

**UNIEVANGÉLICA**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**AMANDA CRISTINA HOLANDA DE SOUZA**

**STEFÂNEA ALICE DE SOUSA**

**DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES: ENSAIOS**

**UTILIZANDO PLACA ARDUINO**

**ANÁPOLIS / GO**

**2017**

**AMANDA CRISTINA HOLANDA DE SOUZA  
STEFÂNEA ALICE DE SOUSA**

**DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES: ENSAIOS  
UTILIZANDO PLACA ARDUINO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

**ORIENTADOR: LEANDRO DANIEL PORFIRO**

**COORIENTADOR: AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA  
TEODORO DA SILVA**

**ANÁPOLIS / GO: 2017**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, AMANDA CRISTINA HOLANDA de/ SOUSA, STEFÂNEA ALICE de

Desempenho térmico em paredes: Ensaio utilizando placa arduino.

82 P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Arduino

2. Calor

3. Conforto térmico

4. Parede

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, Amanda Cristina Holanda de; SOUSA, Stefânea Alice de. Desempenho térmico em paredes: Ensaio utilizando placa arduino. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 78 p. 2017.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Amanda Cristina Holanda de Souza

Stefânea Alice de Sousa

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Desempenho térmico em paredes: Ensaio utilizando placa arduino.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2017

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Amanda Cristina Holanda de Souza

E-mail: amandacouti@hotmail.com

---

Stefânea Alice de Sousa

E-mail: stefaneaalicedesousa@gmail.com

**AMANDA CRISTINA HOLANDA DE SOUZA**  
**STEFÂNEA ALICE DE SOUSA**

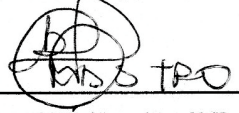
**DESEMPENHO TÉRMICO EM PAREDES: ENSAIOS**  
**UTILIZANDO PLACA ARDUINO**


**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE**  
**ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS**  
**NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

**APROVADO POR:**

  
\_\_\_\_\_  
**LEANDRO DANIEL PORFIRO, Mestre (UniEvangélica)**  
**(ORIENTADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**AGNALDO ANTÔNIO MOREIRA TEODORO DA SILVA, Esp. (UniEvangélica)**  
**(COORDINADOR)**

  
\_\_\_\_\_  
**MOEMA PATRÍCIA BARROS DE CASTRO, Mestra (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

  
\_\_\_\_\_  
**ROGÉRIO SANTOS CARDOSO, Mestre (UniEvangélica)**  
**(EXAMINADOR INTERNO)**

**DATA: ANÁPOLIS/GO, 29 de Novembro de 2017.**

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, fé e força para superar as dificuldades e ter me sustentado em todos os momentos da minha vida.

Aos meus professores de todo curso que tanto me fizeram crescer, em especial, o meu orientador, Leandro Porfiro e coorientador Agnaldo Antônio, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho, e que tanto contribuíram para que fosse alcançado com êxito.

À minha família, pais e irmãs, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação foi que deu em alguns momentos, a esperança para seguir. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. Obrigada a vocês por tanto carinho.

Ao meu namorado Dhiego Chaves, meu melhor amigo, pessoa com quem amo partilhar a vida. Com você tenho me sentido mais viva de verdade. Agradeço a você com muito amor, pelo carinho, a paciência, toda força, solidariedade e por sua capacidade de me trazer paz na correria de cada semestre e nas minhas dificuldades, e por sempre ter acreditado em mim, no meu sucesso de forma muito especial.

A minha amiga Stefânea Alice, por todo o período de faculdade compartilhando momentos de aflições e alegrias, tenho absoluta certeza que nos fez crescer muito, e principalmente por ter se empenhado tanto para a conclusão e sucesso deste trabalho.

Ao Curso de Engenharia Civil e os meus colegas, com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram a melhor experiência da minha formação acadêmica.

E por fim, a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

Amanda Cristina Holanda de Souza

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pelo dom da vida, que sempre iluminou meu caminho dando forças para superar as dificuldades.

Aos professores, em especial ao orientador Leandro Porfiro e coorientador Agnaldo Antônio, que sempre estiveram dispostos a ajudar e contribuindo com meu crescimento.

Aos meus pais, Alice e Celso; e irmãos, Marcelly e Wanderson; que sempre acreditaram no meu potencial e incentivaram sempre a buscar meus sonhos.

Ao meu namorado, Vinícius, melhor amigo e companheiro, pelo carinho e paciência. por sempre me apoiar em todos os momentos.

E todos que contribuíram para meu crescimento e formação.

Stefânea Alice de Sousa

## RESUMO

É notável a preocupação existente do homem em relação às crises ambientais e suas constantes buscas para solucionar esses problemas, seja de forma plausível ou não, já que ele é o maior causador de problemas ecológicos. Lembrando que, um dos maiores aceleradores dessa crise é a urbanização crescente que há muito tempo vem se intensificando nas cidades, desencadeando principalmente mudanças climáticas, por uma série de fatores, devido a grandes aglomerações de pessoas, e com isso, os reflexos de seus comportamentos diários. Sabe-se que o grande gasto energético, como consequência do efeito acima, é feito por refrigeração e calefação de ambientes, tendo a importância a partir disso o estudo sobre transferência de calor, já que a sociedade busca hoje, qualidade de vida e ao mesmo tempo economia em seus gastos. Se seguir com vigor a NBR 15220 (ABNT, 2003) - Desempenho térmico em edificações; e NBR 15575 (ABNT, 2013) - Edificações habitacionais -Desempenho; pode-se obter melhores conceitos, nos novos projetos, levando em conta o fator calor solar. Ou seja, com a realização do experimento utilizando uma placa arduino, o qual por ela foi medida e emitida temperaturas de determinadas paredes em 2 (dois) dias. E com um software obteve-se o horário e temperatura em Grau Celsius, seguido de um estudo também em equações com dados quantitativos, produzindo um memorial de cálculo, para que pudessem ser feitas as devidas comparações. Com os resultados prontos, observou-se que a parede contendo vermiculita em seu reboco, apresentou melhores requisitos de conforto térmico, principalmente no horário mais quente do dia. Conclui-se que seguindo as recomendações das normas da ABNT par construções é possível obter uma isolação térmica satisfatória, principalmente em dias mais quentes, economizando em aparelhos para refrigeração.

**PALAVRAS-CHAVE:** Mudanças climáticas. Conforto térmico. Paredes planas. Transferência de calor.

## ABSTRACT

Men's concern about environmental crises and their constant search for solving these problems, whether plausible or not, is noteworthy since it is the major cause of ecological problems. Recalling that one of the greatest accelerators of this crisis is the growing urbanization that has been intensifying in cities for a long time, triggering mainly climate changes, due to a series of factors, due to large crowds of people, and with this, the reflexes of their behaviors daily. It is known that the great energy expenditure, as a consequence of the above effect, is done by refrigeration and heating of environments, having the importance from this the study on heat transfer, since the society seeks today, quality of life and the same time saving on your expenses. If you follow with vigor the NBR 15220 (ABNT, 2003) - Thermal performance in buildings; and NBR 15575 (ABNT, 2013) - Residential buildings - Performance; you can get better concepts in new projects, taking into account the solar heat factor. That is, with the realization of the experiment using an arduino board, which by it was measured and emitted temperatures of certain walls in 2 (two) days. And with a software the time and temperature were obtained in Degree Celsius, followed by a study also in equations with quantitative data, producing a calculation memorial, so that the comparisons could be made. With the results ready, it was observed that the wall containing vermiculite its plaster presented better thermal comfort requirements, especially in the hottest time of day. It is concluded that following the recommendations of the ABNT standards for constructions it is possible to obtain a satisfactory thermal insulation, especially on hotter days, saving on refrigeration appliances.

**KEY WORDS:** Climate changes. Thermal comfort. Flat walls. Heat transfer.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pompeia .....	21
Figura 2 - Machu Picchu .....	22
Figura 3 - Central Park Lapa .....	23
Figura 4 - Pirâmides de Guizé .....	24
Figura 5 - Farol de Alexandria .....	24
Figura 6 - Coliseu .....	24
Figura 7 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal .....	26
Figura 8 - Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical .....	26
Figura 9 - Camadas de revestimento em argamassa.....	31
Figura 10 - Construções da antiguidade .....	32
Figura 11 - Transmissão de calor por condução.....	37
Figura 12 - Representação da convecção na água.....	39
Figura 13 - Ondas de calor .....	39
Figura 14 - Parede de espessura L.....	42
Figura 15 - Representação do Fluxo de Calor através de uma parede .....	42
Figura 16 - Mapa das zonas bioclimáticas brasileiras .....	44
Figura 17 - Placa Arduino Uno.....	53
Figura 18 - Sensor de Temperatura para Arduino .....	53
Figura 19 – Entrada galpão.....	54
Figura 20 - Paredes 1 e 2 .....	55
Figura 21 - Paredes 3, 4 e 5 .....	56
Figura 22 - Placa Arduino utilizada no experimento.....	57
Figura 23 - Lado interno da parede 1 .....	58
Figura 24 - Lado externo da parede 1.....	58
Figura 25 - Instalação do sensor Arduino no local da medição.....	58
Figura 26 -Vermiculita .....	59
Figura 27 - Autoras da pesquisa .....	59
Figura 28 – Gráfico do sensor 1 da parede 1 .....	61
Figura 29 – Gráfico do sensor 2 da parede 1 .....	62
Figura 30 - Gráfico do sensor 3 da parede 1.....	62
Figura 31 – Gráfico do sensor 1 da parede 5.....	63
Figura 32 - Gráfico do sensor 2 da parede 5.....	64

Figura 33 - Gráfico do sensor 3 da parede 5.....	64
Figura 34 - Dimensões das paredes 1 e 5 .....	66

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das argamassas .....	28
Quadro 2 - Classificação das argamassas segundo as funções na construção.....	29
Quadro 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão .....	47
Quadro 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	47
Quadro 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão .....	48
Quadro 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.....	48

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Transmitância térmica das paredes externas .....	49
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas .....	49
Tabela 3 - Condições de ventilação para câmaras de ar .....	50
Tabela 4 - Resistência térmica superficial interna e externa .....	51
Tabela 5 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura maior que a espessura.....	51
Tabela 6 - Absortância (a) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade (e) para radiações e temperaturas comuns (ondas longas) .....	52
Tabela 7 - Diferenças de temperaturas das paredes.....	65

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

$\Delta\theta$	Diferença de temperatura
A	Área transversal ao fluxo de calor
$A_1$	Área da seção 1 (um) do tijolo
$A_2$	Área da seção 2 (dois) do tijolo
$A_3$	Área da seção 3 (três) do tijolo
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CT	Capacidade térmica
cm	Centímetro
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
dv	Diferencial de volume
e	Espessura
EPS	Poliestireno Expandido
GEAR	Grupo de estudos em Arduino
H	Hora
I	Intermediário
J	Joule
k	Condutividade térmica
L	Comprimento longitudinal
M	Mínimo
m	Metro
ML	Mercado livre
Nat Geo	National Geographic
NBR	Norma Brasileira
°C	Grau Celsius
OMS	Organização Mundial da Saúde
p	Pressão
P1	Parede 1 - Parede com reboco simples
P2	Parede 2 - Parede dupla com lã de vidro entre os blocos cerâmicos
P3	Parede 3 - Reboco contendo cortiça
P4	Parede 4 - Reboco contendo EPS
P5	Parede 5 - Reboco contendo vermiculita

q	Fluxo de calor
Q	Quantidade de calor
R	Resistência térmica
S	Superior
s	Segundo
Sensor 1	Sensor localizado na parte externa da parede
Sensor 2	Sensor localizado na parte interna da parede
Sensor 3	Sensor localizado na parte interna da parede

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVOS .....	18
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 METODOLOGIA .....	19
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2 ALVENARIA .....</b>	<b>21</b>
2.1 HISTÓRICO .....	21
2.2 COMPONENTES DA ALVENARIA .....	25
2.3 BLOCOS CERÂMICOS.....	25
2.4 CONCEITO DE ARGAMASSA .....	26
2.4.1 Classificações das argamassas.....	27
2.5 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO.....	29
2.5.1 Propriedades da argamassa no estado fresco.....	30
2.6 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO.....	31
2.7 QUANTO AOS MATERIAIS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO .....	32
2.7.1 Cimento .....	32
2.7.2 Lã de vidro.....	34
2.7.3 Vermiculita.....	34
2.7.4 Poliestireno expandido (EPS).....	34
2.7.5 Cortiça .....	35
2.7.6 Areia.....	35
2.7.7 Cal.....	35
<b>3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....</b>	<b>36</b>
3.1 TEMPERATURA E CALOR .....	36
3.2 TROCAS DE CALOR EM PAREDES .....	41
<b>4 CONFORTO TÉRMICO.....</b>	<b>44</b>
4.1 CARACTERÍSTICAS DA ZONA ESPECÍFICA DO TRABALHO .....	45

4.2	PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA NBR 15575 (ABNT, 2013)	45
4.3	QUANTO A SUA PARTE GERAL	46
4.3.1	Quanto ao critério de valores máximos de temperatura	46
4.3.1.1	Requisitos durante verão	46
4.3.1.2	Requisitos durante o inverno	47
4.3.2	Níveis de desempenho	47
4.3.2.1	Valores máximos de temperatura	48
4.3.2.2	Valores mínimos de temperatura	48
4.4	QUANTO A SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS	49
4.4.1	Adequação de paredes externas	49
4.4.1.1	Transmitância térmica de paredes externas	49
4.4.1.2	Capacidade térmica de paredes externas	49
4.5	PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA NBR 15220 (ABNT, 2003)	50
4.5.1	Resistência térmica	50
4.5.1.1	Câmara de ar	50
4.5.1.2	Resistências térmicas superficiais	50
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA DOS ENSAIOS</b>	<b>53</b>
5.1	PRIMEIRA ETAPA	54
5.2	SEGUNDA ETAPA	57
5.3	TERCEIRA ETAPA	61
5.4	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	65
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>70</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>76</b>
	<b>Tabela B.3 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).</b>	<b>76</b>



## 1 INTRODUÇÃO

É de fundamental importância o estudo do conforto térmico, sendo que esses estudos tem o objetivo de indagar e determinar requisitos obrigatórios para um ambiente com temperatura agradável as atividades e ocupação humana. Relata-se que em 400 a.C., Hipócrates, um grego antigo estudou e descreveu fatores que poderiam modificar o conforto térmico, tendo destacado esses fatores tais como: temperatura, umidade, ventos e radiação. Os primeiros levantamentos de experiências realizadas foram feitos em Florença e em Pequim, no século XVII. Já no século seguinte até o século XIX na Europa, foram feitos estudos mais aprofundados sobre o problema em questão, relacionando aos trabalhadores da época em com problemas de estresse e saúde. Comprovado a correlação deste com altas temperaturas, foi um dos requisitos para o surgimento das leis trabalhistas, sendo que os números de horas trabalhadas deveriam ser menores em ambientes quentes ou muito frios.

Nos primórdios do século XX em Nova York, a indústria *Sackett - Wilhelms Lithography and Publishing*, observou que os papeis impressos em dias quentes apresentavam defeitos, as imagens geradas estavam escuras e borradas. Então, a empresa contratou Willis Haviland Carrier, um engenheiro mecânico, norte americano para solucionar tal problema. Foi então no ano de 1902, criado uma máquina que controlava a temperatura e umidade do ar, sendo o primeiro ar condicionado mecânico instalado. Sua invenção trouxe conforto e um grande crescimento econômico para as indústrias, até mesmo para os cinemas, pois o ambiente estava mais agradável. A partir deste evento, o equipamento diminuiu seu tamanho e foi se modernizando passando a existir em vários estabelecimentos comerciais e residenciais melhorando a sensação térmica do ambiente.

A partir deste momento o consumo de energia aumentou de forma desordenada, decorrente do aumento da temperatura ambiente como também o crescimento populacional, causando impactos ambientais pelo aumento da concentração de gás carbônico (CO<sub>2</sub>). Apesar de ser indispensável ao bem-estar e conforto, esse uso de climatização artificial pode trazer grandes problemas a saúde como a rinite alérgica e outros problemas respiratórios. Podem transmitir ao ambiente poeira, bactérias, vírus, ácaros, fungos, dentre outros causadores de doenças e para amenizar as consequências deve ser feito manutenções periodicamente. De acordo com a OMS (Organização Mundial da Saúde) em 1982, essas são as causas da “Síndrome do Edifício Doente”, dando origem a problemas de saúde principalmente em trabalhadores.

Para Ashrae (2004), “conforto térmico expressa satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”. Algumas alternativas podem ser feitas para amenizar os problemas citados anteriormente. De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), existem outros meios de melhorar esse conforto térmico, como a escolha do material empregado na fase de construção, estudo da ventilação e radiação solar, aberturas de portas e janelas, posicionamento da edificação no terreno e vegetação. E ainda a norma traz formas de avaliar se a edificação atenderá aos requisitos dos usuários, a partir de cálculos de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, entre outros. E também há vários programas computacionais que auxiliam logo após a obra ser concluída, verificando se está de acordo com as exigências dos usuários e da norma.

A NBR 13749 (ABNT, 1996) fixa condições de espessura dos revestimentos (chapisco, emboço e reboco), segundo esses critérios é possível garantir um desempenho térmico dentro do limite estipulado pela NBR 15575 (ABNT, 2013).

Há vários tipos de isolantes térmicos que podem ser encontrados atualmente no mercado como: isolantes fibrosos (lã de vidro e lã de rocha), poliestireno (expandido ou extrudado), espuma de poliuretano, concreto celular, agregado leve (vermiculita, argila expandida, cinza sinterizada, escoria sinterizada, cortiça) entre outros materiais. Amenizando a troca de calor entre o ambiente externo e interno do edifício, garantindo uma temperatura agradável e consequentemente obtendo menos gastos energéticos para manter a temperatura interna constante. O presente trabalho busca então avaliar se um edifício atende aos requisitos de conforto térmico, utilizando alguns materiais citados anteriormente.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A construção civil é uma área que explora muito o espaço, causando resultados bons e visivelmente alguns impactos ruins que talvez já fossem previstos. Ao se instalar uma obra em um lugar, é necessário estudar os reflexos que pode causar no local ou na região. Esses reflexos podem ser favoráveis ou não, causando empecilho para ventilação, sombreamento de áreas que necessitavam de insolação, pouca iluminação, aumento de temperatura interna devido às transferências de calor entre meios, etc. E por outra parte surgem anomalias no próprio edifício em questão, que podem ser a curto ou longo prazo. Em respeito disso saber os principais fenômenos em uma estrutura é bastante importante para buscar o máximo de qualidade de vida para as pessoas, e principalmente para o bom funcionamento de uma edificação.

Quando se fala em buscar qualidade de vida em edificações, uma das inúmeras preocupações se refere ao conforto térmico, seja em épocas de calor ou de frio. Segundo Costa (1974), quando houver uma desigualdade de temperaturas entre dois meios, essa diferença tende a desaparecer, pela transferência de calor de uma região para outra chamada de energia térmica em trânsito.

É importante saber que o conhecimento dos processos físicos que descrevem esses mecanismos de transferência, permite avaliar o comportamento de uma edificação, como uma ferramenta para descrever o desempenho de uma estrutura frente às mudanças meteorológicas, a escolha do material, revestimento dentre outros fatores que podem influenciar nessa troca térmica, que pode ocorrer de uma região com temperatura mais alta, para outra mais baixa (ORDENES, *et al.*, 2008).

Segundo Mendes (1997), depois de inúmeros estudos de programas em pacotes computacionais, verificou-se que grande parte dos materiais utilizados na construção civil é de origem porosa. Sendo assim as paredes são rendidas a grandes temperaturas, umidades e transferências destes, de forma interdependente.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Aprofundar o estudo em conforto térmico e em calor, para assim verificar se um edifício com alvenaria de reboco simples (cimento, areia, cal e água), atende aos requisitos de conforto térmico mencionados na NBR 15575 (ABNT, 2013), tendo como benefício um critério de qualidade melhorando o desempenho da isolamento térmica dos materiais.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Medir a temperatura em °C da parede 1 (um) e parede 5 (cinco), durante o horário das 08h:00min às 12h:00min e das 13h:00min às 17h:00min, utilizando placa arduino, obtendo gráficos da temperatura de cada uma;

Calcular a resistência térmica, transmitância térmica e fluxo de calor das paredes 1 (um) e 5 (cinco);

Medir a temperatura em °C das 5 (cinco) paredes, num mesmo instante e observar qual obteve melhor desempenho térmico;

Estabelecer através dos testes qual material exerce melhor absorção de calor;

A partir dos estudos, estabelecer práticas para trabalhos futuros.

### 1.3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consiste em elaborar estudo aprofundado em conforto térmico e fluxo de calor. Foram feitos ensaios em 2 (duas) paredes de 1m<sup>2</sup>, sendo uma parede com reboco simples (cimento, areia, cal e água) e outra parede com reboco contendo vermiculita. Utilizou-se placa arduino para medição das temperaturas a cada 10 minutos, realizado nos dias 20 e 21 de outubro de 2017 das 08h:00min às 12h:00min e das 13h:00min às 17h:00min. A fim de apresentar gráficos e relatório mostrando a diferença entre um reboco simples e um reboco usando vermiculita que é um produto usado para ajudar na isolação térmica e ainda cálculos de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico das 2 (duas) paredes e por fim conclusões se uma edificação apresenta conforto ao usuário conforme apresentada na NBR 15575 (ABNT, 2013).

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é composto de seis capítulos. O primeiro capítulo descreve a conceituação do tema, a contextualização do conforto térmico, ressaltando a sua importância, justificando a escolha e destacando o objetivo geral e específico.

O capítulo dois expõe as pesquisas bibliográficas mostrando um histórico da alvenaria no mundo e no Brasil. Ressaltando alguns componentes comumente utilizados na construção civil e os materiais que foram usados no experimento para construção das paredes, com suas definições e características individuais. Utilizando normas técnicas da ABNT e artigos acadêmicos.

O terceiro capítulo aborda pesquisas com referenciais teóricos exemplificando o que é transferência de calor, com imagens, tabelas e fórmulas.

No quarto capítulo são relatadas referências bibliográficas sobre conforto térmico, interpretado pelas normas NBR 15575 (ABNT, 2013) e NBR 15220 (ABNT, 2003), sendo que

consta em seu corpo de texto, tabelas com requisitos de acordo com o desempenho dos resultados, possibilitando e facilitando melhor análise dos testes do projeto.

No quinto capítulo apresenta método construtivo de 5 (cinco) paredes de 1 m<sup>2</sup>, dentro da norma da ABNT, com todas as recomendações necessárias utilizando materiais diversos. Sendo montado um equipamento com leitura de calor, (placa arduino e o sensor de calor) que será utilizado para o trabalho. E assim submeter a parede a uma fonte de calor e medindo-se a temperatura em °C, através do aparelho, para que assim coletando os dados seja feita análise dos resultados, gerando gráficos, memorial de cálculo, análises e conclusões.

O capítulo sexto apresenta as considerações finais e discussão de sugestões para pesquisas futuras, utilizando a mesma metodologia do experimento.

## 2 ALVENARIA

### 2.1 HISTÓRICO

A alvenaria é um processo construtivo muito clássico, tendo em consideração que desde o prelúdio da movimentação humana de efetuar estruturas para as mais diversas utilidades, em outras palavras, a utilização de paredes duráveis de alvenaria na estrutura base de edifícios, não se consiste em uma novidade tecnológica (RIZZATTI, 2007).

Presume-se que a complexidade em construir e trabalhar usando pedras com amplitude avantajada, fez com que os antepassados começassem a manejar peças de menores proporções, ou melhor, os tijolos. (ROMAN *et al.*, 1999).

As Figuras 1 e 2, mostram exemplos de construções antigas.

De acordo com Duarte (1999), as construções em alvenaria encontram-se entre os projetos que têm melhor aprovação pelo homem, não somente hoje, mas da mesma forma que nas sociedades anteriores. Construções imponentes em alvenaria de rochas e tijolos atualmente ainda se encontram de pé, depois de mais de 2.000 anos passados de sua edificação, e diversas delas ainda em uso, confirmando a receptividade e resistência deste material e deste método construtivo no decorrer dos tempos.

Com a utilização de blocos de diversos materiais, como argila, pedra e outros, foram produzidas obras que desafiaram o tempo, atravessando séculos ou mesmo milênios e chegando até nossos dias como verdadeiros monumentos de grande importância histórica (RIZZATTI, 2007).

**Figura 1 - Pompeia**



Fonte: FERNANDES, 2012.

**Figura 2 - Machu Picchu**



Fonte: NAT GEO, 2010.

Ainda segundo Rizzatti (2007), o começo da utilização do tijolo cerâmico teve seu início nas sociedades passadas. Aprimorou-se de acordo com a carência de se conseguir material para construir. A partir dos primórdios dos tempos a humanidade procura pelo seu ambiente, no qual consiga se refugiar das condições climáticas e dos predadores.

Conforme Paixão (2002), o abrigo, manifesta-se como prioridade entre as necessidades básicas dos indivíduos. A partir da antiguidade com a prática de usar cavernas como habitação, a raça humana inaugurou a evolução e construção de ambientes. Segundo a autora e com conceitos já declarados, a alvenaria fundamenta-se em um dos processos mais antigos e mantém-se em uso ainda nos dias atuais.

O surgimento do material cerâmico se deu no momento que começou a haver escassez de pedras para a construção na antiguidade. Em locais onde eram abundantes os materiais argilosos, iniciou-se o processo de cozimento dos mesmos, primeiramente sob o sol e posteriormente com o auxílio de fornos, o que gerou os tijolos de construção (PETRUCCI, 1976).

Na década de 50 a aplicação de alvenaria granjeou grande impulso e após a verificação de experimentos na Europa, dessa forma de modelo construtivo, diversas normas para o projeto e o desenvolvimento de obras passou a ser criadas, gerando uma competitividade entre as normas já existentes e as novas normas (CAMACHO, 2001).

No Brasil, os processos construtivos em alvenarias fizeram parte da história de formação das cidades assumindo funções estrutural e cumprindo o papel de vedação. Ela surge de vários modos: aparente ou revestida, constituída por materiais processados de forma artesanal, ou com alto grau de incorporação tecnológica; executada com primor por mestres do ofício, ou entregues à mão-de-obra desqualificada. As alvenarias sempre se apresentaram como solução construtiva, não

só na produção de edifícios destinados a usos diversos, como também na produção de sistemas de infra-estrutura urbana. (SABBATINI, et al., 2002, p.1755)

Até a década de 70, conforme o mesmo autor, as alvenarias exerceram a aplicação específica de vedação de estruturas de concreto. Deste período em diante, começou a incorporação dos processos construtivos em alvenarias estruturais adicionando a alvenarias duas aplicabilidades: estrutura e vedação. As evoluções registradas desde então, para esses métodos são consideráveis e amplamente divulgados e publicados pelas literaturas técnicas.

Segundo Franco (1992), os primeiros edifícios em alvenaria estrutural construídos no Brasil, foram edificados na cidade de São Paulo no bairro da Lapa, utilizando blocos de concreto, no ano de 1966. Logo em 1972 foram levantados mais 4 edifícios cada um com 12 andares, no mesmo conjunto habitacional, o Central Parque Lapa, conforme a Figura 3.

**Figura 3 - Central Park Lapa**



Fonte: RIOS, 2010.

De acordo com Araújo (1995), avalia-se que tenham sido edificados entre 1964 e 1976, no Brasil, existindo mais de 2 milhões de residências em alvenaria estrutural.

Alguns exemplos de obras executadas em alvenaria desde a antiguidade, são as três grandes pirâmides de Guizé (Quéfren, Quéops e Miquerinos), mostradas na Figura 4, que foram edificadas em alvenaria de blocos de pedra. Comentam como uma construção marcante, o Farol de Alexandria, do assunto que se refere a de vista estrutural, com altura proporcional a um prédio de 45 andares, conforme Figura 5. Destacam como o principal exemplo dos teatros romanos o Coliseu, mostrado na Figura 6, que eram sustentados por pórticos fundados por pilares de arcos (RAMALHO & CORREA, 2003).



**Figura 4 - Pirâmides de Guizé**



Fonte: ARANHA, 2016.

**Figura 5 - Farol de Alexandria**



Fonte: MUSARRA, 2015.

**Figura 6 - Coliseu**



Fonte: PÁDUA, 2011.

## 2.2 COMPONENTES DA ALVENARIA

As propriedades de uma parede baseiam-se do conjunto dos elementos que a compõem: blocos, argamassa de assentamento e argamassa de revestimento. Os elementos básicos da alvenaria têm a necessidade de apresentar propriedades mínimas de desempenho e conformidade com as especificações de norma e especificidades que propiciem o comprimento de condições solicitadas. E por compreender a importância destes materiais para a construção civil e também para esta investigação é que será discutido a seguir sobre estes elementos.

## 2.3 BLOCOS CERÂMICOS

De acordo com NBR 15270-2 (ABNT, 2005), o bloco cerâmico estrutural deve ser fabricado por conformação plástica de matéria-prima argilosos, contendo ou não aditivos, e queimados em elevadas temperaturas.

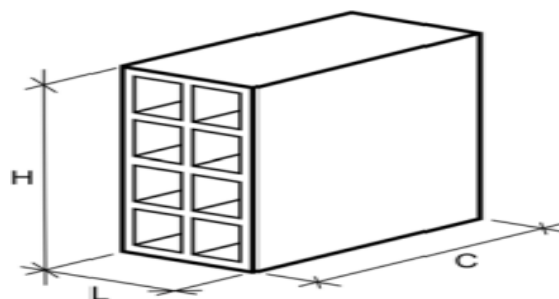
O material dominante dos blocos cerâmicos é essencialmente composto de argila, que é composta de sílica, silicato de alumínio e frações diversas de óxidos ferrosos, sendo ou não calcária segundo Rizzatti (2003, *apud* SANTOS, 2008).

Ainda segundo o mesmo autor, se formada por calcária quando levado ao forno consequentemente gera um bloco amarelado. Porém a não calcária, dispõe de 2% a 10% de óxido de ferro e feldspato, e consequentemente gera um bloco com uma tonalidade avermelhada, que é imediatamente ligada a porção do óxido de ferro existente na produção do bloco. A qualidade das unidades cerâmicas está intimamente relacionada à qualidade das argilas empregadas na fabricação e também ao processo de produção (ROMAN *et al.*, 1999).

Já o bloco cerâmico de vedação é o componente da alvenaria de vedação que possui furos prismáticos perpendiculares às faces que os contêm. Os blocos cerâmicos para vedação constituem as alvenarias externas ou internas que não têm a função de resistir a outras cargas verticais, além do peso da alvenaria da qual faz parte, de acordo com NBR 15270-1 (ABNT, 2005). É o componente mais importante, uma vez que comanda a resistência à compressão e determina os procedimentos para aplicação da técnica da coordenação modular nos projetos. (CAMACHO, 2001).

A NBR 15270-3 (ABNT, 2005, p. 2) afirma que: “ O bloco cerâmico para vedação é produzido para ser usado especificamente com furos na horizontal” como representado esquematicamente na Figura 7.

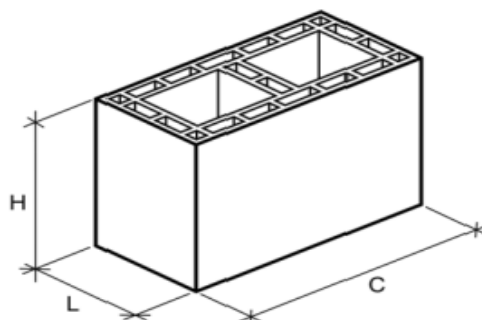
**Figura 7 - Bloco cerâmico de vedação com furos na horizontal**



Fonte: NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

Na NBR 15270-3 (ABNT, 2005, p. 2) também afirma que : “ O bloco cerâmico para vedação é produzido para ser usado especificamente com furos na horizontal, também pode ser produzido para utilização com furos na vertical”, conforme a Figura 8.

**Figura 8 - Bloco cerâmico de vedação com furos na vertical**



Fonte: NBR 15270-3 (ABNT, 2005).

## 2.4 CONCEITO DE ARGAMASSA

Argamassa: Mistura homogênea de agregado miúdo (s), aglomerante (s) inorgânico (s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser dosada em obra ou em instalação própria (argamassa industrializada) NBR 13281 (ABNT, 2001).

De acordo com Petrucci (1976), a argamassa é um material de construção fabricado por meio da mescla de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo e água. As parcelas de cada elemento utilizado nessa mescla nomeia-se traço, que é a porcentagem de cada elemento usada na argamassa. Ainda segundo o mesmo autor, ele afirma o que conhecemos como pasta, é o uso

de aglomerantes com o acrescentamento de água. Destaca que os aglomerantes podem ser manipulados separadamente ou com acréscimo de agregado miúdo. No contexto das argamassas de cimento, o acréscimo do agregado miúdo a pasta, abaixa o valor do produto e liquidam em parte as mudanças de volume.

Carasek (2010), define que “argamassas são materiais de construção, com propriedades de aderência e endurecimento, obtidos a partir da mistura homogênea de um ou mais aglomerantes, agregado miúdo (areia) e água, podendo conter ainda aditivos e adições minerais”.

As argamassas são muito empregadas em obras de construção civil. Elas podem ser observadas no assentamento de pedras, tijolos e blocos nas alvenarias, nos trabalhos de acabamento com emboço e reboco, nos acabamentos de tetos e pisos, nos reparos de obras de concreto, etc. (PETRUCCI, 1976).

Azeredo (2004), lamenta o fato da argamassa não ter destaque dentro de uma construção, já que ela é a responsável pela ligação dos elementos. As argamassas para revestimento são constituídas em geral de cimento, cal, areia, água e eventualmente aditivos (GOMES, 2006).

A experiência prática brasileira mostra que as argamassas feitas com areias argilosas, apresentam melhor trabalhabilidade e melhor resiliência, sendo que a capacidade de aderência e a resistência podem ser prejudicadas em função do teor e da natureza de materiais finos (SABBATINI, 1989).

Gomes (2006), ressalta que a desempenho da argamassa depende da percentagem dos materiais que a compõe além de outros fatores. E ainda afirma que é essencial conhecer as funções específicas desses materiais. “Desse modo, devem-se adotar procedimentos de controle adequados para garantir a sua homogeneidade no canteiro de obra, a partir das especificações da edificação, como também das prescrições das normas técnicas”. (GOMES, 2006).

#### **2.4.1 Classificações das argamassas**

Carasek (2007), classifica as argamassas com vários critérios de acordo com o Quadro 1.

**Quadro 1 – Classificação das argamassas**

<b>Critério de classificação</b>	<b>Tipo</b>
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa aérea Argamassa hidráulica
Quanto ao tipo de aglomerante	Argamassa de cal Argamassa de cimento Argamassa de cimento e cal Argamassa de gesso Argamassa de cal e gesso
Quanto ao número de aglomerantes	Argamassa simples Argamassa mista
Quanto à consistência da argamassa	Argamassa seca Argamassa plástica Argamassa fluída
Quanto à plasticidade da argamassa	Argamassa pobre ou magra Argamassa média ou cheia Argamassa rica ou gorda
Quanto à densidade de massa da argamassa	Argamassa leve Argamassa normal Argamassa pesada
Quanto à forma de preparo ou fornecimento	Argamassa preparada em obra Mistura semipronta para argamassa Argamassa industrializada Argamassa dosada em central

Fonte: CARASEK, 2010.

Carasek (2010), classifica também as argamassas de acordo com suas funções na construção, conforme o Quadro 2.

**Quadro 2 - Classificação das argamassas segundo as funções na construção**

<b>Função</b>	<b>Tipo</b>
Quanto à natureza do aglomerante	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria) Argamassa de fixação (ou encunhamento) – alv. de Vedação
Quanto ao tipo de aglomerante	Argamassa de chapisco Argamassa de emboço Argamassa de reboco Argamassa de camada única Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes/ pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas -colante Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

Fonte: CARASEK, 2010.

A mesma autora afirma que as utilidades das argamassas estão relacionadas exatamente as suas aplicações ou finalidades. A seguir, discutiremos as propriedades da argamassa de assentamento que é a que utilizaremos em nossos ensaios experimentais.

## 2.5 ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

A argamassa de assentamento de alvenaria é utilizada para a elevação de paredes e muros de tijolos ou blocos (CARASEK, 2010). Porém Pozzobom (2003), adverte que, devido o concreto e a argamassa possuírem os mesmos componentes principais, explicam erradamente, que o bom desempenho do concreto é também o bom desempenho das argamassas. E que uma argamassa mais resistente nem sempre, é a mais apontada. E mais, não há uma relação direta da resistência da argamassa com a resistência da parede. Para cada resistência de bloco existe uma resistência ótima de argamassa. Um aumento dessa resistência não aumentará necessariamente a resistência da parede (POZZOBON, 2003).

Carasek (2010), menciona as principais funções das juntas de argamassa na alvenaria, sendo elas:

- Juntar os elementos de alvenaria de forma a compor um elemento monolítico;
- Dividir de modo igual as cargas presentes na parede por toda a extensão resistentes dos blocos;
- Fechar as juntas avalizando contra a penetração de água das chuvas;
- Absorver as alterações naturais, tanto quanto as de origem de retração por secagem e as térmicas, visto que a alvenaria estiver submetida.

Colaborando com a autora anterior (RIBEIRO *et al.*, 2011), a argamassa tem as seguintes funções:

- Unir solidamente os componentes da alvenaria;
- Absorver as deformações naturais;
- Distribuir uniformemente as cargas;
- Selar as juntas contra a penetração de água de chuva.

### **2.5.1 Propriedades da argamassa no estado fresco**

➤ **Trabalhabilidade:** que é definida por Carasek (2007), que indica a facilidade com que elas podem ser transportadas, misturadas, consolidadas, aplicadas e acabadas de forma homogênea. Alguns fatores afetam nessa propriedade como as características dos materiais que compõe a argamassa, como a presença de cal e alguns aditivos que beneficiam essa propriedade. Além disso a argamassa também passa por outros processos: retenção de água, retração na secagem, aderência e resistência mecânica (MACIEL *et al.*,1998).

➤ **Retenção de água:** de acordo com Carasek (2010), é uma característica muito fundamental para as argamassas de assentamento, visto que, depois da sua aplicação na extensão de uma fileira de blocos, começa a perder água à argamassa, pela evaporação e pela absorção dos elementos de alvenaria.

➤ **Retração na secagem:** de acordo com (MACIEL *et al.*,1998), é a predisposição da argamassa de segurar água de amassamento contra a evaporação ou contra a sucção da base. As reações de endurecimento da argamassa o qual as retenções sejam mais gradativas, ocasionando uma apropriada hidratação do cimento e por seguinte ganho de resistência.

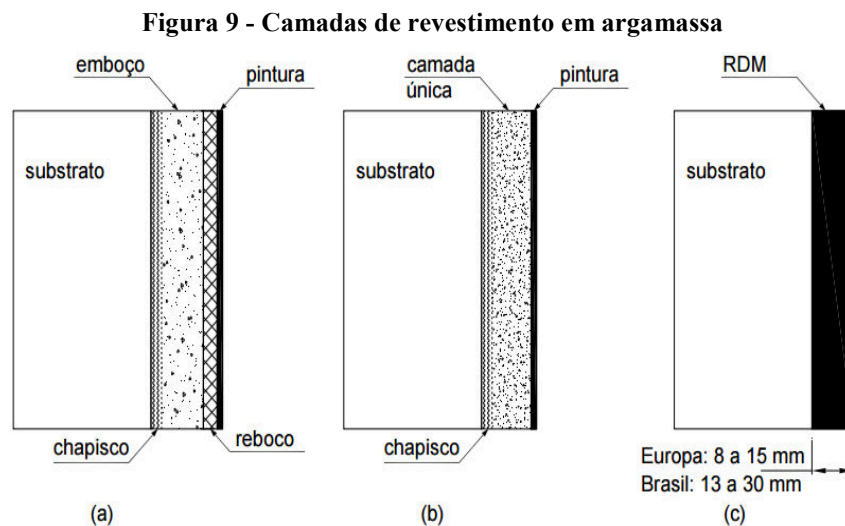
➤ **Aderência:** a resistência a aderência pode ser definida como a capacidade que a interface, bloco-argamassa, possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) sem se romper (SABBATINI, 1986).

➤ Resistência mecânica: sabe-se que a argamassa deve adquirir rapidamente alguma resistência, permitindo o assentamento de várias fiadas no mesmo dia, bem como desenvolver resistência adequada ao longo do tempo (CARASEK, 2010).

“Para cada resistência de bloco existe uma resistência ótima da argamassa. Um aumento desta resistência não aumentará a resistência da parede” enfatiza Pozzobon (2003).

## 2.6 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO

As argamassas de revestimento têm como função aprimorar o acabamento e aumentar o conforto termo acústico de uma edificação, sendo utilizadas como chapisco, emboço e reboco (RIBEIRO *et al.*, 2011), conforme a Figura 9.



Fonte: CARASEK, 2010.

O chapisco, segundo Azeredo (2004), tem o objetivo de assegurar a aspereza das superfícies muito lisas, viabilizando as condições de a parede receber outra camada de argamassa. O emboço, segundo Carasek (2010), é uma “camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a base, propiciando uma superfície que permita receber outra camada, de reboco ou de revestimento decorativo” e o reboco é definido por Azeredo (2004), como a última camada de argamassa utilizada na parede antes de seu revestimento final, a tinta. É necessário antes da pintura que a parede esteja nivelada, com pouca porosidade, lisa e regular.

Estes parâmetros discutidos neste capítulo são os fundamentos teóricos necessário para realizar os ensaios e também compreender os fenômenos físicos, que serão investigados como



a transferência de calor através da parede e as trocas de calor ocorridas entre a parede e o ambiente externo e interno, que serão discutidos no próximo capítulo.

## 2.7 QUANTO AOS MATERIAIS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO

### 2.7.1 Cimento

Segundo Battagin (2012), o cimento veio a ganhar seu nome atual em primórdios do século XIX, pois antes eram lembradas pelos egípcios por sua semelhança as rochas da ilha britânica de Portland. Na Figura 10, há alguns exemplos de construções antigas.

**Figura 10 - Construções da antiguidade**



Fonte: BATTAGIN, 2012.

Foi descoberto em 1824, na ilha de britânica de Portland, o qual foi batizado pelo então empresário Joseph Aspdin. É um material que possui propriedades bem específicas que devem ser analisadas, pois depois de endurecido, mesmo que seja posteriormente submetido à água, não se corrompe mais.

Existem diversos tipos de cimentos, cada um com suas particularidades e funções em seu uso na construção civil. Entre eles podemos destacar 5 (cinco) tipos básicos, comumente utilizados no dia a dia, em vários setores de atuação e 3 (três) tipos especiais. Em geral deve se conhecer bem suas propriedades para se ter a melhor aplicabilidade possível, sem ocorrer quaisquer tipos de imprevistos.

O clínquer é um dos principais componentes do cimento, sendo esse composto, diferenciado de acordo com a adição de aditivos como gesso, argila pozolânica e calcário, entre outros. Ou seja, cada material vai oferecer ao somar com o cimento, qualidades diferenciadas que agem sobre o comportamento de durabilidade, impermeabilidade, resistência e trabalhabilidade.

Entre os cimentos mais utilizados estão esses abaixo, com algumas características e suas respectivas normas, caso seja necessário um detalhamento mais profundo de cada um:

➤ **Cimento CP-I (NBR 5.732) ou Cimento Portland Comum:** Único aditivo é o gesso. Mesmo que no mercado esteja quase ausente, sua produção é destinada à indústria. Classe de resistência: 25 Mpa.

➤ **Cimento CP-II (NBR 11.578) ou Cimento Portland Composto:** É utilizado em todas as fases das obras. É apresentado em 3 (três) opções: CP-II E, CP-II Z e CP-II F. Classe de resistência: 25,32 e 40 Mpa.

➤ **Cimento CP-III (NBR 5.735) ou Cimento Portland de Alto-forno:** Tem na sua composição escória de alto forno de 35 a 70 %. Classe de resistência: 25,32 e 40 Mpa.

➤ **Cimento CP-IV (NBR 5.736) ou Cimento Portland Pozolânico:** Resistente a água do mar e esgoto. Tem na sua composição de 15 a 50 % de pozolânico. Classe de resistência: 25 e 32 MPa.

➤ **Cimento CP-V ARI (NBR 5.733) ou Cimento Portland de Alta Resistência Inicial:** Atinge resistência maior que os outros cimentos no final de 28 dias de cura. Recomenda-se que o utilize apenas em construções de concretos.

➤ **Cimento RS (NBR 5.737) ou Cimento Portland Resistente a Sulfatos:** Devido aos materiais que compõem o cimento, serem encontrados em ambientes como esgoto, indústrias e água do mar, são nesses ambientes que são mais utilizados.

➤ **Cimento Branco (NBR 12.989) ou Cimento Portland Branco (CPB):** É branco devido seu baixo teor de manganês. E há dois tipos desse cimento, o estrutural mais utilizado de forma arquitetônica e o não estrutural utilizados em rejuntas cerâmicas.

➤ **Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) / (NBR 13.116):** Tem sua principal função o retardamento de funções térmicas de uma estrutura.

A escolha de cada tipo de cimento depende de cada região do Brasil, com sua disponibilidade e facilidade de encontro da matéria prima e seus aditivos. Para este experimento foi utilizado o cimento Portland CP II-Z-32, que é um material de origem industrial, tendo suas características preconizadas pela NBR 11578 (ABNT, 1991). Em sua composição encontra-se de 6% a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático.

### **2.7.2 Lã de vidro**

Muito utilizado em aplicações estruturais, é fabricado por finíssimos filamentos de vidro sendo perfeitamente flexíveis, com grande valor funcional e estético. Pode ser utilizado em vários momentos, seja como isolante térmico, proteção de cabos elétricos e tubulações, além também de proteção e selagem de porta de estufas. Outra forma bem utilizada, é como isolante acústico que produz barreiras que impedem a transferência de ruídos de um ambiente para o outro.

### **2.7.3 Vermiculita**

A vermiculita ou vermiculite tem em seu composto o material basáltico e como característica principal, pode sofrer expansão quando submetida ao calor, que de tal modo, pode ser bem utilizada em setores da construção civil, agricultura e indústria.

Por ser um grande e ótimo isolante térmico, com custos baixos e de fácil acesso, seu uso na construção civil pode ser viável, partindo da ideia de ser um agregado leve para argamassas e concretos, sendo utilizadas em lajes como coberturas térmicas e em paredes, adicionado em seu reboco. Na indústria torna-se importante na parte de construções navais como isolante e em tijolos e argamassas. Já agricultores fazem de seu uso, principalmente na área de reter solos impermeáveis, dentre outras coisas. Por fim as plantas também utilizam de suas propriedades por ser um ótimo substrato.

### **2.7.4 Poliestireno expandido (EPS)**

Também conhecido como isopor, sua principal característica é que ao sofrer ação do calor, tem boa flexibilidade e maleabilidade para seu uso. Sendo importante matéria prima para materiais plásticos e domésticos, de fácil acesso e baixo custo.

Na área de engenharia civil vem ganhando grande destaque no grupo de isolantes térmicos e também acústicos.

### **2.7.5 Cortiça**

Tem em sua composição a suberina, com grande poder isolante, o que a torna nobre para ser utilizada em vários setores, seja em revestimentos de solos, isolamentos acústicos e térmicos, na fabricação de produtos musicais e até se torna um importante composto na fabricação de calçados e em setores industriais. Sua extração é feita em árvores já atingiram de 25 a 30 anos, tendo Portugal, como principal responsável por 50 % de sua produção.

### **2.7.6 Areia**

Principal componente do concreto e do vidro, é um elemento essencial na construção civil. Seu tamanho segundo a NBR 7211 (ABNT, 1983), divide-se, granulometricamente em:

- Areia fina (entre 0,06 mm e 0,2 mm);
- Areia média (entre 0,2 mm e 0,6 mm);
- Areia grossa (entre 0,6 mm e 2,0 mm);

### **2.7.7 Cal**

Através da decomposição térmica do calcário ele é obtido e também de um processo chamado calcinação. Bem utilizados em argamassas para alvenaria, quando se trata da construção civil, além de indústrias siderúrgicas, de alimento e tintas. Faz papel importante também em misturas asfálticas como neutralizador de acidez e reforçador de propriedades físicas e fabricação de blocos construtivos.

### 3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Considerando o que foi discutido no capítulo anterior sobre a estrutura básica de uma construção entende-se que em qualquer edificação eficaz deve observar alguns fenômenos sendo um deles a movimentação de calor que ocorre entre o ambiente externo e interno, buscando assim proporcionar todo um conforto térmico e qualidade de vida para as pessoas que ali possam morar. Neste sentido este capítulo aborda a transferência de calor e suas propriedades e condições através da matéria.

Antes de falar-se sobre a transferência de calor que pode ocorrer entre dois ambientes, deve-se entender que os experimentos realizados pela Física nos possibilitam um campo muito vasto de conhecimento sobre os fenômenos naturais. Assim como outras ciências existentes, ela possui muitas divisões de estudos que possibilitam uma compreensão melhor de todos os assuntos a serem abordados. Uma das áreas importantes e mais antigas da Física refere-se ao estudo do Calor e que está inserido no contexto da Termodinâmica. O estudo do calor nos possibilita entender alguns fenômenos que ocorrem no nosso cotidiano, sejam no cozimento de um alimento, em medições de temperaturas, transferências de calor, estudo de gases ou no comportamento da matéria perante a troca de calor ou mesmo máquinas térmicas (AURÉLIO, 2015).

Nos ensaios realizados neste trabalho dois conceitos fundamentais que estão interligados e afetam diretamente o conforto térmico em uma construção é o de temperatura e calor.

#### 3.1 TEMPERATURA E CALOR

É muito comum as pessoas confundirem os conceitos de temperatura e calor por causa do uso contínuo destas duas palavras internalizada pela cultura popular como significados da mesma coisa. Porém quando adentramos o âmbito dos conhecimentos científicos produzidos pelas Universidades percebemos que a fundamentação destes conceitos produzidos a partir de experimentos ou mesmo da teoria são difundidos muitas vezes de maneira equivocada inclusive em livros didáticos. Neste sentido definiremos e conceituaremos temperatura e calor à luz da Física a partir dos autores clássicos os quais contribuem para difusão científica de maneira correta.

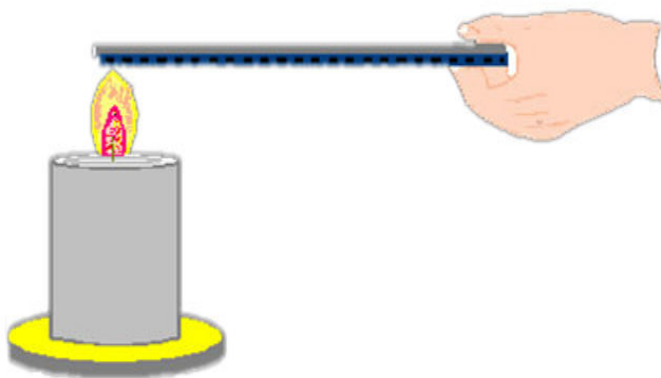
Temperatura é uma medida do grau de agitação molecular, ou seja, é uma medida indireta das energias cinéticas médias das moléculas. Essa medida gera um número que representa o estado energético de um corpo, se ele estiver com alta temperatura seu potencial energético é alto e se estiver com baixa temperatura seu potencial energético será baixo. Em outras palavras, com alta temperatura as moléculas vibrarão mais e com vibração menos.

No estudo da Calorimetria observa-se que a transferência de calor entre dois corpos com diferentes temperaturas pode ocorrer de três maneiras diferentes por:

**Condução:** na condução o calor é transferido de molécula para molécula através do choque entre elas, de forma que passado um tempo  $t$  todo o material adquire a mesma temperatura em toda sua extensão. A condução ocorre predominantemente em sólidos. Podemos dividir os sólidos em duas categorias, quanto à propagação do calor: bons condutores (geralmente metais) e os isolantes (borracha, mica, madeira, etc.).

Ao segurar uma barra de ferro em uma das extremidades conforme a Figura 11 e colocando a outra extremidade em contato com uma fonte de calor, percebe-se que a barra começa a esquentar com a energia que a chama está transmitindo para a barra. Essas moléculas que começaram a ficar agitado, vão se chocar com as outras que não tiveram contato com o fogo, fazendo com que todo objeto se aqueça por haver uma transmissão de energia de uma molécula para outra.

**Figura 11 - Transmissão de calor por condução**



Fonte: TRIGO, 2011.

Pode-se descrever uma lei muito presente no que se refere transferência de calor, a Lei de Fourier, ou seja, o Fluxo de Calor através de um material que é proporcional a temperatura, espessura e tempo, dado pela equação:

$$\Phi = \frac{K.A.\Delta\theta}{L} \quad (1)$$

Onde:

- $\Phi$  é o fluxo de calor por condução em cal/s;
- $K$  é a condutividade térmica do material em cal/s.m°C;
- $\Delta\theta$  é a diferença de temperatura entre as extremidades;
- $A$  é a área transversal ao fluxo de calor medida em m<sup>2</sup>;
- $L$  o comprimento longitudinal do corpo.

Esta equação nos mostra que o fluxo de calor é proporcional à variação da temperatura entre o ambiente externo e interno, à área e inversamente proporcional à espessura. Mas também que depende das características dos materiais utilizados para construção da parede. Estudando essas formas de como ocorre a transmissão dessa energia, podemos dar como exemplo, em uma parede como poderia funcionar essa movimentação, sendo com setas de dissipação, reflexão e absorção.

No Anexo A, constam valores de condutividade térmica, massa específica e calor específico de alguns materiais.

Outra forma de se transferir calor é a convecção. A Convecção: é a transferência de calor exclusivamente através de fluidos, ou seja, gases, líquidos. Na convecção a transferência se dá pelas trocas entre massas quentes e frias.

Para entender melhor a convecção tem-se o seguinte exemplo: quando colocamos a água para ferver observamos que existe uma corrente de convecção com o passar do tempo, que é ocasionada pela diferença inicial de temperatura que altera as densidades existentes. A parte da água que está mais próxima ao fogo vai aquecer primeiro e ficar menos densa havendo a sua expansão o que vai fazê-la subir, enquanto a parte de cima que está fria movimenta-se para baixo. Isso se torna um ciclo se repetindo e transferindo desta forma, calor para o líquido, conforme esquema a Figura 12.

**Figura 12 - Representação da convecção na água**



Fonte: TEIXEIRA, 2010.

A convecção é o fenômeno responsável pelas trocas de calor no planeta através da atmosfera. Por causa dela é que os ventos ocorrem.

Outra forma de transferência de calor é a Irradiação Térmica: uma característica importante é que as transmissões acima necessitam de matéria, já a irradiação pode se propagar no vácuo, transportando por ondas eletromagnéticas (DA REDAÇÃO, 2012). Nota-se que quanto maior a temperatura maior a periodicidade e a intensidade da energia.

**Figura 13 - Ondas de calor**



Fonte: DIANA, 2017.

Essas ondas também podem propagar-se nos meios materiais, porém não são todos que permitem.

Segundo a área da Física Termodinâmica a energia térmica pode ser transformada em trabalho ou energia interna (2).

$$\Delta E = Q - W \quad (2)$$

Onde:



- $\Delta E$  é a energia interna do sistema;
- $Q$  a quantidade de calor trocada no sistema;
- $W$  o trabalho realizado pelo calor.

Todos estes parâmetros medidos em unidades do sistema internacional, *Joule (J)*. No Brasil também se utiliza a unidade caloria (cal) que tem seu equivalente em Joule, isto é,  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ .

Partindo da Primeira Lei da Termodinâmica (2) compreende-se que o calor pode ser transferido para um corpo causando aquecimento ou mudança de fase, mas também pode realizar trabalho, quando na expansão ou contração de um gás. Neste sentido o trabalho realizado será dado pela definição .

$$w = \int_{v_i}^{v_f} P \cdot dv \quad (3)$$

Onde:

- $w$  é o trabalho medido em Joules;
- $P$  a pressão medida em  $\text{N/m}^2$  ;
- $dv$  o diferencial do volume medido em  $\text{m}^3$ .

Ou seja, quando houver um fluido envolvido na troca de calor é necessário se considerar o trabalho realizado.

A Energia Interna, é a soma de todas as energias existentes no material, sejam energias cinéticas ou potenciais ou mesmo rotacionais.

$$E_{int} = \frac{3}{2} p v \quad (4)$$

Onde:

- $E_{int}$  é a energia interna medida em Joules;
- $3/2$  é a proporção dos graus de liberdade das moléculas durante sua vibração;
- $p$  é a pressão medida em  $\text{N/m}^2$ ;
- $v$  é o volume medido em  $\text{m}^3$ .

Ou seja, a primeira Lei da Termodinâmica é na verdade uma lei de Conservação da Energia que mostra de que forma o calor pode ser transferido. Alguns casos clássicos são

pertinentes ao nosso estudo para explicitar como o fenômeno da troca de calor ocorre. Dentre os principais como transformação isovolumétrica, isobárica, isotérmica e adiabática destacaremos a transformação isovolumétrica.

Quando um corpo recebe calor e seu volume não varia significativamente podemos considerar que o trabalho realizado pela troca de calor é nulo, isto quer dizer que o calor recebido pelo material não foi capaz de expandi-lo em grande escala podendo ser ignorado em alguns ensaios. Neste trabalho ignoraremos as contribuições do calor na dilatação da parede por entendermos que é uma variável de pequeno impacto. Com isso a primeira Lei da Termodinâmica fica da seguinte forma:

$$\Delta E = Q \quad (5)$$

Que significa que um corpo que não realiza trabalho ao receber calor terá aumentada a sua temperatura, pois a energia interna é diretamente proporcional à temperatura.

Sendo estes os princípios Físicos iniciais necessários para o nosso estudo e compreendendo a necessidade de aplica-lo ao ensaio que realizaremos com paredes torna-se necessária uma discussão mais aprofundada sobre a troca de calor em estruturas de concreto.

### 3.2 TROCAS DE CALOR EM PAREDES

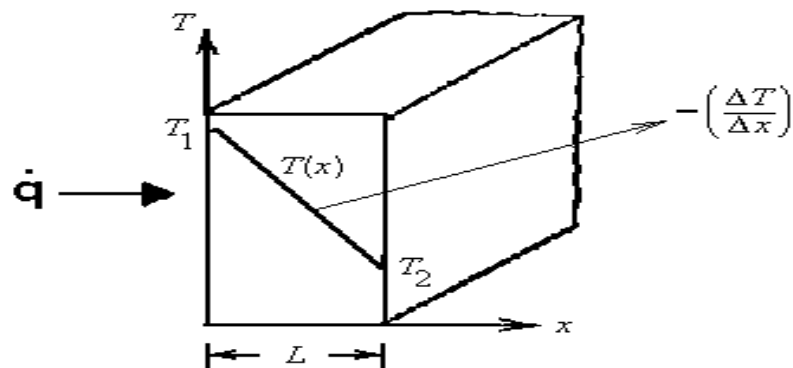
O calor trocado por um objeto sólido e seu ambiente pode ser por contato ou por irradiação. No caso da parede se considerarmos o Sol como a principal fonte de calor, então a troca se dará por meio da irradiação no primeiro momento, ou seja, quando a parede estará absorvendo calor. Posteriormente, quando as partículas da parede estiverem agitadas, então este calor se propagará de molécula para molécula por meio da condução térmica e finalmente depois de atravessar a espessura da parede este calor será irradiado para o ambiente interno em forma de irradiação novamente.

Ao se falar de toda e qualquer edificação, cabe lembramos que poderá haver manifestações patológicas em qualquer parte de sua estrutura, seja desde o início de uma fundação até o seu acabamento. Portanto, pegando as paredes como um grupo que mais apresenta patologias com o decorrer do tempo, podemos trabalhar nela, estabelecendo o comportamento dessas alvenarias no que se refere a transferência de calor, a forma como essa

energia poderá ser transmitida de um ambiente externo e interno, e suas principais características.

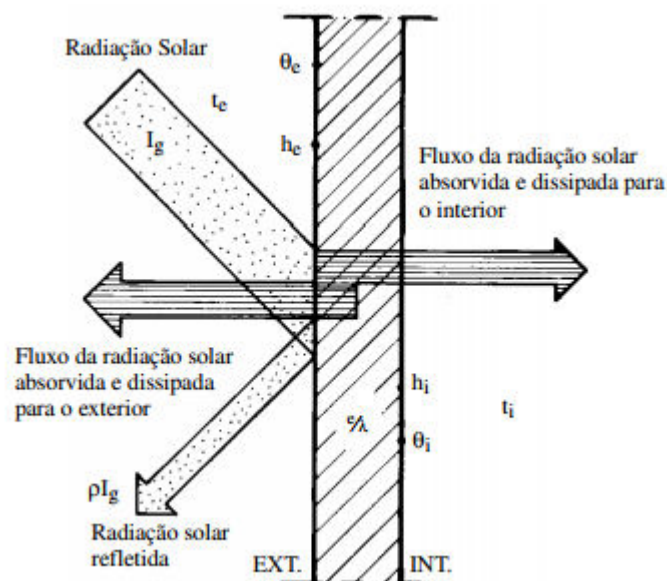
Sabe-se que todo e qualquer estudo eficiente relacionado as paredes, deve observar suas características no que se refere ao tipo de material, espessura e exposição às condições climáticas (chuva, sol, frio, etc). Daí a importância e a dificuldade nas escolhas dos materiais devido as suas difusidades térmicas, levando não so o conhecimento de suas propriedades mas também relacionando a estudos de cálculos de espaço em função do tempo (SPECHT *et al.*, 2010). A Figura 14 representa uma parede de espessura  $L$ .

Figura 14 - Parede de espessura  $L$



Fonte: MARTINS, 2012.

Figura 15 - Representação do Fluxo de Calor através de uma parede



Fonte: FROTA *et al.*, 2001.

Neste sentido nossos ensaios utilizarão uma fonte de calor externa, que ainda não está definida e mediremos utilizando vários sensores de temperatura o valor da temperatura na parte interna das paredes, que simularia o ambiente interno de uma residência. Serão cinco paredes de 1 m<sup>2</sup>, sendo cada uma com um tipo de revestimento que serão detalhados posteriormente. Com estes dados analisaremos de que forma e a quantidade de calor que se propagou através das paredes e poderemos inferir quais materiais utilizados no revestimento das paredes teve melhor rendimento no isolamento térmico.

Nos próximos capítulos discutiremos a metodologia empregada nos ensaios bem como as etapas construtivas.

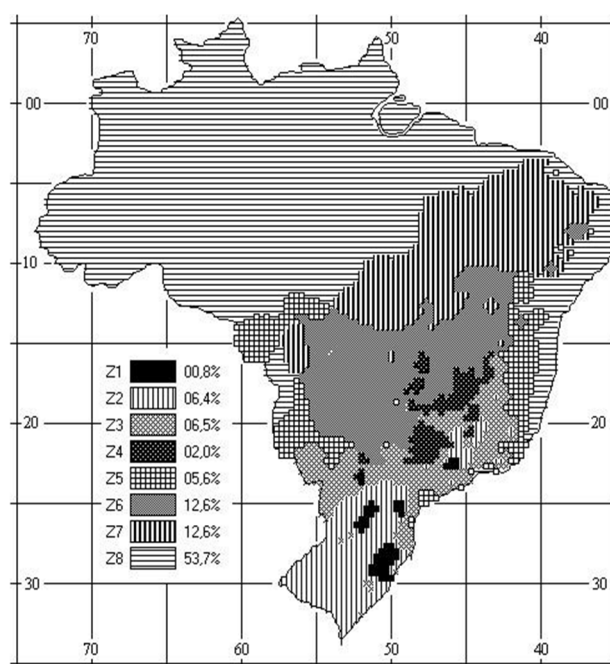
#### 4 CONFORTO TÉRMICO

Quando se pensa em desempenho térmico, é importante a preocupação de um projetista, ao estabelecer parâmetros de conforto para as pessoas em suas próprias habitações, seja nas horas de descanso e ou em funções rotineiras, atividades intelectuais ou de esforço físico, principalmente quando se trata de pessoas de baixa renda, que vão à busca de uma qualidade de vida pensando em um gasto de energia menor e maior economia no fim do mês.

Segundo o guia orientativo para atendimento à norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), desempenho térmico não se trata apenas de condicionamentos artificiais, como calefação e refrigeração, mas sim, por suas condições naturais de ventilação e grandes insolações, dando suma importância ao local da obra e da edificação.

De acordo com (SIQUEIRA *et al.*, 2005), o clima tropical é o predominante no Brasil. A continentalidade, maritimidade, latitude e relevo, faz que no Brasil se tenha uma grande diversidade climática. Pensando nisso, a norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), padronizou o clima brasileiro através de um zoneamento bioclimático, dividindo em 8 (oito) regiões como mostrado na Figura 16, pois cada edificação deve atender aos parâmetros estabelecidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2003), de acordo com sua zona específica.

**Figura 16 - Mapa das zonas bioclimáticas brasileiras**



Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

#### 4.1 CARACTERÍSTICAS DA ZONA ESPECÍFICA DO TRABALHO

O trabalho tem como região de estudo Anápolis, porém a norma não cita a cidade de Anápolis, então utilizou-se a cidade de Brasília, por apresentar altitudes e médias mensais mais semelhantes a cidade em questão. Com isso, conforme é mostrado na Figura 16, a cidade de Brasília é encontrada na zona bioclimática 4 (quatro). Segundo o guia orientativo para atendimento à norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), para cada tipo de zona, há algumas definições que se devem ter conhecimento na hora de se realizar um projeto ou escolher uma região específica para locar a obra, e um dos critérios é que, define-se o dia típico de inverno e o dia típico de verão, considerando vários fatores, desde a umidade do ar até definição de parâmetros para a radiação solar.

Para esta zona e em combinação com a região, há padrões estabelecidos da seguinte forma de acordo com o anexo A da NBR 15575-1 (ABNT, 2013):

- Em dias típicos de verão:
  - Temperatura Máxima diária: 31,2 °C
  - Amplitude diária: 12,5 °C
- Em dias de inverno:
  - Temperatura Mínima diária: 10,0 °C
  - Amplitude diária: 12,2 °C

Ou seja, devem ser observados vários critérios para melhor aplicabilidade a respeito do desempenho térmico nas obras, valendo de que, não importa apenas as questões climáticas, mas também, a respeito dos materiais a serem utilizados, tipo de estrutura a construir, e várias outras questões.

#### 4.2 PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA NBR 15575 (ABNT, 2013)

A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), para seu melhor entendimento é dividida em 6 (seis) capítulos, tratando da seguinte forma respectivamente:

- Capítulo 1 - Requisitos Gerais;
- Capítulo 2 - Sistemas estruturais;
- Capítulo 3 - Sistemas de pisos;
- Capítulo 4 - Sistemas de vedações verticais externas e internas;
- Capítulo 5 - Sistemas de cobertura;

- Capítulo 6 - Sistemas Hidrossanitário;

#### 4.3 QUANTO A SUA PARTE GERAL

Em relação ao Capítulo 1, na Norma NBR 15575-1 (ABNT, 2013), quanto a sua generalidade, deixa explícita que para todo projeto de qualquer edificação, deve-se levar em consideração a zona da região da obra a ser implantada, definida na NBR 15575-4 (ABNT, 2013), como mencionada já acima. Seguindo dois tipos de análises:

- Análise 1 - Se ao estabelecer a transmitância térmica e a capacidade térmica, verificar resultado de desempenho térmico insatisfatório, o projetista deve avaliar então, assim, a edificação como um todo, através de meios computacionais;

- Análise 2 - A medição das edificações é de caráter meramente informativo.

Algumas exigências quanto ao desempenho no verão e no inverno:

- Exigências de desempenho no verão - O interior do edifício deve apresentar condições térmicas melhores que a parte externa.

- Exigências de desempenho no inverno - O interior do edifício deve apresentar condições térmicas melhores que a parte externa.

#### 4.3.1 Quanto ao critério de valores máximos de temperatura

##### 4.3.1.1 Requisitos durante verão

Este critério estabelece que o valor máximo diário de uma temperatura do ar em recintos, sem a presença de fontes internas de calor, como pessoas, ou outros equipamentos, deve ser menor ou igual à temperatura diária exterior.

O nível para aprovação é o M (denominado mínimo), portanto, atende ao critério, como mostra no Quadro 3.

**Quadro 3 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
<p><math>T_{i,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C</p> <p><math>T_{e,max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em °C</p> <p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em °C</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT 15220-3</p>		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

#### 4.3.1.2 Requisitos durante o inverno

As temperaturas em dias de inverno, de locais onde o ar interior é de permanência prolongada devem ser sempre maiores ou iguais à temperatura mínima externa acrescida de 3 °C.

O nível para aprovação é o M (denominado mínimo), portanto, atende ao critério, como mostra o Quadro 4.

**Quadro 4 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas bioclimáticas 1 a 5	Zonas bioclimáticas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^{\circ}\text{C})$	Não deve ser verificado
<p><math>T_{i,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C</p> <p><math>T_{e,min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em °C</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT 15220-3</p>		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

#### 4.3.2 Níveis de desempenho

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013), traz em seu anexo ainda, níveis de desempenho no verão e inverno, estabelecendo valores de níveis mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).



## 4.3.2.1 Valores máximos de temperatura

**Quadro 5 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
M	$T_{i,max} \leq T_{e, max}$	$T_{i,max} \leq T_{e, max}$
I	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 2^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 1^{\circ}\text{C})$
S	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 4^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e, max} - 2^{\circ}\text{C})$ e $T_{i,min} \leq (T_{e, min} + 1^{\circ}\text{C})$
<p><math>T_{i, max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C</p> <p><math>T_{e, max}</math> é o valor máximo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em °C</p> <p><math>T_{i, min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C</p> <p><math>T_{e, min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em °C</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT 15220-3</p>		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

## 4.3.2.2 Valores mínimos de temperatura

**Quadro 6 - Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno**

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq T_{e, min} + 3^{\circ}\text{C}$	Não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq T_{e, min} + 5^{\circ}\text{C}$	
S	$T_{i,min} \geq T_{e, min} + 7^{\circ}\text{C}$	
<p><math>T_{i, min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em °C</p> <p><math>T_{e, min}</math> é o valor mínimo diário da temperatura do ar no exterior à edificação, em °C</p> <p>NOTA: Zonas bioclimáticas de acordo com a ABNT 15220-3</p>		

Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013)

#### 4.4 QUANTO A SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS E EXTERNAS

##### 4.4.1 Adequação de paredes externas

A transmitância térmica e capacidade térmica deve apresentar desempenho térmico mínimo estabelecido para cada zona bioclimática estabelecida na NBR 15220-3 (ABNT, 2013).

**Tabela 1 - Transmitância térmica das paredes externas**

<b>Transmitância Térmica U</b>		
$w/m^2 \cdot K$		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
$U \leq 2,5$	$\alpha^a \leq 0,6$	$\alpha^a > 0,6$
	$U \leq 3,7$	$U \leq 2,5$

\*  $\alpha^a$  é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

##### 4.4.1.1 Transmitância térmica de paredes externas

Os valores máximos admissíveis para a transmitância térmica ( $U$ ) das paredes externas são, conforme Tabela 1.

##### 4.4.1.2 Capacidade térmica de paredes externas

Os valores mínimos admissíveis para a capacidade térmica (CT) das paredes externas estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas**

<b>Capacidade Térmica (CT)</b>	
$kJ/m^2 \cdot K$	
Zonas 8	Zonas 1,2, 3, 4, 5, 6 e 7
Sem exigência	$\geq 130$

Fonte: NBR 15575-4 (ABNT, 2013)

## 4.5 PARÂMETROS ESTABELECIDOS PELA NBR 15220 (ABNT, 2003)

### 4.5.1 Resistência térmica

#### 4.5.1.1 Câmara de ar

Segundo NBR 15220 (ABNT, 2003), para tijolos ou quaisquer elementos com câmaras de ar circulante, deve-se transformar a área de circunferência a um quadrado com centros coincidentes. Quanto as suas condições de ventilação (pouco ou muito ventiladas), são consideráveis dois tipos, de acordo com a Tabela 4.

**Tabela 3 - Condições de ventilação para câmaras de ar**

Posição da câmara de ar	Câmara de ar	
	Pouco ventilada	Muito ventilada
Vertical (paredes)	$S/L < 500$	$S/L \geq 500$
Horizontal (coberturas)	$S/A < 30$	$S/L \geq 30$

Onde:

S é a área total de aberturas de ventilação, em cm<sup>2</sup>;

L é o comprimento da parede, em m;


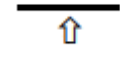
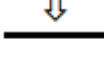

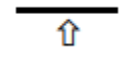
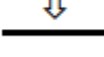
A é a área da cobertura

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003)

#### 4.5.1.2 Resistências térmicas superficiais

Segundo ao Anexo A da NBR 15220 (ABNT, 2003), a resistência térmica superficial diversifica através dos seguintes critérios, relacionados na Tabela 4.




**Tabela 4 - Resistência térmica superficial interna e externa**

Rsi (m <sup>2</sup> .K)/W			Rse (m <sup>2</sup> .K)/W		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
					
0,13	0,1	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003)

Segundo o Anexo B da NBR 15220 (ABNT, 2003), os valores da resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas apresentados na Tabela 5 são para temperaturas média de 0°C e 20°C e com uma diferença de temperatura entre as superfícies limitantes menor do que 15°C. E logo em seguida a Tabela 6, mostrando a absorvância e emissividade de superfícies.

**Tabela 5 - Resistência térmica de câmaras de ar não ventiladas, com largura maior que a espessura**

Natureza da superfície da câmara de ar	Espessura "e" da câmara de ar cm	Resistência térmica Rar m <sup>2</sup> .K/W		
		Direção do fluxo de calor		
		Horizontal	Ascendente	Descendente
				
Superfície de alta emissividade $\epsilon > 0,8$	$1,0 \leq e \leq 2,0$ $2,0 < e \leq 5,0$ e $e > 5,0$	0,14	0,13	0,15
		0,16	0,14	0,18
		0,17	0,14	0,21
Superfície de baixa emissividade $\epsilon > 0,2$	$1,0 \leq e \leq 2,0$ $2,0 < e \leq 5,0$ e $e > 5,0$	0,29	0,23	0,29
		0,37	0,25	0,43
		0,34	0,27	0,61

Notas:

- 1 -  $\epsilon$  é a emissividade hemisférica total;
- 2 - Os valores para câmaras de ar com uma superfície refletora só podem ser usados se a emissividade da superfície for controlada e previsto que a superfície continue limpa, sem pó,
- 3 - Para coberturas, recomenda-se a colocação da superfície refletora paralelamente ao plano das telhas; dessa forma, garante-se que pelo menos uma das superfícies - a inferior - continuará limpa, sem poeira;
- 4 - Caso, no processo de cálculo, existam câmaras de ar com espessura inferior a 1,0 cm, pode-se utilizar o valor mínimo fornecido por esta tabela.

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003)

**Tabela 6 - Absortância ( $\alpha$ ) para radiação solar (ondas curtas) e emissividade ( $\epsilon$ ) para radiações e temperaturas comuns (ondas longas)**

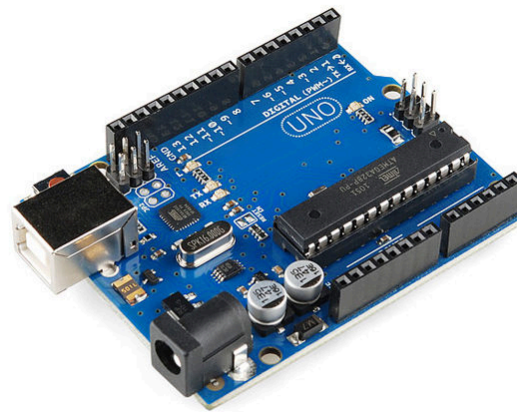
Tipo de superfície		$\alpha$	$\epsilon$
Chapa de alumínio (nova e brilhante)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova e brilhante)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12 / 0,15	0,90
Concreto aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Telha de barro		0,75 / 0,80	0,85 / 0,95
Tijolo aparente		0,65 / 0,80	0,85 / 0,95
Reboco claro		0,30 / 0,50	0,85 / 0,95
Revestimento asfáltico		0,85 / 0,98	0,90 / 0,98
Vidro incolor		0,06 / 0,25	0,84
Vidro colorido		0,40 / 0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35 / 0,80	0,15 / 0,84
Pintura:	Branca	0,2	0,90
	Amarela	0,3	0,90
	Verde clara	0,4	0,90
	"Alumínio"	0,4	0,90
	Verde escura	0,7	0,90
	Vermelha	0,74	0,90
	Preta	0,97	0,90

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2003)

## 5 METODOLOGIA DOS ENSAIOS

No ano de 2016, os professores Leandro Daniel Porfiro (Físico), Agnaldo Antônio Moreira Teodoro da Silva (Engenheiro Civil) e a professora Aline Alcamin Monteiro montaram um grupo de estudos em Arduino (GEAR), cujo objetivo era criar e construir aplicações da placa Arduino, que é uma plataforma eletrônica de hardware livre e de placa única projetada com um micro controlador com suporte de entrada/saída embutido e que utiliza uma linguagem de programação padrão C/C++, conforme a Figura 17.

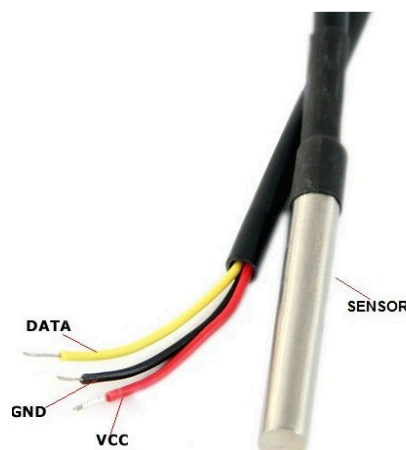
**Figura 17 - Placa Arduino Uno**



Fonte: FILIPEFLOP, 2017.

O grupo de professores comprou com recursos próprios duas placas Arduino e mais alguns componentes eletrônicos, entre os quais se destacam os sensores de temperatura de acordo com a Figura 18, que foram utilizados neste trabalho.

**Figura 18 - Sensor de Temperatura para Arduino**



Fonte: ML, 2017.

Após adquirirem os equipamentos os professores convidaram os alunos Ermison (Engenharia da Computação) e Laizi (Engenharia Civil), que são alunos com experiência em programação, além dos alunos Lauro, Rogério, Amanda e Stefânea, que por estarem no último período coordenaram todas as atividades de construção das paredes e coleta de dados. A partir daí o GEAR montou e programou uma placa de Arduino com três sensores de temperatura para coletarem medidas de temperatura de 10 em 10 minutos em superfícies de contato.

Outra ação do GEAR foi projetar e coordenar a construção de seis paredes para ensaios não destrutivos, com a ajuda dos alunos do 3º período de Engenharia Civil da UniEvangélica. Sendo assim, este trabalho de Conclusão é resultado de uma parte dos trabalhos desenvolvidos pelo GEAR e gerenciados pelas alunas autoras desta monografia.

Para discutir as etapas do trabalho opta-se por dividir em 3 (três) etapas:

- Construção das Paredes;
- Construção do equipamento para medição de temperatura;
- Análise dos resultados utilizando o software origin.

## 5.1 PRIMEIRA ETAPA

Considerando que muitos dimensionamentos de fenômenos Físicos (naturais ou artificiais) partem de parâmetros unitários optou-se por se construir paredes de 1m<sup>2</sup> de área para facilitar os cálculos durante o processo de quantificação dos fenômenos envolvidos.

Foram construídas 5 (cinco) paredes de 1 m<sup>2</sup>, ambas localizadas em um dos galpões da UniEvangélica, situado na Rua Dr. Flamiro Flaveiro, próximo a FUNEV mostrado na Figura 19.

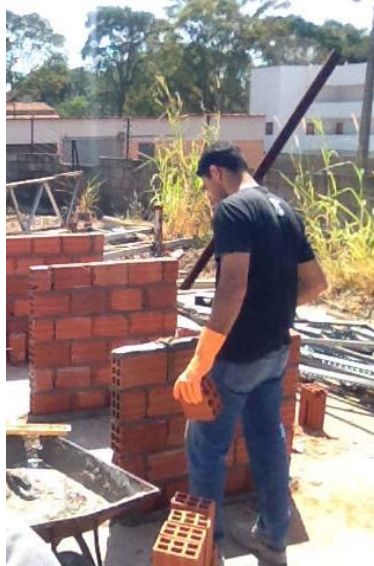
**Figura 19 – Entrada galpão**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Foram construídas conforme a Figura 20 e Figura 21, 1 (uma) parede de reboco simples, 1 (uma) parede dupla contendo lã de vidro em seu vão; e 3 (três) paredes com reboco composto, sendo cada uma com um agregado: vermiculita, isopor e cortiça.

**Figura 20 - Parte construtiva das paredes**



Fonte: Próprios autores, 2017

**Figura 20 - Paredes 1 e 2**



Fonte: Próprios autores, 2017.



**Figura 21 - Paredes 3, 4 e 5**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Para a construção das paredes foram utilizados os seguintes materiais:

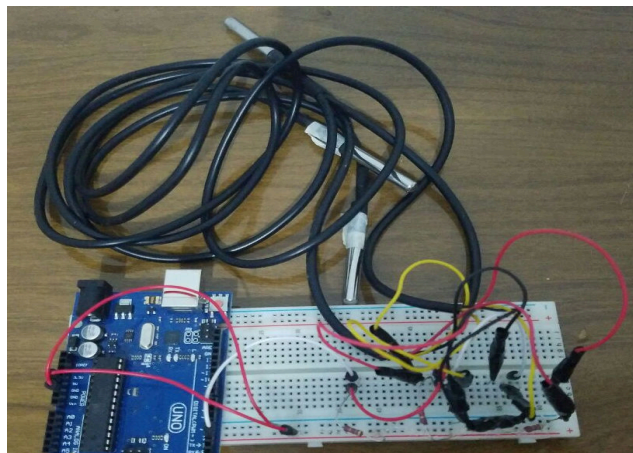
- Água;
- Areia;
- Argamassa de Assentamento - Traço 1:1:3 (cal, cimento, e areia);
- Blocos cerâmicos (9 cm x 14 cm x 24 cm);
- Cal hidratada Filical Tropical;
- Cimento Portland CP II-Z-32;
- Cortiça;
- Lã de Vidro;
- Poliestireno expandido (EPS);
- Notebook com os softwares específicos para as medições e emissão de gráficos;
- Placa arduíno com 3 (três) sensores de medição de temperatura.
- Reboco Simples - Traço (areia, cal, cimento e areia);
- Vermiculita mostrado na Figura 26;

Após esta etapa iniciou-se a etapa de construção do equipamento de medição de temperatura.

## 5.2 SEGUNDA ETAPA

Com o intuito de determinar de forma satisfatória, o estudo de fluxo de calor e o comportamento térmico das diferentes paredes, em determinando horários do dia, utilizou-se uma placa arduino com 3 (três) sensores térmicos (Figura 22) para coleta dos dados em três pontos distintos das paredes, a saber: parte interna e parte externa.

**Figura 22 - Placa Arduino utilizada no experimento**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Após implementação do programa conforme a Figura 25 e Figura 27, e testes adicionais foram realizados os ensaios nas paredes.

No dia 20 de outubro, primeiro dia de medição, foi feita a coleta de dados, conforme Figura 24 e Figura 25 da parede 1, e verificou-se o comportamento da temperatura da parede simples, que não continha em seu composto nenhum material aditivo. Considerou-se de forma necessária apenas 2 (dois) dias de medição, sendo feita no período da primavera, que compreende os meses de setembro, outubro e novembro, que compreende uma estação com intensificação de calor e períodos de chuva.

**Figura 23 - Lado interno da parede 1**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 24 - Lado externo da parede 1**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 25 - Instalação do sensor Arduino no local da medição**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 26 -Vermiculita**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 27 - Autoras da pesquisa**



Fonte: Próprios autores, 2017.

Os sensores foram dispostos das seguintes formas:

- Sensor 1 - Foi locado na parte externa da parede (Figura 24), na direção do leste, com a finalidade de receber a maior parte da incidência solar.
- Sensor 2 - Foi disposto na parte interna da parede (Figura 23), canto superior, na direção do oeste. Sem receber a irradiação do sol (Figura 23).
- Sensor 3 - Foi disposto na parte interna da parede (Figura 23), no centro, na direção do oeste. Sem receber também incidência do sol.

A coleta de dados ocorreu das 8h:00min até as 17h:00min com intervalo de uma hora entre 12h:00min e 13h:00min devido à dificuldades técnicas. No mesmo dia, 20 de outubro, foram medidas também as temperaturas das demais paredes que continham em sua fabricação outros materiais adicionados.

O intuito, é que fossem apurados em uma única vez, naquele horário, a temperatura que cada uma emitia nos seus 3 (três) sensores. Com a verificação de análise dos resultados de todas as paredes, aferiu-se que a parede que continha uma menor temperatura, ou seja, aquela que continha material que agia como isolante térmico era a parede de vermiculita, o qual possuía temperaturas inferiores às outras.

Com essa aferição, no segundo dia de medições, 21 de outubro, decidiu-se colocar a placa arduino para medir naquele mesmo intervalo de tempo, 4 horas da parte da manhã e 4 horas da parte da tarde, todas as temperaturas a cada 10 min. Desse modo, verificou-se que realmente a parede que continha vermiculita, emitia temperaturas menores do que a parede simples.

### 5.3 TERCEIRA ETAPA

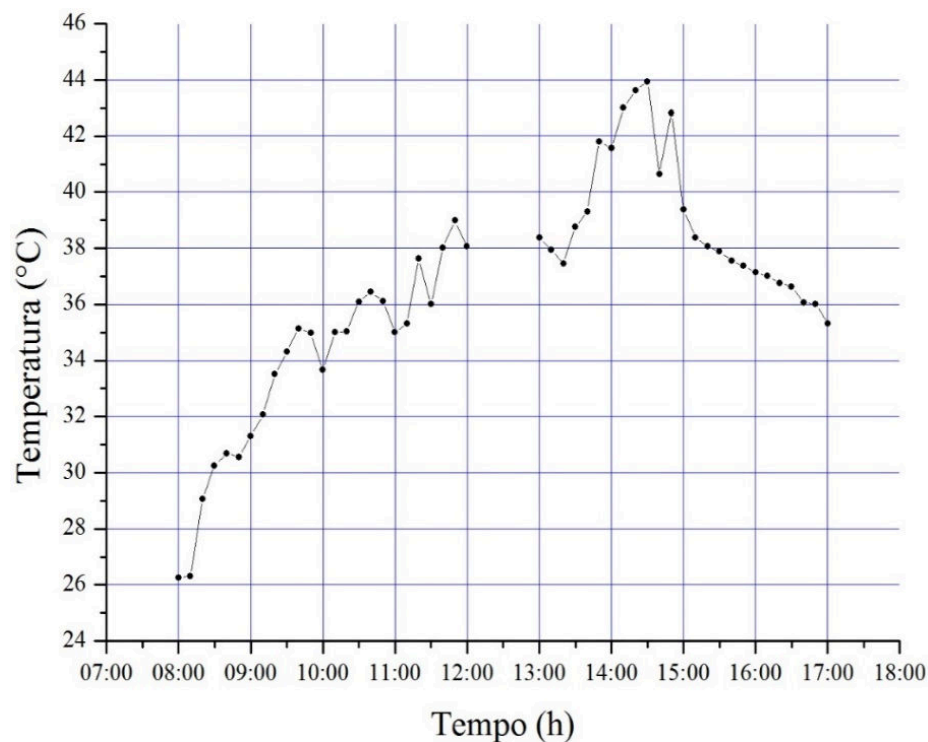
O Origin é um software gráfico, que serve para analisar dados e estáticas. Dentre vários programas existentes ele foi escolhido devido a facilidade de uso e por apresentar resultados com melhor precisão. Na confecção de gráficos permite visualização em 3D, e todos os gráficos na mesma janela. Muito utilizado em publicações técnicas e científicas das áreas de Física e Engenharia.

Com os resultados das temperaturas utilizou-se o Origin, para construirmos os gráficos de Temperatura x Tempo de cada um dos 3 (três) sensores dispostos nas paredes 1 (um) e 5 (cinco). Com a finalidade de mostrar em quais horários do dia, a temperatura se encontrou mais alta, e como os sensores estavam dispostos em locais diferentes, em qual o lugar específico, a incidência solar se tornou maior.

Primeiro será mostrado os gráficos da parede 1 (um) e em seguida, a parede 5 (cinco), para que sejam feitas as comparações e possíveis análises.

Nas Figuras 28, Figura 29 e Figura 30, destacam-se os 3 (três) gráficos da parede 1 (um).

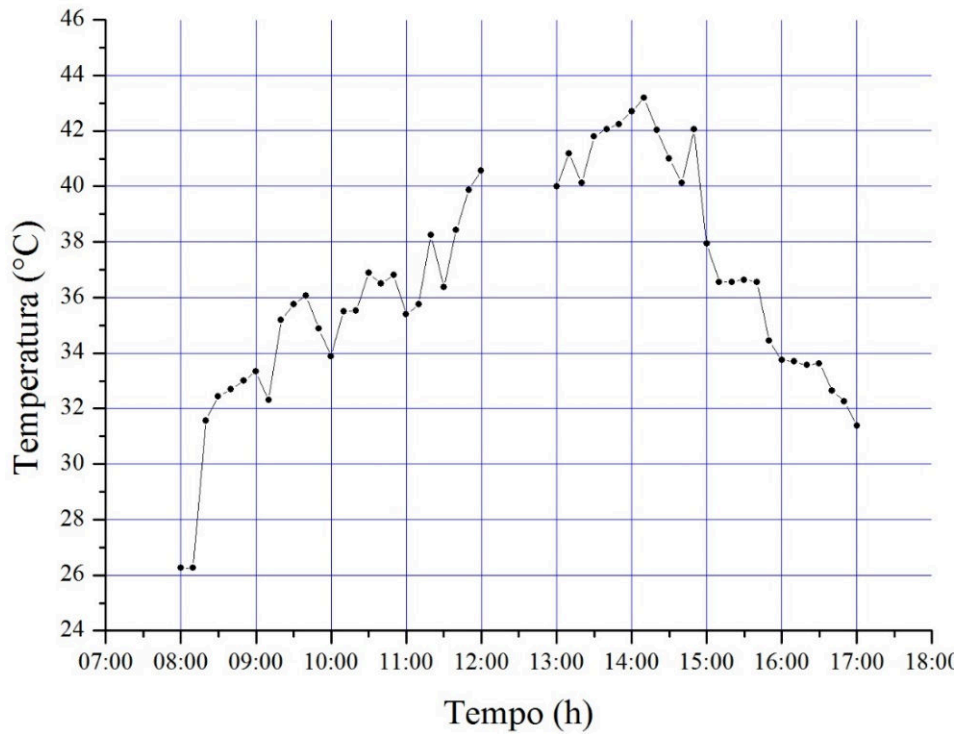
**Figura 28 – Gráfico do sensor 1 da parede 1**



Fonte: Próprios autores, 2017.

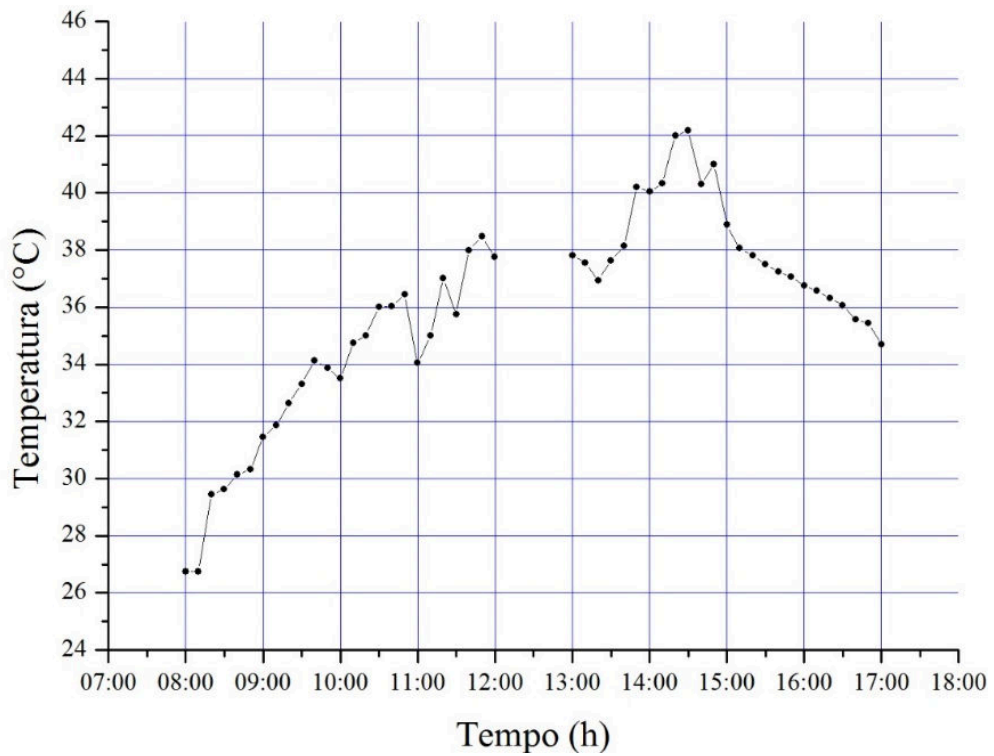


**Figura 29 – Gráfico do sensor 2 da parede 1**



Fonte: Próprios autores, 2017.

**Figura 30 - Gráfico do sensor 3 da parede 1**



Fonte: Próprios autores, 2017.

É possível observar que a temperatura mais alta foi de 44° C e como era previsto pelos fundamentos da Física, a temperatura aumentou com passar do dia até seu ápice e posteriormente baixou. Isso ocorreu por causa da rotação da Terra em torno do Sol, que influencia diretamente na incidência de raios solares.

Em seguida conforme Figura 31, Figura 32 e Figura 33, são apresentados os gráficos da parede 5.

**Figura 31 – Gráfico do sensor 1 da parede 5**

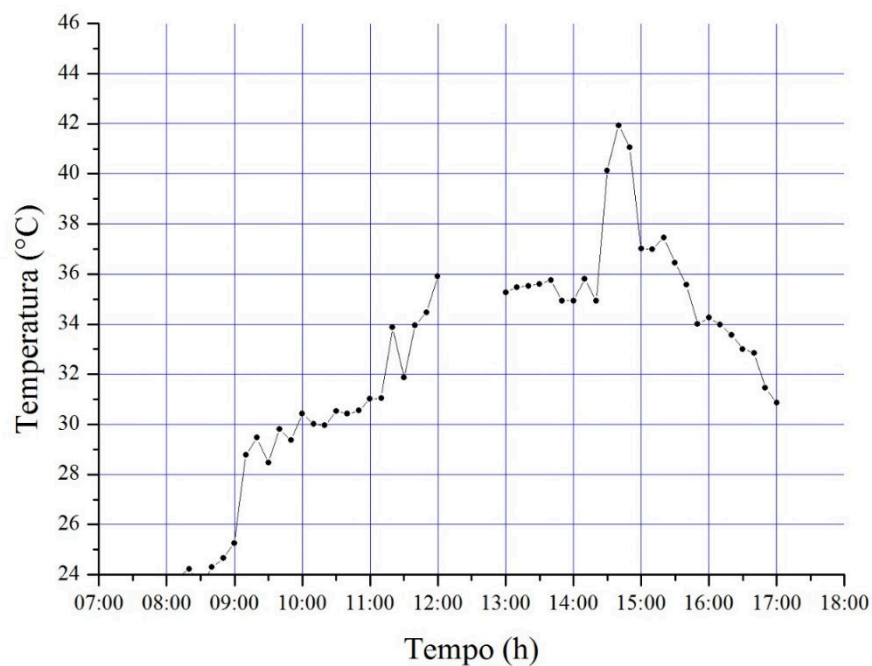
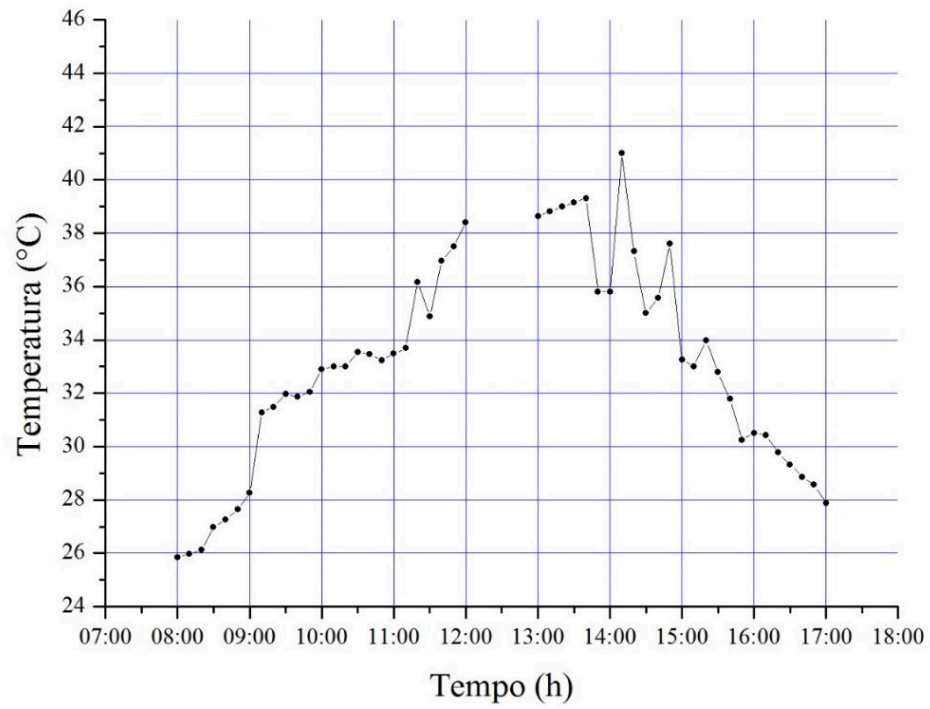


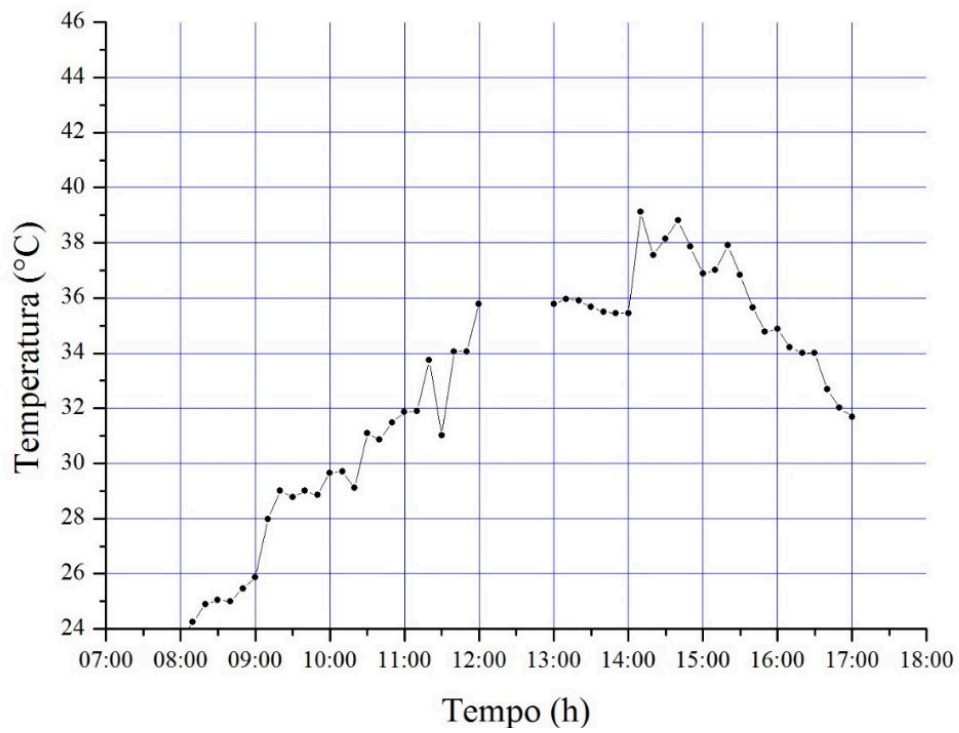


Figura 32 - Gráfico do sensor 2 da parede 5



Fonte: Próprios autores, 2017.

Figura 33 - Gráfico do sensor 3 da parede 5



Fonte: Próprios autores, 2017.

É possível perceber que a maior temperatura atingida pela parede revestida com Vermiculita é de 42 °C.

A partir dos dados coletados analisaremos à luz das teorias Físicas e das Normas supracitadas os parâmetros calculados a partir dos dados.

Foi feita análise de outras paredes, e observou os seguintes resultados de diferenças de temperaturas, entre a temperatura interna e externa.

**Tabela 7 - Diferenças de temperaturas das paredes**

	Parede 1	Parede 2	Parede 3	Parede 4	Parede 5
Material	Reboco simples	Dupla com lã de vidro	Reboco contendo cortiça	Reboco contendo EPS	Reboco contendo vermiculita
$\Delta T$ (°C)	2,89	4,12	2,50	3,44	5,19

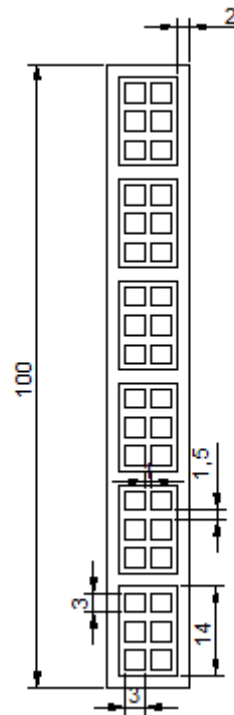
Fonte: Próprios autores, 2017.

Observa-se que o melhor desempenho foi a parede contendo vermiculita em seu composto, por isso utilizou-se a mesma para seguir com o projeto, fazendo comparações de fluxo de Calor com a parede contendo reboco simples.

#### 5.4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao verificar todos os dados quantitativos, e analisando os gráficos fez-se um processo de contas para melhor eficácia do projeto, viabilizando a análise do desempenho térmico de diferentes composições de materiais. Seguindo exemplos da NBR 15220 (ABNT, 2003) para calcular resistência térmica e transmitância térmica das paredes 1 (um) e 5 (cinco), com dimensões apresentadas conforme Figura 34. Adotou-se as dimensões devido ao baixo custo econômico e sendo somado com a boa viabilizando dos resultados.

Figura 34 - Dimensões das paredes 1 e 5



Fonte: Próprios autores, 2017.

### PAREDE 1 – REBOCO SIMPLES

Dimensão do bloco cerâmico = 24 cm x 14 cm x 9 cm

$\lambda$  bloco cerâmico = 0,90 W/(m.K) (ver Tabela 1)

$\lambda$  argamassa = 1,15 W/(m.K) (ver Tabela 1)

$\lambda$  reboco = 0,70 W/(m.K) (ver Tabela 1)

Considerando a superfície da câmara de ar em alta emissividade ( $\varepsilon > 0,80$ ), a direção do fluxo na horizontal, e espessura da câmara de ar ( $2,0 < e \leq 5,0$ ) então, com referência a Tabela 6, a resistência térmica  $R_{ar}$  em  $m^2.K/W$  é 0,16.

a) Resistência térmica da parede:

Seção 1 (reboco + argamassa + reboco):

$$A_1 = 0,02 \times 0,24 + 0,02 \times 0,16 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} = \frac{0,02}{0,70} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{0,70} = 0,1354 \text{ (m}^2.K)/W$$

Seção 2 (reboco + tijolo + reboco):

$$A_2 = 0,02 \times 0,24 = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} = \frac{0,02}{0,70} + \frac{0,09}{0,90} + \frac{0,02}{0,70} = 0,1571 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 3 (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_3 = 0,03 \times 0,24 = 0,0072 \text{ m}^2$$

$$R_3 = \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + R_{ar} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{reboco}}}{\lambda_{\text{reboco}}}$$

$$R_3 = \frac{0,02}{0,70} + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + \frac{0,02}{0,70} = 0,4105 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_t = \frac{A_1 + 4xA_2 + 3xA_3}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{4xA_2}{R_2} + \frac{3xA_3}{R_3}} = \frac{0,008 + 4 \times 0,0048 + 3 \times 0,0072}{\frac{0,008}{0,1354} + \frac{4 \times 0,0048}{0,1571} + \frac{3 \times 0,0072}{0,4105}} = 0,2086 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

b) Resistência térmica total:

$$R_t = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2086 + 0,04 = 0,3786 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

c) Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,3786} = 2,64 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Segundo a NBR 15775 (ABNT, 2013), em relação ao valor encontrado para transmitância e conforme Tabela 2, o valor de  $2,64 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ , e o valor para absorvância térmica sendo menor que 0,6 encontrado na Tabela 7. Então  $U \leq 3,7$ , onde  $U$  é o valor máximo de transmitância. Então a parede com reboco simples atende a exigência de transmitância térmica estipulada pela NBR 15220 (ABNT, 2003).

d) Cálculo da transferência de calor (fluxo de calor):

$$q = \frac{\Delta t}{R_t} = \frac{(43,19 - 40,30)}{0,3786} = \frac{(2,89) + 300\text{K}}{0,3786} = 800,03 \text{ W/m}^2$$

## PAREDE 5 – REBOCO COM VERMICULITA

Dimensão do tijolo = 24 cm x 14 cm x 9 cm

$\lambda$  bloco cerâmico =  $0,90 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$  (ver Tabela 1)

$\lambda$  argamassa =  $1,15 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  (ver Tabela 1)

$\lambda$  reboco =  $0,30 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  (ver Tabela 1)

Considerando a superfície da câmara de ar em alta emissividade ( $\epsilon > 0,80$ ), a direção do fluxo na horizontal, e espessura da câmara de ar ( $2,0 < e \leq 5,0$ ) então, com referência à Tabela 6 a resistência térmica  $R_{ar}$  em  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  é  $0,16$

a) Resistência térmica da parede:

Seção 1 (reboco + argamassa + reboco):

$$A_1 = 0,02 \times 0,24 + 0,02 \times 0,16 = 0,008 \text{ m}^2$$

$$R_1 = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{argamassa}}{\lambda_{argamassa}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} = \frac{0,02}{0,30} + \frac{0,09}{1,15} + \frac{0,02}{0,30} = 0,2116 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 2 (reboco + tijolo + reboco):

$$A_2 = 0,02 \times 0,24 = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$R_2 = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} = \frac{0,02}{0,30} + \frac{0,09}{0,90} + \frac{0,02}{0,30} = 0,2333 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção 3 (reboco + tijolo + câmara de ar + tijolo + câmara de ar + tijolo + reboco):

$$A_3 = 0,03 \times 0,24 = 0,0072 \text{ m}^2$$

$$R_3 = \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + R_{ar} + \frac{e_{cerâmica}}{\lambda_{cerâmica}} + \frac{e_{reboco}}{\lambda_{reboco}}$$

$$R_3 = \frac{0,02}{0,30} + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + 0,16 + \frac{0,01}{0,90} + \frac{0,02}{0,30} = 0,4866 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

$$R_t = \frac{A_1 + 4xA_2 + 3xA_3}{\frac{A_1}{R_1} + \frac{4xA_2}{R_2} + \frac{3xA_3}{R_3}} = \frac{0,008 + 4 \times 0,0048 + 3 \times 0,0072}{\frac{0,008}{0,2116} + \frac{4 \times 0,0048}{0,2333} + \frac{3 \times 0,0072}{0,4866}} = 0,2966 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

b) Resistência térmica total:

$$R_t = R_{si} + R_t + R_{se} = 0,13 + 0,2966 + 0,04 = 0,4666 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

c) Transmitância térmica:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{0,4666} = 2,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Segundo a NBR 15775 (ABNT, 2013), em relação ao valor encontrado para transmitância e conforme Tabela 2, o valor de  $2,14 W/(m^2.K)$ , e o valor para absorptância térmica sendo menor que 0,6 encontrado na Tabela 7. Então  $U \leq 3,7$ , onde  $U$  é o valor máximo de transmitância. Então a parede com reboco contendo vermiculita atende a exigência de transmitância térmica estipulada pela NBR 15220 (ABNT, 2003).

d) Cálculo da transferência de calor (fluxo de calor):

$$q = \frac{\Delta t}{Rt} = \frac{(41,00 - 35,81)}{0,4666} = \frac{(5,19) + 300K}{0,4666} = 654,07 W/m^2$$

Com base em todos os resultados encontrados acima, pode-se comparar os fluxos de calor para as duas paredes, com suas diferentes composições. O que demonstra a importância dessas informações para análise de desempenho térmico, e minimização de gastos, em construção civil. A parede de vermiculita apresentou um fluxo de calor (transferência) menor do que o encontrado para a parede de reboco simples, com uma diferença de  $145,96 W/m^2$ .

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado neste trabalho demonstrou que é possível medir e calcular o fluxo de calor através de paredes de maneira prática, desde que fundamentado nos conceitos Físicos e nas Normas vigentes, que dão suporte teórico-técnico para este fim.

Neste sentido, foi possível avaliar o desempenho térmico das paredes e compará-los, demonstrando que a vermiculita atua como bom isolante térmico para o revestimento de parede.

É possível perceber também pelos gráficos de Temperatura X Tempo, que a temperatura na parede de vermiculita foi mais baixa do que na parede simples.

É importante reconhecer que o conforto térmico não é estabelecido apenas com sistemas construtivos ou pelo clima predominante da região, mas também de outros fatores que vão determinar se a edificação vai ter um bom desempenho ou não, como posição, tamanho, localização espacial, etc.

Portanto, com base nos testes realizados e seus resultados, e considerando as discussões de Marinho (2010), relacionamos a seguir três mandamentos básicos que devem ser levados em consideração na fase de projeto, para se buscar um maior conforto térmico:

- I. Posicionar a casa corretamente no terreno.
- II. Dar preferência à face norte aos ambientes que devem ser mais intensamente iluminados.
- III. Conhecer as características de insolação e o regime de ventos da região.

A partir da metodologia que utilizamos e das informações que colhemos referentes ao comportamento das duas paredes estudadas, como esperado, a parede que contém vermiculita teve desempenho térmico mais eficiente quanto ao quesito absorção de calor que a parede simples. Este fato nos mostra que pode ser compensatório fazer uma relação de comportamento térmico e o custo total de cada uma, com suas devidas composições, privilegiando tanto a parte econômica, de baixo custo de mão-de-obra, como em relação às contas no final do mês que podem ser menores, devido ao gasto energético com aparelhos de refrigeração. As duas paredes obtiveram desempenho maior que o nível superior (S), estipulado pela NBR 15575-1 (NBR, 2013). Já para o índice de transmitância térmica (U), com absortância menor que 0,6, sendo recomendado pela norma  $U \leq 3,7$ , as duas estiveram dentro do limite estipulado pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013). Então as duas paredes atenderam as normas de desempenho térmico, obtendo ainda resultados muito satisfatório.

Conclui-se que paredes que evitam um pico de fluxo, e apresentam valores de  $q$  menores, são mais eficazes para manter boas condições de temperatura de um ambiente, pois a quantidade de calor que passa durante o dia é menor, produzindo sensações de melhor conforto no local, minimizando a sensação térmica elevada nos ambientes internos se comparada com a parte externa.

A partir deste estudo, que consideramos introdutório é possível propor outras abordagens para pesquisas futuras, como avaliar o desempenho com outros tipos de materiais também no grupo de isolantes (bloco de concreto, lã de vidro muito utilizado em conjuntos habitacionais da caixa, e outros materiais alternativos). Utilizar programas mais desenvolvidos que possam realizar um mapeamento melhor e mais amplo das paredes. E por fim outra sugestão para complementar é avaliar o comportamento térmico também em estações frias do ano, onde a temperatura interna pode ser maior, e verificar se mesmo em dias quentes com noites frias, o calor absorvido pela parede durante o dia, pode ser liberado de noite para manter o ambiente mais aquecido.

Espera-se que este trabalho sirva de referência para estudos posteriores.



## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto - Especificação: NBR 7211. 2009.**

\_\_\_\_\_. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Requisitos: NBR 13281. 2005.**

\_\_\_\_\_. **Cimento Portland composto: NBR 11578. 1991.**

\_\_\_\_\_. **Componentes cerâmicos parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos: NBR 15270-1. 2005.**

\_\_\_\_\_. **Componentes cerâmicos parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural - Terminologia e requisitos: NBR 15270-2. 2005.**

\_\_\_\_\_. **Componentes cerâmicos parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação - Métodos de ensaio: NBR 15270-3. 2005.**

\_\_\_\_\_. **Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades: NBR 15220-1. 2003.**

\_\_\_\_\_. **Desempenho térmico de edificações parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações: NBR 15220-2. 2003.**

\_\_\_\_\_. **Desempenho térmico de edificações parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: NBR 15220-3. 2005.**

\_\_\_\_\_. **Edificações habitacionais - Desempenho parte 1: requisitos gerais: NBR 15571-1. 2013.**

\_\_\_\_\_. **Edificações habitacionais - Desempenho parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas: NBR 15571-4. 2013.**

\_\_\_\_\_. **Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas - Especificação: NBR 13749. 1996.**

ARANHA, Eduardo. **10 curiosidades que não sabia sobre as pirâmides de Gizé.** 2016. Disponível em: <<http://mundodeviagens.com/piramides-de-gize/>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

ARAÚJO, H. N. **Intervenção em obra para implantação do processo construtivo em alvenaria estrutural: Um estudo de caso. Dissertação.** (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC. 1995. 117p.4

ASHRAE 55-2004. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta. 2004.

AURÉLIO, Marco. **Conceitos da Física.** 2015. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/principais-conceitos-fisica.htm>> Acesso em: 18 maio, 2017.

AZEREDO, H. A. **O Edifício e o seu Acabamento:** Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 2004.

BATTAGIN, A. F. **Uma breve história do cimento Portland.** 2012. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br/cms/basico-sobre-cimento/historia/uma-breve-historia-do-cimento-portland/>>. Acesso em: 25 mar. 2017.

CAMACHO, Jefferson S. **Projetos de edifícios em alvenaria estrutural.** Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual Paulista, 2001. 52 p.

CARASEK, H. **Argamassas. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** 5ª Edição, Volume 2: Ed. Geraldo C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2010.

COSTA, E.C.D. **Física aplicada à construção: conforto térmico.** 2. ed. São Paulo: Blücher, 1974. 259 p.

DIANA, Daniela. **Radiação, condução e convecção.** 2017. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/irradiacao-termica/>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

DUARTE, Ronaldo B. **Recomendações para o projeto e execução de edifícios de alvenaria estrutural. Ronaldo Bastos Duarte.** Porto Alegre, 1999, 79p.

FERNANDES, Anna. **Pompéia.** 2012. Disponível em: <<http://dicasdaitalia.blogspot.com.br/2012/04/pompeia.html>>. Acesso em: 01 mar. 2017.

FILIFELOP. **Placa Arduino Uno.** 2017. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

FRANCO, Luís S. **O desenvolvimento de processos construtivos em alvenaria estrutural.** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992. 10 p.

FROTA, A. B. et al. **Manual de conforto térmico.** 5ª Edição. São Paulo, 2001.

GEO, Nat. **Machu Picchu.** 2010. Disponível em: <<http://www.nationalgeographic.com/travel/world-heritage/machu-picchu/#/92491.jpg>>. Acesso em: 02 mar. 2017.

GOMES, A. de O. **Argamassas para Revestimentos de Edificações.** UFBA, Escola Politécnica, DCTM. Bahia, 2006.

MACIEL, Luciana Leone. BARROS, Mércia M. S. Bottura. SABBATINI, Fernando Henrique. **Recomendações para a execução de revestimentos de argamassas para paredes e vedação interna e exteriores e tetos.** São Paulo. 1998. Disponível em: <<http://pcc2436.pcc.usp.br/Textost%C3%A9nicos/Revestimentos%20verticais/aula%205%202005%20texto%20argamassa.PDF>>. Acesso em: 16 maio, 2017.

MARINHO, George S. **Brasil persegue o conforto térmico ideal**. 2010. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/brasil-persegue-o-conforto-termico-ideal/>>. Acesso em: 24 out. 2017.

MARTINS, Gleyser. **Equação da taxa de condução de calor**. 2012. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAWJ0AI/fenomenos-dos-transportes-aula-2#>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

MENDES. **Modelos para Previsão da Transferência de Calor e de Umidade em Elementos Porosos de Edificações**. 1997. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/77246/108724.pdf?sequence=1&isAllowed=>. Acesso em: 15 maio, 2017.

ML. **Sensor de Temperatura para Arduino**. 2017. Disponível em: <[https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-742471460-sensor-temperatura-prova-dagua-ds18b20-p-arduino-outros-\\_JM](https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-742471460-sensor-temperatura-prova-dagua-ds18b20-p-arduino-outros-_JM)>. Acesso em: 24 out. 2017.

MUSARRA, Fabiola. **Egito quer reconstruir o Farol de Alexandria**. 2015. Disponível em: <<https://fabiolamusarra.wordpress.com/2015/06/04/egito-quer-reconstruir-o-farol-de-alexandria/>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

ORDENES, LAMBERTS & GÜTHS, **Transferência de calor na envolvente da edificação**, 2008.

PÁDUA, Marcos. **Coliseu - Entre a arena e o estádio**. 2011. Disponível em: <<http://profmarcopadua.net/coliseu.pdf>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

PAIXÃO, Dinara X. da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede de alvenaria, utilizando análise estatística de energia (SEA)**. 2002.

PETRUCCI, E. **Manual do Engenheiro**. Porto Alegre: Globo, v. 4. 1976.

PETRUCCI, E.G.R. **Materiais de Construção**. 2ª edição, Porto Alegre: Globo, 1976.

POZZOBON, Marco A. **O processo de monitoramento e controle tecnológico em obras de alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003. 305p.

RAMALHO, Márcio A.; CORRÊA, Márcio R.S. **Projetos de edifícios de alvenaria estrutural**. São Paulo, SP: Pini, 2003. 174 p.

REDAÇÃO, Da. **Resumo de Física: Transmissão de Calor**. 2012. Disponível em: <<https://guiadoestudante.abril.com.br/estudo/resumo-de-fisica-transmissao-de-calor/>> Acesso em: 19 maio, 2017.

RIBEIRO, Carmen C.; PINTO, Joana Darc da S.; STARLING, Tardeu. **Materiais de Construção Civil**. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, ESCOLA DE ENGENHARIA DA UFMG, 2011. 53p.

RIOS, Ricardo. **Conjunto habitacional central Parque Lapa**. 2010. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/banco-obras/>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

RIZZATTI, E. **Alvenaria Estrutural**. Santa Maria: USM, 2007. Apostila.

ROMAN & MOHAMAD. **Alvenaria Estrutural: Classificação dos Materiais**, 1999. Apostila.

ROMAN, Humberto R.; MUTTI, Cristini do N.; ARAÚJO, Hércules N. de. **Construindo em alvenaria estrutural**. Florianópolis, SC: UFSC, 1999. 83p.

SABBATINI, F. H.. **Argamassas de assentamento para paredes de alvenaria estrutural**. Boletim Técnico 02/86. EPUSP. São Paulo, 1986.

SABBATINI, F. H.; BARROS, M. M. S. B de; SILVA, M. M de A. **Banco de Tecnologia Construtiva para a produção de alvenarias de vedação racionalizadas**. In: **Entac – IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Foz do Iguaçu, Paraná, 2002. Disponível em: <[http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002\\_1753\\_1762.pdf](http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1753_1762.pdf)>. Acesso em: 8 de maio. 2017

SABBATINI, F.H; **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1989. 336p.

SANTOS, Heraldo Barbosa dos. **Ensaio de Aderência das argamassas de revestimentos (monografia do curso de especialização em construção civil)**. Escola de Engenharia de UFMG. Belo Horizonte, 2008.

SIQUEIRA, Tulio Cesar Pessotto Alves; AKUTSU, Maria; LOPES, Jarbas Ibraim Esperidião; SOUZA, Henor Artur de; **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações**. Rem: Rev. Esc. Minas vol.58 no.2 Ouro Preto Apr./June 2005.

SPECHT, Luciano Pivoto; BORGES, Pedro Augusto Pereira; RUPP, Ricardo Forgiarini and VARNIER, Rosane. **Análise da transferência de calor em paredes compostas por diferentes materiais**. Ambient. constr, vol.10, n.4, 7-18p, 2010.

TEIXEIRA, Mariane M. **Radiação, condução e convecção**. 2010. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/radiacao-conducao-conveccao.htm>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

TRIGO, Thiago. **Mecanismos de propagação térmica**. 2011. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/fisica/mecanismos-de-propagacao-termica>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

## ANEXOS

Tabela B.3 da NBR 15220-2 (ABNT, 2003).

Material	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
<b>Argamassas</b>			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000		1,00
<b>Cerâmica</b>			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92
<b>Fibro-cimento</b>			
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84
	1400-1800	0,65	0,84
<b>Concreto (com agregados de pedra)</b>			
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00
<b>Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (<math>\rho</math> dos Inertes ~750 kg/m<sup>3</sup>)</b>			
com finos	1400-1600	0,52	1,00
	1200-1400	0,44	1,00
sem finos	1000-1200	0,35	1,00
<b>Concreto com argila expandida</b>			
dosagem de cimento > 300 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos Inertes > 350 kg/m <sup>3</sup>	1600-1800	1,05	1,00
	1400-1600	0,85	1,00
	1200-1400	0,70	1,00
	1000-1200	0,46	1,00
dosagem de cimento < 250 kg/m <sup>3</sup> , $\rho$ dos Inertes < 350 kg/m <sup>3</sup>	800-1000	0,33	1,00
	600-800	0,25	1,00
	< 600	0,20	1,00
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlita expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00
	400-600	0,24	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00
concreto celular autoclavado	500-600	0,20	1,00
	400-500	0,17	1,00
<b>Gesso</b>			
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84
com agregado leve (vermiculite ou perlita expandida)			
dosagem gesso:agregado = 1:1	700-900	0,30	0,84
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84
<b>Granulados</b>			
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80
argila expandida	< 400	0,16	
areia seca	1500	0,30	2,09
areia (10% de umidade)	1500	0,93	
areia (20% de umidade)	1500	1,33	
areia saturada	2500	1,88	
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84

<b>Impermeabilizantes</b>			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
<b>Isolantes térmicos</b>			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno extrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
<b>Madeiras e derivados</b>			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
<b>Metals</b>			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
<b>Pedras (Incluindo junta de assentamento)</b>			
granito, gnaisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mámore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
<b>Plásticos</b>			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliesteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) polícloretos de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
<b>Vidro</b>			
vidro comum	2500	1,00	0,84

**Medidor\_de\_Temperatura**

```

void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
}
void loop(void) {
  byte i;
  byte present = 0;
  byte type_s;
  byte data[12];
  byte addr[8];
  float celsius, fahrenheit;

  if ( !ds.search(addr) ) {
    Serial.println("No more addresses.");
    Serial.println();
    ds.reset_search();
    delay(250);
    delay(600000); // maybe 750ms is enough, maybe not
    // we might do a ds.depower() here, but the reset will take care of it.

    return;
  }
  for( i = 0; i < 8; i++) {
    Serial.write(' ');
  }

  if (OneWire::crc8(addr, 7) != addr[7]) {
    Serial.println("CRC is not valid!");
    return;
  }
  Serial.println();

```

```

// the first ROM byte indicates which chip
switch (addr[0]) {
  case 0x10:
    type_s = 1;
    break;
  case 0x28:
    type_s = 0;
    break;
  case 0x22:
    type_s = 0;
    break;
  default:
    return;
}

ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0x44); // start conversion, use ds.write(0x44,1) with parasite power on at the end

present = ds.reset();
ds.select(addr);
ds.write(0xBE); // Read Scratchpad

for (i = 0; i < 9; i++) { // we need 9 bytes
  data[i] = ds.read();
}

// Convert the data to actual temperature
// because the result is a 16 bit signed integer, it should
// be stored to an "int16_t" type, which is always 16 bits
// even when compiled on a 32 bit processor.
int16_t raw = (data[1] << 8) | data[0];
if (type_s) {

```



```

raw = raw << 3; // 9 bit resolution default
if (data[7] == 0x10) {
  // "count remain" gives full 12 bit resolution
  raw = (raw & 0xFFF0) + 12 - data[6];
}
} else {
  byte cfg = (data[4] & 0x60);
  // at lower res, the low bits are undefined, so let's zero them
  if (cfg == 0x00) raw = raw & ~7; // 9 bit resolution, 93.75 ms
  else if (cfg == 0x20) raw = raw & ~3; // 10 bit res, 187.5 ms
  else if (cfg == 0x40) raw = raw & ~1; // 11 bit res, 375 ms
  /// default is 12 bit resolution, 750 ms conversion time
}
celsius = (float)raw / 16.0;
fahrenheit = celsius * 1.8 + 32.0;
Serial.print(" Temperature = ");
Serial.print(celsius);
Serial.print(" Celsius, ");
}

```