

ANÁLISE COMPARATIVA DE LÃ DE ROCHA COMO ISOLANTE TÉRMICO EM AMBIENTES RESFRIADOS

SOUZA, Bruno dos Santos de ¹
SILVA, Ayres Siqueira ²
PEREIRA, Carlos Bernardo Gouvêa ³
SANTOS, Fábio de Sousa⁴
SILVA, Graziella dos Santos Portes ⁵

RESUMO

Conforto ou estresse na atualidade vem se tornando uma das principais necessidades ou insatisfação do ser humano, ainda mais quando falado sobre extremos de temperatura. Com este intuito o presente trabalho pretende mostrar que a lã de rocha é um ótimo isolante térmico, desenvolvendo uma análise da eficiência térmica de duas diferentes densidades de lã de rocha 32 e 128. Os métodos utilizados para apresentar os resultados foram obtidos experimentalmente com ajuda de um calorímetro construído com uma caixa de isopor e um sistema em arduino mensurando os valores da temperatura. Verificou-se que os três resultados obtidos foram muito satisfatórios e foi encontrado facilidade para realizar os ensaios, percebendo muito bem a diferença dos experimentos, sem isolante e com as outras duas densidades. A partir dessas informações obtidas, foi mostrado que a lã de rocha é um ótimo isolante térmico e sua eficiência térmica aumenta proporcionalmente com a sua densidade.

PALAVRAS-CHAVE: Lã de rocha, Calorímetro, Eficiência térmica.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil há extremos de temperaturas, com períodos de calor intenso e muito frio, existindo uma questão muito que pode ser levantada que é o stress térmico e conforto térmico e que pode ser definido segundo ASHRAE Standard 55 (2010) como “ a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico”.

As trocas de temperatura e conforto térmico são estudados na área da ciência térmica que compõem a transferência de calor e pode ser definido como a energia

¹ Graduando de Engenharia Mecânica no Centro Universitário Campo Real.

² Graduado em Engenharia Mecânica. Mestre em Engenharia mecânica. Professora no Centro Universitário do Campo Real.

³ Graduado em Engenharia Mecânica. Mestre em Engenharia mecânica. Professora no Centro Universitário do Campo Real.

⁴ Graduado em Engenharia Mecânica. Mestre em Engenharia mecânica. Professora no Centro Universitário do Campo Real.

⁵ Doutora em Química, professora dos cursos de engenharia civil, elétrica, mecânica, produção, agronomia e administração do Centro Universitário Campo Real.

térmica em trânsito em razão de um gradiente de temperatura, e a calorimetria que é o estudo de trocas de energia térmicas entre corpos.

Desta forma, são realizados muitos estudos voltados ao conforto e a transferência de calor com o intuito de criar uma inércia térmica, fazendo com os ambientes fiquem mais agradáveis, proporcionando um maior bem-estar.

O objetivo geral deste trabalho é realizar experimentos com lã de rocha, uma fibra à base de basalto que é um ótimo isolante térmico, analisando assim a transferência de calor que será fornecida ou retirada de um corpo de prova para outro através do isolante.

As lãs de rocha segundo Rodrigues (2009, p .529), são materiais fáceis de se trabalhar pelo fato de poderem ser compactadas de diversas formas, sua elasticidade e seu volume, por esse motivo é um produto barato de se fabricar e que tem um uma grande utilidade em uma grande variedade aplicações como diz de Rodrigues (2009, p. 529) “Devido a suas propriedades de isolamento térmico, isolamento acústico, proteção contra incêndios, quimicamente neutra e resistência a água, atende aos mercados de construção civil, industrial, automotivo, eletroeletrônico, entre outros”.

E assim como relata KING (2021, online) “O material foi desenvolvido na década de 1850 e patenteado nos Estados Unidos em 1875. Permaneceu proeminente na construção durante a década de 1950. ”. Por ser um material relativamente novo, há poucas pesquisas e estudos sobre ele.

Neste contexto, o trabalho mostrará como o estudo de transferência de calor na lã de rocha é muito relevante em muitos âmbitos da área térmica, realizando experimentos com duas diferentes densidades e um experimento sem isolante para mostrar a diferença.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Há parte da física que é responsável pela energia térmica chama-se calorimetria ela estuda as trocas de calor que ocorrem entre dois ou mais corpos e suas vizinhanças.

Como diz Çengel (2020, p.9) “Energia pode ser transferida de ou para uma massa por meio de dois mecanismos: transferência de calor Q e trabalho W ”, seja quando a uma transferência de energia por meio do calor térmico que está presente

no corpo, ou por meio de um movimento que realize trabalho em um pistão por exemplo gerando uma potência de trabalho, assim gerando energia. No presente trabalho a será levado em conta a transferência de energia em forma de calor.

Na calorimetria o processo que transfere essa energia interna formado por energia sensível e energia latente, como citado acima, chama-se transferência de calor, com esse processo pode ser analisada e calculada a quantidade de calor transferida de um sólido, líquido e gás podendo ser em movimento ou em estado estacionário.

Este processo ocorre da seguinte forma, quando a um ou mais corpos em um determinado ambiente estão com muita energia térmica, ou seja, calor contidos em si mesmos, e a outro corpo próximo com pouco calor contido, havendo uma diferença de temperatura entre os corpos, o sistema irá realizar as trocas de calor passando do corpo com maior energia para o corpo com menor energia até o sistema entrar em um equilíbrio térmico, com temperaturas exatamente iguais.

A imagem acima mostra como funciona a Transferência de calor de uma janela de forma unidimensional onde a temperatura somente varia em única direção e seu calor segue a mesma orientação, assim desprezando os outros vetores.

Çengel (2020, p. 23) relata que:

Os problemas de transferência de calor podem também ser classificados como unidimensionais, bidimensionais ou tridimensionais, dependendo da magnitude relativa das taxas de transferência de calor em diferentes direções e do nível de exatidão desejada.

Durante o processo de transferência de calor, os corpos retiram ou fornecem calor para o equilíbrio térmico. Dependendo de qual dos dois irá acontecer a grandeza que mensura esta quantidade é, calor sensível sendo a quantidade energia que é transferida entre os corpos para gerar uma variação de temperatura, conforme propõem Bergman (2019, p.10).

A fórmula do calor sensível para descobrir essa quantidade de energia fornecida e dado por Çengel (2020, p. 8) como pela equação (1):

$$\Delta U = m \cdot c_{med} \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde: ΔU é a quantidade de calor sensível [cal ou J];

m é a massa [g ou Kg];

c_{med} é o calor específico da substância [cal/g°C ou J/kg°C];

ΔT é a variação de temperatura [°C ou K].

2.2 CONDUÇÃO

Quites (2005, p.5) postula que “Quando a transferência de energia ocorrer em um meio estacionário, que pode ser um sólido ou um fluido, em virtude de um gradiente de temperatura, usamos o termo transferência de calor por condução”. Esse tipo de transferência de calor necessita de um meio para propagar a energia contida nos corpos.

A condução pode ser identificada quando aquecemos essa barra metálica, onde em uma extremidade está a mão a uma determinada temperatura e na outra extremidade a fonte quente, que neste determinado caso está adicionando temperatura no sistema para que ocorra a troca de calor por condução, ou seja, as moléculas ou partículas perto da vela agitam-se pelo constante aquecimento e se colidem com outras moléculas da barra, gerando a transferência de calor por condução entre as partículas da barra.

A pessoa que postulou essa teoria da condução foi Jean Baptiste Joseph Fourier publicando sua teoria segundo Pifer (2015, p.4) “ em 1822, em francês, o livro Teoria analítica do calor” Fourier propôs estes experimentos da seguinte forma, assim como entende-se por Pifer(2015,p.2), Fourier colocou de lado a natureza da condução de calor e propôs um modelo por meio de equações diferenciais parciais e a solução através de séries trigonométricas descrevendo um modelo físico para explicar a teoria, ou seja ele traduziu todo o sistema de transferência de condução de calor em basicamente uma formula matemática.

Tendo como base sua teoria analítica de calor Fourier conseguiu adicionar dois conceitos a calorimetria como explica Pifer(2015,p.2),o primeiro conceito estudasse fluxo de calor (Φ) entende-se como, a cada segundo qual a quantidade de calor transferida entre dois pontos, podendo se observar esse fluxo de calor na imagem a baixo sendo passado de um lado para outro na figura e o segundo conceito é a diferença entre o que é adicionado ou entra de energia no sistema (T^2) e o que sai ou é retirado(T^1) sendo isso quantidade de calor responsável pela mudança de temperatura.

Levando em conta tudo acima podemos definir a matematicamente a lei de Fourier como equação (2) e (3) Pifer (2015, p.8):

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} \quad (2)$$

Onde: Φ é o Fluxo de calor ao longo do tempo [J/s ou W]

Q é Calor transferido [cal ou Jaule]

Δt é o intervalo de tempo [s]

$$Q = \frac{kA(T_2 - T_1)}{e} \quad (3)$$

Onde: Q é o calor transferido [cal ou Jaule]

k é o coeficiente de condutividade térmica [J/s.m.k ou cal/s.cm°C]

A é a área do objeto [m² ou cm²]

$T_2 - T_1 = \Delta T$ é a diferença de temperatura [K ou °C]

e é a espessura [mm]

O coeficiente de condutividade térmica (k) é definido por Çengel (2020, p.67) k é a condutividade térmica do material, medida pela capacidade do material de conduzir calor, ou seja, sendo variável térmica tabelada.

2.3 CONVECÇÃO

Convecção é outro processo de transferência de calor que o transmite através do fluido na presença do movimento da sua massa, assim como o autor Qites (2005, p .9) menciona “A convecção pode ser definida como o processo pelo qual energia é transferida das porções quentes para as porções frias de um fluido através da ação combinada de: condução de calor, armazenamento de energia e movimento de mistura”.

O aquecimento do fluido dentro deste bule por exemplo ocorre por convecção. A fonte quente do fogo aquece por condução e passa para o fluido por convecção, colocando energia na água e gerando o chamado empuxo.

Entre as formas de transferência de calor a convecção é a mais complexa de todas. Contudo, mesmo sendo a mais complexa de entender, o valor de transferência de calor é regular com a diferença de temperatura, sendo expressa essa fórmula pela Lei de Resfriamento de Newton.

O calor entre a superfície e fluido da transferência de convecção pode ser entendida por equação (4) Çengel (2020, p.375):

$$\dot{q} = h \cdot A \cdot (T_{sup} - T_{amb}) \quad (4)$$

Onde: \dot{q} é a taxa de transferência de calor por convecção [J/s ou ;W]

A é a área [m²]

T_{sup} é temperatura de superfície de fluido [K ou °C]

T_{amb} é temperatura do ambiente [K ou °C]

h é o coeficiente de transferência por convecção [W/ m²K]

2.4 ISOLAMENTO TÉRMICO

Dentro da área da Transferência de calor existem materiais que podem ser considerados como condutores e isolantes. Então os materiais que podem ser considerados isolantes são os que possuem em sua estrutura molecular uma estrutura de elétrons firme, assim dificultando a transferência

Sá (2017, P.7) fala que “quanto menor for a condutividade térmica e maior a espessura do material, mais eficaz será o isolamento térmico”.

Supondo que se este isolamento for aplicado de maneira certa eles promoveram a eficiência térmica retendo o calor impedindo que saia do sistema, sendo utilizados em caldeiras e em casas com drywall por exemplo.

2.4.1 Propriedades térmicas do isolante

“A condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico, conhecidas como propriedades térmicas, são as três propriedades físicas mais importantes de um material do ponto de vista de cálculos térmicos” mencionado por Montegutti (2016).

Difusividade Térmica é descrita por Sá (2017, p.8) “A difusividade térmica expressa a variação da temperatura do material quando submetido a um processo de resfriamento ou aquecimento, sendo descrita em função de outras três propriedades que são a condutividade térmica, a densidade e o calor específico”

Sá (2017, p.8) relata em seu texto difusividade térmica como (5):

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (5)$$

Onde:

α – difusividade térmica [m²/s]

ρ – Densidade [kg/m³]

C_p – Capacidade calorífica [J/kg°C]

k – é o coeficiente de condutividade térmica [J/s.m.k ou cal/s.cm°C]

3 METODOLOGIA

Este trabalho teve como finalidade a realização de uma pesquisa experimental aplicada na área da transferência de calor, em um calorímetro com isolamento à base de lã de rocha.

Nesse sentido, a ideia deste artigo foi construir hipóteses de forma descritiva, ou seja, com base em outros artigos e analisar os resultados de forma exploratória.

A pesquisa descritiva foi através de artigos bibliográficos com uma abordagem de forma quantitativa analisando os dados da transferência de calor para o isolamento de lã de rocha.

Os dados observados e analisados, da construção do calorímetro serão transformados em gráficos e tabelas para obter uma análise comparativa entre as diferentes densidades de lã de rocha utilizadas

3.1 APARATO EXPERIMENTAL

O aparato experimental é composto por um calorímetro, feito de uma caixa de isopor, a divisória dentro será uma grade de ferro e painel de isolante térmico que foi colocado em cima para dividir os espaços, de um lado um recipiente de plástico, e do outro lado recipiente de alumínio e dois corpos de prova que trocam calor entre si onde torna-se possível realizar a análise do decaimento de temperatura dos dois

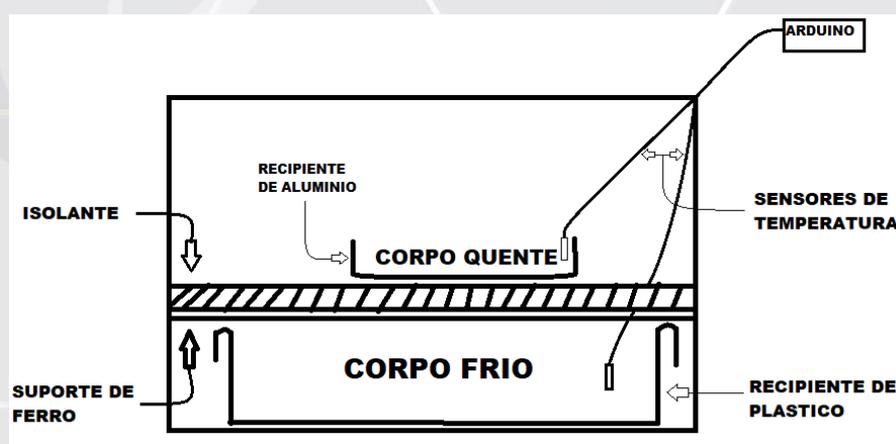
corpos até durante 12 horas de experimento ou quando chegarem em estado de estabilidade térmica.

Um sistema de programação em uma placa de circuito Arduino mega e dois sensores térmicos, que serão necessários para computar a cada segundo o decaimento de temperatura dos corpos frio e quente.

A Figura 1 representa o experimento do calorímetro realizado com todos os seus componentes e corpos experimentais. Para a análise o isolante foi colocado dentro da caixa, em cima do suporte de ferro dividindo os dois espaços, na parte de baixo o corpo frio sendo gelo dentro do recipiente de plástico e em cima o copo quente sendo água dentro do recipiente de alumínio, os sensores do Arduino serão colocados dentro dessas vasilhas para medição.

A troca de calor aconteceria entre os corpos frios e quente na parte de baixo onde está o corpo frio haverá uma troca de calor por condução entre a gelo dentro da bacia e o ar no respectivo espaço e troca de calor por convecção entre o isolante e o ar, na parte a cima onde está localizado o corpo quente ocorreriam as mesmas trocas de calor por convecção entre o isolante, e o ar e por condução entre o ar dentro do espaço e a recipiente de água. O isolamento entre os corpos têm como função impedir que ocorra estas trocas de calor entre os espaços.

Figura 1 – Representação esquemática do aparato Experimental



Fonte: Autor, 2021

O calorímetro é um objeto muito utilizado na calorimetria descrito Prado (2010) como, “no início do século XVIII nenhum método era conhecido para medir a quantidade de calor, mas ao final desse mesmo século o calorímetro surgiu e tornou-

se um instrumento de trabalho largamente utilizado para investigações, passando a ser concebido como um procedimento científico”, ou seja, calorímetro é um objeto que pode medir o calor.

Sabendo do fato levantado acima, o material que se utiliza para fazer a estrutura do calorímetro é uma caixa de isopor, tendo em vista que é um ótimo isolante térmico. Com as seguintes medições de 675 milímetros de comprimento, 442 milímetros de largura e 387 milímetros de altura, e com uma espessura de suas paredes de 40 milímetros e profundidade de 309m.

O recipiente de plástico tem como especificações de medida, comprimento de 495 mm, largura de 300 mm e profundidade 115 mm, o qual foi colocado ao fundo da caixa de isopor junto ao chão e ao seu interior estará cheio de gelo correspondendo ao corpo frio.

Foi construído para facilitar a realização do experimento um suporte de ferro comprimento de 335 mm e largura de 196mm. Este suporte ficará apoiado ao recipiente de plástico e ajudará o isolante a ficar parado.

O isolante que foi utilizado para realizar o experimento do calorímetro é a lã de rocha. A lã de rocha ou lã mineral é um material descrito por Rock (s.d) “ é produzida a partir de matérias-primas abundantes na natureza (rocha basáltica e outros minerais) e recicladas (escória metalúrgica). Após sua fusão a 1500°C, estes minerais são transformados em fibras por centrifugação”.

Essas fibras e resinas adicionadas fazem com que o material se torne um ótimo isolante térmico, a lã de rocha é um produto muito efetivo para isolamento térmico e acústico, e anti chamas (ROCK s.d.).

Um recipiente de alumínio com diâmetro de 276 mm e profundidade de 50 mm foi utilizado para armazenar a água sendo o corpo quente no sistema, e deveria ficar apoiado diretamente no isolante.

O Arduino, como relata Oliveira (2015), é uma plataforma open source com seu hardware de fácil prototipação de projetos eletrônicos sendo microcontrolado pelo Atmel AVR e sua programação similar a C/C++.

Por ser uma plataforma que une os equipamentos do hardware e a programação do software é caracterizado como computação física que é descrito por Oliveira (2015) “uma área da Computação na qual o software se comunica diretamente com o hardware, controlando componentes eletrônicos, como sensores e

atuadores, permitindo construir sistemas que consigam perceber e interagir com ambientes reais. ”

Conhecendo o funcionamento do Arduino acima foi construído um projeto para controlar a temperatura do calorímetro, esse sistema tem sua parte em hardware e em software.

Para esse projeto do Arduino os equipamentos que serão utilizados serão:

Tabela 1 – Quantidade de equipamentos

Equipamentos	Quantidade
Jumpers	6
Resistor de 4,7 kOhms	1
Sensor de temperatura	2
Protoboard	1
Cabo para conectar arduino computador	1

Fonte: Autor, 2021.

Nesse experimento foi utilizado o protoboard 1680 furos minipa que é uma placa de ensaio capaz de realizar ligações em circuitos eletrônicos, assim como diz Oliveira (2015) “Consiste em uma matriz de contatos interconectados através dos quais os componentes são interligados”.

Para realizar as conexões entre o Arduino é o protoboard, foram utilizados 6 Jumpers cable que são basicamente cabos de cobre, com duas pontas machos para conectar os furos.

Torna-se necessário utilizar um resistor descrito por Oliveira (2015) “tem a função de limitar a corrente elétrica. Eles são necessários de modo a evitar que determinados componentes eletrônicos recebam uma tensão ou corrente maior do que podem suportar, evitando, dessa forma, que sejam danificados. ” O resistor com a amperagem de 4,7 kOhms foi o escolhido para proteger os equipamentos utilizados.

Um dos equipamentos mais importantes que será essencial para o funcionamento do calorímetro é o sensor de temperatura DS18B20 segundo Locattelli (2021) “[...] é um sensor digital que realiza medições na faixa de -55° a 125°C, em ambiente seco, úmido ou submerso, não necessitando de um componente externo para isso, além de apresentar os valores em graus celsius. ”

Esses sensores foram colocados diretamente nos recipientes do calorímetro com gelo e com água, para verificar as temperaturas e suas variações.

A programação do Arduino foi construída no programa (Oliveira, 2015) “utilizamos um programa denominado ambiente integrado de programação, comumente chamado de IDE, do inglês Integrated Development Environment.”

Para o experimento em questão utiliza-se dois painéis (placas) lã de rocha de densidade nominais respectivamente diferentes, 32 Kg/m³ com o comprimento de 600 mm, largura de 366 mm e espessura de 35 e 128 Kg/m³ com o comprimento de 600 mm, largura de 366 e espessura de 70.

3.2 METODOLOGIA DE ENSAIO

Para os experimentos foram realizados 3 ensaios, no primeiro sem isolante para ver o decaimento de temperatura, no segundo ensaio sendo com a lã de rocha densidade 32 Kg/m³ e o terceiro ensaio com densidade 128 Kg/m³.

Os ensaios serão realizados da seguinte maneira:

Colocou-se gelo até deixar o recipiente de plástico preenchido, o suporte ficará apoiado ao recipiente, já a lã de rocha estará em cima do ferro, e o corpo quente ficou em cima do isolante em uma vasilha com 1 litro de água a temperatura ambiente, para realizar a medição foi utilizado um copo de medição.

Após colocado os corpos quentes e frios e o isolante é necessário colocar os sensores térmicos e fechar a caixa de isopor ligar a programação do Arduino e começar o ensaio para analisar os experimentos e os decaimentos de temperatura.

Abaixo pode-se ver os experimentos sendo realizados com os determinados sensores em seus respectivos lugares de medição no corpo frio na primeira foto e no corpo quente na segunda.

Figura 2 – Sensores no gelo e na água



Fonte: Autor, 2021.

Os experimentos em questão foram realizados em 12 horas, sem interferência externa. Abrindo a caixa apenas quando chegava ao fim do experimento.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 ENSAIO 01

Para o primeiro ensaio foi realizado o experimento do calorímetro sem isolante, o ensaio teve duração de 12 horas sem interferência externa, e temperatura ambiente da água registrada neste ensaio como 21,5°C. Seguindo os passos propostos neste trabalho os resultados obtidos foram:

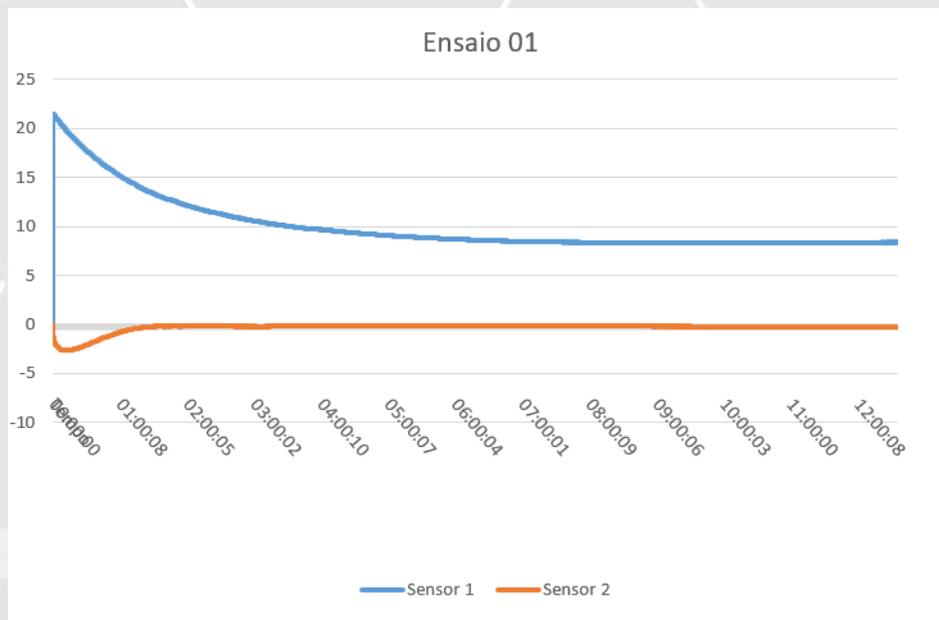
Figura 3 – Temperaturas a cada 3 horas sem isolante

TEMPO	SENSOR 1	SENSOR 2
00:00:00	21,5	-1,19
03:00:00	10,56	-0,25
06:00:00	8,69	-0,19
09:00:00	8,31	-0,19
12:00:00	8,38	-0,25

Fonte: Autor, 2021.

Como mostra a figura 3 e 4 ocorreu o decaimento da temperatura nos dois corpos. Foi possível observar que no sensor 2 com 3 horas de experimento o gelo estabilizou entre -0,19°C e 0,25°C, pois somente ele entrará em equilíbrio com a temperatura do corpo quente quando ocorrer totalmente a fusão da água. No sensor 1 a água quando chegou em 6 horas de experimento estabilizou a uma temperatura de 8°C não sofrendo mudança.

Figura 4 – Gráfico decaimento da temperatura sem isolante



Fonte: Autor, 2021.

4.2 ENSAIO 02

Para o primeiro ensaio foi realizado o experimento do calorímetro com isolante densidade 32, o teve duração de 12 horas sem interferência externa e temperatura ambiente da água registrada neste ensaio como 21,12°C. Seguindo os passos propostos neste trabalho os resultados obtidos foram:

Figura 5 – Temperaturas a cada 3 horas isolante 32

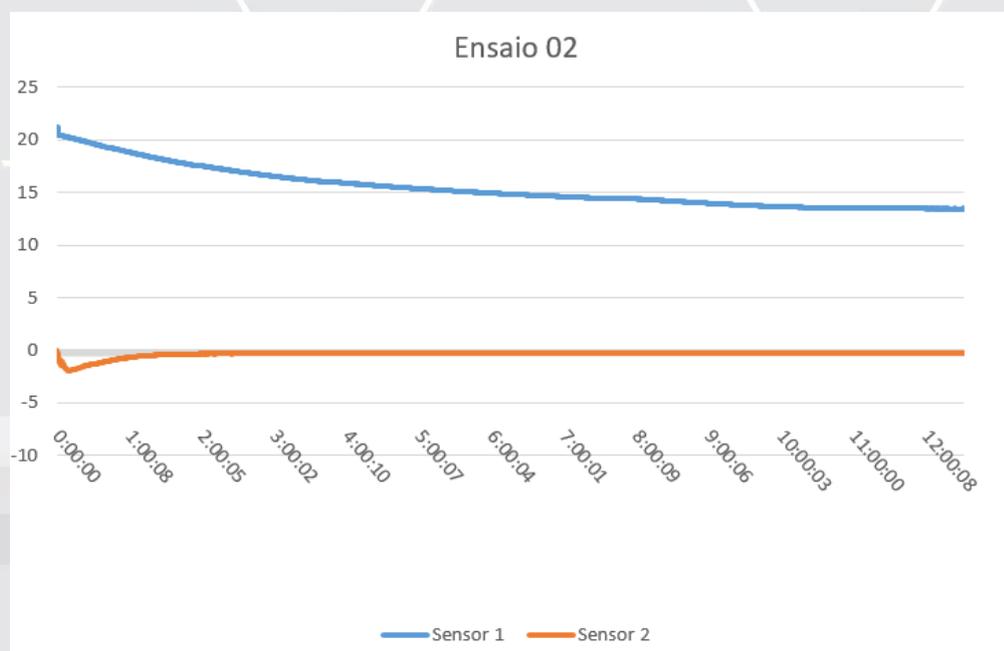
Tempo	Sensor 1	Sensor 2
00:00:00	21,12	-0,06
03:00:00	16,56	-0,31
06:00:00	14,94	-0,31
09:00:00	13,94	-0,31
12:00:00	13,44	-0,31

Fonte: Autor, 2021.

Como mostra a figura 5 e 6 ocorreu o decaimento da temperatura nos dois corpos. Foi possível observar que no sensor 2 o gelo estabilizou em 3 horas a uma temperatura de -0,31. Porém o que realmente importa observar foi que com o isolante no sensor 1 a água demorou mais a perder calor e estabilizou a uma temperatura

maior do que comparado ao ensaio anterior, com 9 horas de experimento a água estabilizou em 13°C sofrendo apenas pequenas mudanças.

Figura 6 - Gráfico decaimento da temperatura lã 32



Fonte: Autor, 2021

4.3 ENSAIO 03

Para o primeiro ensaio foi realizado o experimento do calorímetro com isolante densidade 128, o teve duração de 12 horas sem interferência externa, pelo motivo da lã densidade 128 ser muito maior do que comparado com a 32, foi decidido que a temperatura da água ambiente seria 18,75°C. Seguindo os passos propostos neste trabalho os resultados obtidos foram:

Figura 7 - Temperaturas a cada 3 horas isolante 128

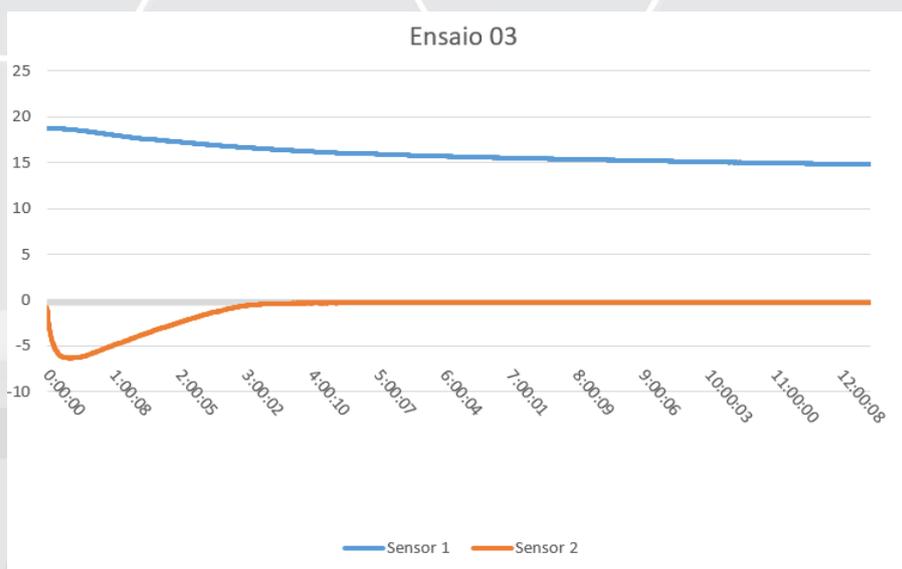
Tempo	Sensor 1	Sensor 2
00:00:00	18,75	-0,75
03:00:00	16,62	-0,63
06:00:00	15,69	-0,31
09:00:00	15,19	-0,31
12:00:00	14,88	-0,31

Fonte: Autor, 2021.

Como mostra a figura 7 e 8 ocorreu o decaimento da temperatura nos dois corpos. Foi possível observar que no sensor 2 o gelo estabilizou em 6 horas a uma

temperatura de -0,31. Porém o que realmente importa observar foi que com o isolante no sensor 1 a água demorou mais a perder calor e estabilizou a uma temperatura maior do que comparado ao ensaio anterior, com 12 horas de experimento a água estabilizou em 14,88°C sofrendo apenas pequenas mudanças.

Figura 8 - Gráfico decaimento da temperatura lã 128

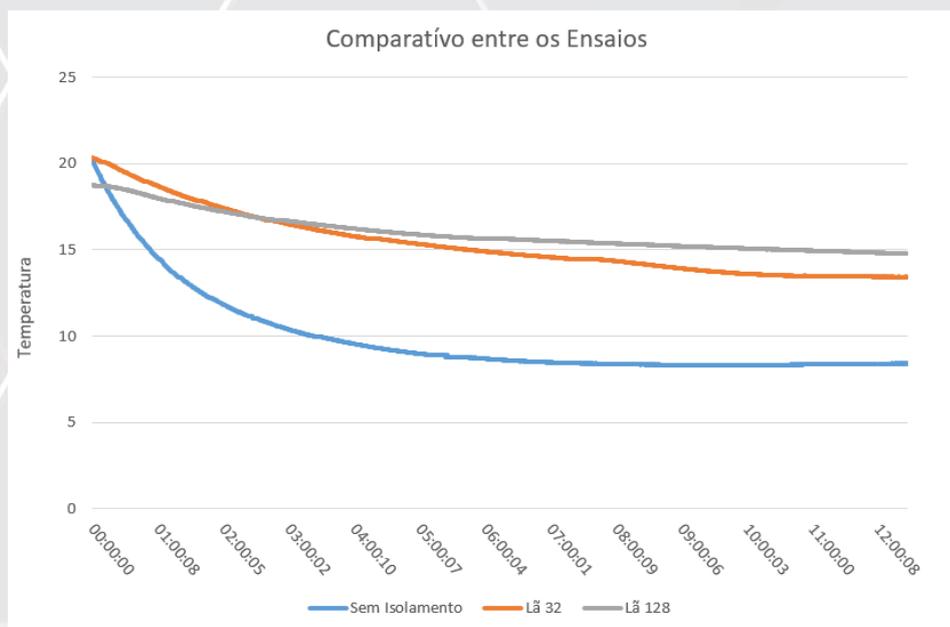


Fonte: Autor, 2021.

4.4 COMPARATIVO DAS LÃS

Para se ter uma noção mais específica e de melhor análise foi construído um gráfico comparativo entre os três casos dos Sensores térmicos que ficaram dentro do recipiente de alumínio na água.

Figura 9 – Comparativo entre os três ensaios



Fonte: Autor, 2021.

Observando a figura 9 e 10 é possível observar a diferença entre os três casos, sem o isolante a água perdeu calor muito mais rápido ficando com uma temperatura final de 8,44°C, já com a lã de 32 a curva de decaimento foi bem menor chegando a uma temperatura final de 13,44°C e com a lã de densidade 128 quase não teve uma curva de decaimento se comparado aos outros casos, mesmo começando a uma temperatura a baixo dos outros, sua temperatura final foi de 14,81°C.

Figura 10- Temperatura comparativa dos 3 ensaios

Tempo	Sem isolante	Lã 32	Lã 128
00:00:00	20,25	20,37	18,75
01:00:00	14,56	18,69	18
02:00:00	11,81	17,44	17,25
03:00:00	10,38	16,5	16,62
04:00:00	9,56	15,81	16,25
05:00:00	9	15,31	15,88
06:00:00	8,69	14,94	15,69
07:00:00	8,44	14,63	15,5
08:00:00	8,38	14,31	15,38
09:00:00	8,31	13,94	15,19
10:00:00	8,31	13,63	15,06
11:00:00	8,38	13,5	14,94
12:00:00	8,38	13,5	14,88

Fonte: Autor, 2021.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi analisada a lã de rocha ou lã mineral como um isolante térmico, para isso foi criado um calorímetro à base de caixa de isopor, gelo, lã e água e com sensores térmicos especiais para mensurar as medições.

O aparato experimental criado mostrou-se capaz de realizar os experimentos, conseguindo isolar muito bem o ambiente externo impedindo que o ar interferisse. Os utensílios como recipientes e suporte de ferro atenderam o esperado e o sistema criado em Arduino com programação e a parte eletrônica foram perfeitos para realizar as medições.

Com relação aos ensaios realizados os resultados foram muito satisfatórios e com base neles foi possível verificar que a lã de rocha é um ótimo isolante térmico, assim como, quanto maior sua densidade, melhor será a eficiência com que a lã de rocha isolar o ambiente.

REFERÊNCIAS

American Society Of Heating, Refrigerating And Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE STANFORD 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Stanford, 2010

Çengel, Y. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. Porto Alegre: Grupo A, 2020. 9788580551280. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551280/>. Acesso em: 10 Sep 2021

KING, Daniel. **Rock Wool Manufacturing Company**. Orlando, Florida, 2021. Disponível em: <https://www.asbestos.com/companies/rock-wool-manufacturing-company/>. Acesso em: 31 agos. 2021.

MONTEGUTTI, Marilise Cristine; ANTUNES JUNIOR, Claudio. **ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA TÉRMICA DOS ISOLANTES**. 2016. 11 f. Iniciação Científica (Graduação) - Fae Centro Universitário, [S.I], 2016. Disponível em: <https://www.conic-semesp.org.br/anais/files/2016/trabalho-1000021757.pdf>. Acesso em: 17 set. 2021.

OLIVEIRA, Cláudio.Luís. V.; ZANETTI, Humberto.Augusto. P. **Arduino Descomplicado - Como Elaborar Projetos de Eletrônica**. Editora Saraiva, 2015. 9788536518114. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518114/>. Acesso em: 01 nov. 2021.

PRADO, Guilherme. W. T. A. G. S. **CALORÍMETRO DE GELO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E EXPERIMENTAL PARA O ENSINO DE QUÍMICA NA GRADUAÇÃO**. Instituto de Química. Universidade de Brasília, volume 33, no 9, maio 2010.

ROCK FIBRAS. **THERMAX-FLEX**. Disponível em:
<<http://rockfibras.com.br/produtos/la-de-rocha-thermax/>>. Acesso em: 17 de novembro de 2021.

RODRIGUES, G. F.; ALVES, J. O.; TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. FABRICAÇÃO DE LÃ DE ROCHA A PARTIR DA ESCÓRIA DA PRODUÇÃO DE LIGAS FESIMN. **Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais**. Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo. São Paulo, 2009

SÁ, H. I. O. **Determinação da condutividade e difusividade térmica de materiais por análise de DSC**. Tese (Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química) – Universidade do Minho Escola de Ciências, Campus de Gualtar. Braga, p. 81. 2017.

QUITES, E.; LIA, L. **INTRODUÇÃO À TRANSFERÊNCIA DE CALOR**. [S/D].