



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU MESTRADO
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE DIFERENTES TIJOLOS
UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

BENEDITO FELIPE DA SILVA FILHO

Prof. Dr. OSVALDO ALVES PEREIRA

ORIENTADOR

CUIABÁ – MT, 2023



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU MESTRADO
EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**ESTUDO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE DIFERENTES TIJOLOS
UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

BENEDITO FELIPE DA SILVA FILHO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciências
Ambientais da Universidade de Cuiabá,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Ciências Ambientais.

Prof. Dr. OSVALDO ALVES PEREIRA
ORIENTADOR

CUIABÁ – MT, 2023

Dados internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca UNIC

S586e

SILVA FILHO, Benedito Felipe da

Estudo das propriedades térmicas de diferentes tijolos utilizados na construção civil / Benedito Felipe da Silva Filho - Cuiabá MT, 2023

60 p.: il.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em stricto sensu, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais área de concentração em Ciências Ambientais. Universidade de Cuiabá - UNIC, 2023

Orientador: Prof.º Dr.º Osvaldo Alves Pereira

1. Tijolos. 2. Fluxo de Calor. 3. Condutividade Térmica. 4. Transmissão de Calor.

CDU: 691.421.2

Terezinha de Jesus de Melo Fonseca - CRB1/3261

BENEDITO FELIPE DA SILVA FILHO

**“ESTUDO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE DIFERENTES TIJOLOS UTILIZADOS
NA CONSTRUÇÃO CIVIL”**

Dissertação apresentada à Universidade de Cuiabá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, área de concentração em Ciências da Natureza, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 24 de março de 2023

Prof. Dr. Carlo Ralph de Muisis

UFMT/UNIC

Prof. Dr. Sérgio Roberto de Paulo

UFMT

Orientador Prof. Dr. Osvaldo Alves Pereira

UFMT/UNIC

Dedico este trabalho

Para minha família, em especial minha maior parceira, amiga e companheira, minha esposa, **Monya Zoraima**, também as minhas filhas, bem como meus professores e orientador desta obra.

“ESTUDO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE DIFERENTES TIJOLOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL”.

RESUMO

Durante a evolução do conhecimento humano e das técnicas de construção, temos um elemento que pouco se alterou ao longo do tempo, de fundamental importância na composição das alvenarias de elevação das construções, os tijolos se tornaram uma parte importante na duração e conforto das edificações. No estudo do desempenho térmico dos tijolos, visamos determinar o tijolo que termicamente atende ao requisito da economia do consumo de energia, pois o tijolo deverá apresentar uma baixa condutividade, este é o objetivo que procuraremos determinar neste trabalho. No estudo medimos a propagação do calor nos tijolos, fornecendo um fluxo de calor constante, num regime estacionário de temperatura obtendo os dados através dos equipamentos de medição. Na medição de grandezas físicas dos tijolos relacionadas às suas propriedades térmicas analisaremos como se processa a condução do calor pelo material sólido e assim calcularmos a condutividade (k) térmica. O processo de aquisição das medidas térmicas nos materiais sólidos é um desafio, porque devemos estabelecer critérios que sejam realmente válidos para a obtenção dos valores de condutividade dos tijolos, determinando os materiais mais condutivos ou menos condutivos através do cálculo da sua condutividade térmica, no experimento estudamos o tijolo comum maciço, o cerâmico de oito furos, de concreto e o de adobe em três versões. O desempenho térmico dos tijolos analisados no experimento comprovou que o mais apropriado para a aplicação em alvenarias de fechamento seria o tijolo de adobe com sua composição de 10% de fibra de coco com um coeficiente de condutividade de $k = 0,22 \text{ W/K.m}$. Na continuidade da avaliação os tijolos comerciais obtiveram um bom resultado, sendo do tijolo maciço comum um k de $0,55 \text{ W/K.m}$ e seguido do tijolo de concreto com um k de $0,64 \text{ W/K.m}$. Concluímos que material de menor condutividade térmica possibilita uma alvenaria com melhor desempenho quanto à variação de temperatura, gerando uma edificação com menores amplitudes térmicas durante o dia, produzindo assim ambiente mais confortável, que gaste menos energia, para as pessoas que as ocuparão.

Palavras-chave: Tijolos, fluxo de calor, Condutividade térmica, transmissão de calor.

“STUDY OF THE THERMAL PROPERTIES OF DIFFERENT BRICKS USED IN CIVIL CONSTRUCTION”.

ABSTRACT

During the evolution of human knowledge and construction techniques, we have an element that has changed little over time, of fundamental importance in the composition of masonry for elevation of buildings, bricks have become an important part in the duration and comfort of buildings. In the study of the thermal performance of bricks, we aim to determine the brick that thermally meets the requirement of saving energy consumption, as the brick must have low conductivity, this is the objective that we will seek to determine in this work. In the study we measured the propagation of heat in the bricks, providing a constant heat flux, in a steady temperature regime, obtaining the data through the measuring equipment. In the measurement of physical quantities of bricks related to their thermal properties, we will analyze how heat is conducted by the solid material and thus calculate the thermal conductivity (k). The process of acquiring thermal measurements in solid materials is a challenge, because we must establish criteria that are really valid for obtaining the conductivity values of the bricks, determining the more conductive or less conductive materials through the calculation of their thermal conductivity, in the experiment we studied the common solid brick, the ceramic with eight holes, concrete and adobe in three versions. The thermal performance of the bricks analyzed in the experiment proved that the most appropriate for application in closing masonry would be the adobe brick with its composition of 10% coconut fiber with a conductivity coefficient of $k = 0.22$ W/K.m. In the continuation of the evaluation, the commercial bricks obtained a good result, with the common solid brick having a k of 0.55 W/K.m and followed by the concrete brick with a k of 0.64 W/K.m. We conclude that material with lower thermal conductivity enables masonry with better performance in terms of temperature variation, generating a building with lower thermal amplitudes during the day, thus producing a more comfortable environment that uses less energy for the people who will occupy it.

Key Words: Bricks, heat flux, Thermal conductivity, heat transmission.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mostra a transmissão do calor na direção x.....	32
Figura 2. Sentido do fluxo de calor em um corpo sólido.....	34
Figura 3. Lampada de infravermelho.....	36
Figura 4. Lampada no centro da caixa isolada do ambiente externo.....	36
Figura 5. Cabo para Termopar Duplex Tipo T com Isolamento.....	38
Figura 6. Faixa de utilização e precisão do termopar tipo T.....	39
Figura 7. HFP01.....	40
Figura 8. Data loggers do experimento serie 10381.....	41
Figura 9. Potenciômetro de ajuste da intensidade luminosa.....	42
Figura 10. Mostra a posição da lâmpada de infravermelho no cento da caixa de madeirit.....	43
Figura 11. Mostra a fechada pronta para a medição.....	44
Figura 12. Esquema de montagem das caixas.....	44
Figura 13. Mostra o tijolo cerâmico sendo preparado para a medição.....	45
Figura 14 e 15. Mostra o tijolo concreto sendo preparado para a medição.....	46
Figura 16. Mostra o tijolo maciço sendo preparado para a medição.....	46
Figura 17. Mostra o tijolo maciço sendo preparado para a medição, em fase de fechamento.....	47
Figura 18. Mostra o tijolo maciço sendo preparado para a medição, caixa lacrada.....	47
Figura 19. Tijolo de adobe sendo preparado para medição.....	48
Figura 20. Placa de porcelanato e areia para calibração.....	49
Figura 21. Equipamentos utilizados no processo de medição.....	49
Figura 22. Equipamentos com a placa de porcelanato e areia para calibração.....	50
Figura 23. Areia em cima do porcelanato para realização da calibração.....	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Mostra o fluxo do calor em relação ao tempo, na vertical os valores de calor dos instrumentos peltier 01, 02, 03e do fluximetro e na horizontal a variação do tempo minuto a minuto.....	51
Gráfico 2. Regressão linear dos dados do fluximetro versus peltier 1, a regressão gerou a equação $y = 4,432x + 25,563$	52
Gráfico 3. Regressão linear dos dados do fluximetro versus peltier 2, a regressão gerou a equação $y = 4,348x + 43,919$	52
Gráfico 4. Regressão linear dos dados do fluximetro versus peltier 3, a regressão gerou a equação $y = 4,1704x + 71,802$	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 –Valores típicos de condutividade térmica.....	14
Tabela 2 – Propriedades termo físicas de material comum.....	34
Tabela 3 – Coeficientes de condutividade térmica.....	34
Tabela 4 – Pastilha Termoelétrica Peltier TEC1-12706.....	39
Tabela 5 – Parâmetro de sensores e seus fluxos de calor.....	40

SIMBOLOS

1. Δ Letra grega delta, expressa variação
2. ϕ Letra grega fi, expressa o fluxo de calor, unidade J/s equivalente a Watt.
3. Δt Variação do tempo
4. ΔT Variação de temperatura
5. m Unidade de medida metro
6. m^2 Unidade de medida metro quadrado
7. cm Unidade de medida centímetro
8. cm^2 Centímetro quadrado
9. mm Unidade de medida milímetro
10. A Área
11. k Condutividade térmica, unidade W /m.K
12. W Watt
13. K Kelvin
14. °C Grau Celsius
15. Mpa Unidade de pressão Mega pascal
16. Kgf Quilograma força
17. Kg Quilograma
18. Q Calor
19. T_f Temperatura final
20. T_i Temperatura inicial
21. t Tempo
22. % Percentual
23. mV Milivolts
24. v Volt

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL.....	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
4. TIJOLOS	23
4.1 CERÂMICO MACIÇO	24
4.2 CERÂMICO DE OITO FUROS.....	25
4.3. CONCRETO	26
4.4 ADOBE.....	27
5. PRINCÍPIO DA TRANSMISSÃO DO CALOR	28
5.1 CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	32
6. MATERIAIS E MÉTODO	37
6.1 INSTRUMENTOS	38
6.1.1 Termopar Tipo T (Cobre – Constantan)	38
6.1.2 Faixas de Utilização e Limites de Erro Para O Termopar Tipo T	40
6.1.3 Peltier	40
6.1.4 Placa de Fluxo de Calor Hukseflux	40
6.1.5 Data Logger Cr1000	42
6.1.6 Potenciômetro	43
6.1.7 Lâmpada de Infravermelho	44
6.2.A CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	49
6.3 GRÁFICO DAS REGRESSÕES LINEARES FLUXIMETRO X PELTIER.....	52
6.4 CÁLCULO DO R ²	54
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
8. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. INTRODUÇÃO

Durante a evolução do conhecimento humano e da evolução das técnicas de construção, temos um elemento que pouco se alterou ao longo do tempo, de fundamental importância na composição das alvenarias de elevação possuindo várias funções construtivas, os tijolos se tornaram uma parte importante na duração e conforto das edificações.

Os sistemas construtivos que utilizam a terra crua, sem cozimento e secas pelo sol, como principal material construtivo, estão presentes na história da humanidade desde o surgimento das primeiras habitações, sem que este material caísse em desuso e, ainda hoje, esta tecnologia milenar continua a ser utilizada (MINKE, 2012).

Entretanto durante a década 40, após a segunda guerra mundial, houve um declínio na utilização desta matéria-prima, onde o setor da construção passou a adotar materiais industrializados de fácil controle e padronização (KOUAKOU; MOREL, 2009), provocando uma rejeição aos produtos de tecnologias consideradas rudimentares, como as técnicas em construção em terra crua, entretanto Santos e Bessa (2020) apontam que no início do século XXI houve crescente interesse por publicações sobre a terra como material de construção sendo que este resgate está associado principalmente aos fatores físicos, químicos e termo acústico relacionadas às técnicas de construção em terra.

O solo é um dos materiais naturais mais importantes e abundantes na maioria das regiões do mundo, sendo um dos principais materiais utilizado na construção civil. Aproximadamente um terço da população humana reside em domicílios que utilizam o solo como principal método construtivo, de modo que em quase todas as regiões que possuem o clima quente e árido utilizam o solo como principal instrumento de construção (MINKE, 2012).

Sendo a aplicação de tijolos de terra crua e/ou de argila, são utilizados nas alvenarias e constitui um dos mais antigos sistemas construtivos do mundo, presente na arquitetura colonial brasileira e sendo considerado um patrimônio cultural.

O tijolo como elemento essencial do processo construtivo, por vezes, pouco e nunca valorizado, mostra sua eficácia durante a vida útil de uma determinada edificação, neste processo tem uma importante função que vai além do fechamento e da hermeticidade dos ambientes, mais também da sua associação vinculada com comportamento térmico de nossos edifícios.

Para García (1995 citado por Gomes e Amorim, 2003, p. 96), o “conforto térmico consiste no conjunto de condições em que os mecanismos de auto-regulação são mínimos ou ainda na zona delimitada por características térmicas em que o maior número de pessoas se manifeste sentir bem”.

Se o ambiente não oferece condições térmicas agradáveis a um indivíduo ou para a população tem-se então o desconforto térmico. Para Pagnossin, Buriol Graciolli (2001):

[...] O conforto térmico exprime satisfação com o ambiente térmico, sendo vários fatores que influenciam, entre eles os aspectos físicos relacionados aos processos de trocas de calor: condução, convecção, radiação e evaporação que ocasionam no organismo ganhos e perdas de energia como meio, através da influência das variáveis meteorológicas como a temperatura, umidade, movimento do ar e radiação responsáveis por uma maior ou menor sensação de conforto térmico. Deve-se considerar também, as variáveis fisiológicas e psicológicas que variam de indivíduo para indivíduo conforme a percepção e preferências térmicas (PAGNOSSIN, BURIOLGRACIOLLI, 2001, p.151).

No estudo do conforto térmico destaca-se a importância da grandeza meteorológica temperatura do ar, sendo esta a principal responsável pela troca de calor por convecção, uma vez que o tijolo aquecido emitirá radiações para o ambiente, portanto o mesmo deve ter uma baixa condutividade, esta propriedade térmica será demonstrada em nosso trabalho de forma objetiva e direta.

No estudo a dissipação de calor do tijolo é medida para fornecer dados do fluxo de calor que percorrerá o mesmo num ambiente de temperatura estacionária, em uma faixa de temperatura constante, então verificar o fluxo de calor e a mudança de temperatura nos tijolos, medidos na face inferior e superior do material por dispositivos de medição térmica e com os dados coletados calcular o fluxo de calor que será representado pela constante de condutividade k , uma propriedade de cada tipo de material.

Embora os tijolos possuam uma função no desempenho térmico que se espera de nossas edificações e além de oferecer a segurança privada, tem também a função de proteção as intempéries incluindo o isolamento acústico e térmico. O que seria então este desempenho térmico? O desempenho térmico visa na verdade que se tenha um o mínimo consumo de energia para se obter o conforto térmico esperado, pois o tijolo deverá apresentar uma baixa condutividade, seria o tipo de objetivo que procuramos determinar neste trabalho.

No estudo mediremos a propagação do calor, dos tijolos, fornecendo um fluxo de calor constante, num regime estacionário de temperatura obtendo através dos equipamentos de medição a medida do fluxo de calor e as variações de temperatura para chegarmos aos valores de condutividade térmica de cada material.

Embora grande parte dos tijolos comerciais utilizados nas obras serem em sua maioria compostos de argila, os tipos ensaiados têm forma será de estrutura e materiais diversos, tais como argila, cimento e solo-cimento, fazendo com que haja a possibilidade verificar qual material pode

influenciar no processo de transmissão do calor. A tabela abaixo tem leituras típicas de cada material como à do tijolo cerâmico e tijolo maciço utilização na confecção de paredes de edificações.

Nome do material	Espessura equivalente (cm)	Condutividade térmica (W/mK)	Densidade equivalente (kg/m ³)	Calor específico (kJ/kgK)	Resistência térmica (m ² K/W)
Argamassa de Emboço(2,5cm)	2,5	1,15	2000	1,00	0,022
Câmara de ar(2-5cm)	-	-	-	-	0,160
Concreto maciço(5cm)	5,0	1,75	2400	1,00	0,029
Cerâmico Tijolo Maciço Aparente(10cm)	9,0	0,90	1800	0,92	0,100
Concreto maciço(10cm)	10,0	1,75	2400	1,00	0,057
Cerâmico Tijolo 6furosquadrado(9cm)	1,4	0,90	2290	0,92	0,016
Cerâmico Tijolo 8furos quadrado (9cm)	1,4	0,90	2252	0,92	0,016
Cerâmico Tijolo 8furos circular (10cm)	3,3	0,90	1103	0,92	0,037
Cerâmico Tijolo 6furos circular(10cm)	3,0	0,90	1232	0,92	0,033
Cerâmico Tijolo 4furos circular (9,5cm)	1,3	0,90	3595	0,92	0,014
Cerâmico Bloco 3furos quadrado (13cm)	1,7	0,90	2941	0,92	0,019
Tijolo Maciço(10cm)	9,6	0,90	1764	0,92	0,106
Cerâmico Bloco 2furosquadrado (14cm)	1,5	0,90	3732	0,92	0,017
Cerâmico Tijolo 2furoscircular(12,5cm)	1,7	0,90	3836	0,92	0,019
Cerâmico Tijolo 6furos quadrado(14cm)	5,5	0,90	909	0,92	0,061
Cerâmico Tijolo 21furos circular (12 cm)	2,7	0,90	2556	0,92	0,030
Cerâmico Tijolo 6furos circular(15cm)	6,6	0,90	840	0,92	0,073
Cerâmico Tijolo8furos quadrado(19cm)	8,2	0,90	868	0,92	0,091
Cerâmico Tijolo 8furos circular(20cm)	11,1	0,90	646	0,92	0,123
Cerâmico TijDup6furos circular(10 cm)	12,8	0,90	628	0,92	0,142
Tijolo Maciço Duplo(10cm)	19,8	0,90	1812	0,92	0,220
Tijolo Maciço(22cm)	20,7	0,90	1812	0,92	0,230
Cerâmico Tij Dup 21furos circ(12cm)	12,3	0,90	1184	0,92	0,137
Cerâmico Tijolo Dup 6furos circ(15 cm)	20,3	0,90	568	0,92	0,226
Cerâmico Tij Dup 8furos quadr(19cm)	23,4	0,90	613	0,92	0,260
Cerâmico Tij Dup8furos circular(20 cm)	29,1	0,90	500	0,92	0,323

Tabela 1 –Valores típicos de condutividade térmica (ORDENES, 2003).

A tabela acima expressa os valores típicos de condutividade de certos materiais utilizados na elaboração de alvenarias de embasamento ou de elevação, estes materiais tais como tijolos cerâmicos, argamassa e concreto, são itens importantes na composição física das paredes dos edifícios, portanto influenciando no resultado final do consumo de energia para tornar-se um ambiente termicamente confortável.

2. OBJETIVOS

Os tijolos comerciais são peças elementares para a construção de nossas alvenarias, em nosso experimento, através da medição de grandezas físicas relacionadas a propriedades térmicas dos mesmos, analisaremos como se processa a condução do calor pelo material sólido, obtendo assim os valores relacionados à temperatura e fluxo de calor e chegarmos ao cálculo da condutividade (k) térmica.

O objetivo é medir as grandezas físicas associadas aos tijolos, aplicar a fórmula do fluxo de calor, sobre um regime estacionário de temperatura, dos materiais empregados na construção civil, ou seja, aquele material que é melhor e pior condutor de calor, e assim chegar ao resultado do material que será o melhor isolante térmico.

Através das medições podemos determinar qual o material mais apropriado para o emprego em alvenarias, que poderá ter um melhor benefício quanto à isolação térmica e por consequência gerar um menor consumo de energia, para se obter um conforto térmico adequado. Quando pensamos numa instalação que propicia um menor gasto de energia temos uma instalação mais próxima à sustentabilidade desejável, portanto uma necessidade para a nossa realidade como sociedade.

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar medições de fluxo de calor e da variação da temperatura nos tijolos comerciais, num regime estacionário de temperatura, determinando a condutividade térmica dos mesmos, chegando ao material que possui o melhor desempenho térmico, proporcionando assim um ambiente de menor consumo de energia, portanto mais sustentável para se ter o conforto térmico esperado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudar os diversos tipos de tijolos existentes no mercado, tais como tijolo comum maciço, tijolos cerâmicos de oito furos, tijolos de adobe e tijolos de cimento, quando ao desempenho térmico na transmissão de calor;
2. Realizar as medições do fluxo de calor e variação de temperatura nos tijolos determinando a condutividade térmica (k);

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na construção de edificações a alvenaria compõe como uma estrutura que formam paredes, compostas por tijolos unidos a uma argamassa, na sua composição e formação unitárias temos os tijolos que pode ser de materiais de várias naturezas desde blocos de cerâmica, de vidro, de concreto, pedras, tijolos de argilas ou de adobe.

Não é de hoje que os tijolos estão presentes em nosso dia a dia, pois é um dos materiais de construção mais comum aplicado em edifícios, utilizados nas mais antigas obras no mundo, tendo relato do seu uso mais antigo por volta de 7000 a.C., na Turquia. Minke (2012), salienta que as construções com terra existem desde os primeiros povoados há 9.000 anos, sendo os blocos de barro são datados entre de 8000 a 6000 a.C. encontrados no Turquestão Russo. Paralelamente houve a descobertas de diversos sítios arqueológicas, a nível de pré-história a antiguidade, que continham estruturas em terra em diversas localidades do mundo.

Embora este importante material de construção seja comum, precisamos lançar estudo que nos norteiam na aplicação correta do mesmo, conciliando o estudo a prática da boa execução das edificações, porque temos que entender os efeitos do processo de transmissão de calor nos mesmos. O estudo pretende prever o comportamento do mesmo, no que tange as demais propriedades térmicas destes, bem como a analisar os diversos tipos de materiais utilizados na confecção dos tijolos, sejam de barro, concreto, resíduos de obras ou de adobe.

A escolha correta do tijolo é fundamental para que uma obra possa ser realizada na melhor técnica possível, porque o material em questão pode ser utilizado para diversas finalidades e usos, tais como, vedação, decoração, isolamento da radiação térmica e proteção com fechamento de áreas. Então as radiações térmicas são importantes no processo da variação da temperatura de um corpo e da troca de calor entre eles.

Segundo Bartholomei (2003):

[...] A radiação é um processo no qual a energia radiante é transmitida de uma superfície quente para outra fria por meio de ondas eletromagnéticas [...].A quantidade de energia transmitida por radiação térmica varia conforme a temperatura superficial do corpo e não depende do ar ou de qualquer outro meio pra se propagar(BARTHOLOMEI, 2003, p.9).

Assim, se a temperatura média de radiação do ambiente for superior à temperatura do corpo humano este ganhará calor por radiação, variando a sua temperatura. Por outro lado, se a temperatura média de radiação do ambiente for inferior ao corpo humano este perderá calor por radiação, ou seja,

havendo a existência de uma variação de temperatura surgira um fluxo de calor em o corpo e o ambiente e vice-versa.

Numa obra a escolha da alvenaria e o método construtivo é uma das etapas mais importantes na hora da construção, pois determinara o futuro da sua construção depois de pronta. Os vários tipos de alvenarias tais como alvenaria de elevação ou vedação, alvenarias de embasamento, alvenarias estruturais tem sua aplicação e limitações, no nosso estudo limitaremos a estudar as alvenarias de elevação para vedação, são aquelas que formam as paredes.

A função principal desse tipo de alvenaria é vedar vãos e separar ambientes e fachadas. O fechamento das paredes pode ser realizado com blocos e tijolos de vários tipos e natureza.

Pensando na importância de como se construir e usando a premissa da escolha do melhor material, temos em mente que as construções devam ter a sua concepção voltada para a eficiência energética e o consumo racional dos recursos.

“Nesse sentido, as normas regulam o desempenho térmico e a eficiência energética das edificações, especificam os critérios e os requisitos para que os projetos e a execução das construções considerem as características climáticas locais e garantam um desempenho térmico mínimo, sendo importante o reconhecimento dessas normas por parte do meio técnico brasileiro“ (SANTOS, J. C. P.; KOTHE, K.K.; MOHAMAD, G.; VAGHETTI, M. A.; RIZZATTI, 2015).

A escolha correta dos materiais a serem aplicados nas obras é de vital importância, pois, para conceber uma instalação sustentável e combater os desperdícios dos recursos naturais renováveis ou não, temos que aplicar os melhores materiais nos processos de construção, que recebera durante toda a vida da edificação uma grande quantidade de radiação solar, por isso se faz necessária a aplicação do melhor material e às vezes em detrimento ao custo disponível para realização da construção, temos que pensar sempre de forma mais sustentável, esta sustentabilidade está no pilar de que quanto menos recursos naturais forem gastos mais sustentáveis será esta edificação.

“Adicionalmente, existem outros factores, de natureza não-estrutural, que podem condicionar a escolha da tipologia da alvenaria: custo da construção, estética (em paredes com face à vista), exigências funcionais de térmica, acústica e impermeabilidade, exigências de segurança e durabilidade, recurso a elementos construtivos especiais para arcos, cúpulas, etc.” (LOURENÇO, 1999).

Desde a década de 60 o mundo todo resolveu trabalhar a questão ambiental como um fato a ser resolvido como primordial para a raça humana, haja vista que, com o crescimento populacional beirando naquela época algo entorno de quatro bilhões de habitantes no planeta Terra, sendo assim a importância de tornar os ambientes sustentáveis e que consuma a menor quantidade de recursos, para

se ter uma ideia da quantidade de recursos energéticos produzidos que são consumidos para se fazer um ambiente termicamente confortável e segundo Akibari, Pomerantz e Taha (2001), afirmaram que foi estimado que as cidades dos Estados Unidos consomem cerca de 5,0% a 10,0% da energia elétrica produzida para refrigerar seus edifícios no verão.

Em função de se pensar no meio ambiente, temos as propostas de verificar o desempenho térmico de vários tipos de tijolos comerciais e não comercial tal como o de adobe, os mesmos serão ensaiados onde será aplicado um gradiente de térmico e posterior coleta de medições da sua variação da sua temperatura, por fim calcular a sua constante de condutividade.

Em Física, um gradiente de temperatura é uma grandeza utilizada para descrever a direção e o sentido da taxa de variação de temperatura em uma área em particular. É uma grandeza expressa em unidades de temperatura por unidades de comprimento. A unidade no Sistema Internacional de Unidades (de sigla SI) é o kelvin por metro (K/m). Formalmente, isso é um campo vetorial que é definido como campo gradiente de um campo escalar. Assumindo que podemos associar um valor de temperatura em cada ponto do espaço tridimensional (coordenadas x, y, z), existirá uma lei "T" do tipo:

$$T = T(x, y, z): R^3 \rightarrow R$$

Se essa função é regular, será possível calcular o gradiente:

$$\text{grad } T = \nabla T = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

O significado físico de tal grandeza vetorial é o gradiente geral de uma função de várias variáveis: A direção do vetor indica o sentido de maior crescimento de temperatura, enquanto seu módulo indica a intensidade deste crescimento.

Se a função $T(x, y, z)$ descreve a distribuição de temperatura de um corpo devido às diferenças de temperatura (suposta finita), dentro deste, o calor flui diretamente das zonas de temperatura mais alta para as zonas de temperatura mais baixa. O gradiente de temperatura apresenta um elemento discriminante: empiricamente, é possível observar que o fluxo de calor é proporcional à normal desse vetor. Uma vez que o fluxo de calor for na direção oposta do gradiente, que aponta na direção do crescimento de temperatura, teremos:

$$\dot{Q} \propto \|\nabla T\|$$

A direção do fluxo não necessariamente coincide com aquela do gradiente: essa equivalência exigiria a isotropia das propriedades térmicas do corpo submetido ao gradiente de temperatura (isotropia é a qualidade de alguns meios ou materiais que consiste em terem as mesmas propriedades físicas em todas as direções). Em geral, a condutividade térmica do material não será um escalar, mas, sim, um tensor de categoria 2 (o tensor é um conjunto de objetos matemáticos ou físicos que estão relacionados entre si e que determinam algum tipo de relação entre duas outras entidades matemáticas ou físicas). A direção do fluxo será, então, dada por:

$$\mathbf{u}_T = \frac{k_{\mu\nu} \nabla T}{\|k_{\mu\nu} \nabla T\|}$$

Na condução térmica é considerado esse novo vetor:

$$k_{\mu\nu} \nabla T$$

Na condução térmica, ao mantermos uma extremidade de um bastão a uma alta temperatura e a outra extremidade a uma baixa temperatura, ocorrerá à condução de energia através do bastão, partindo do mais quente para o mais frio. Numa situação estacionária, isso também ocorre, porém, a variação de temperatura é linear. Isso significa que há uma taxa de variação de temperatura, dT/dx , ao longo da barra, chamada de gradiente de temperatura, o que, pela Lei de Fourier, Temos:

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

Onde o fluxo de calor tem a unidade de $[W \cdot m^{-2}]$ é a condutividade térmica do material a unidade de medida é $[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$, já a unidade de gradiente de temperatura é a unidade $[K \cdot m^{-1}]$.

Os tijolos têm um papel importância na modulação das alvenarias, dando as dimensões finais de acordo com o processo construtivos, diante deste fato o seu estudo quanto às qualidades térmicas é importante para que cheguemos a um denominador comum do melhor material que poderemos aplicar na região de Cuiabá, onde temos altas temperaturas e uma grande variação térmicas durante o

dia, exigindo um grande desempenho térmico da construção e provocando um envelhecimento precoce das mesmas.

Considerando o estudo e a influência da alvenaria ideal para uma obra ter um determinado conforto térmico é importante a escolha correta dos tijolos a ser aplicado, porque a mesma é a barreira natural das intempéries do ambiente externo.

“Isso porque se sabe que as edificações que não possuem o tipo de alvenaria externa adequada podem apresentar problemas de conforto térmico, devido ao ganho excessivo de calor, proveniente do ambiente externo” (GOMES; MELO, 2018).

Com a aplicação dos tijolos de vários materiais e aplicando aos demais tipos de alvenaria, estaremos estabelecendo através das medições de calor e temperatura, o melhor material a ser empregado conforme o esquema construtivo, chegando à verificação da sua influência final com conforto térmico ou não, do futuro da edificação.

Segundo Colares (2017), esta redução de calor pode ser obtida utilizando materiais com características que dificultem a transferência de calor, porém muitas vezes elevam muito o custo da obra, não sendo economicamente viável para a construção.

Em nosso estudo determinaremos qual o material que tem o melhor desempenho térmico em relação à transmissibilidade do calor, ou seja, aquele que é um mau condutor de calor. Outro detalhe a ser observado está relacionado ao tipo de alvenaria, que de acordo com a sua espessura, interfere diretamente no desempenho térmico de uma edificação podendo afetar a nossa sensação de conforto térmico, lembramos que quanto mais grossa a parede menor será a transmissão do calor, pois teremos uma maior inércia térmica e como consequência uma isolação térmica melhor.

Finalizando, segundo Figueiredo (2006), temos que após a troca de calor, uma alteração da temperatura dos corpos, onde tentarão se estabilizar com valores similares. Quando ocorre, pode-se afirmar que os sistemas estão em equilíbrio térmico, neste sentido iremos executar as medições até que o material atinja uma temperatura estacionária, ou seja, quando a temperatura ao longo do comprimento do condutor depende apenas da posição, ou seja, não é mais função do tempo, partindo deste ponto as medições de temperatura serviram de subsidio para o cálculo da condutividade do material ensaiado.

Com as medições realizadas, serão calculados os valores de condutividade para cada tijolo e assim determinar qual material ou materiais deva ser aplicado em nossa região, visto que estamos em uma região de clima quente de classificação Aw, segunda a classificação Köppen.

Segundo a classificação climática de Köppen, temos que a cidade de Cuiabá tem um clima tropical do tipo savânico, onde na estação mais seca no inverno (Aw), temos o mês mais seco com precipitação média inferior a 60 mm de chuva, ou seja, sendo equivalente a menos de 4% do total de precipitação anual.

Verificamos que Cuiabá possui temperatura média de 26,49 °C e índice pluviométrico de anual de 1457,69 mm de chuva, fazendo-se uma análise climatológica dos últimos 30 anos.

Verificamos que o trabalho de pesquisa sobre este tema é de extrema necessidade visto que a crescente climática na nossa região, com recorde de picos de alta temperatura, faz-se necessário sabermos quais materiais teremos melhor resultado com relação ao conforto térmico esperado, gastando-se o mínimo de energia para que as pessoas possam se beneficiar do método construtivo empregado.

O estudo deverá mostrar através da obtenção da condutividade térmica nos tijolos comerciais, o material ou materiais mais apropriados a ser utilizado em nossas edificações, obtendo-se assim um melhor desempenho térmico quanto à variação de temperatura nos espaços interiores, provocando assim uma redução no consumo de energia.

4. TIJOLOS

A alvenaria é um dos tipos de construções mais antigas da história. Não é possível dizer com precisão quando ela surgiu, mas especialistas apontam que tudo começou no Oriente Médio, na Mesopotâmia, entre 8.000 a 4.000 a.C. Estas estruturas eram geralmente construídas nas proximidades de grandes rios e conseqüentemente da argila (CORREIA, 2006).

Os primeiros materiais usados para a execução de alvenaria estrutural foram o adobe, tijolos produzidos com o material terroso mais um material ligante no caso geralmente a argila, o barro queimado, a argila seca ao sol e os blocos de arenito. Estas estruturas eram geralmente construídas nas proximidades de grandes rios e conseqüentemente da argila (CORREIA, 2006).

As construções em processo que utilizavam a terra crua, sem cozimento e secas apenas pelo sol, foi usado como principal material construtivo e presente na história da humanidade desde o surgimento das primeiras instalações habitadas, sem que este material caísse em desuso e, ainda hoje, esta tecnologia milenar continua a ser utilizada (MINKE, 2012).

Alvenaria é um tipo de estrutura que utiliza pedras, tijolos ou blocos unidos por argamassa, com finalidades diversas tais como vedação, proteção e acústica. O objetivo é oferecer resistência, vedar espaços e fornecer proteção acústica e térmica para a edificação, agindo também como agente termo regulador.

Os tijolos são elementos de alvenaria que possuem papel importante para construção de uma edificação fornecendo a vedação ambiente, proporcionado conforto acústico e conforto térmico, através dos mais diversos tipos de alvenaria os profissionais da construção determina pela produção, custo e facilidades construtivas qual o melhor tipo de tijolos a ser aplicado para que atinjamos os objetivos esperados na edificação.

Embora toda a obra gire em torno de custo e qualidade, se prender somente a custos, poderemos sacrificar a qualidade da obra no ponto do conforto acústico e térmico, por este motivo a nossa preocupação de determinar qual seria a melhor opção dos materiais estudados, são eles:

Tijolo maciço de argila com medidas de 5x10x20cm;

Tijolo cerâmico de oito furos de argila, queimado em forno em altas temperaturas, com as dimensões de 9x19x19 cm;

Tijolo de Concreto vazado com dois furos com as dimensões de 9x19x39 cm;

Tijolo de adobe feito com uma mistura de solo-cimento com as dimensões 5x12,5x24cm.

Os tijolos têm tanto importância, que “o adobe está para a história da construção dos abrigos do homem, como o próprio homem para a história da civilização” (GALVAN JUNIOR, 2015).

As construções com terra crua transcendem gerações, estando presentes em diversos locais, sendo utilizado desde a antiguidade até o período contemporâneo. Lourenço (1999), traz diversos locais do oriente médio, a necessidade de matéria-prima para as construções, abundância da argila, falta de pedras e madeira somada ao clima quente e seco conduziu para o desenvolvimento dos primeiros blocos de terra. A utilização de técnicas construtivas a base de terra iniciou no período colonial, entre os séculos XVII e XVIII, através da influência da arquitetura vigente em Portugal, à época (SANTOS, BESSA, 2020).

Deste modo, a arquitetura colonial brasileira é construída de obra em terra e podendo-se encontrar construções remanescentes da herança colonial em diversas regiões urbanas e rurais brasileiras. Pereira et al. (2015), afirmam que atualmente no Brasil a ideia de que as construções com terra crua estão relacionadas exclusivamente às classes mais pobres, sendo local de hospedaria para insetos transmissores de doenças, tais como a doença de chagas, tais crenças despertam grande preconceito em relação a estes métodos construtivos.

De acordo com Vilela e Sant’Anna (2019), as principais técnicas que empregam a terra como matéria prima são: tijolos de Adobe, Blocos de terra comprimida (BTC), taipa de pilão ou taipa socada e pau a pique.

Lembramos também que os demais tijolos como o cerâmico e o maciço, vêm de material terroso e tem como matéria prima a argila, que é moldada, queimada em fornos com altas temperaturas, para conceber a propriedade de resistência mecânica e de impermeabilidade a ação da água.

4.1 CERÂMICO MACIÇO

O tijolo maciço comum é utilização em alvenarias de embasamento, em alvenaria de paredes estruturais, bem como em alvenaria de vedação e fechamento. Neste tipo de elemento de construção, os tijolos maciços de argilas são secos e queimados em fornos para aderir à devida resistência mecânica e a resistência quanto à absorção de água e da umidade.

Os tijolos comuns são utilizados basicamente em paredes de elevação e ou como paredes portantes em pequenas estruturas. Antes de serem usados, os tijolos têm que ser molhados para que não absorva a água da argamassa de ligação e vir a interferir no processo de reação química de secagem e resistência desta.

Outro fato a se tratar devemos nos ater no processo de queima destes tijolos, pois quanto maior for o ponto de queima do tijolo vai deixá-lo mais resistente e mais impermeável. Os tijolos comuns são blocos de barro comum, moldados por extrusão ou prensagem, com arestas vivas e retilíneas, obtidos após a queima das peças em fornos contínuos ou periódicos com temperaturas da ordem de 900° C a 1000°C.

Os tijolos maciços são materiais empregados em alvenaria de embasamento, e em alguns casos em alvenarias estruturais para sustentação de paredes de tijolos cerâmicos. Lembramos que, como o próprio nome sugere, alvenaria de embasamento é a alvenaria que fica na base. Mais especificamente na base da edificação, logo acima, ou seja, sobre a viga baldrame ou abaixo dela.

4.2 CERÂMICO DE OITO FUROS

Os tijolos cerâmicos de oito furos compõem as alvenarias de vedação em nossas edificações, também conhecida como bloco cerâmico, são aplicados com o uso de argamassa de cimento, como pasta aglutinante, além de permitir a proteção contra as intempéries, provera também as condições a ser analisado quanto a sua capacidade de condução térmica, e de acordo com a sua capacidade térmica ser recomendado ou não para a aplicação em paredes de vedação, paredes de fechamento nas edificações.

O bloco cerâmico é fabricado basicamente de uma massa de argila, moldado por extrusão (dar forma a ele e conferir determinadas características) e queimado a uma temperatura de aproximadamente 800°C a 1000°C, para atender as normas técnicas vigentes (ABNT NBR 15270-3 “Componentes cerâmicos Parte 3: Blocos cerâmicos os para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio”) e conseqüentemente as necessidades da obra. Os tijolos cerâmicos são fornecidos em lotes de blocos de mesmo tipo e qualidade, em geral são fornecidos em milheiro (mil peças), que em geral fazem parte da mesma fornada, para que sejam mantidas as mesmas características.

Este tipo de tijolo é o mais comum utilizado nas alvenarias de elevação, para fechamento de paredes, isolamento e térmica e acústica do ambiente externo, é o material mais utilizado, nos últimos anos o mesmo vem sendo substituído por tijolos de concreto pela sua versatilidade e aplicação em paredes estruturais, pois demanda menor consumo de tubulações e quebração de paredes para realizar a instalação hidráulica e elétrica.

4.3. CONCRETO

O tijolo de concreto também conhecido como bloco de concreto é composto por cimento, agregados graúdos, miúdos e água. A combinação de agregados pode ser entre pedrisco ou brita areia natural e/ou artificial ou ainda o pó de pedra. A massa formada é um concreto seco com aspecto de “farofa”.

A mistura de materiais é preparada e passa por um equipamento de vibração e prensagem. Na alvenaria estrutural, vedação e estrutura funcionam como uma só. Os blocos são organizados de forma a serem capazes de suportar todas as cargas da construção. Há possibilidade de uso de blocos cerâmicos e de concreto e essa escolha depende de vários fatores. Preço, propriedade térmicas, acabamento e rapidez são características que os consumidores devem estar atentos na hora de escolher o produto a ser usado na construção.

O material que será utilizado na estrutura e fechamento da construção deve ser definido ainda durante o projeto arquitetônico, pois um bom planejamento gera redução de custos, evita desperdício de materiais e ainda permite que o cálculo estrutural seja bem dimensionado. É importante ressaltar que as paredes têm função primordial em qualquer projeto, já que proporcionam a proteção termo acústica dos ambientes, delimitam espaços e recebem as instalações elétricas e hidráulicas.

E uma das melhores opções para essa aplicação é o bloco de concreto. O bloco de concreto é composto por cimento, agregados e água. A combinação de agregados pode ser entre pedrisco, areia natural e/ou artificial ou ainda o pó de pedra. A massa formada é um concreto seco com aspecto de “farofa”.

A mistura de materiais é preparada e passa por um equipamento de vibração e prensagem. A última etapa é o processo de cura para evitar a perda de umidade do concreto para o ambiente e quando realizada de forma apropriada, acelera o ganho de resistência. Os tijolos a serem aplicados para as alvenarias deverão ser escolhidos para atender o tipo de obra a ser executada, bem como a sua utilização no desempenho da devida construção, as famílias e tipos de tijolos deverão ser escolhidos entre o arquiteto e o engenheiro responsável, buscando desse elemento os fatores mais úteis para sua aplicação.

4.4 ADOBE

Um dos mais antigos materiais de construção utilizados no mundo é o tijolo de adobe, seu uso remonta as antigas civilizações, que utilizaram este como um dos primeiros materiais de construção na elevação de abrigos temporários e ou definitivos. A utilização do adobe foi facilitada pela abundância dos materiais disponíveis e da sua simples composição que traz terra in natura, água, palha e ou outros tipos de fibras naturais, podendo ter uso até de esterco de animais domesticados, que são moldados artesanalmente em fôrmas e cozidos ao sol. O uso deste se concentrou como forma de construção de áreas e regiões de clima quente e secas, pois o ambiente favorecia o seu uso e sua longevidade, propiciando uma edificação estável e sólida, para construção de abrigos, fortificação e demais uso aplicável.

Os Tijolos de adobe usados têm as dimensões aproximadas de 5 cm x 12,5 cm x 24cm, este material era um componente principal nas antigas edificações na região de Cuiabá, obtidos diretamente do solo. As construções com terra crua continuaram no Brasil durante a primeira metade do século XIX e a partir da segunda metade do século a sociedade brasileira passou a fazer uso de materiais de construção industrializado, o que provocou o desprestígio dos velhos hábitos de construção. A exportação crescente de café possibilitou a generalização do uso de equipamentos importados que incentivou os novos métodos construtivos nos grandes centros (REIS FILHO, 2000).

Para o nosso estudo utilizaremos três tipos de tijolos de adobe, o primeiro sem utilização de fibra de coco, o segundo com 5% de fibra de coco em sua composição e o terceiro com utilização de 10% de fibra de coco em sua composição. Com a medição das variações do fluxo de calor e da variação de temperatura nos tijolos de adobe, estaremos verificando qual traço deste material terá o melhor desempenho térmico com a determinação da sua condutividade térmica.

5. PRINCÍPIO DA TRANSMISSÃO DO CALOR

No Universo, todos os corpos são formados por matéria e energia. No estudo destes dois entes temos os pontos de vista: macroscópico e microscópico, o primeiro constitui o objeto de estudo da termodinâmica, que estuda a relação entre a matéria e energia. A quantidade de matéria corresponde à massa dos corpos e a energia que essa massa contém é conhecida por energia interna.

A energia interna de um sistema termodinâmico é uma grandeza escalar física que pode ser definida como o somatório da energia cinética e energia potencial das partículas que compõem o sistema. A variação da energia interna é calculada por meio da fórmula:

$\Delta U = U_f - U_i$, onde temos:

ΔU = variação de energia interna, medida em Joule [J].

U_f = energia interna final, medida em Joule [J].

U_i = energia interna inicial, medida em Joule [J].

Lembramos que a energia interna muda de acordo com a variação da temperatura do sistema termodinâmico, sendo que à medida que aumentamos a temperatura, a energia interna aumenta, mas se diminuirmos a temperatura, a energia interna diminuirá.

“A energia interna de um sistema tende a aumentar se acrescentamos energia na forma de calor e a diminuir se removemos energia na forma de trabalho realizado pelo sistema” (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2011).

Então qualquer corpo que possui matéria tem energia interna, porém esta energia pode variar em quantidade através do aumento da sua energia interna, no trabalho de medição das grandezas físicas de temperatura e calor, vamos calcular a grandeza condutividade dos materiais. Ao fornecer um fluxo de calor constante ocorrerá uma variação de temperatura, até que a mesma não varie ao longo do tempo, neste ponto chegamos ao processo de temperatura estacionária, onde a temperatura não varia com o tempo, mais sim pela posição onde ela é tomada.

O ponto de vista microscópico é baseado no conhecimento da estrutura da matéria onde temos a cinética molecular, Daniel Bernoulli (1700-1782) propôs que o calor não é uma substância e sim o resultado do movimento atômico. Nos sólidos não metálicos, a condução térmica acontece por meio de vibrações ao longo da rede cristalina do material. Nos sólidos metálicos, os melhores condutores

de calor, a condução ocorre tanto pela propagação de vibrações da rede cristalina como pela movimentação caótica de elétrons livres.

A temperatura é decorrente da agitação das partículas de um corpo. Quanto maior a temperatura, mais as moléculas e átomos vibram. Essas vibrações são transmitidas a outros átomos e moléculas, que elevam sua atividade e dissipam maior energia térmica, ou seja, o calor é conduzido entre as partículas.

A condutividade térmica (representado pela letra k) quantifica a habilidade dos materiais de conduzir energia térmica. Estruturas feitas com materiais de alta condutividade térmica conduzem energia térmica de forma mais rápida e eficiente do que estruturas análogas feitas com materiais de baixa condutividade térmica. Desta maneira, materiais com alta condutividade térmica são utilizados em dissipadores térmicos e materiais de baixa condutividade térmica são utilizados na confecção de objetos que visam a prover isolamentos térmicos. Esta propriedade, que é uma propriedade do material e não do objeto, guarda íntima relação com a equação de transporte de Boltzmann.

Desenvolvida originalmente por Ludwig Boltzmann, esta equação é uma ferramenta poderosa para a análise dos fenômenos de transporte envolvendo gradientes de temperatura e densidade. Essa equação é muito importante na física estatística e amplamente aplicada no estudo de sistemas fora do equilíbrio termodinâmico.

Geralmente, a equação de transporte de Boltzmann é utilizada no estudo do transporte de calor e carga, fornecendo informações sobre propriedades de transporte como condutividade elétrica e térmica, viscosidade, etc. Para um sistema com função de distribuição de partículas $f(\vec{x}, \vec{p}, t)$ sujeita a uma força externa \vec{F} , a equação de Boltzmann é dada por:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\vec{p}}{m} \frac{\partial f}{\partial \vec{x}} + \vec{F} \frac{\partial f}{\partial \vec{p}} = \left. \frac{df}{dt} \right|_{col}$$

Onde o termo da direita descreve o efeito das colisões entre as partículas do sistema.

A partir da equação de Boltzmann também é possível calcular o fluxo de calor em um sólido que surge devido a uma diferença de temperatura, e a condutividade térmica.

Começamos o estudo do calor lembrando que o mesmo é uma energia térmica em movimento, ou seja, este está em transito constante, pois bem, quando falamos de calor pensamos em variação de temperatura, a propriedade mais evidente da temperatura é o fato de que as temperaturas de corpos vizinhos tendem a se igualar, lei zero da termodinâmica.

Dois corpos em contato tendem a se igualar em temperatura, onde corpo mais quente perdera parte do seu calor, se esfriando e o outro ganhara calor tendo assim um processo inverso de aquecimento, esta transmissão se processa até que os corpos estejam na mesma temperatura, quando esta dinâmica se cessa e a transmissão do calor se encerra, então os corpos terão sua temperatura igualada. A transferência de energia através de colisões atômicas ocorre o tempo todo porque os átomos estão sempre em movimento.

A radiação térmica é gerada a partir dos movimentos de vibração dos átomos e moléculas, os constituintes básicos de toda a matéria. Diferentemente dos outros processos de transferência de calor, como a condução e a convecção, a irradiação pode ocorrer sem que haja a necessidade de um meio físico para a condução de calor, e isso só é possível porque as ondas eletromagnéticas podem propagar-se no vácuo. O Sol irradia uma grande quantidade de energia para a Terra.

Quando absorvida, a radiação térmica aquece os corpos. No entanto, existem corpos que conseguem absorvê-la com maior facilidade. Fatores como a cor, a composição química e os níveis de energia dos átomos afetam diretamente a capacidade de absorção de calor. Um exemplo disso são as roupas escuras, que se aquecem mais rapidamente do que as roupas claras, graças à sua maior capacidade de absorver calor quando irradiadas (HELERBROCK, 2023).

Então quando dois corpos com temperatura diferentes são colocados em contato, este fenômeno acontece no meio material ou na ausência de matéria, o calor passa do corpo mais quente para o corpo mais frio. O movimento da energia em forma de calor acontece o tempo todo, em todo lugar. É impossível impedir que o calor se movimente, o que podemos fazer no máximo a tornar esta transmissão do calor mais lenta possível, através de materiais isolantes ou maus condutores de calor. O calor flui através dos processos de condução, convecção e ou irradiação (radiação).

Na condução a energia térmica é passada de molécula para molécula, ao longo do corpo, até que todo ele fique em equilíbrio térmico, atingindo assim a mesma temperatura. É imperativo lembrar que a transmissão de calor sempre se processa do corpo mais quente para o corpo mais frio, ou seja, do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura, sempre nesta direção.

Quando a transferência de calor ocorrer em um meio estacionário, que pode ser em um corpo sólido e em virtude do gradiente de temperatura, verifica-se que a transmissão de calor ocorreu por condução. No processo de transmissão do calor temos que considerar que deva existir entre os corpos ou entre os meios físicos uma diferença de temperatura, ou seja, uma variação de temperatura diferente de zero entre os mesmos, caso contrário o processo de transmissão de calor cessa e os corpos entram em equilíbrio térmico.

A transmissão de calor por convecção é aquela que acontece através de camadas de fluido, onde a camada de fluido mais próximo a fonte de calor, ao receber o calor, se aquece e tem a sua densidade alterada, ficam mais leve e migrando para uma posição superior.

Já a camada superior mais fria e densa desce, provocando um movimento da camada de fluido, este processo ocorre de maneira cíclica, à circulação do líquido se torna constante provocando com isso o aumento da temperatura do fluido, este processo ocorrerá até que a massa fluida atinja a temperatura do calor latente, estabilizando a temperatura até que ocorra a total mudança de estado físico do fluido.

O método de transmissão de calor por irradiação (ou radiação) é aquele que não precisa de nenhum meio físico para que o processo de aquecimento dos corpos ocorra, o calor consegue transitar ondas sem a necessidade de meios físicos, aquecendo os corpos dos objetos próximos a fonte radiante. Um exemplo clássico de transmissão por irradiação é o que acontece entre o Sol e a Terra, a mesma recebe o calor do sol, calor este que migra para terra em uma zona do espaço onde não existe matéria e sim um vácuo espacial. A irradiação (ou radiação) térmica é uma das formas de propagação do calor que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas, chamada de ondas de calor ou calor radiante.

Uma edificação de elevada inércia térmica proporcionará uma diminuição nas amplitudes térmicas internas e um atraso térmico no fluxo de calor devido a sua alta capacidade de armazenar calor, fazendo com que o pico de temperatura interna apresente uma defasagem e um amortecimento em relação ao externo. Este fator de amortecimento propiciará uma edificação que consumirá menor gasto de energia para atender um conforto térmico aos seus usuários.

Vários autores caracterizam a inércia térmica tendo como referência o comportamento térmico de componentes construtivos, utilizando como referência fluxos de calor ou temperaturas superficiais dos componentes (MACKEY; WRIGHT, 1943; DREYFUS, 1960; OLGAYAY, 1963; RIVERO, 1985; GONZALO, 2003; DIM, 2008). Nesses casos, é observado o “amortecimento” da amplitude térmica de fluxos de calor ou da amplitude térmica entre temperaturas superficiais internas e externas ao longo de um dia. Alguns autores abordam também o “atraso”, ou seja, o período de tempo decorrido entre os momentos de ocorrência dos valores máximos de temperatura nas duas superfícies.

A inércia térmica tem sido utilizada milenarmente como estratégia de condicionamento passivo de edifícios visando à obtenção de condições térmicas adequadas ao ser humano, em especial, em locais com alta amplitude da temperatura do ar. Edifícios com alta inércia térmica geralmente

possuem componentes construtivos com alta capacidade térmica, com o uso de materiais com valores elevados de calor específico e massa específica, bem como grandes espessuras.

No Brasil, há vários exemplos de edificações antigas com alta inércia térmica, vários deles remontando ao século XVIII, com influência da arquitetura colonial, construídas com técnicas tradicionais da época, com uso de elementos como tijolo cerâmico maciço, pedra, taipa de pilão, taipa de mão, adobe ou pau a pique (RODRIGUES, 1979).

5.1 CONDUTIVIDADE TÉRMICA

A condutividade é representada pela taxa de variação da transmissão de energia no decorrer do tempo, sob a forma de calor, através de um material. A unidade que expressa a grandeza física da condutividade pelo Sistema Internacional (SI) é a watt por metro e por kelvin (W/m.K).

Com as medições das variações térmicas nos tijolos, decorrente do fornecimento de calor por uma fonte quente, possibilitou obtermos a condutividade térmica dos mesmos, permitindo a verificação do processo de condução do calor através de um regime estacionário de temperatura, ou seja, no experimento descartaremos as rampas de aumento de temperatura e assim nesse regime de temperatura estacionário verificamos o seu desempenho quanto à condutividade térmica.

Para quantificar a facilidade com a qual um meio particular conduz calor, empregamos a condutividade térmica (k) também conhecida como constante ou coeficiente de condutividade. A condutividade térmica k é definida como "a quantidade de calor, Q , transmitida num tempo (t) através de uma espessura (l), em uma direção normal à superfície de área (A), devido à diferença de temperatura (DT).

Na equação abaixo apresenta o fluxo de calor que é dado em relação a fluxo igual à quantidade de calor dividido pela variação do tempo, porém podemos expressar o fluxo através de outra equação equivalente onde o fluxo de calor é igual ao produto da condutividade térmica pela área e pela variação de temperatura, o resultado é dividido pelo comprimento do material.

A condução, de calor é regida pela lei de Fourier (1822):

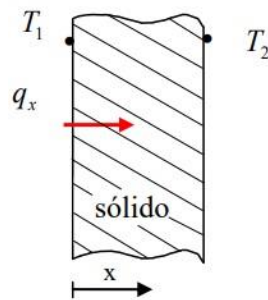


Figura 1. Mostra a transmissão do calor na direção x.

$$q_x \propto A \frac{dT}{dx}$$

Onde:

A: área perpendicular ao fluxo de calor x q

T: temperatura é a condutividade ou condutibilidade térmica do $\propto A$ constante de proporcionalidade material, k, ou seja:

$$q_x = kA \frac{dT}{dx}$$

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{-k \cdot A \cdot \Delta T}{l}$$

A fórmula acima expressa o fluxo de calor que percorre um material sólido:

k: Condutividade térmica do material W/m.K ou W/m.°C;

A: Área da seção transversal normal à direção do fluxo de calor, m²;

dT/dx: Gradiente de temperatura na direção X, m.

O valor do coeficiente **k** é elevado para os bons condutores de calor; e baixo para os maus condutores, conhecidos como isolantes térmicos.

O fator de proporcionalidade k (condutividade térmica) que surge da equação de Fourier é uma propriedade de cada material e vem exprimir à maior ou menor facilidade que o material apresenta à condução de calor.

A lei da condução térmica, também conhecida como lei de Fourier, estabelece que o fluxo de calor através de um material é proporcional à variação de sua temperatura em relação ao tempo, é uma tentativa do material chegar a seu equilíbrio térmico, onde a energia recebida é transmitida a todas as partículas que compõem o corpo sólido.

Ao estudarmos a transmissão de calor por condução vimos que esse processo de transferência de calor ocorre através de todo o material através da troca de energia entre moléculas próximas, ou seja, entre moléculas adjacentes. O mecanismo de condução ocorre quando moléculas ou átomos que estão a uma temperatura mais elevada transferem parte da energia para as moléculas ou átomos próximos que estão com baixa energia, alterando assim, o seu nível interno de energia.

Assim, dizemos que a energia se transfere da região de alta temperatura para a região de baixa temperatura, sempre nesta direção. A condução térmica visa o equilíbrio térmico do material, até que todo o material esteja na mesma temperatura, conciliando com a lei zero da termodinâmica (equilíbrio térmico).

A lei de Fourier constitui uma lei empírica, isto é, estabelecida a partir da experiência e descreve a teoria da condutibilidade calorífica em regimes de temperaturas estacionárias e variáveis e resolve diversos problemas: parede, barra, esfera, entre outros. Um problema de transferência de calor é dito unidimensional se a temperatura no meio varia em apenas uma direção, com a variação de temperatura e transferência de calor nas outras direções sendo desprezíveis ou zero.

A taxa de condução de calor por um meio em uma determinada direção (por exemplo, na direção x) é proporcional à diferença de temperatura ao longo do meio e à área normal à direção da transferência de calor, no entanto, é inversamente proporcional à distância naquela direção (Mendonça, 2005).

A condutibilidade térmica de um material é uma propriedade física desse material e existem tabelas que indicam os valores de k para os diferentes materiais. Abaixo temos as tabelas que mostram a condutividade dos materiais de alvenaria e de algumas argilas.

Descrição / Composição	Condutividade Típica (k em $W/m.K$)
Argamassa de cimento	0,72
Tijolo comum	0,72
Tijolo fachada	1,3
Tijolo cerâmico três furos	0,69
Bloco de concreto com dois furos	1,1
Bloco de concreto com furos preenchidos	0,60
Reboco de cimento e areia	0,72

Reboco de gesso branco e areia	0,22
Placa de gesso ou reboco	0,17
Compensado de madeira	0,12

Tabela2- Propriedades termo físicas de material comum (INCROPERA et al.,2008).

As argilas podem de acordo com a sua composição, possuir valores de condutividade térmica diferentes, conforme apresentado na tabela abaixo.

Argila Normal	Argila Ecológica	Argamassa
0,53	0,34	0,8

Tabela 3 – Coeficientes de condutividade térmica (GRILO et Al., 2012).

Observando o esquema abaixo, verificamos que a temperatura varia linearmente por toda a barra, ou seja, de uma extremidade a outra. Sendo assim, o fluxo de calor ϕ através da barra é proporcional à área de seção A da barra e à diferença de temperatura, $\Delta T = T_f - T_i$, entre as duas extremidades; e inversamente proporcional ao comprimento, l , da barra. Veja a figura abaixo:

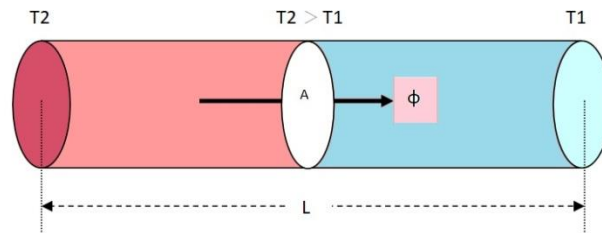


Fig. Mostra o Fluxo de Calor em um corpo sólido.

Figura 2.Sentido do fluxo de calor em um corpo sólido.

Podemos definir matematicamente que o fluxo de calor nada mais é do que o quociente do calor Q transmitido de uma face para outra, num intervalo de temperatura. Então, o fluxo de calor é definido por:

$$k = \frac{q' \cdot l}{\Delta T}$$

O fator de proporcionalidade k (condutividade térmica) que surge da equação de Fourier é uma propriedade de cada material e vem exprimir à maior ou menor facilidade que o material apresenta à condução de calor.

Os valores numéricos de k variam em extensa faixa dependendo da composição química, estado físico e temperatura dos materiais. Quando o valor de k é elevado o material é considerado condutor térmico e, caso contrário, isolante térmico. Com relação à temperatura, em alguns materiais como o alumínio e o cobre, o k varia muito pouco com a temperatura, porém em outros, como alguns aços, k varia significativamente com a temperatura. Nestes casos, adota-se comumente como solução de engenharia um valor médio de k em um intervalo de temperatura.

6. MATERIAIS E MÉTODO

No experimento a transmissão do calor nos tijolos se dará pela radiação térmica produzido por uma lâmpada de 250 watts de potência, emitindo luz vermelha, onde a variação de temperatura entre as faces do tijolo será medida servindo como insumo para o cálculo da condutividade dos materiais. No processo de transmissão de calor em corpos sólidos, ocorre uma variação na temperatura entre as extremidades do mesmo provocado pelo calor gerado pela da fonte quente, fazendo com que este processo seja contínuo e propicie uma medição da transmissão do calor de forma continua.

Então realizamos o experimento com os tijolos comum, de oito furos, de cimento e de adobe, montamos duas caixas de compensado em madeirit (30x40x30cm), separados por uma folha de madeirit com uma cava para encaixar os tijolos. Estas têm a finalidade de isolar o ambiente interno do ambiente externo em relação aos tijolos e a fonte geradora de calor, para assim fazer as medições em um sistema fechado, onde ao aplicar o calor, verificamos como se processa a transmissão do mesmo, analisando os dados de medição e extraíndo dos dados adquiridos as informações necessárias para o cálculo da condutividade térmica dos materiais mencionados.

No experimento, foi aplicado nos materiais um fluxo de calor proveniente de uma fonte térmica, provocando-nos uma variação de temperatura pelo processo de irradiação/convecção gerada pela fonte quente. A lâmpada de infravermelho de 250 watts de potência (utilizada em estufa), situado no centro da caixa de baixo (caixa 30 x 40 x30 cm).



Figura 3. Lâmpada de infravermelho.



Figura 4. Lâmpada no centro da caixa isolada do ambiente externo.

Com a lâmpada sendo a provedora do calor ao conjunto, esperamos gerar um regime de transmissão de calor que não depende do tempo, somente da posição a ser medida. Observamos que a condução do calor em um regime de estado estacionário é a forma de condução que ocorre quando a diferença de temperatura permite condução é constante de modo que após um tempo de equilíbrio, a distribuição espacial das temperaturas (campo de temperatura) no objeto condutor não mais se altera, este processo acontecerá no experimento para avaliação da condutividade térmica em tijolos.

Quando o calor transmitido em um sistema não depende do tempo. A temperatura ou fluxo de calor mantém-se inalterado ao longo do tempo na transferência através de um meio sólido, embora estes variem de uma posição a outra.

6.1 INSTRUMENTOS

Para a realização do experimento foi utilizado os seguintes instrumentos: termopar, peltier, fluxímetro, data logger, potenciômetro e lâmpada de infravermelho de 250watts e ainda no processo foi utilizado uma fonte chaveada para fornecimento de energia para o *data logger*, bem como uma bateria de 12 V, instalada em serie para suprir o conjunto de medição e guarda dos dados.

6.1.1 Termopar Tipo T (Cobre – Constantan)

Um termopar é um sensor utilizado para a medição da temperatura. Ele é constituído de dois metais distintos, unidos por suas extremidades e ligados a um termômetro termopar ou outro dispositivo com capacidade termopar, na outra extremidade. Quando configurado corretamente, termopares podem fornecer medições de temperatura em uma ampla faixa de temperatura.

Um termopar é também conhecido por sua versatilidade como sensor de temperatura, portanto, normalmente são utilizados em uma ampla gama de aplicações - desde um termopar de uso industrial à um termopar regularmente encontrado em utilitários e aparelhos regulares.



Figura 5. Cabo para Termopar Duplex Tipo T com Isolamento (OMEGA, 2015).

Devido à sua vasta gama de modelos e especificações técnicas, é extremamente importante entender a sua estrutura básica, como um termopar funciona, suas escalas para melhor determinar qual é o tipo certo e material do termopar para sua aplicação. Um termopar é um sensor de temperatura que transmite uma tensão elétrica que depende da temperatura.

Ele é adequado, ao contrário termorresistências, para medições em altas temperaturas (até 1.700 °C). Uma outra vantagem é o pequeno diâmetro do termopar com isolamento mineral. Propriedades do termopar tipo **T**, cobre–constantan, utilizados no experimento:

Termoelemento positivo (TP): Cu100%;

Termoelemento negativo (TN): Cu55%Ni45%;

Faixa de utilização: -270°C a 400°C;

f.e.m. produzida: -6,258 mV a 20,872 mV;

Características: Pode ser utilizado em atmosferas inertes, oxidantes ou redutoras. Devido à grande homogeneidade com que o cobre pode ser processado, possui uma boa precisão. Em temperaturas acima de 300°C, a oxidação do cobre torna-se muito intensa, reduzindo sua vida útil e provocando desvios em sua curva de resposta original.

6.1.2 Faixas de Utilização e Limites de Erro Para O Termopar Tipo T

Termopar	Nome do Termoelemento	Faixa de Utilização (°C)	Limite de Erro	
			Padrão	Especial
Tipo T	(+) Cobre	0 a 370	±1°C ou ±0,75%	±0,5°C ou ±0,4%
	(-) Constantan	-200 a 0	±1°C ou ±1,5%	–

Figura 6. Faixa de utilização e precisão do termopar tipo T (OMEGA, 2015).

6.1.3 Peltier

O peltier é uma pastilha termoelétrica e são cooler termoelétrico com a capacidade de aquecer e esfriar objetos em minutos com a simples alimentação dos seus terminais. Ao inverter a alimentação o efeito será o contrário, ou seja, um lado da pastilha Peltier esfriará e outro aquecerá, esta propriedade do peltier permite uma vasta aplicação.

Especificações técnicas:

Modelo	TEC1-12706
Faixa de temperatura	-30 a 70 Celsius
Tensão de operação	0 - 15,2 VDC
Corrente de operação	0 - 6A
Potência máxima	60 W
Comprimento do fio	30 cm
Dimensões	40x40 x 3,8 mm

Tabela 4– Pastilha Termoelétrica Peltier TEC1-12706 (AUTOCORE, 2023)

Pastilhas Peltier possuem em sua composição materiais semicondutores tipo-n e tipo-p, agrupados em pares. Quando a corrente elétrica passa por estes materiais ocorre o aquecimento na “junta quente” e o resfriamento na “junta fria”.

6.1.4 Placa de Fluxo de Calor Hukseflux

A placa de fluxo de calor HFP01 (também chamado sensor de fluxo de calor) oferece uma solução para medir fluxos de calor. HFP01 é o sensor para medição de fluxo de calor no solo, bem

como através de paredes e envelopes de construção. Ao utilizar um corpo composto de cerâmica-plástica a resistência térmica total é mantida pequena.



Figura 7.HFP01 (HUKSEFLUX BRASIL, 2023).

O HFP01 mede o fluxo de calor através do objeto no qual está incorporado ou no qual está montado, em W/m^2 . O sensor no HFP01 é uma termopilha. Esta termopilha mede a diferença de temperatura no corpo composto de cerâmica e plástico do HFP01. Uma termopilha é um sensor passivo; não requer energia.

Usar o HFP01 é fácil. Ele pode ser conectado diretamente a sistemas de registro de dados comumente usados. O fluxo de calor em W/m^2 é calculado dividindo a saída HFP01, uma pequena tensão, pela sensibilidade. A sensibilidade é fornecida com HFP01 em seu certificado de calibração. Um local de medição típico é equipado com dois ou mais sensores.

PARÂMETRO DA PLACA DE	FLUXO DE CALOR
FAIXA DE PARÂMETRO	-2000 a + 2000 W/m^2
SENSIBILIDADE NOMINAL	$60 \times 10^{-6} V/(W/m^2)$
FAIXA DE TEMPERATURA	-30 A +70 °C
SENSOR DE RESISTÊNCIA TÉRMICA	$<6,25 \cdot 10^{-3} K m^2 / W$
ALCANCE	-2.000-2.000 W/m^2
RASTREABILIDADE DE CALIBRAÇÃO	PL, ISO 8302 / ASTM C177
PRECISÃO TÍPICA ESPERADA (12h totais)	dentro +5% / -15% em solo mais comum, dentro de 5% / -5% em paredes

Tabela5 – Parâmetro de sensores e seus fluxos de calor (HUKSEFLUX BRASIL, 2023).

6.1.5 Data Logger Cr1000

O CR1000 consiste em um módulo de medição e controle e um painel de fiação. Este registrador de dados usa um teclado/display externo e fonte de alimentação. O baixo consumo de energia permite que o CR1000 opere por longos períodos com uma bateria recarregada com um painel solar, eliminando a necessidade de energia CA. O CR1000 suspende a execução quando a alimentação primária cai abaixo de 9,6 V, reduzindo a possibilidade de medições imprecisas.

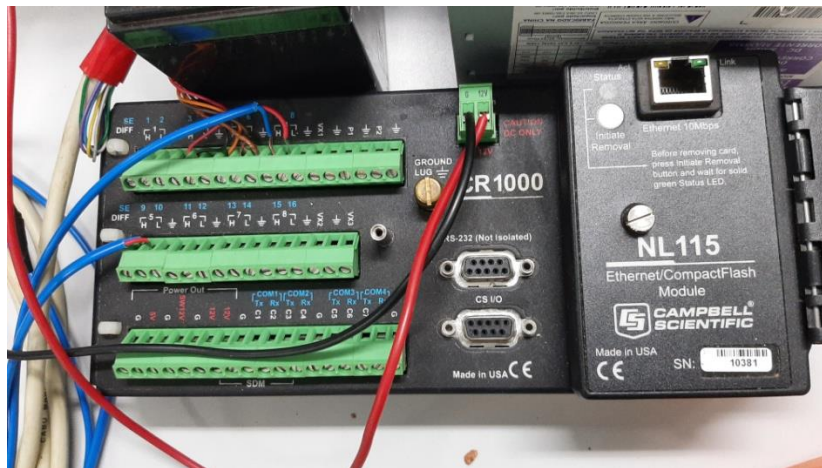


Figura 8. Data loggers do experimento serie 10381.

O módulo do CR1000 mede sensores, conduz comunicações diretas e telecomunicações, reduz dados, controla dispositivos externos e armazena dados e programas em armazenamento não volátil integrado. Os componentes eletrônicos são blindados contra RF e protegidos contra falhas pelo recipiente selado de aço inoxidável. Um relógio alimentado por bateria garante uma cronometragem precisa. O módulo pode fornecer simultaneamente funções de medição e comunicação. A linguagem de programação integrada semelhante ao BASIC suporta processamento de dados e rotinas de análise.

O painel de fiação inclui 12 V selecionáveis, aterramento analógico redistribuído (dispersos entre canais analógicos em vez de agrupados), bloco de terminais desconectável para conexões de 12 V, centelhadores de tubos de gás e alimentação de 12 V no pino 8 para alimentar nossos modems telefônicos da série COM e outros periféricos. O módulo de controle se desconecta facilmente do painel de fiação, permitindo a substituição em campo sem religar os sensores.

Originalmente, o CR1000 padrão tinha 2 MB de armazenamento de dados/programas e uma versão opcional, o CR1000-4M, tinha 4 MB de memória. Em setembro de 2007, o padrão CR1000 passou a ter 4 MB de memória, tornando o CR1000-4M obsoleto. Data loggers que possuam módulo

com número de série maior ou igual a 11832 terão memória de 4 MB. Os registradores de dados de 4 MB também terão um adesivo na caixa informando “4M Memory”.

O CR1000 utilizado no experimento possui número de série 10381, portanto possui uma memória de 2 MB de armazenamento de dados.

6.1.6 Potenciômetro

Os potenciômetros e os resistores têm a finalidade de limitar o fluxo de corrente elétrica em um circuito, a diferença é que o potenciômetro pode ter sua resistência ajustada e o resistor comum não pode, pois ele possui um valor de resistência fixo.

Os potenciômetros de fio são mais comumente utilizados onde há maior dissipação de potência. O potenciômetro auxilia o controle da resistência de um componente por meio do fácil acesso ao cursor e facilidade na montagem. No experimento o potenciômetro teve a função do ajuste da irradiação emitida pela lâmpada de infravermelho, controlando a variação da temperatura sempre que for preciso, aumentarmos ou diminuirmos a intensidade na emissão dos raios infravermelhos da lâmpada.

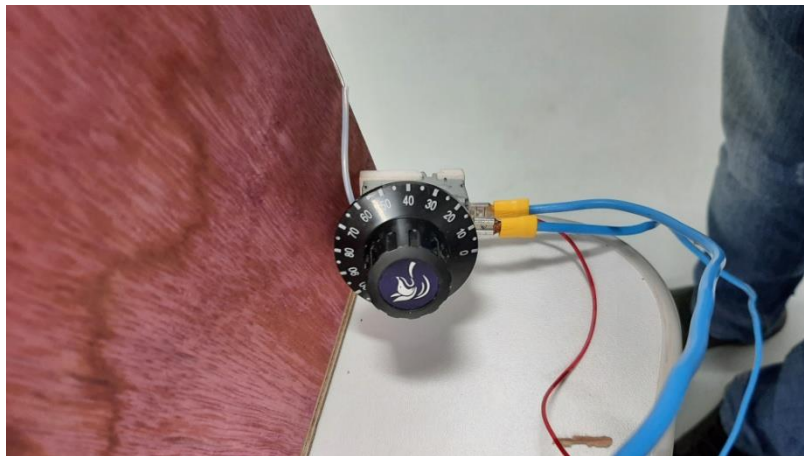


Figura 9. Potenciômetro de ajuste da intensidade luminosa.

Para o controle da intensidade da lâmpada foi inserido um potenciômetro, com a função de controle da temperatura no momento da aquisição dos dados pelos equipamentos peltier, termopar e fluxímetro.

6.1.7 Lâmpada de Infravermelho

A lâmpada infravermelha é uma lâmpada que emite radiação infravermelha, o seu refletor espelhado contido em seu interior concentra os raios infravermelhos em uma direção definida, reduzindo perdas de calor no meio ambiente. É utilizada em processos de secagem e aquecimento em indústria, agricultura e pecuária.

Usadas para aquecimento de granjas e estufas, na pintura automotiva e outros. A sua potência determinará a intensidade da radiação emitida, da distância da instalação, do meio ambiente, e das características físicas do material exposto, no caso em estudo os tijolos. Esta lâmpada também é indicada no processo de aquecimento, destilação, degelo, evaporação, carbonização, pasteurização, polimerização, etc.

No processo de medição de temperatura e do fluxo do calor em materiais sólidos através de um sistema em regime estacionário, foi estabelecido critérios de calibração válidos, para que o objeto de estudo reflita os valores de condutividade traçados na determinação dos materiais mais condutivos ou menos condutivos através do calculado da sua condutividade térmica.

Para que ter uma medição com os valores validados, além do aparato do sistema montado para a captação dos valores de temperatura e calor, foi realizada a calibração dos equipamentos de medição. A calibração comparou os valores dos Peltier com os valores de medição obtidos pelo Fluxímetro, ou seja, calibramos os Peltier usando como referência o Fluxímetro.

As figuras abaixo mostram como foi preparado os tijolos para a medição das temperaturas e do fluxo de calor.



Figura 10. Mostra a posição da lâmpada de infravermelho no centro da caixa de madeirit.

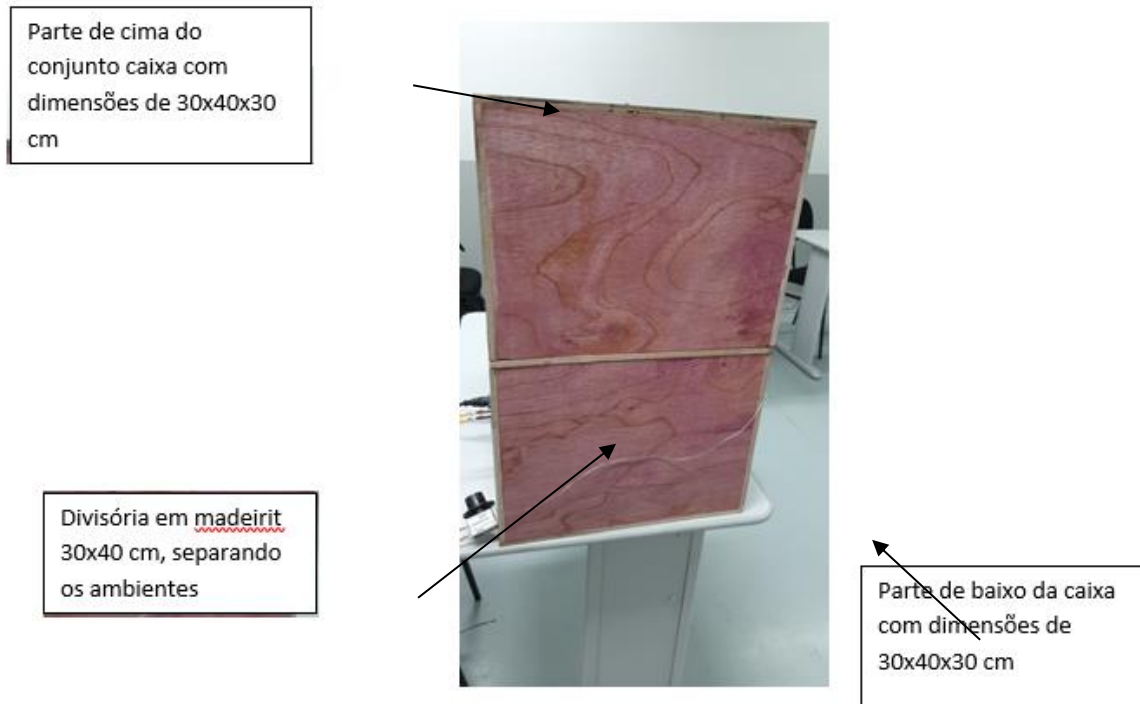


Figura 11. Mostra a fechada pronta para a medição.

O conjunto onde estarão contidos os tijolos e os equipamentos para as medições, são duas caixas de madeirit com dimensões de 30x40x30 cm, sendo uma sobreposta sobre a outra e no meio temos um tampão de mesmo com as dimensões de 30 x40 cm.

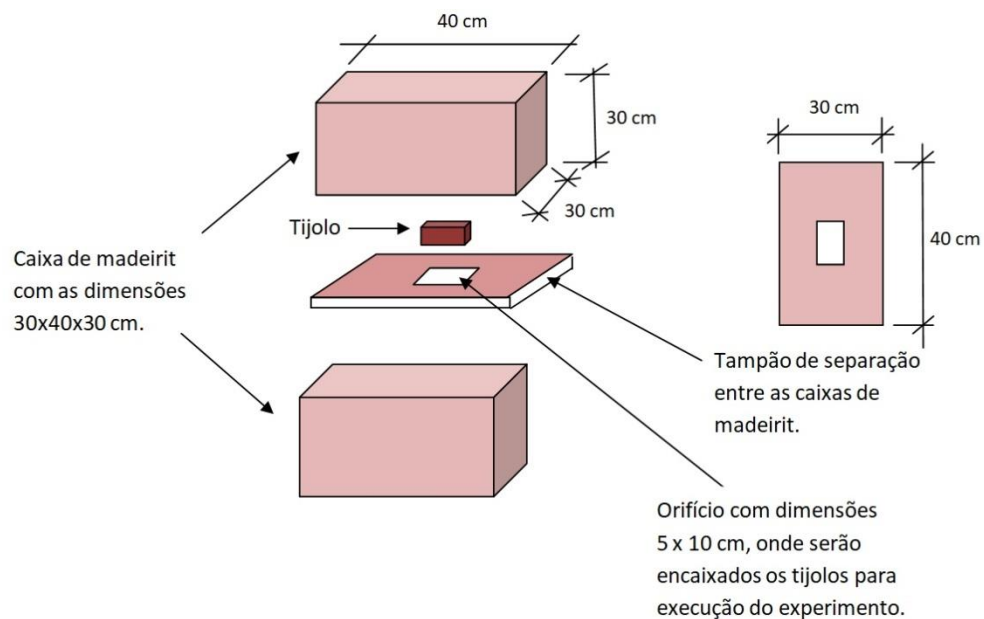


Figura 12. Esquema de montagem das caixas.

A figura 12 mostra com detalhes as partes que compõem o ambiente de medição, caixa esta que proporcionará uma menor interferência externa na aquisição das medições de temperatura e do fluxo de calor.

A lâmpada de infravermelho de 250 watts, foi instalada no centro da caixa inferior, com a função de ser a fonte quente, que fornece o calor para os tijolos, sendo os mesmos fixados na placa de separação entre as duas caixas, sofreram uma variação de temperatura medida entre as faces inferiores e superiores do objeto ensaiado.

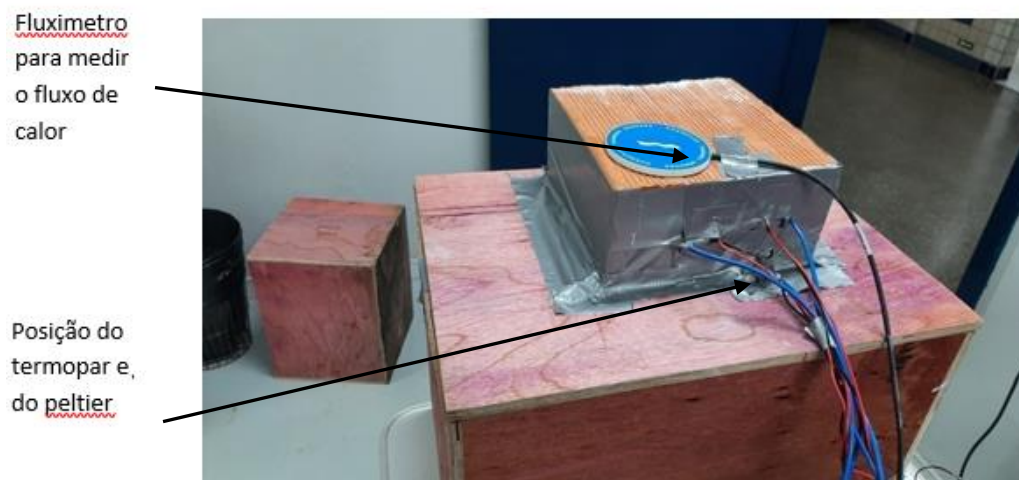


Figura 13. Mostra o tijolo cerâmico sendo preparado para a medição.

A figura 13 mostra o tijolo cerâmico de oito furos sendo preparado para ser submetido a uma fonte quente.



Figura 14 e 15. Mostra o tijolo concreto sendo preparado para a medição.

As figuras 14 e 15 mostram o tijolo de concreto sendo preparado para ser submetido a um fluxo de calor, onde mediremos as variações de temperaturas nas faces do mesmo.

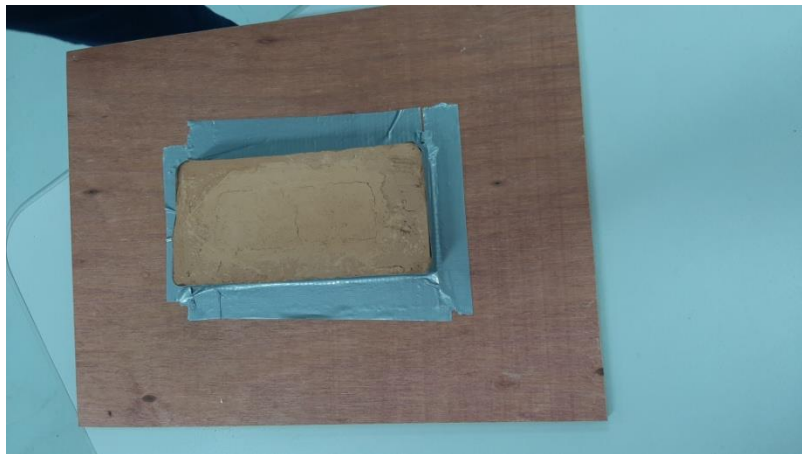
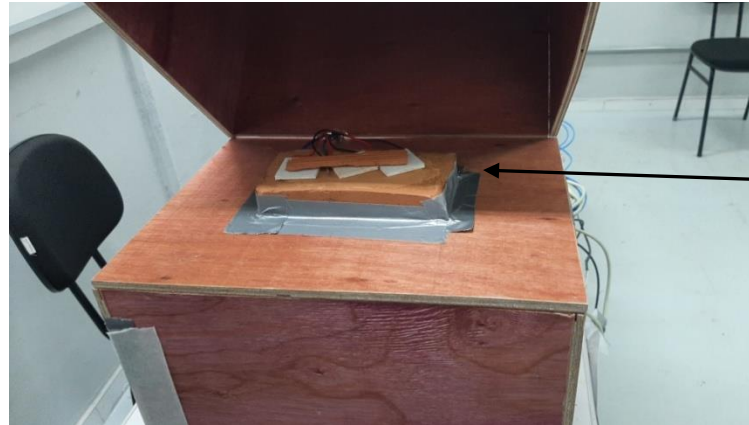
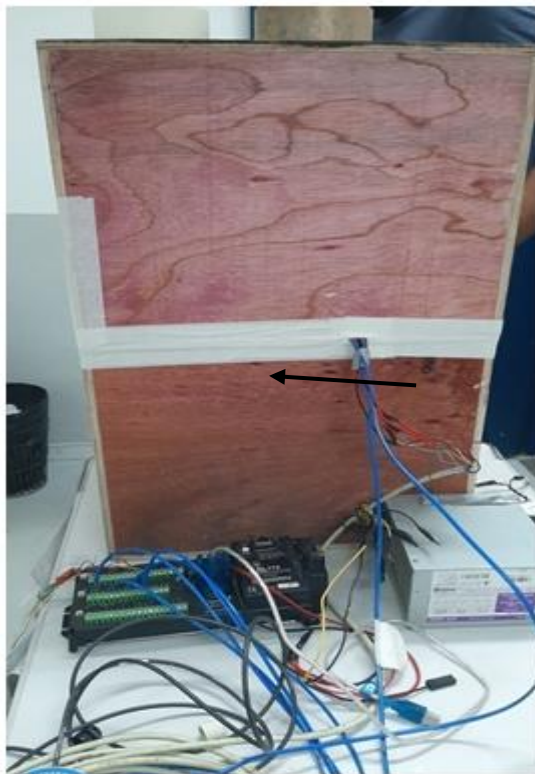


Figura 16. Mostra o tijolo maciço sendo preparado para a medição.



Peltier e
termopar,
preparados
para a medição

Figura 17. Mostra o tijolo maciço sendo preparado para a medição, em fase de fechamento.



Fios dos
instrumentos de
medição, caixa
fechadas e lacradas

Figura 18. Mostra o tijolo maciço sendo preparado para a medição, caixa lacrada.

As figuras 16, 17 e 18 mostram o tijolo maciço sendo preparado para a medição de variação de temperatura quando submetido a uma fonte de calor.

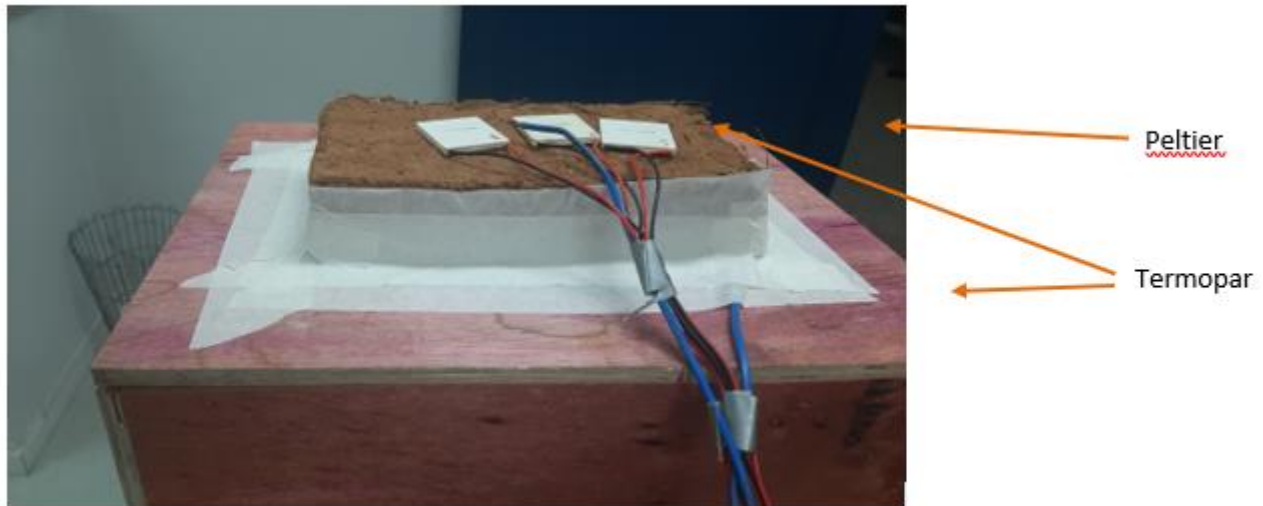


Figura 19. Tijolo de adobe sendo preparado para medição.

Após a preparação, fechamento e lacre da caixa, ligado o conjunto de medição, ajustamos o potenciômetro para início das medições. A cada minuto o data *logger* realiza uma medição e guarda a informação na sua memória, com as capturas dos pontos de leitura a cada minuto, descartamos as medidas iniciais para evitar as rampas de subida de temperatura.

6.2.A CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

A calibração de equipamentos e instrumentos pode ser definida como o processo de medição ou, ainda de comparação, entre os valores apresentados na medição e os valores de referência, podendo desta forma garantir que as informações que foram coletadas no experimento sejam confiáveis e possíveis de auditar e validar.

No experimento foram utilizados equipamentos para medição da transmissão do calor e para medição da variação de temperatura no material que envolve o experimento, ou seja, a condução do calor em meio sólido, a caixa utilizada são de madeirit de 8 mm com as dimensões de 30x40x30 cm, em duas partes e separados por uma por uma placa de madeirit de 30x40 cm, nesta placa temos uma abertura onde os tijolos são fixados, para entrar em contato com o ambiente aquecido por uma lâmpada de infravermelho de 250 watts de potência, a função desta é de aquecer o ambiente e de fornecer um fluxo de calor constante, propiciando assim um aquecimento nos tijolos.



Figura 20. Placa de porcelanato e areia para calibração.

A figura 20 mostra uma placa de porcelanato submetida à fonte quente, na parte superior utilizamos areia para fazer a isolação do sistema e assim fazer as medições de variação de temperatura e o fluxo de calor.

Para o ajuste da calibração dos peltiers, utilizamos os valores ajustados do peltier 02, pois a regressão aplicada aos valores do referido peltier mostrou a melhor concordância com os valores de regressão dos dados do fluxímetro, conforme mostrado nas figuras abaixo.

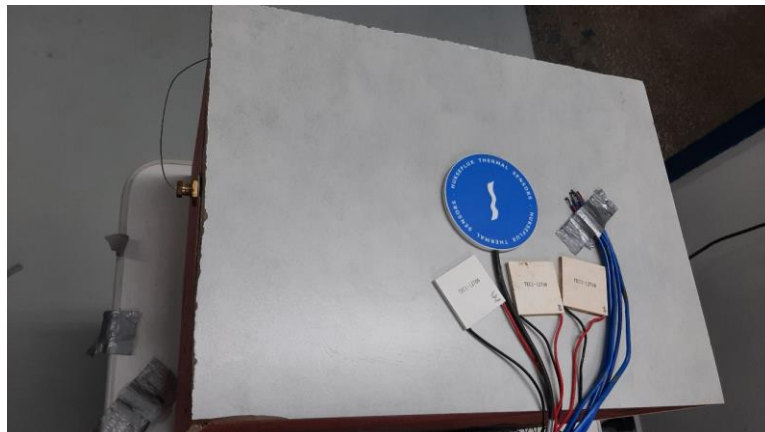


Figura 21. Equipamentos utilizados no processo de medição.



Figura 22. Equipamentos com a placa de porcelanato e areia para calibração.



Figura 23. Areia em cima do porcelanato para realização da calibração.

As figuras 22 e 23 mostraram materiais utilizados para realizar da calibração dos peltier, nelas temos a aplicação de areia em cima do porcelanato, onde estão posicionados os equipamentos de medição.

Foi utilizado no experimento três peltier (pastilha peltier tensão de 12 v e variação térmica de -30° a 70° C - TEC1-12706), um fluxímetro, utilizado para calibração dos peltier, e quatro termopares para a aquisição das temperaturas. A calibração dos equipamentos de medição é importante, pois busca de forma consistente a comparação da veracidade dos resultados obtidos pela aquisição dos dados de medição dos equipamentos padrão, que devem ser comparados com os dados adquiridos através dos equipamentos em uso, estes devem estar em perfeito funcionamento.

6.3 GRÁFICO DAS REGRESSÕES LINEARES FLUXIMETRO X PELTIER

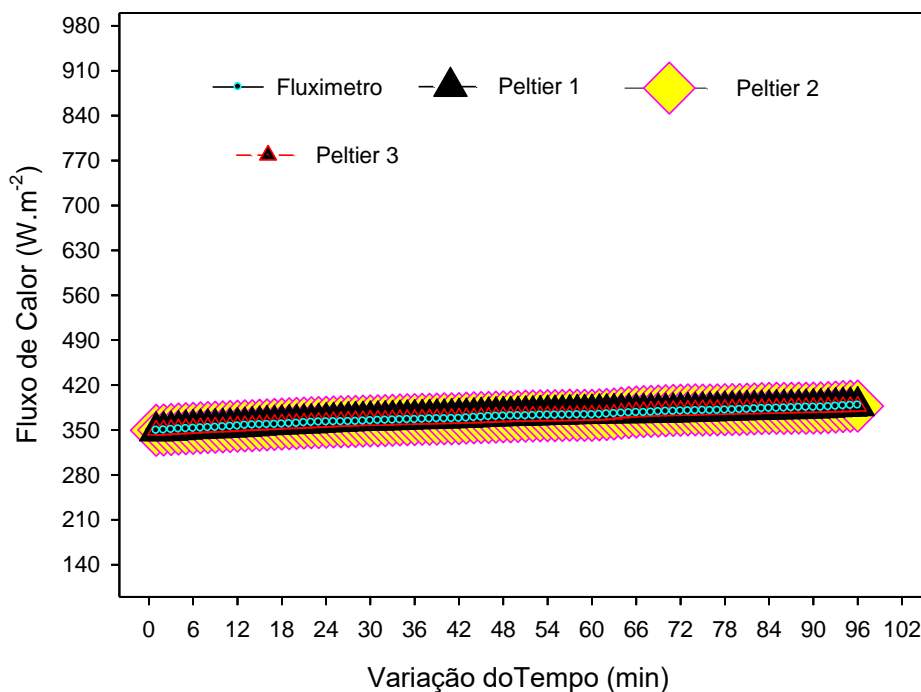


Gráfico 1. Peltiers 1, 2 e 3 calibrados em relação ao Fluxímetro (Wm^{-2}). Os dados foram obtidos a cada minuto, durante 95 minutos de medição.

Regressão linear é o método com o qual se encontra a reta que melhor descreve a relação entre os dados. A reta é criada com uma equação linear $y = b + m_1 * x_1 \dots m_n * x_n$, onde b será o coeficiente linear, e m o coeficiente angular, sendo um para cada variável preditora existente nos dados. Chama-se de variável dependente ou variável endógena, y, aquela cujo comportamento será explicado pela

variável x , chamada de variável explicativa, regressor ou variável independente. A ideia aqui é bastante simples; é, praticamente, estimar a equação de uma reta, como a do Gráfico 2, 3 e 4. Tal equação é descrita como $y=a+bx$. O ponto central é, portanto, encontrar valores para a e b . Em outras palavras, queremos estimar a inclinação da reta utilizando uma amostra aleatória de dados de x e y . A inclinação nos fornece o efeito em y da mudança de uma unidade em x .

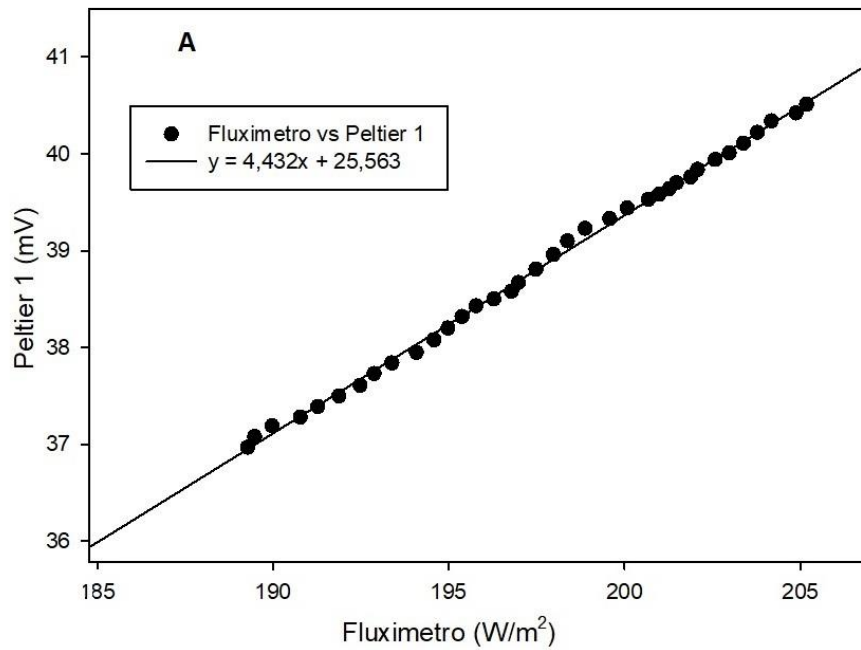


Gráfico 2. Regressão linear dos dados do fluxímetro versus peltier 1, a regressão gerou a equação $y = 4,432x + 25,563$.

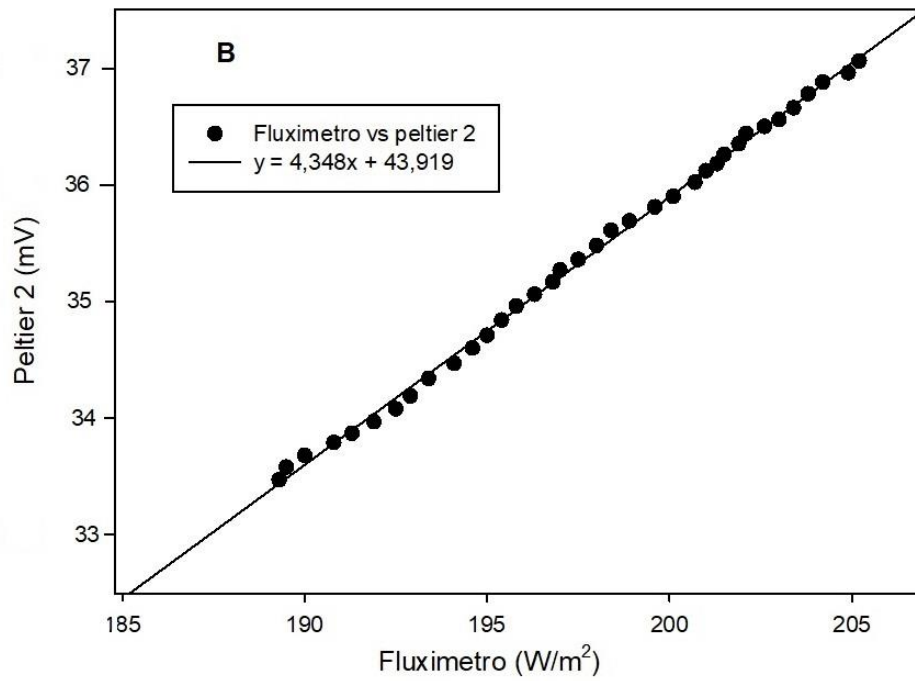


Gráfico 3. Regressão linear dos dados do fluxímetro versus peltier 2, a regressão gerou a equação $y = 4,348x + 43,919$.

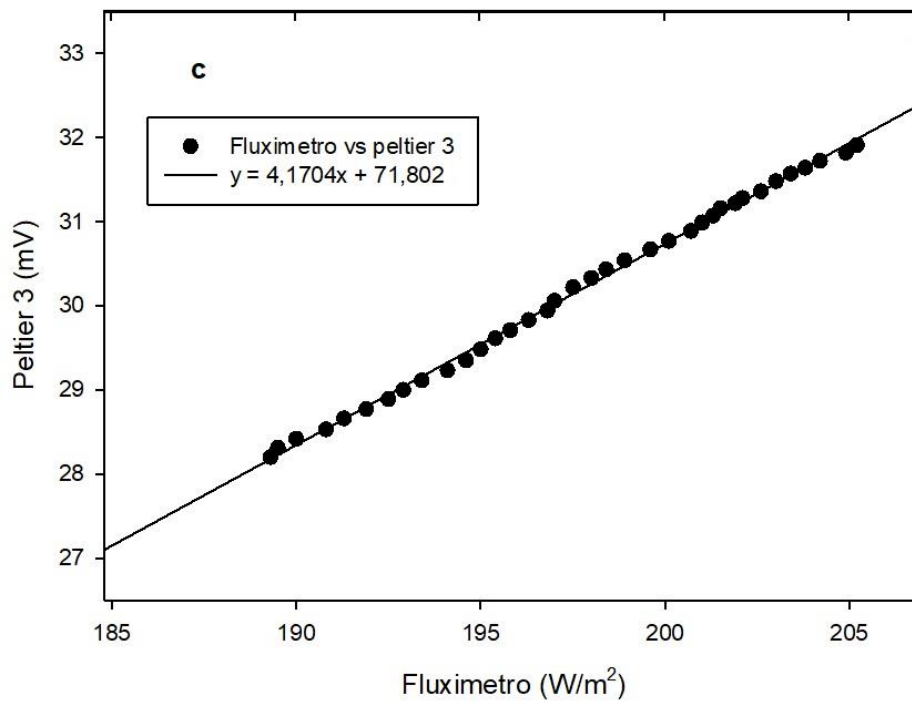


Gráfico 4. Regressão linear dos dados do fluxímetro versus peltier 3, a regressão gerou a equação $y = 4,1704x + 71,802$.

6.4 CÁLCULO DO R^2

O cálculo do R^2 representa a proporção da variabilidade na variável resposta explicada pela variável preditora ou variável explanatória, também conhecido como coeficiente de determinação, que sempre aumenta quando você adiciona um preditor ao modelo, mesmo quando não existe uma verdadeira melhoria ao modelo. O valor de R^2 ajustado incorpora o número de preditores no modelo para ajudá-lo a escolher o modelo correto. O R^2 varia entre 0 e 1, por vezes sendo expresso em termos percentuais. Nesse caso, expressa a quantidade da variância dos dados que é explicada pelo modelo linear. Assim, quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo linear, ou seja, melhor ele se ajusta à amostra. R^2 ajustado é uma medida de qualidade de ajuste (precisão do modelo) corrigida para modelos lineares. Os valores de R^2 que calculamos foram de $R^2 = 0,990$ para o fluxímetro verso peltier 1, de $R^2 = 0,995$ do fluxímetro verso peltier 2 e de $R^2 = 0,995$ do fluxímetro verso peltier 3. Porém na análise dos dados obtivemos melhor valor calculado aplicando a equação de regressão do fluxímetro versus peltier 2.

Para a escolha dos valores de correção para a calibração baseadas nos dados da regressão linear temos a análise do R^2 , onde o valor é uma medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada. Conforme a análise realizada chegamos ao valor da equação de calibração com valores para as medições adquiridas pelos Peltier 2, onde temos a equação abaixo:

$$y = 4,348x + 43,919$$

Após a calibração dos equipamentos realizamos as medições pelos termopares, peltier e fluxímetro, aplicando a regressão linear, obtendo-se assim a equação da reta de calibração, onde os dados são corrigidos e aplicados no cálculo da condutividade térmica, os termopares foram os equipamentos que registrou a variação de temperatura e o peltier e o fluxímetro realizou a medição do fluxo de calor no material estudado.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a calibração realizou-se as medições da variação de temperatura nas faces inferior e superior dos tijolos, medindo também o fluxo de calor fornecido pela fonte quente, os dados foram registrados a cada minuto no “DATA LOGGER CR1000”, na sequência os dados foram adquiridos e baixados no programa do equipamento, convertidos para uma massa de dados de leitura. Após o tratamento dado as grandezas térmicas medidas, analisou-se as informações, convertendo as grandezas envolvidas e aplicando a fórmula do fluxo de calor de Fourier.

Na equação final abaixo temos o mecanismo para cálculo dos valores da condutividade dos tijolos medidos, onde o fluxímetro e o peltier fizeram a medição do fluxo do calor e os termopares fazendo a leitura da variação de temperatura nos dois ambientes da caixa, separados pelo tijolo e aplicando a fórmula abaixo.

$$k = \frac{q \cdot l}{\Delta T}$$

Dos valores resultantes das medições das grandezas chegamos ao valor da condutividade média dos materiais estudados, que determinou o material de menor condutividade térmica expressa pelo valor da grandeza condutividade (k), abaixo espessamos o resultado obtido de cada material.

Tijolo de Concreto:

O tijolo de concreto ensaiado com as dimensões de 118x220 mm e espessura de 85 mm, obteve um valor médio de condutividade $k = 0,64$ W/K.m, com um intervalo de confiança de 95%, temos o valor calculado de uma variação 0,005 W/K.m em relação à média. Em comparação com os valores encontrados de outras literaturas temos a informação da condutividade de bloco de concreto com dois furos com uma condutividade de 1,1 W/K.m e o mesmo tijolo preenchido com argamassa e de 1,75 W/K.m na tabela 1 temos o valor do concreto maciço 5cm, já o valor de condutividade calculado é de 0,60 W/K.m, comparando os valores encontrados lado a lado constatamos que o valor medido foi inferior ao material concreto maciço e ao tijolo de bloco de concreto de dois furos, tal diferença se reside na composição e formato das peças.

Tijolo Cerâmico de oito furos:

O tijolo cerâmico ensaiado com as dimensões 9x19x19 cm, através de sua medição de e analisando os valores obtidos chegamos a um valor médio de condutividade de 0,78 W/K.m, com um intervalo de confiança de 95%, temos o valor calculado de uma variação 0,004 W/K.m em relação a

média. Avaliando valor encontrado de 0,78 W/K.m com que temos na literatura verificamos do tijolo cerâmico, encontramos valor de 0,69 W/K.m, para este comparativo temos uma diferença de 0,9 W/K.m distante do valor encontrado no ensaio do experimento, tal diferença reside na diferença da composição da matéria prima (a argila) que fora confeccionado os tijolos.

Tijolo de Comum maciço:

Após a aquisição dos dados de leitura do fluxo de calor através do tijolo maciço e realizarmos o cálculo o cálculo da condutividade térmica chegamos a valores de 0,55 W/K.m, com um intervalo de confiança de 95%, temos o valor calculado de uma variação 0,002 W/K.m em relação à média. Analisando as literaturas entramos os valores de 0,72 W/K. m (INCROPERA et al., 2008) e de 0,53 W/K.m (GRILLO et al.,2012), onde apresentam uma diferença nos valores dos autores, porém pelo experimento está próximo do valor apresentado pelo trabalho de Grilo et al. (2012), mostrando que os valores medidos estão corretos.

Tijolo de Adobe:

Para os tijolos de adobe, foi realizado medição em três tipos de traços, o primeiro tijolo de adobe é o comum sem a adição de nenhum percentual de fibra, o segundo tijolo é com 5% de fibra de coco em sua composição e o terceiro tijolo com 10% de fibra.

Os valores médios medidos de k para uma espessura de 5,73 cm, o tijolo de Adobe para 5% de fibra foi um $k = 0,73$ W/K.m, com um intervalo de confiança de 95%, temos o valor calculado de uma variação 0,002 W/K.m em relação à média. Para os valores médios medidos para o tijolo a 10% de fibra temos um $k = 0,22$ W/K.m, com um intervalo de confiança de 95%, temos o valor calculado de uma variação 0,001 W/K.m em relação à média.

Constatou-se que os valores de condutividade foram menores para o tijolo de adobe que tem na sua composição uma quantidade maior de fibra de coco, mostrando que quanto maior a quantidade de fibra menor será a condutividade do mesmo.

8. CONCLUSÃO

Uma edificação é composta por vários tipos de matérias e estruturas que podem influenciar diretamente ou indiretamente no desempenho térmico da instalação como um todo. O ambiente que tenha na sua concepção e construção um foco na sustentabilidade será um ambiente que consuma menos recursos energéticos e naturais, para torná-lo confortável para as pessoas que as ocuparão, todavia, vale lembrar que outros elementos construtivos tais como o piso, o telhado e os revestimentos ajudarão os tijolos a prover um ambiente termicamente confortável.

Reforçamos a importância da escolha do material ideal na construção das edificações para a região de Cuiabá, pois temos grandes amplitudes térmicas ao longo do ano, com altas temperaturas durante o dia, e assim orientamos aos construtores e projetista que avaliem com cuidado o tijolo que fará parte da sua alvenaria, pois esta escolha é primordial para se ter um ambiente mais sustentável e agradável para a sensibilidade humana.

O desempenho térmico dos tijolos analisados no experimento comprovou que o mais apropriado para a aplicação em alvenarias de fechamento seria o tijolo de adobe com sua composição de 10% de fibra de coco com um coeficiente de condutividade de $k = 0,22 \text{ W/K.m}$. Na continuidade da avaliação os tijolos comerciais obtiveram um bom resultado, sendo do tijolo maciço comum um k de $0,55 \text{ W/K.m}$ e seguido do tijolo de concreto com um k de $0,64 \text{ W/K.m}$.

Os materiais que apresentaram um bom desempenho térmico o tijolo de adobe, o tijolo maciço comum e o tijolo de concreto, possibilitaram uma alvenaria com menor amplitude térmica, ou seja, uma menor variação de temperatura, pois ao apresentar uma baixa condutividade, atrasara a condução do calor no horário de alta temperatura e maior intensidade luminosa. O atraso no aquecimento do ambiente proporcionara um menor gasto de energia para termos conforto térmico apropriado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKIBARI, H; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*. V.70.N.3. *Solar Energy*. 295-310, 2001.
- AUTOCORE. Pastilha Termoelétrica Peltier TEC1-12706. 2023. Disponível em: <<https://www.autocorerobotica.com.br/pastilha-termoeletrica-peltier-tec1-12706>>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.
- BARTHOLOMEI, C. L. B. Influência da vegetação no conforto térmico urbano e no ambiente construído. 2003. Campinas: Universidade Estadual de Campinas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil).
- COLARES, Rodrigo Silva. Avaliação da eficiência térmica da alvenaria de vedação utilizando tijolos cerâmicos. Teófilo Otoni: Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Dissertação de Mestrado em Tecnologia, Ambiente e Sociedade (PPGTAS). 2017.
- CORREIA, M. Universalidade e diversidade da arquitetura de terra. In: terra: formado construir. Arquitetura, antropologia, arqueologia. 10. Porto: FLUP/ DCTP/ESG. 2006. Disponível em <<https://www.aldeia.org/portal/user/documentos/MCorreia.pdf>> Acesso em: 6abr.2020.
- DREYFUS, J. *Le Confort L'habitat en Pays Tropical*. Paris: Eyrolles. 1960.
- GOMES, Emmily Gércica Santos; MELO, Aluísio Braz de. Caracterização do fluxo de calor em alvenaria com blocos EVA. V. 9. N. 4. Campinas: ARC Pesq. Em Arquit. e Constr. P. 290. Dez. 2018.
- GONZALO, G. E. *Manual de arquitectura bio climática*. 2 Ed. Tucumán: Nobuko / O'Gorman. 2003.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, JEARL. *Fundamentos de Física – Gravitação, Ondas e Termodinâmica*. V.2. 9. Ed. Editora LTC. 2011.
- HELERBROCK, Rafael. "Irradiação térmica": Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/irradiacao-termica.htm>>. Acesso em 15 de janeiro de 2023.
- INCROPERA, FRANK P.; DEWITT, David P.; BERGMAN, Theodore L.; LAVINE Adrienne S. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 6 Ed. Rio de Janeiro: Editora LTC. 2008.
- GRILO, Inês; SANTOS, Paulo; GOUVEIA, João Paulo; JULIO, Eduardo Nuno Brito Santos. Avaliação do desempenho mecânico e térmico de alvenaria cerâmica aditivada com lamas residuais de alumínio. 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268981366_Avaliacao_do_Desempenho_Mecanico_e_T

- ermico_de_Blocos_de_Alvenaria_Ceramica_Aditivada_com_Lama_Residual_do_Tratamento_de_Aluminio>. Acesso em: 20 de dezembro de 2022.
- KOUAKOU, C. H. E.; MOREL, J. C. Strength and plastic properties of non-industrial building materials manufactures with clay as a natural binder. *Appl. Clay Sci.* V.44. P.27-34. 2009.
- LOURENÇO, PAULO B. Dimensionamento de Alvenarias Estruturais. Braga: Universidade do Minho. Relatório 99-DEC/E-7. 1999.
- MACKEY, C. O.; WRIGHT, L. T. Summer Comfort Factors as Influenced by Thermal Properties of Building Materials. *American Society of Heating and Ventilating Engineers Journal.* 49. 1943.
- MINKE, G. Building with Earth. Design and technology of a Sustainable Architecture. Boston: Birkhauser. 2012.
- OLGYAY, V. Design with Climate. New Jersey: Princeton University Press. 1963.
- OMEGA. Cabo para Termopar Duplex Tipo T com Isolamento. 2015. Disponível em: <https://br.omega.com/pptst/GG_T_TC_WIRE.html>. Acesso em: 18 de março de 2023.
- ORDENES, Martín; PEDRINI, Aldomar; GHISI, Enedir; LAMBERTS, Roberto. Metodologia utilizada na elaboração da biblioteca de materiais e componentes construtivos brasileiros para simulações no VISUALDOE-3.1. Florianópolis: Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE), Núcleo de Pesquisa em Construção (NPC), Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal de Santa Catarina. 2003.
- PAGNOSSIN, E. M.; BURIOL, G. A.; GRACIOLLI, M. A. Influência dos elementos meteorológicos no conforto térmico humano: bases biofísicas. *Disciplinar um Scientia.* V.2.N.1. Santa Maria: Série: Ciên.Biol. e da Saúde. P.149-161.2001.
- PEREIRA, J. R.; OLIVEIRA, Fábio; PEREIRA, Thiago; COSTA Adriana. Indicadores pedológicos aplicados ao estudo das técnicas de construção em terra crua no período colonial: estudo de caso na capela São José, Ouro Preto, MG. V.9. N. 1. *Rev. Geog. Acadêm.* P. 88-100.2015.
- REISFILHO, N. G. Quadro da Arquitetura no Brasil. São Paulo: Perspectiva, 2000.
- RIVERO, R. Arquitetura e Clima. 2 Ed. Porto Alegre: D.C. Luzzato, 1985. 240 p.
- RODRIGUES, J. W. Documentário Arquitetônico. Belo Horizonte: Editora Itatiaia; São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 1979.
- SANTOS, D. P.; BESSA, S. A. L. O uso do Adobe no Brasil: uma revisão de literatura. *Mix Sustentável.* V. 6. N. 1. Florianópolis: Mix Sustentável. P. 53-66. Mar. 2020.
- SANTOS, Joaquim César Pizzutti dos; KOTHE, Kamila Kappaun; MOHAMAD, Gihad; VAGHETTI, Marcos Alberto Oss; RIZZATTI, Eduardo. Comportamento térmico de fechamentos

em alvenaria estrutural para a Zona Bioclimática 2 brasileira. V. 20. N.4. Rio de Janeiro: Matéria (Rio J.). Oct./Dec. 2015.

VILELA, D. P.; SANT'ANNA, D. O. Avaliação qualitativa do uso de tijolos de solo-cimento com incorporação de resíduos da fibrade bambu produzidos no município de Itajubá (MG). V.2.N.1. Itajubá: Rev Cient.Prog.Pós-Grad.Design.P.41-54.2019.