 151,77	R\$ 6.070,80
Curva 90° DN 4"	un	6	R\$ 151,77	R\$ 910,62
Curva 45° DN 4"	un	4	R\$ 151,77	R\$ 607,08
Acessórios DN 4" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 216,80	R\$ 216,80
Tubulação DN 1" (vapor até 200°C)	m	75	R\$ 70,84	R\$ 5.313,00
Curva 90° DN 1"	un	15	R\$ 70,84	R\$ 1.062,60
Acessórios DN 1" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 72,84	R\$ 72,84
Tubulação DN 1/2" (vapor até 200°C)	m	15	R\$ 65,82	R\$ 987,30
Curva 90° DN 1/2"	un	5	R\$ 65,82	R\$ 329,10
Acessórios DN 1/2" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 131,61	R\$ 131,61
Tubulação DN 2" (condensador até 80°C)	m	195	R\$ 69,92	R\$ 13.634,40
Curva 90° DN 2"	un	16	R\$ 69,92	R\$ 1.118,72
Curva 45° DN 2"	un	3	R\$ 69,92	R\$ 209,76
Acessórios Dn 2" (válvulas, filtros e flanges)	un	1	R\$ 39,84	R\$ 39,84
Mão de obra de execução	ua	1	R\$15.600,00	R\$ 15.600,00
Total				R\$ 78.382,39

(Fonte: Próprio autor).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para uma visível identificação da melhor eficiência de atuação do isolante com painéis refletivos com bolhas de ar em relação ao isolamento convencional com lã de rocha sugeriu-se no ato de instalação a empresa Copacol – Cooperativa Agroindustrial Consolata, que fosse instalado na mesma tubulação de vapor que já era isolado com lã de rocha, mantendo os dois tipos de isolamento, como podemos ver na figura 8, onde a câmera está registrando 43,9°C se trata do isolamento com lã de rocha com aproximadamente 500 mm de diâmetro, onde está registrado 35,3°C se trata do isolamento com bolhas de ar, diâmetro medindo aproximadamente 250 mm, onde vemos claramente que além de reduzir o diâmetro necessário do isolante para impedir a troca térmica com o meio ambiente ainda se tem uma ganho de mais de 8°C de temperatura na superfície externa do isolamento.

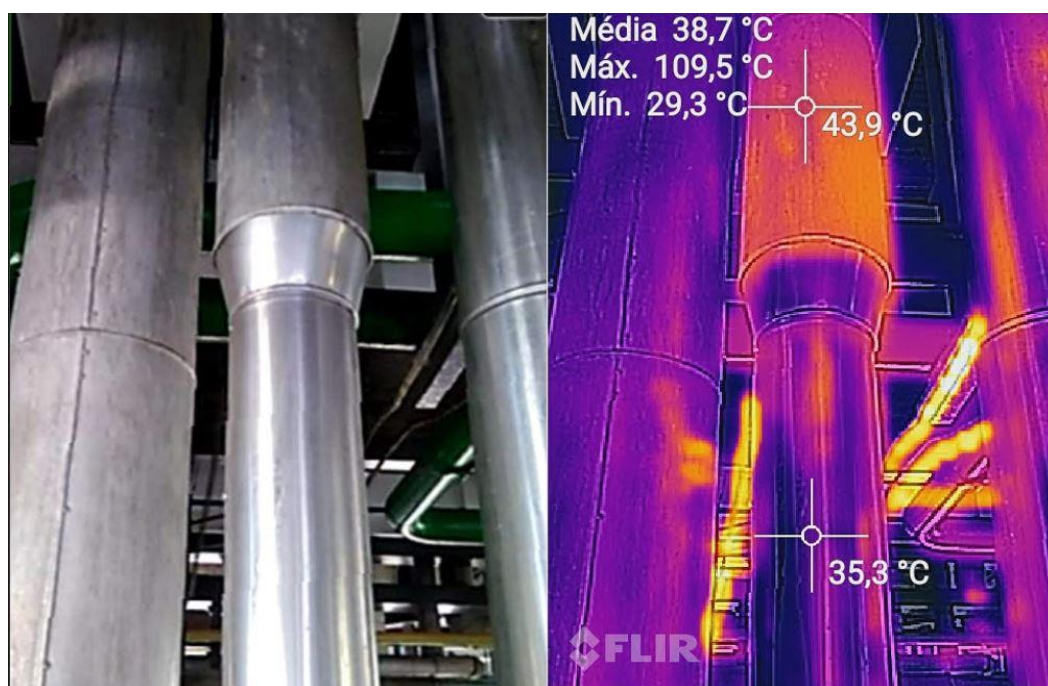


Figura 11: Comparação dos isolantes com lã de rocha e com bolhas de ar

(Fonte: Próprio Autor).

Por se tratar de um produto que é montado de acordo com a necessidade, podendo ser adicionada uma nova camada de chapas com bolhas de ar sempre que haja necessidade de maior isolamento, ou retirar camadas sempre que não seja necessário, e olhando para os atributos que o produto carrega, como fácil instalação, reutilização, vida útil prolongada, e principalmente

por se tratar de uma indústria alimentícia, sendo esse um produto completamente higienizável, espera-se uma melhoria significativa que justifique sua aplicação.

Utilizar o ar como isolante térmico se mostra mais eficaz do que esse outro isolante térmico, desde que o ar fique inerte para que não ocorra a convecção, transferindo calor apenas com o contato entre as moléculas, diferentemente do que ocorre com a lã de rocha que por ser um material sólido tem uma taxa de condução superior a do ar.

5 CONCLUSÃO

Ao analisar o mercado atual, observa-se um mundo amplamente dinâmico, tudo acontece com muita rapidez, a propagação das informações, a instabilidade da economia e toda a ciência que envolve a engenharia. As empresas necessitam, para sobreviverem, buscar sempre a assertividade no investimento de recursos, procurando avanço nos processos e redução dos custos.

A partir destes fatores houve motivação para a concepção de um estudo, a fim de buscar respostas para o principal objetivo desse trabalho: Qual isolante térmico é mais eficiente entre isolamento com painéis refletivos com bolhas de ar e o tradicional isolamento com lã de rocha, em um sistema de distribuição de vapor numa fábrica de ração para frangos de corte. Para isso, elaboramos três objetivos específicos.

O primeiro deles teve a finalidade de comparar o fluxo de calor que ocorre em 1 metro de isolamento, entre os dois tipos de isolamento, o qual notamos ligeira vantagem no isolamento com painéis refletivos multicamadas com bolhas de ar que teve uma redução de 11,76% em relação ao isolamento com lã de rocha, com o resultado de 24,68 W/m, contra 27,97 W/m, mostrando que em uma aplicação a longo prazo pode gerar uma grande economia em energia aproveitada a partir de vapor.

O segundo objetivo específico, foi examinar o melhor custo benefício, incluindo os materiais necessários e a instalação, para isso contamos com orçamentos passados por duas empresas diferentes, empresas essas que atuam na área de isolamento térmico e acústico, para ambos os isolamentos foi cotado um valor referente a aplicação de 180 metros de isolamento em linhas de distribuição de vapor, novamente o isolamento com painéis refletivos multicamadas com bolhas de ar se mostrou a melhor opção graças a sua facilidade de instalação, que por ser um equipamento que já vem pronto de fábrica, a instalação é feita de maneira muito mais produtiva, sendo apenas por encaixe das partições, com um valor total cotado de R\$ 78.382,39, enquanto que com o isolamento com lã de rocha, há todo um trabalho de montagem e adequação conforme a necessidade da linha de vapor, o que justifica o alto valor de mão de obra cobrado, com o valor total chegando a R\$ 80.483,26.

Nosso terceiro objetivo, foi verificar a real eficiência térmica entre os dois isolantes. Percebemos que os dois preservam o calor de forma satisfatória, porém, através da figura 11, pg 44, vemos que o isolamento com lã de rocha está mais quente na sua superfície, o que demonstra que está trocando mais calor com o meio ambiente em relação ao isolamento com

bolhas de ar, que, mesmo com um diâmetro menor, consegue evitar mais a troca térmica com o meio ambiente, tornando-o mais eficiente.

Dessa forma, analisando os custos de implantação e cálculos de troca térmica, constatou-se que esse investimento pode ser viável para a empresa, sendo assim, tanto o objetivo geral quanto os objetivos específicos do presente trabalho foram atingidos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Calcular a quantidade de lenha gasta na caldeira nas duas situações
- Sendo a perda de calor menor com o isolamento com bolhas de ar, consequentemente a perda de carga também será menor, quanto será essa redução?
- Estudo de viabilidade da tubulação instalada em toda fabrica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ÇENGEL, Y. et. al. Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem prática. 4. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CLICRBS, Grupo RBS, A Classificação. Disponível em < <http://www.clicrbs.com.br/pdf/17773387.pdf> > acesso dia 04/05/2019.

CORZAN, Industrial Systems. Disponível em < <https://www.corzan.com/pt-br/sistemas-de-tubulacao/especificacao/dimensoes-e-pesos> > Acesso dia 23/05/2019.

ESCOLA DA VIDA, hidráulica I, exemplos tubos industriais , Disponível em < http://www.escoladavida.eng.br/hidraulica_I/exemplos_tubos_industriais.pdf > Acesso dia 18/05/2019.

FILHO, Adonias. O que é Isolante térmico? Disponível em < <http://ciencianopc.blogspot.com/2013/01/o-que-e-isolante-termico.html> > [acesso dia 05/09/2018].

IARC, Agência Internacional de Pesquisa em Câncer, Disponível em < www.iarc.fr > acesso 06/09/2018

INCROPERA, F. P. ET al. Fundamentos de Transferência de calor e massa. 7. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

ISOTERMAS, Isolantes Térmicos e Conservação de Energia, Disponível em < <http://isotermas.com.br/> > acesso dia 17/11/2018.

MATTAR, F. N. Pesquisa de marketing. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MICENT, Paul Fernand, Noções de Isolamento Térmico de Tubulações, 2006,

MOUTINHO, Wilson Teixeira, Transmissão de calor. Disponível em < <https://www.coladaweb.com/fisica/termologia/transmissao-de-calor> > acesso dia 05/09/2018.

NETO, CARLOS BOABAID, Mestre Engenheiro, Transferência de calor (TLC), Volume 1 - parte 3, Instituto Federal de Santa Catarina, 2010.

OLIVEIRA, Maxwell F. METODOLOGIA CIENTÍFICA: um manual para a realização de pesquisas em administração. 2011, Disponível em <

https://adm.catalao.ufg.br/up/567/o/Manual_de_metodologia_cientifica_-_Prof_Maxwell.pdf
> acesso dia 20/10/2018.

PROTOLAB, Disponível em < <http://www.protolab.com.br/Tabela-Conductividade-Material-Construcao.htm> > acesso dia 05/09/2018.

QUERCUS, Associação Nacional de Conservação da Natureza. Disponível em < https://www.ecocasa.pt/userfiles/file/La_de_Rocha.pdf > acesso dia 20/09/2018.

RIBEIRO, A. C. CURSO DE TUBULAÇÕES INDUSTRIAIS, 2014. Disponível em < http://www.rockfibras.com.br/empresa_saude_iarc.html > acesso dia 04/09/2018.

SANTOS, R. D.; “Estudo térmico e de materiais de um compósito a base de gesso e EPS para construção de casas populares”; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFRN, Natal – RN, 2008.

SILVA, FILIPE MANUEL FERNANDES, Estudo De Materiais De Isolamento Térmico Inovadores, (2013).

SILVA, ROSALINA APARECIDA, Ciência do Alimento: Contaminação, Manipulação, e Conservação dos alimentos, (2012).

TOSI, MILENA MARTELLI, Operações Unitárias II, Disponível em < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2974873/mod_resource/content/0/Aula02.Estimar%20coeficientes%20propriedades.pdf > Acesso dia 23/05/2019, [entre 2008 e 2019].

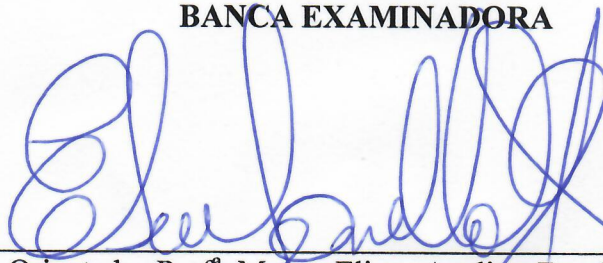
VERGARA, Sylvia C. Projetos e relatórios de pesquisa em administração. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ
LUIS JUNIOR BELEGANTE

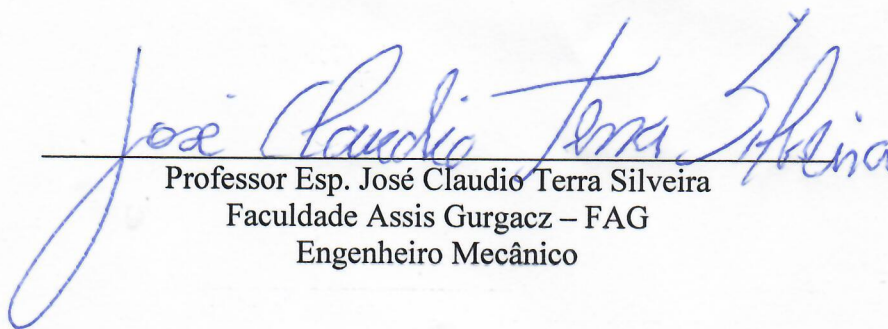
**ISOLAMENTO TÉRMICO COM PAINÉIS REFLETIVOS MULTICAMADAS COM
BOLHAS DE AR EM TUBOS DE VAPOR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Mecânica, da FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob orientação do Professor Eliseu Avelino Zanella Junior.

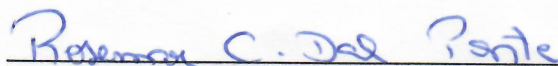
BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof^a. Mestre Eliseu Avelino Zanella Junior
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



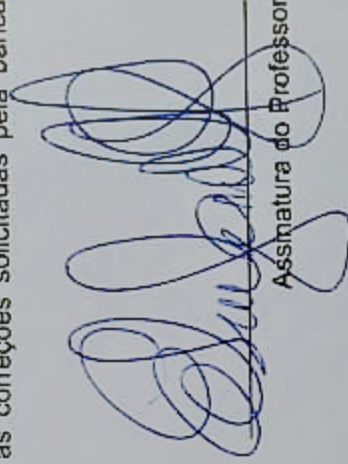
Professor Esp. José Claudio Terra Silveira
Faculdade Assis Gurgacz – FAG
Engenheiro Mecânico



Professora Mestre Rosemar Dal Ponte
Faculdade Assis Gurgacz – FAG

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Eu, Eliseu Avelino Zanella Junior professor do Centro Universitário Assis Gurgacz e orientador do acadêmico Luis Junior Belegante no Trabalho de Conclusão de Curso, declaro que as correções solicitadas pela banca foram efetuadas corretamente.



Assinatura do Professor

Cascavel, 01 de julho de 2019.