

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**PAULO SÉRGIO DORNELES ALMEIDA**

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À ANÁLISE TÉRMICA DE  
ALVENARIA EM BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

**Alegrete  
2017**

**PAULO SÉRGIO DORNELES ALMEIDA**

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À ANÁLISE TÉRMICA DE  
ALVENARIA EM BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Aldo Leonel Temp

**Alegrete  
2017**

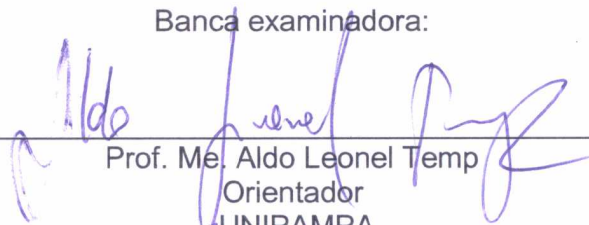
PAULO SÉRGIO DORNELES ALMEIDA

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À ANÁLISE TÉRMICA DE  
ALVENARIA EM BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS**

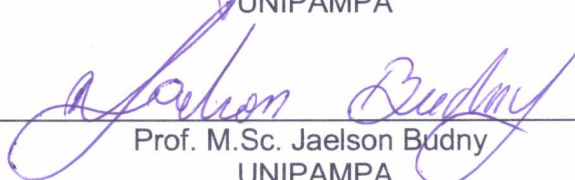
Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
da Universidade Federal do Pampa, como  
requisito parcial para obtenção do Título de  
Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27, novembro de 2017.

Banca examinadora:



Prof. Me. Aldo Leonel Temp  
Orientador  
UNIPAMPA



Prof. M.Sc. Jaelson Budny  
UNIPAMPA



Prof. Me. Mauricio Silveira dos Santos  
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha família e a  
minha namorada Caroline.

“O coração do homem propõe o seu caminho; mas o Senhor lhe dirige os passos”.

Provérbios 16.9

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por abençoar o meu caminho durante essa etapa da minha vida, que sem essa proteção e ajuda não poderia chegar até aqui.

A minha família, tenho gratidão pelo incentivo e apoio aos meus estudos. Aos meus avós Erondina, Luis Carlos, Cenair, Nelci e Iara pela intensa compreensão e ajuda durante toda minha vida.

A Caroline pela compreensão durante o tempo que não pude dar atenção, mas me incentivou a não desistir, assim como toda a sua família.

Ao Prof. Me. Aldo Leonel Temp, pela orientação e contribuição ao trabalho, que foram fundamentais para o sucesso do estudo.

Aos Professores Me. Maurício Silveira dos Santos e M.Sc. Jaelson Budny por aceitar ser avaliadores, e pela contribuição ao estudo, essenciais para o desenvolvimento da pesquisa.

A Prof. Dr. Simone Dornelles Venquiaruto, pela doação da areia de PET utilizada durante o estudo.

Aos professores do corpo docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, pelo conhecimento passado e interesse pela boa formação dos alunos.

A empresa Engisul Borrachas pela contribuição com a doação do pó de borracha, utilizado no trabalho, e a Construtora SOTRIN pela doação dos blocos cerâmicos

A todos aqueles que durante a minha graduação estenderam a mão para que esse momento pudesse ser realizado.

## RESUMO

A construção civil no Brasil tem se mostrado, ao longo dos anos, culturalmente baseada na condição de menor custo, não visando, na maioria das vezes, o bem-estar do usuário. Uma das tipologias bastante utilizadas na construção de edifícios é a alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, porém, os blocos atualmente usados não têm apresentado bom desempenho no que tange o isolamento térmico dos fechamentos verticais externos. Para impulsionar o uso de novas tecnologias ou o aperfeiçoamento dos métodos construtivos utilizados, foram criadas as normas NBR 15575 e NBR 15220, que descrevem parâmetros para o desempenho das edificações no Brasil.

Este trabalho objetiva descobrir novos materiais que possam contribuir para o desempenho térmico das edificações construídas em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos. Para tal, foram desenvolvidas três argamassas modificadas com adição de 30% de pó de borracha, areia de PET e pérolas de EPS, com a finalidade de preencher os septos dos blocos. Foram realizados ensaios utilizando a tecnologia da termografia infravermelha ativa, de modo que através de uma fonte artificial de calor, foi aquecida uma das superfícies dos quatro prismas construídos, sendo um com os septos ociosos e os outros preenchidos com as argamassas modificadas, e no lado oposto do prisma, feito o monitoramento da temperatura da superfície com o auxílio de uma câmera termográfica. Através dos termogramas e gráficos construídos, podem-se obter resultados significantes, apresentando gradiente de temperatura entre a temperatura da fonte de calor e a temperatura média da superfície oposta do prisma, sendo esse de 2,8°C de diferença entre o prisma ocioso e o preenchido com argamassa modificada com pó de borracha. Com o estudo, obtiveram-se diversas conclusões, entre elas, a de que o preenchimento dos septos contribui na transmitância térmica, dessa forma contribuindo no conforto térmico. Outro ponto observado foi que a argamassa de assentamento vertical é de suma importância para a não fuga de calor para o ambiente interno.

Palavras-chave: Conforto térmico, alvenaria estrutural, termografia infravermelha, argamassa modificada.

## ABSTRACT

Civil construction in Brazil has shown itself, through the years, culturally based on the condition of lower cost, not aiming in the most part of times, the welfare of the user. One of the most used typologies in the construction of buildings is the structural masonry in ceramic blocks, but the blocks currently used have not presented good performance in relation to the thermal insulation of the external vertical closures. In order to boost the use of new technologies or the improvement of the construction methods that already exist, the standards NBR 15575 and NBR 15220 were developed, which describe parameters for the performance of buildings in Brazil.

This work aims to discover new materials that can contribute to the thermal performance of buildings built in structural masonry with ceramic blocks. For this, three modified mortars with 30% rubber powder, PET sand and EPS pearls were developed to fill the septa of the blocks. Tests were carried out using the technology of active infrared thermography, so that one of the surfaces of the four constructed prisms was heated through an artificial heat source, considering that one of them had hollow septa and the others were filled with the modified mortars. Opposite side of the prism, the monitoring of the surface temperature was made with the aid of a thermographic camera. Through the thermograms and graphs constructed, it is possible to obtain significant results, presenting temperature gradient, between the temperature of the heat source and the average temperature of the opposite surface of the prism, being that of 2.8 ° C of difference between the hollow prism and the ones filled with mortar modifies with rubber powder. The study obtained several conclusions, including that the filling of the septa contributes to the thermal transmittance, thus contributing to thermal comfort. Another point observed was that the vertical laying mortar is of utmost importance for the non-escape of heat to the internal environment.

Key words: Thermal comfort, structural masonry, infrared thermography, modified mortar.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Trocas de calor através de parede opacas .....	18
Figura 2– Zoneamento bioclimático brasileiro .....	20
Figura 3- Temperatura interna e externa (a)/Umidade interna e externa (b). .....	25
Figura 4 - Decomposição da luz solar através de um prisma.....	26
Figura 5- Falha de Isolamento térmico.....	27
Figura 6 - Exemplos de câmeras termográficas .....	28
Figura 7 – Técnica de termografia passiva .....	29
Figura 8– Posicionamento da fonte de calor na termografia ativa: (a) inspeção por reflexão; (b) inspeção por transmissão .....	29
Figura 9– Esquema da configuração das paredes .....	30
Figura 10– Termografia da superfície após quatro horas de insolação.....	31
Figura 11– Ambiente de teste / aquecimento da amostra .....	31
Figura 12– Termografia da amostra com 35 minutos de aquecimento .....	32
Figura 13– Corpos de provas montados: BP / BCL6_10.....	32
Figura 14– Corpos de provas montados: BCV / BC8F.....	33
Figura 15– Bloco de concreto leve com placa de EPS.....	33
Figura 16– Configuração do ensaio .....	34
Figura 17- Temperaturas média na superfície I.....	34
Figura 18– Temperaturas média na superfície II.....	35
Figura 19 - Etapas da Metodologia .....	36
Figura 20 - Blocos cerâmicos Família 29 .....	37
Figura 21 - Esquema do prisma de ensaio.....	38
Figura 22 - Vista frontal e superior do prisma construído.....	38
Figura 23 - Execução das argamassas com a utilização de betoneira.....	39
Figura 24 - Ensaio de Índice de consistência.....	41
Figura 25 – Estufa .....	42
Figura 26 - Esquema de ensaio .....	43
Figura 27 – Posicionamento da Câmera termográfica.....	43
Figura 28 - Termograma da superfície do prisma PV antes do aquecimento. ....	46
Figura 29 - Termograma da superfície do prisma:(A) PV, (B) PB, (C) PAPET, (D) PEPS após 4 horas de aquecimento.....	47
Figura 30 - Termograma da superfície do prisma:(A) PV, (B) PB, (C) PAPET, (D) PEPS após 4 horas de esfriamento .....	49
Figura 31 - Termograma da superfície do prisma PEPS/Prisma PEPS.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Transmitância térmica de paredes externas .....	21
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas.....	21
Tabela 3- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão ..	21
Tabela 4- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno	22
Tabela 5- Determinação da transmitância térmica e capacidade térmica .....	23
Tabela 6 - Índice de Consistência das argamassas de preenchimento. ....	44
Tabela 7 - Densidade de massa das argamassas de preenchimento.....	44
Tabela 8 - Nomenclatura das amostragens. ....	45
Tabela 9 - Temperaturas superficiais dos prismas após 4 horas de aquecimento....	48

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas iniciais do ensaio de Termografia.....	46
Gráfico 2- Temperaturas da superfície do prisma PV. ....	50
Gráfico 3 - Temperaturas da superfície do prisma PB. ....	50
Gráfico 4 - Temperaturas da superfície do prisma PAPET. ....	51
Gráfico 5 - Temperaturas da superfície do prisma PEPS.....	52
Gráfico 6 - Temperaturas da superfície do prisma PEPS sem considerar falha da argamassa de assentamento. ....	53
Gráfico 7 - Gradiente de Temperatura entre o Forno e a Superfície dos Prismas. ...	54
Gráfico 8 - Temperaturas Médias da Superfície dos Prismas. ....	55

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ASHRAE - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers

EPS – Poliestireno expandido

PET – Poli (tereflalato de etileno)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 Objetivos.....	15
1.1.1 Objetivo Geral .....	15
1.1.2 Objetivos específicos .....	15
1.2 Justificativa .....	15
1.3 Estrutura do Trabalho .....	16
<b>2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1 Conforto Térmico.....	17
2.2 Desempenho Térmico de Materiais.....	19
2.2.1 Requisitos estabelecidos pela NBR 15575 para desempenho de vedações internas e externas. ....	19
2.2.2 Blocos de Concreto.....	22
2.2.3 Blocos Cerâmicos .....	23
2.2.4 Estrutura Metálica .....	24
2.3 Termografia Infravermelha .....	25
2.3.1 Método da termografia infravermelha .....	26
2.3.2 Tipos de Estímulos para a Captação de imagem térmica.....	28
2.4 Materiais Alternativos no Auxílio ao Desempenho Térmico .....	30
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>36</b>
3.1 Materiais.....	37
3.1.1 Blocos cerâmicos.....	37
3.1.2 Argamassa de preenchimento .....	37
3.2 Métodos.....	37
3.2.1 Confeção das paredes .....	38
3.2.2 Confeção das argamassas modificadas para preenchimento.....	38
3.2.3 Ensaio no estado fresco das argamassas modificadas .....	39
3.2.3.2 Densidade de Massa.....	41
3.2.4 Verificação da transferência de calor nos prismas .....	42
<b>4. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS</b> .....	<b>44</b>
4.1 Ensaio no estado fresco .....	44
4.2 Análise dos resultados da Termografia .....	45
4.2.1 Estágio I: Termografia antes do aquecimento .....	45
4.2.2 Estágio II: Termografia posterior ao aquecimento .....	47
4.2.3 Estágio III: Termografia posterior ao esfriamento. ....	48
4.2.4 Verificação comparativa dos sistemas.....	53
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>56</b>
5.1 Sugestões para trabalhos futuros.....	56
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>57</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil o conforto térmico é pouco estudado e desenvolvido se comparado com países Europeus e da América do Norte, onde as residências apresentam bom desempenho térmico sem a utilização de equipamentos mecânicos para o controle das temperaturas internas dos ambientes. Segundo Rotta (2009) para que o ambiente interno seja considerado termicamente confortável, o indivíduo necessita manifestar um bem-estar em relação a variação da temperatura do seu corpo com o ambiente.

No auxílio para um melhor desempenho térmicos das construções no Brasil foram instauradas as normas NBR 15220 e NBR 15575 que tangenciam o desempenho térmico de moradias. Desta forma a construção civil obriga-se a evoluir e buscar novas metodologias de construções utilizando combinações de diferentes materiais para que possa atender as normas e proporcionar um melhor conforto ao usuário.

Materiais que são descartados no lixo do cotidiano tem sido alvo de estudos para o reaproveitamento na construção civil (DELBONO; RODRIGUES, 2014). Descartáveis com lenta degradação, como o poliestireno expandido (EPS), a resida de borracha de pneus e garrafas PET, podem ser aproveitados na construção de edificações no auxílio do desempenho térmico de vedações verticais, após serem processados, como composto para inserir em blocos cerâmicos, exemplo disso é o trabalho realizado por Pedra (2011) que adicionou EPS dentro do fuste dos blocos e verificou uma melhora no desempenho térmico, utilizando para a determinação da mesma o auxílio da termografia infravermelha.

A termografia infravermelha como técnica de ensaio não destrutivo, tem evoluído consideravelmente nas últimas décadas e vem despertando o interesse dos profissionais da construção civil (PEDRA *et al*, 2012). Por se tratar de uma técnica de ensaio não destrutivo, possibilita uma análise das variações térmicas de um determinado material através de estímulos infravermelhos. Segundo Neto (2009) termografia é um ensaio que se baseia na perturbação do fluxo de calor, gerado interna ou externamente. Perturbações essas que produzem desvios na distribuição da temperatura superficial do objeto que são captadas pelos equipamentos termográficos e geram uma imagem (MAURO *et al*, 2014).

Com o propósito de contribuir no conformo térmico em edificações construídas na concepção da alvenaria estrutural, e ainda favorecer a reutilização de resíduos, o

estudo analisou a contribuição de materiais alternativos para o isolamento térmico das edificações através da termografia infravermelha.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Analisar o desempenho térmico de blocos cerâmicos estruturais preenchidos com material alternativo utilizando a técnica de termográfica infravermelha.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Verificar a variação térmica dos prismas ocios e preenchidos com argamassa por meio de termografia infravermelha;
- Analisar a contribuição das argamassas com adição de pó de borracha, areia de PET e pérolas de EPS no conforto térmico das edificações construídas em alvenaria estrutural;
- Avaliar a potencialidade da termografia na análise térmica de fechamentos verticais externos em alvenaria estrutural.

## **1.2 Justificativa**

A construção com a técnica da alvenaria estrutural está em ascensão no Brasil, e um dos principais blocos utilizado é o cerâmico, porém a preocupação com o bem-estar dos usuários, muitas vezes não tem sido o foco dos projetos. Visto que o fechamento vertical tem suma contribuição no isolamento térmico, o mesmo merece uma atenção maior quanto ao estudo na sua capacidade de isolação térmica.

A capacidade de transmitância térmica dos blocos comumente utilizados não atende os requisitos compreendidos como confortavelmente térmico em um ambiente interno de uma edificação. Devido a essa prerrogativa é considerável o estudo de novos métodos construtivos mesclados a alvenaria estrutural para contribuir na comodidade da população brasileira.

Com isso, o presente estudo contribuirá na descoberta de materiais alternativos para o uso na construção civil, especificamente no preenchimento dos septos de paredes construídas em blocos cerâmicos, minimizando a transmitância de calor para o interior dos ambientes.

### 1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma introdução sobre o assunto em foco, caracterizando o problema em estudo e descrevendo os objetivos a serem alcançados.

No segundo capítulo é iniciada uma revisão bibliográfica, onde é descrito os conceitos básicos sobre conforto térmico, características de desempenho térmicos de certos materiais e ainda uma revisão sobre a termografia infravermelha, e por fim é apresentado estudos realizados para a contribuição do conforto térmico.

O terceiro capítulo descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho, onde inicialmente apresenta a caracterização dos materiais e os ensaios no estado fresco das argamassas modificadas para preenchimento. Na sequência, é descrita o método de execução das argamassas e as características do ensaio da termografia infravermelha.

No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos no estudo, iniciando pelos resultados dos ensaios no estado fresco. Ao decorrer são demonstrados os termogramas das superfícies dos primas e gráficos comparativos das temperaturas superficiais.

O quinto e último capítulo apresenta-se as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros, e nos apêndices são apresentados os resultados complementares da termografia.



## 2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

A seguir serão abordados conceitos básicos inerentes ao estudo em caso, bem como abordará pesquisas já realizadas com materiais distintos para a contribuição do conforto térmico de fechamentos verticais externos em edificações.

### 2.1 Conforto Térmico

O conceito de conforto térmico em um ambiente, seja ele de trabalho, de descanso ou de lazer, baseia-se no princípio onde as trocas de temperatura entre o homem e o ambiente proporcionem um estado de bem-estar, tratando-se da manifestação de prazer do indivíduo com o ambiente (ROTTA, 2009). Sendo que em dias quentes o indivíduo não produza suor e em dias gelados não sintam-se com frio. A sensação de conforto térmico, segundo a ASHRAE (2003) apud Santos (2008) trata-se do estado mental expressando satisfação com o ambiente térmico envolvente da pessoa.

Segundo Rotta (2009), o conforto térmico pode ser visto por dois pontos de vista: pessoal e ambiental. Se considerarmos somente a forma pessoal conforto térmico pode ser subtendido apenas como a sensação de satisfação com o ambiente térmico. Do ponto de vista físico, o conforto do ambiente trata-se de condições estabelecidas que permitam a manutenção interna do ambiente sem a necessidade de acionamento de equipamentos, ou seja, o organismo humano deve ter equilíbrio térmico com o ambiente.

As principais variáveis físicas influenciando na satisfação térmica são segundo Santos (2008): temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade relativa do ar. Pode-se ainda observar que há influência na troca de temperatura térmica conforme a atividade desempenhada e a vestimenta utilizada pela pessoa. (SANTOS, 2008).

De acordo com Frota e Schiffer (2001), os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados como:

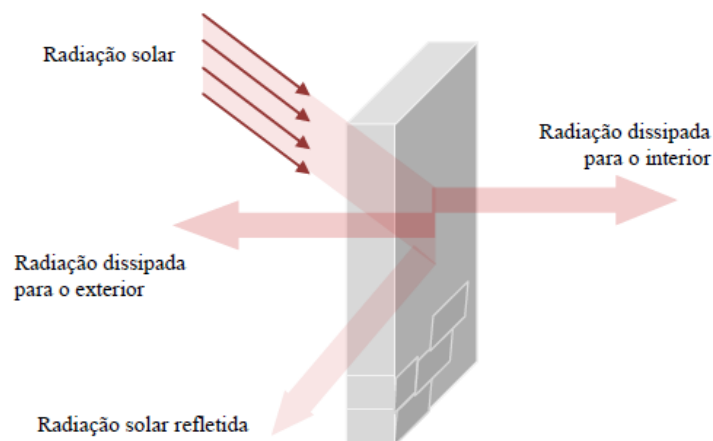
- Índices biofísicos - baseiam-se nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;

- índices fisiológicos - baseiam-se nas reações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura do ar seco, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do vento;
- índices subjetivos - baseiam-se nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Frota e Schiffer (2001) utilizam como parâmetro para determinar uma temperatura considerada ótima no ambiente interno o A.S.H.R.A.E (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), onde demonstra que para climas mais quentes da América do Norte essa temperatura é de 25°C, podendo variar de 23°C a 27°C para o inverno, com umidade relativa do ar de 30 a 70%, ocupação sedentária e velocidade do ar de 0,5 m/s. A temperatura ainda varia conforme a mudança de estado do ambiente, sendo considerado para a estação do verão um acréscimo de 1°C e para ocupação ativa o decréscimo de até 5°C.

O principal influente no ganho de temperatura na face externas de paredes opacas é o Sol, sendo esse dependente da intensidade de incidência de radiação e das características térmicas e parâmetros do edifício. Em condições normais, onde há diferença de temperatura entre ambientes internos e externos, haverá troca de calor, de forma que parte da incidência solar será refletida, parcialmente absorvida pela parede e dissipada para o interior e parcialmente dissipada para o exterior. A Figura 1 demonstra esse fenômeno em paredes opacas (PEDRA, 2011).

Figura 1- Trocas de calor através de parede opacas



Fonte: Pedra (2011, p 25)

As estratégias utilizadas na concepção de um projeto para otimizar o consumo de energia e obtenção de um maior conforto térmico estão na utilização de materiais seja em paredes, coberturas, pisos entre outros, que possuem inércia térmica. Essa está relacionada com dois grandes fenômenos significativos para o comportamento térmico de um edifício: o amortecimento e o atraso do calor, devido ao aquecimento ou ao resfriamento dos materiais (SACHT, 2008). Se tivermos um material com pouca inércia a temperatura interna será bem próximo da externa, e se a inércia tender ao infinito a temperatura permanecerá constante (PEDRA, 2011).

## **2.2 Desempenho Térmico de Materiais**

A tipologia de uma construção habitacional no Brasil é concebida normalmente por questões culturais e financeiras, não abordando na maioria das vezes os aspectos técnicos. O desempenho térmico é um aspecto relevante para o atual cenário brasileiro, visto que importante parcela do consumo de energia elétrica em residências é devido ao uso de equipamentos de climatização seja para aquecer ou resfriar um ambiente (CINTRA, 2015).

Prova-se que o estudo térmico do meio construtivo faz-se necessário para o desenvolvimento de métodos que utilizem dos meios naturais para tornar um ambiente agradável termicamente.

### **2.2.1 Requisitos estabelecidos pela NBR 15575 para desempenho de vedações internas e externas.**

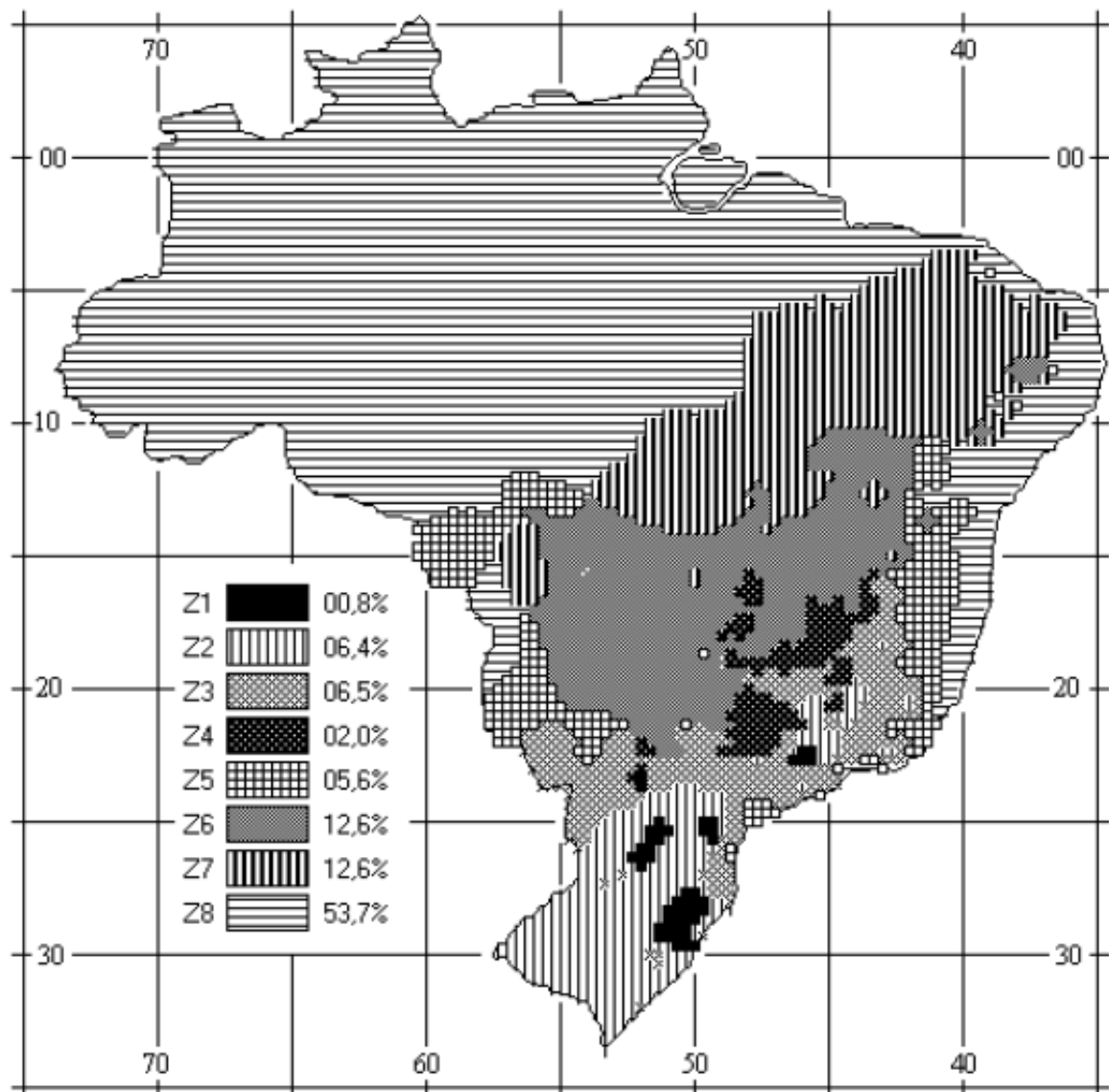
A NBR 15575 entrou em vigor em 2013 instituindo requisitos mínimos para o desempenho das edificações, incentivando a busca de novos materiais e orientando a avaliação técnica das edificações habitacionais. A norma é dividida em seis partes, sendo as partes um e quatro de interesse maior para o balizamento deste trabalho.

A NBR 15575 estabelece que as vedações verticais internas e externas têm função de contraventamento da estrutura e de fechamento (estanqueidade à água, isolamento térmica e acústica, entre outros) (MORONI, 2015). Para tal avaliação são considerados vários critérios para determinar o desempenho térmico da edificação entre eles o sombreamento das aberturas, aberturas de ventilação, capacidade térmica e transmitância térmica das paredes externas. Para o estudo da influência da

inércia térmica os critérios relevantes são a transmitância térmica das paredes externas ( $U$ ) e capacidade térmica das paredes externas ( $C_T$ ).

Os critérios são avaliados envolvendo a sua localização geográfica no país, de forma a ser dada em zoneamento bioclimático brasileiro (figura 2), estabelecido pela NBR 15220-3 (2003).

Figura 2– Zoneamento bioclimático brasileiro



Fonte: NBR 15220-3 (2003, p 3)

Os valores limites estabelecidos pela NBR 15575 para a transmitância térmica estão apresentados na Tabela 1 e para a capacidade térmica na tabela 2.

Tabela 1- Transmitância térmica de paredes externas

<b>Transmitância Térmica</b>		
W/m <sup>2</sup> .K		
<b>Zonas 1 e 2</b>	<b>Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8</b>	
U ≤ 2,5	α ≤ 0,6	α > 0,6
	U ≤ 3,7	U ≤ 2,5

α é a absorvância à radiação solar da superfície externa da parede

Fonte: Adaptado de NBR 15575-4 (2013)

Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas

<b>Capacidade Térmica</b>	
kJ/m <sup>2</sup> .K	
<b>Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7</b>	<b>Zona 8</b>
≥ 130	Sem exigências

Fonte: Adaptado de NBR 15575-4 (2013)

Caso a edificação não atenda os critérios estabelecidos a NBR 15575 estabelece um método computacional onde é realizado uma simulação com as características reais da edificação para um dia típico de inverno e verão segundo a localização da zona bioclimática. Ainda pode ser realizado uma medição na edificação ou em um protótipo de tamanho real em dia de inverno e verão. As exigências normativas para esses tipos de ensaios são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, sendo considerado três níveis de desempenho onde (M) é mínimo, (I) intermediário e (S) superior.

Tabela 3- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

<b>Nível de Desempenho</b>	<b>Critério</b>	
	<b>Zonas 1 a 7</b>	<b>Zona 8</b>
M	T <sub>i,max</sub> ≤ T <sub>e,max</sub>	T <sub>i,max</sub> ≤ T <sub>e,max</sub>
I	T <sub>i,max</sub> ≤ (T <sub>e,max</sub> – 2°C)	T <sub>i,max</sub> ≤ (T <sub>e,max</sub> – 1°C)
S	T <sub>i,max</sub> ≤ (T <sub>e,max</sub> – 4°C)	T <sub>i,max</sub> ≤ (T <sub>e,max</sub> – 2°C) e T <sub>i,min</sub> ≤ (T <sub>e,min</sub> + 1°C)

T<sub>i,max</sub>: é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação.

$T_{e,max}$ : é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação.

$T_{i,min}$ : é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação.

$T_{e,min}$ : é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação.

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1 (2013)

Tabela 4- Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
M	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3^\circ \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado
I	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5^\circ \text{C})$	
S	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7^\circ \text{C})$	

$T_{i,min}$ : é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação.

$T_{e,min}$ : é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação.

Fonte: Adaptado de NBR 15575-1 (2013)

Ferreira (2016) apresenta críticas segundo o método de simulação, visto que estudos anteriores mostraram que simular para um dia típico não apresentam resultados satisfatórios e sim distorcidos da realidade, sendo o necessário simular em dias normais de inverno e verão e ainda uma série de tempo maior não somente um dia. Além disso estudos realizados por Brito, Akutsu e Tribess (2011) mostraram que edificações que obtiveram índice satisfatório estabelecido pela NBR 15575 para a cidade de São Paulo não garantiam conforto térmico segundo a ISO 7730 (FERREIRA, 2016).

### 2.2.2 Blocos de Concreto

Moroni (2015) realizou um estudo na cidade de Santa Maria, a localização da mesma se encontra na zona bioclimática brasileira 2, onde diagnosticou um edifício residencial multifamiliar construído em alvenaria estrutural com blocos de concreto. Esta construção atendeu a exigência da norma no quesito de capacidade térmica apresentando um valor de 245,51 kJ/m<sup>2</sup>.K, cuja a exigência é que seja maior de 130 kJ/m<sup>2</sup>.K. Já com relação a transmitância térmica a edificação não atendeu os requisitos, de forma que foi obtido o valor de 2,9 W/m<sup>2</sup>.K sendo o limite de 2,5 W/m<sup>2</sup>.k. Os cálculos foram realizados segundo recomenda a norma NBR 15220-2.

As paredes avaliadas eram compostas de 2,5 cm de reboco externo, bloco de concreto de 14 cm de espessura e 1,5 cm de reboco interno, totalizando 18 cm. Com o resultado obtido pode-se dizer que o sistema construtivo não foi totalmente eficiente no quesito de manter a temperatura interna constante. Entretanto não é conveniente afirmar que o sistema não seria ideal para outras regiões brasileiras, isso pode ser verificado pelo estudo realizado por Pierozan Junior (2016). Este estudo realizou a determinação dos parâmetros de capacidade térmica e transmitância térmica para paredes com mesma configuração que Moroni (2015), onde os resultados são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5- Determinação da transmitância térmica e capacidade térmica

Resultados		Critérios de Aprovação	
Transmitância Térmica (W.m <sup>2</sup> .K)	Capacidade Térmica (kJ.m <sup>2</sup> .K)	Zonas Bioclimáticas	
		1 e 2	3 a 8
2,64	228,6	Não Atende	Aprovado (M) para $\alpha \leq 0,6$

Fonte: Adaptado de Pierozan Junior (2013, p 89)

Torna-se claro que as zonas bioclimáticas 1 e 2 são as mais exigentes, pois nessas regiões há uma maior amplitude térmica comparando estações de inverno e verão, porém é mostrado que para outras regiões brasileiras a tipologia da construção apresentada mostra-se satisfatória termicamente segundo requisitos da norma NBR 15575.

### 2.2.3 Blocos Cerâmicos

Pedra (2011) realizou um estudo em laboratório na cidade de Belo Horizonte, simulando uma parede constituída de blocos cerâmicos com 14 cm de espessura e sem revestimento argamassado. Nas análises realizadas foram obtidos índices insatisfatórios, segundo os requisitos exigidos pela norma NBR 15575 onde exige para a zona bioclimática brasileira 3 que a transmitância térmica deve ser menor que 2,50 W/m<sup>2</sup>.k e a capacidade térmica maior que 130 KJ/m<sup>2</sup>.k, de modo que para a

transmitância térmica obteve-se o valor de 2,24 W/m<sup>2</sup>.k, e para a capacidade térmica o valor de 39,2 W/m<sup>2</sup>.k.

O estudo mostrou um mau desempenho dos blocos cerâmicos, apesar de ter atendido o requisito da transmitância térmica mostrou-se grande diferença para atender o limite de capacidade térmica. Logo, torna-se visível a necessidade de busca de matérias que auxiliem o desempenho térmicos dessa tipologia construtiva.

#### **2.2.4 Estrutura Metálica**

As construções em estruturas metálicas são poucas utilizadas no Brasil, geralmente essa tipologia é aplicada para construções de grande porte, como galpões, indústrias e prédios de grande circulação de pessoas. Os fechamentos dessas construções, consideradas industrializadas, são aplicadas com diversos materiais, entre elas a convencional alvenaria.

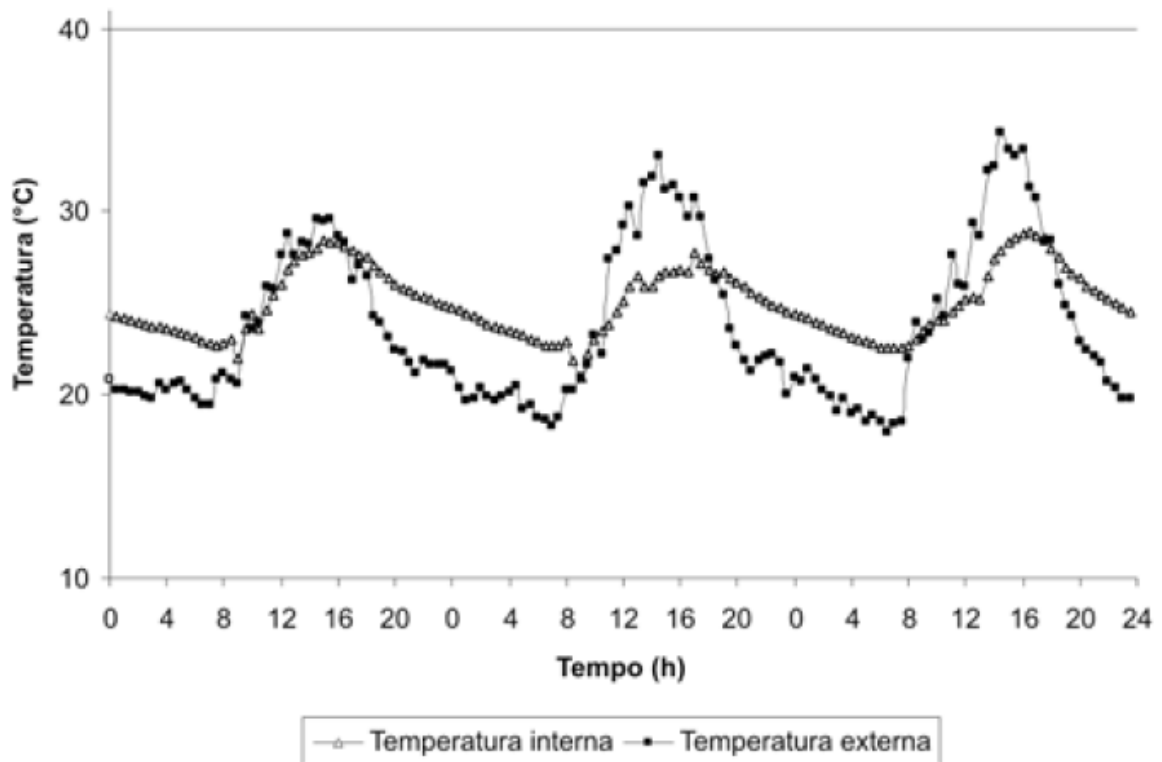
Entre os anos de 1994 e 1996 foi realizado a construção do prédio da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto-MG em estrutura metálica com fechamento em alvenaria convencional e vidros. No ano de 2006 Ribas e Souza realizaram um estudo na edificação da EM/UFOP, no período da estação do verão, de modo que um dos objetivos era a determinação do desempenho térmico da edificação.

O estudo foi desenvolvido, de forma a determinar as temperaturas e umidades relativa do ar das partes internas e externas simultaneamente de determinadas salas da edificação, e comparar os valores obtidos para verificar se as vedações estariam obtendo desempenho térmico suficiente, para que mantivesse a temperatura interna de acordo com o aceitável pela ISO 7730:1994 como confortável termicamente.

Para a determinação das temperaturas e umidades do ar fez-se a utilização de sensores resistivos e capacitivos, respectivamente. Os sensores foram ligados em um computador e apresentaram valores para uma determinada sala como mostra a Figura 3.



Figura 3- Temperatura interna e externa (a)/Umidade interna e externa (b).



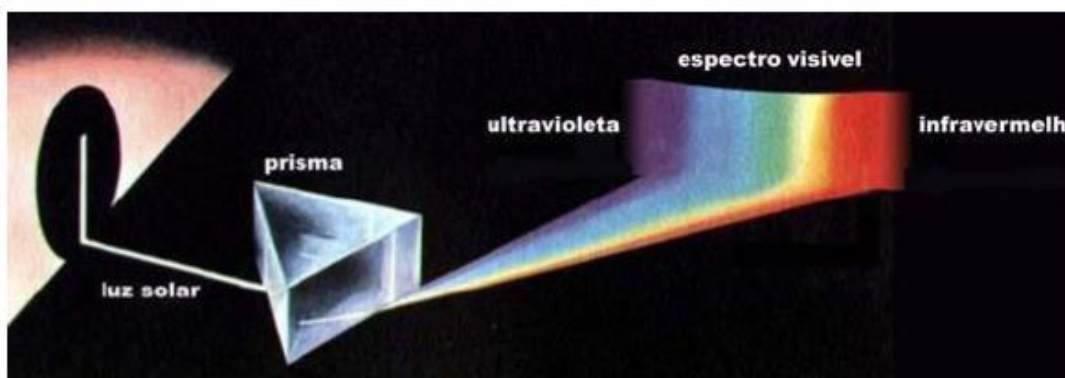
Fonte: Ribas e Souza (2006, p 637)

Na figura 3 é possível observar que a temperatura interna alcança em torno de 29°C, considerada acima do limite para ambientes de serviço leve no período do verão pela ASHRAE e ISO, tornando ruim o desempenho térmico da edificação.

### 2.3 Termografia Infravermelha

A termografia foi descoberta pelo astrônomo inglês William Herschel (1738-1822) em 1800, que procurava quais as cores do espectro são responsáveis pelo aquecimento de objetos. Na sua pesquisa, por meio de um prisma decompôs a luz solar e pode-se concluir que a temperatura aumentava à medida que se passava da cor violeta para o vermelho, porém as maiores temperaturas eram expressadas além do vermelho, de forma a ultrapassar o espectro visível (figura 4).

Figura 4 - Decomposição da luz solar através de um prisma



Fonte: Marques (2014, p 5)

A termografia propriamente dita teve início no período pós-guerra como uma técnica de imageamento remoto destinado a atender às necessidades militares, com o objetivo de localizar e rastrear os alvos por meio de imagens térmicas (PEDRA 2011). A partir deste período houve grande avanço tecnológico possibilitando assim o surgimento de equipamentos leves e de fácil manuseio, onde na década de 1990 houve um destaque com o surgimento do detector chamado Charged Coupled Device (CCD) dispositivo que recebe como entrada luz e converte em sinal elétrico que são lidos por softwares e formam imagens de alta qualidade e baixo ruído (PETERSON; 2000). Evoluindo de forma atrelada a tecnologia a termografia infravermelha proporciona que o método não destrutivo seja aplicado a distintas finalidades com grande precisão nos resultados (MENDONÇA 2005).

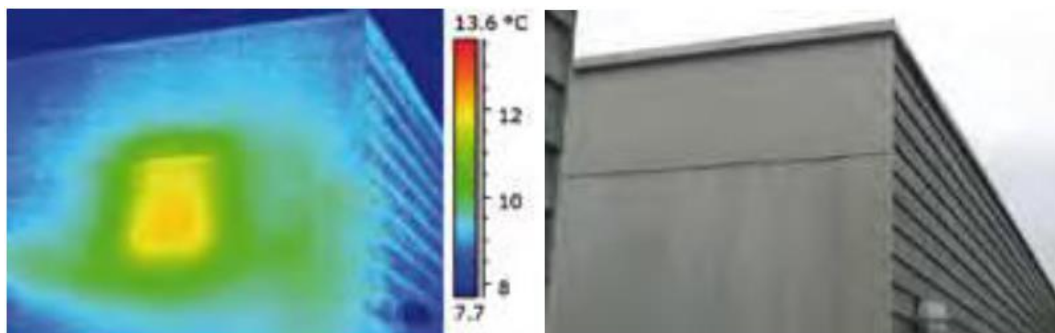
Por se tratar de uma técnica inovadora está sendo utilizada para diferentes estudos, entre identificações de patologias em edificações há erros de instalações elétricas, como sobrecarga de disjuntores (SOUSA, 2013; CUNHA 2016).

### 2.3.1 Método da termografia infravermelha

A termografia infravermelha consiste em um ensaio não destrutivo que é capaz de captar imagens de calor não visíveis ao olho nu. Esse processo é resultado da conversão de captação de energia emitida pelos materiais em imagens térmicas feitas por equipamentos termográficos, que são basicamente formados de sensores ou detectores de radiação, amplificadores de sinal e um processador (PEDRA, 2011). As imagens são obtidas pelos detectores infravermelhos que são transformadas em

sinais elétricos pelos amplificadores e processadas, tornando-se imagens térmicas (ALAM *et al*, 2016). As imagens são apresentadas em escaladas de cores que representam o intervalo de temperatura da superfície dos materiais (figura 5).

Figura 5- Falha de Isolamento térmico



Fonte: Marques (2014, p 13)

As técnicas de imageamento termográfico são divididas em dois segmentos distintos, sendo utilizado cada um de acordo com a necessidade de detalhamento e aplicação desejada. A termografia qualitativa é aplicada geralmente em fachadas de edificações para a verificação de anomalias, verificando a simples diferença de temperatura superficial apresentada pela imagem termográfica através do nível de cores distintos (ALAM *et al*, 2016). Na análise quantitativa além da análise da imagem térmica, são determinados parâmetros analíticos do local do ensaio, mostrando-se mais eficaz que a abordagem qualitativa (BARREIRA, 2004).

Existem diversos equipamentos destinados a análises de temperaturas térmicas, no entanto as câmeras termográficas (Figura 6) são as mais utilizadas. São captadas energias infravermelhas emitidas pelo objeto e convertida essa energia em um sinal eletrônico por meio da lente que concentra toda a energia captada em um detector infravermelho. Esse registro é transferido para um computador onde são processados e analisadas as temperaturas de cada pixel da imagem obtida (CUNHA, 2016).

Figura 6 - Exemplos de câmeras termográficas



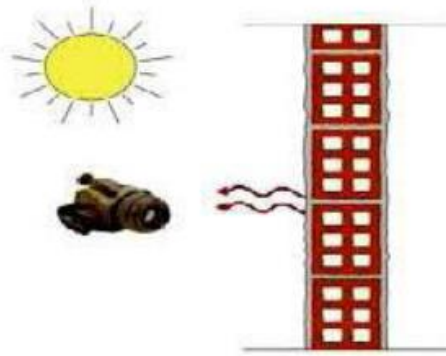
Fonte: Cunha (2016, p 11)

### 2.3.2 Tipos de Estímulos para a Captação de imagem térmica

Para que os sensores térmicos possam captar a radiação incidente emitida por um objeto é preciso que haja um estímulo de aquecimento ou resfriamento do objeto. Conforme a forma que é realizada esta estimulação, os sistemas que utilizam sensores térmicos são classificados como passivos ou ativos (VERATI, 2011 apud PEDRA 2011).

Nos sistemas de termografia passiva o estudo ocorre sem nenhuma interferência externa de aquecimento ou resfriamento ao estado natural da superfície, onde se encontra em uma temperatura normalmente superior a do ambiente, onde somente atua a fonte natural, sendo ela a irradiação solar ou a temperatura proveniente do ambiente (figura 7) (SOUSA, 2010). Essa aplicação é bastante simplificada, pois se faz somente a utilização da câmera termográfica e análise in situ das imagens, porém de larga eficaz. É empregada na análise de estruturas em condições normais para a verificação de anomalias ou identificação de materiais, como por exemplo na identificação de anomalias em fachadas e de tubulações em pavimento radiantes (BARREIRA, 2004).

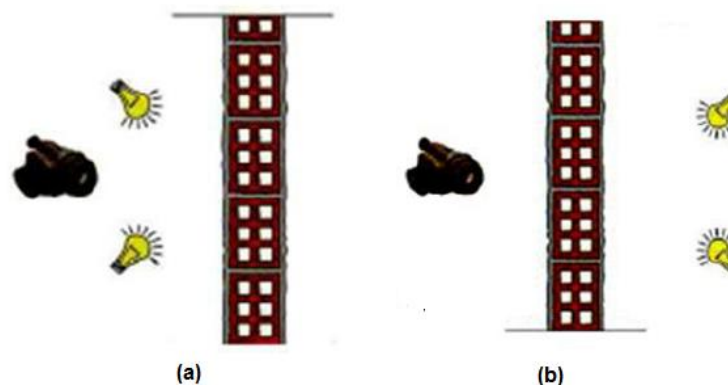
Figura 7 – Técnica de termografia passiva



Fonte: Garcia (2014, p 11)

Na técnica ativa a superfície em estudo é aquecida ou arrefecida artificialmente de modo que haja um contraste térmico nas zonas que estão em equilíbrio térmico (SOUSA, 2010). Esse contraste é recorrente de fontes de energia artificiais simples como lâmpadas, flashes e jatos de ar quente, ou mais sofisticadas como pulsos ultrassônicos, radiação infravermelha, micro-ondas e laser. Nesses casos a inspeção pode ocorrer de duas maneiras, sendo por reflexão caso a fonte de energia esteja localizada no mesmo lado da câmera infravermelha (figura 8 a) ou por transmissão onde a câmera é posta no lado oposto a fonte de energia (figura 8 b).

Figura 8– Posicionamento da fonte de calor na termografia ativa: (a) inspeção por reflexão; (b) inspeção por transmissão



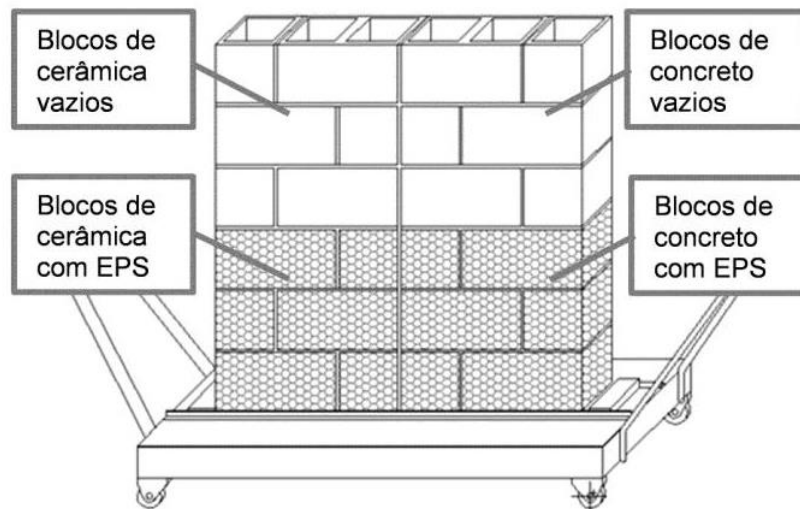
Fonte: Garcia (2014, p 11)

## 2.4 Materiais Alternativos no Auxílio ao Desempenho Térmico

Com a publicação da norma NBR 15575/2013 que diz respeito ao desempenho de uma edificação, e anteriormente a NBR 15220/2003 que trata do desempenho térmico das edificações, estudos estão sendo desenvolvidos em busca de materiais que proporcionem uma condição melhor no desempenho térmico nas edificações.

Pedra *et al* em 2012 realizou um estudo com o uso da técnica não-destrutiva da termografia infravermelha para comparar a eficiência térmica de paredes de alvenaria estrutural construídas em blocos cerâmicos e blocos de concreto, com e sem a aplicação de poliestireno expandido em pérolas de aproximadamente 0,2 cm de diâmetro com aglutinante (cola), para garantir o acomodamento, como preenchimento de seus fustes, a configuração das paredes pode ser observada na Figura 9.

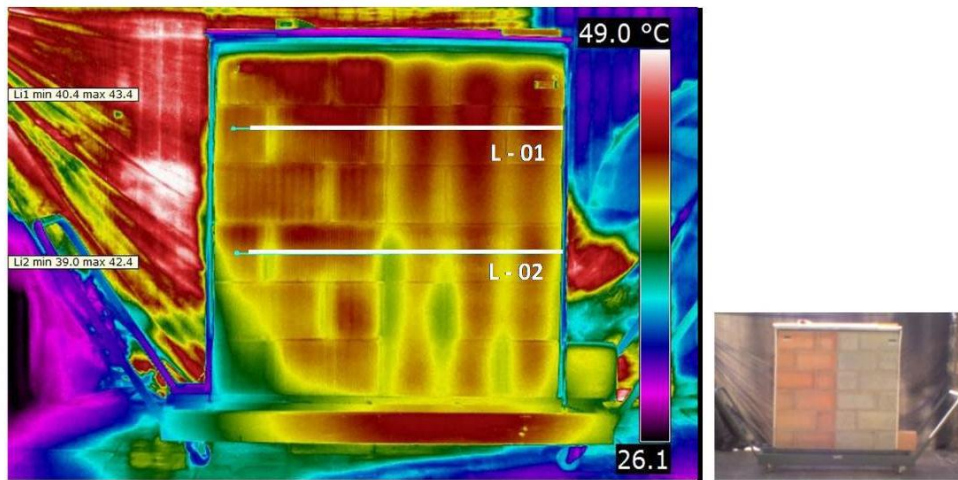
Figura 9– Esquema da configuração das paredes



Fonte: Pedra et al (2012, p 4)

Após a incidência solar de 4 horas sobre os blocos foi realizado uma leitura com a câmera termográfica, onde foi possível verificar a diferença da absorção de calor dos blocos cerâmicos e concreto com e sem o EPS. A Figura 10 mostra que a presença do EPS diminuiu em até 2°C a absorção, contribuindo para o desempenho térmico do modelo.

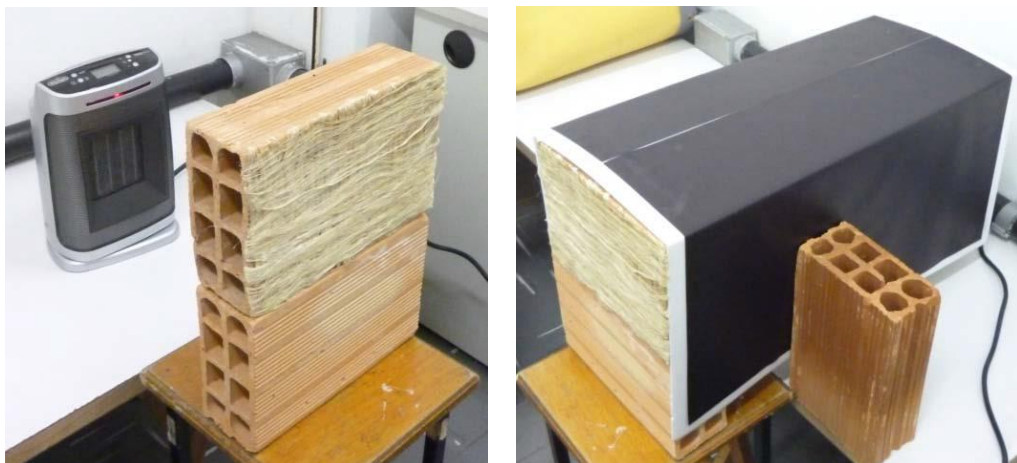
Figura 10– Termografia da superfície após quatro horas de insolação



Fonte: Pedra et al (2012, p 7)

Silva Junior *et al* em 2012 realizaram análises de desempenho térmico por meio da termografia infravermelha de tijolos furados com dimensões de 14 x 19 x 29 cm, com e sem a aplicação, em uma das faces do tijolo, de fibra de curauá, que é uma bromeliácea pertencente à família do abacaxi conhecido cientificamente como *ananas erectifolius*. A metodologia utilizada foi de aquecer artificialmente uma das faces dos tijolos Figura 11, face oposta a da colagem da fibra, e verificar a absorção de temperatura das diferentes configurações.

Figura 11– Ambiente de teste / aquecimento da amostra

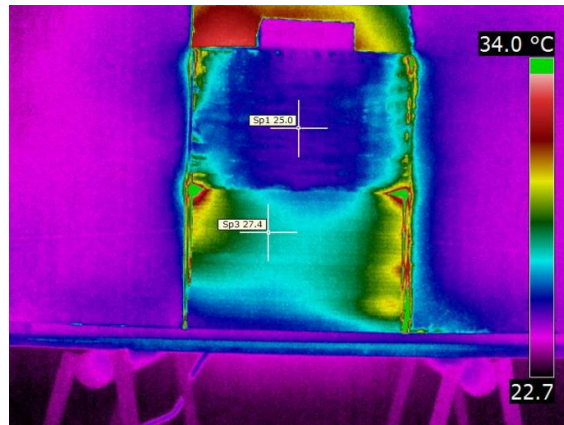


Fonte: Silva Junior et al (2012, p 7)

Após 35 minutos de aplicação de calor foi realizado uma leitura com a câmera termográfica, onde observou-se que o tijolo que possui fibra mostrou-se mais eficiente,

pois apresentava uma temperatura de 25°C, ou seja, 2,4°C abaixo do tijolo que estava sem fibra, já que o mesmo mostrou-se com 27,4°C. Deste modo a fibra apresenta ganho significativo no auxílio de absorção calorífica. O resultado pode ser observado na Figura 12.

Figura 12– Termografia da amostra com 35 minutos de aquecimento



Fonte: Silva Junior et al (2012, p 8)

Em 2003 Bezerra realizou um estudo para comparar o desempenho térmico de diferentes tipos de configurações de paredes de vedação. Foram analisadas paredes em blocos de concreto comum (BP), blocos de cimento vazados (BCV), tijolos cerâmicos 8 furos (BC8F) e blocos de concreto leve, utilizando EPS como agregado graúdo em duas proporções distintas na relação EPS/areia (BCL6\_10 e BCL10\_6). Os corpos de prova podem ser observados nas Figuras 13 e 14.

Figura 13– Corpos de provas montados: BP / BCL6\_10



Fonte: Bezerra (2003, p 27)



Figura 14– Corpos de provas montados: BCV / BC8F



Fonte: Bezerra (2003, p 28)

Os blocos de concreto leve além de serem construídos com EPS como agregado graúdo, levaram em seu interior uma placa também de EPS com 4cm de espessura, formando assim um sanduiche como mostrado na Figura 15.

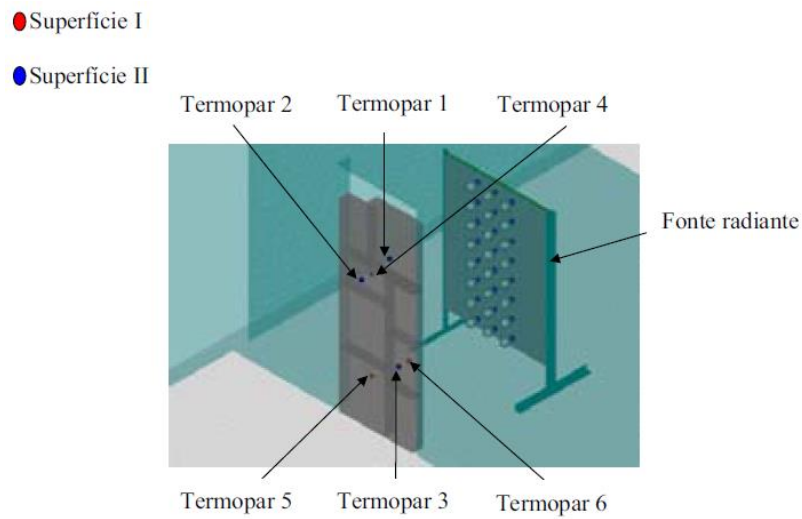
Figura 15– Bloco de concreto leve com placa de EPS



Fonte: Bezerra (2003, p 28)

Para a análise fez-se a atualização de uma fonte de calor artificial e sensores térmicos colocados em ambas as faces dos painéis, sendo a superfície I a face voltada para a fonte de radiação térmica e a superfície II a face voltada para o interior de uma sala climatizada. A configuração é demonstrada na Figura 16.

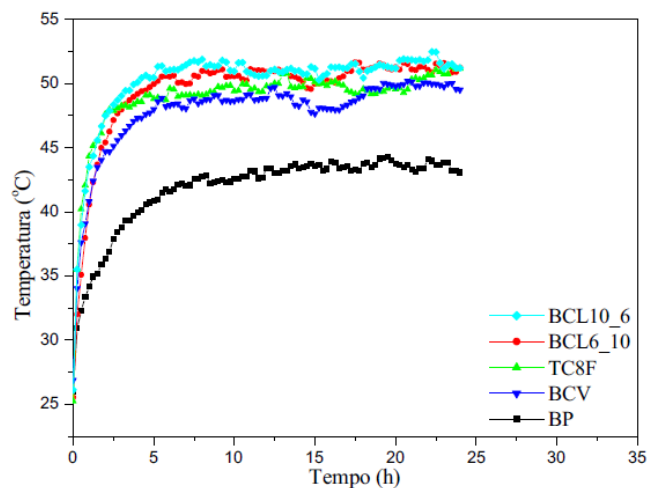
Figura 16– Configuração do ensaio



Fonte: Bezerra (2003, p 30)

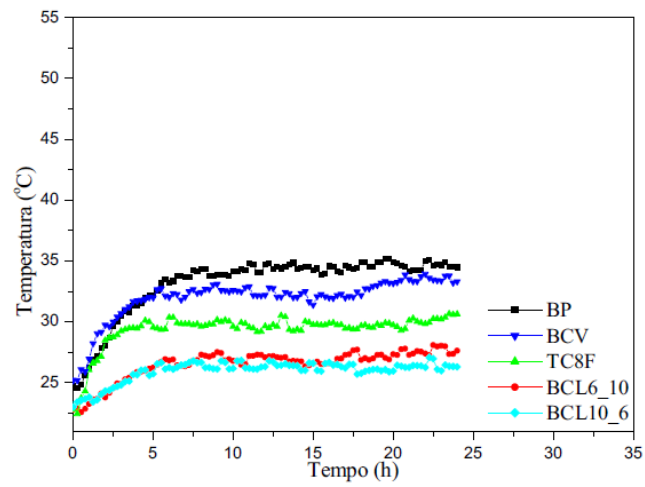
Os resultados obtidos foram bastantes satisfatórios, em virtude de que a parede construída em concreto leve obteve um desempenho considerável se comparado as alvenarias convencionais. Esses resultados são expressos nas Figuras 17 e 18, onde mostram as temperaturas das paredes em um determinado intervalo de tempo.

Figura 17- Temperaturas média na superfície I



Fonte: Bezerra (2003, p 42)

Figura 18– Temperaturas média na superfície II



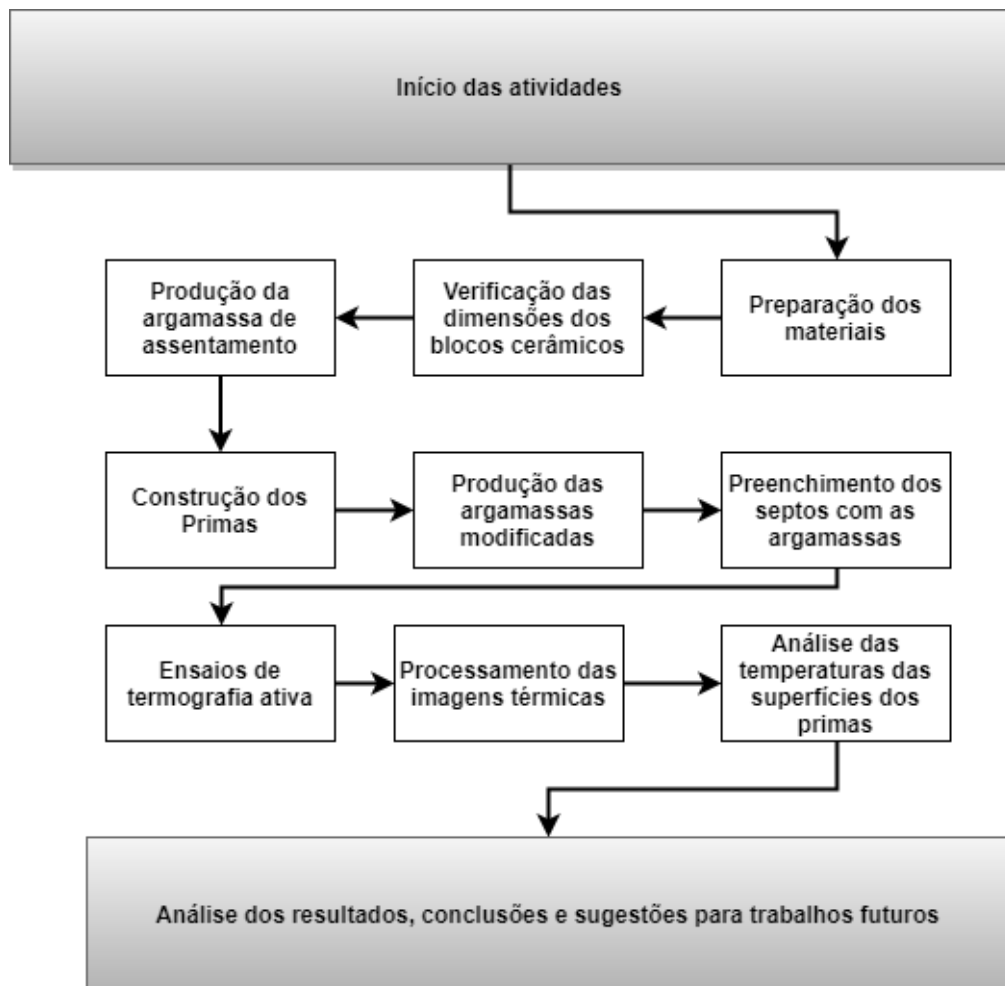
Fonte: Bezerra (2003, p 42)

Pode-se observar que a parede construída e preenchida com EPS apresenta uma melhor absorção de calor, tornando a temperatura do ambiente mais constante, desta forma mantendo o conforto térmico do usuário.

### 3 METODOLOGIA

Neste item são detalhadas as etapas de desenvolvimento da pesquisa, assim como, são apresentados os materiais a serem empregados, as suas principais características, técnicas de preparo referentes aos componentes dos corpos-de-prova, além dos procedimentos experimentais adotadas no experimento. De forma a compreender melhor o programa experimental da pesquisa, a Figura 19 esquematiza as etapas do processo.

Figura 19 - Etapas da Metodologia



Fonte: Elaboração própria.

Encontram-se, a seguir, o processo de execução do experimento, os quais fornecem informações para a definição da metodologia e dos materiais a serem empregados, bem como, a caracterização dos materiais e a descrição dos

procedimentos metodológicos empregados na avaliação de transferência de calor através dos prismas.

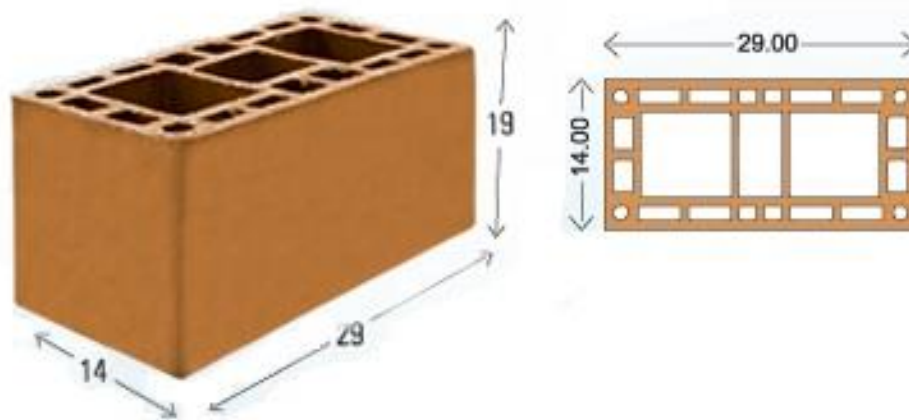
### 3.1 Materiais

Nesta seção são apresentados os materiais utilizados e as suas respectivas caracterizações, ou seja, os substratos, representados pelos blocos cerâmicos estruturais e as argamassas de preenchimento dos septos dos prismas.

#### 3.1.1 Blocos cerâmicos

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados blocos cerâmicos da família 29 cuja suas dimensões são mostradas na Figura 20.

Figura 20 - Blocos cerâmicos Família 29



Fonte: Adaptado de EBAH (2017).

#### 3.1.2 Argamassa de preenchimento

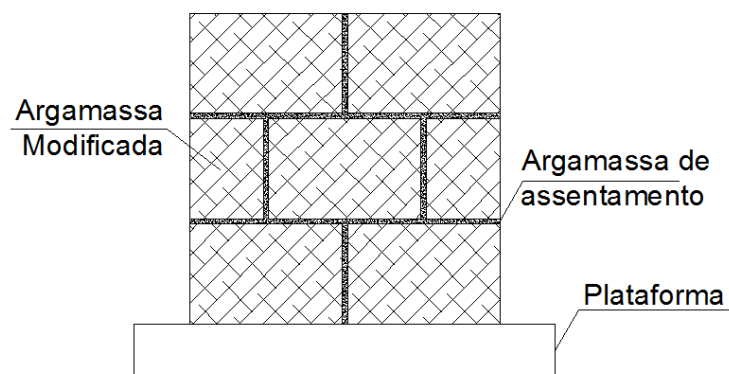
Foram utilizadas três composições de argamassas para o preenchimento dos septos dos blocos, sendo adicionado areia de PET, pó de borracha e pérolas de EPS, além de um prisma oco como referência.

### 3.2 Métodos

### 3.2.1 Confeção das paredes

Foram confeccionadas quatro paredes com dimensões de 60x60cm em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos assentados com argamassa com traço 1:2:9 (cimento, cal, areia) sobre uma plataforma em madeira para permitir a locomoção da mesma. A Figura 21 representa o protótipo da mesma e a Figura 22 apresenta o prisma construído e preenchido com argamassa, em sua vista frontal e superior.

Figura 21 - Esquema do prisma de ensaio



Fonte: Elaboração própria.

Figura 22 - Vista frontal e superior do prisma construído.



Fonte: Elaboração própria.

### 3.2.2 Confeção das argamassas modificadas para preenchimento

Como exposto anteriormente para a execução deste trabalho foi realizada a confecção de três traços de argamassa modificada. Os traços foram 1:4 em volume e a relação a/c (água e cimento) de 1, os mesmos foram executados utilizando uma betoneira com capacidade de 150litros, como pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 - Execução das argamassas com a utilização de betoneira.



Fonte: Elaboração própria.

As argamassas modificadas foram constituídas de cimento, areia, adição e aditivo, sendo o cimento utilizado o CPIV-RS. As adições foram de 30% em volume de material alternativo, sendo o pó de borracha, a areia de PET e pérolas de EPS com diâmetro média de 5,7mm. A relação de aditivo foi de 200ml para cada 50Kg de cimento, sendo este um incorporador de ar da marca VEDACIT, onde o mesmo recomenda o uso de 200ml para cada 50Kg de cimento, para argamassas, sendo essa relação obedecida.

### 3.2.3 Ensaio no estado fresco das argamassas modificadas

Para contribuir na caracterização das argamassas foram realizados ensaios no estado fresco das argamassas modificadas. Foram realizados os ensaios de Índice de Consistência e Densidade de Massa, que serão descritos na sequência.

### 3.2.3.1 Ensaio de Índice de Consistência

Este ensaio foi realizado de acordo com o que descreve a norma NBR 13276/2002. Para a execução do ensaio a temperatura do laboratório foi controlada em  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa do ar em  $60\pm 5\%$  em conformidade com o recomendado pela norma.

Os materiais necessários para a realização do ensaio foram:

- Balança com precisão de 0,1g;
- Mesa de consistência;
- Molde tronco cônico;
- Soquete metálico;
- Misturador mecânico;
- Trena métrica.

Para a realização do ensaio, primeiramente é necessário umedecer a mesa de espalhamento e o tronco-cônico, a fim de não haver atrito entre a argamassa e os mesmos. Na sequência, posiciona-se o tronco-cônico no centro da mesa de espalhamento e preenche o mesmo em três camadas igualmente distribuídas, de forma que deve-se adensar cada camada com 15, 10 e 5 golpes com o soquete metálico, respectivamente em cada camada. Posteriormente é realizado o rasamento com o auxílio de uma espátula e retirado o tronco-cônico.

Após o processo descrito acima é realizado a queda da mesa de consistência 30 vezes em 30 segundos, sendo no final da última queda promovida a medição de três diâmetros da argamassa espalhada, onde pode ser observado na Figura 24.



Figura 24 - Ensaio de Índice de consistência.



Fonte: Elaboração própria.

A média dos três diâmetros em milímetros, corresponde ao índice de consistência.

### 3.2.3.2 Densidade de Massa

A densidade de massa foi determinada obedecendo o que recomenda a norma NBR 13278/2005, onde é necessário para o experimento um recipiente onde é colocado a argamassa e pesado. Para esse experimento utilizou-se um copo de inox com um volume de 545 cm<sup>3</sup>.

O ensaio baseia-se na determinação da massa do recipiente cheio e vazio e relacionando com o volume para determinar a densidade de massa. A relação matemática para a determinação da mesma é descrita na Equação 1.

$$D_m = \frac{R_{\text{cheio}} - R_{\text{vazio}}}{V_R} \quad (1)$$

Onde:

- $D_m$  = Densidade de massa (g/cm<sup>3</sup>);
- $R_{\text{cheio}}$  = Massa do recipiente + argamassa (g);
- $R_{\text{vazio}}$  = Massa do recipiente (g);

- VR= Volume do recipiente (cm<sup>3</sup>).

### 3.2.4 Verificação da transferência de calor nos prismas

A análise do desempenho térmico das paredes foi feita através da termografia ativa por transmissão, sendo importante frisar que não há uma normatização para esse tipo de ensaio. Para tal foi utilizada uma fonte de calor, que aqueceu um lado da parede e realizou-se a leitura térmica com uma câmera termográfica do lado oposto.

A câmera termográfica utilizada foi da marca FLIR, modelo T400, sendo a faixa de temperatura que a câmera opera de -20°C a 150°C, com precisão de  $\pm 2^\circ\text{C}$  ou  $\pm 2\%$  de leitura. Antes de iniciar a extração das imagens é necessário informar a emissividade do material em estudo, que conforme FLIR (2007) a emissividade da alvenaria é de 0,94, sendo essa utilizada.

A fonte de calor utilizada foi uma estufa da marca DELEO, com potência de 1760W e faixa de operação de 55°C a 300°C, sendo apresentada a Figura 22.

Figura 25 – Estufa

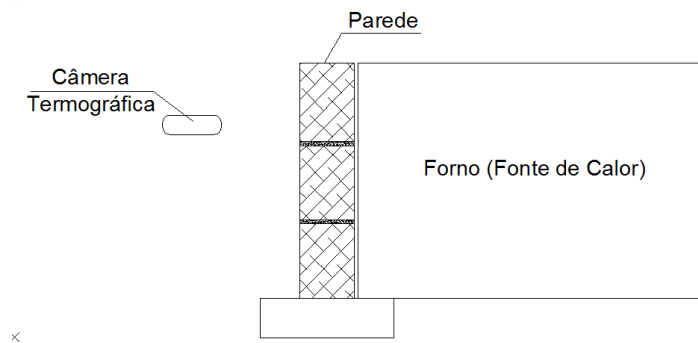


Fonte: Elaboração própria.

Os ensaios foram realizados de forma que a tampa frontal da estufa foi removida, e a mesma permaneceu durante um período de 4 horas em uma temperatura controlada de 55°C aquecendo a parede que estava posicionada na

frente da fonte de calor, sendo no sentido oposto da parede foi realizada a foto térmica com a câmera com uma distância de 2,1m da parede como mostrado no esquema da Figura 26.

Figura 26 - Esquema de ensaio



Fonte: Elaboração própria.

Foram realizadas fotos durante um período de 4 horas, representando o período diário de maior temperatura, e mais 4 horas representando o tempo de esfriamento da parede, onde a cada 30 minutos tirou-se uma foto térmica para a posterior análise das temperaturas superficiais dos blocos, sendo esse procedimento realizado para as três paredes com argamassa modificada e uma parede oca como padrão. Para que não houvesse oscilações ou diferenças entre as fotos, de ângulos ou distância utilizou-se um tripé para a acomodação da câmera termográfica como pode ser visto na Figura 27.

Figura 27 – Posicionamento da Câmera termográfica.



Fonte: Elaboração própria

## 4. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Nessa etapa do trabalho, serão apresentados os resultados encontrados para cada prisma estudado, e as imagens que foram capturadas expondo os resultados obtidos.

### 4.1 Ensaios no estado fresco

As argamassas de preenchimento apresentaram índice de consistência indicados na Tabela 6. É possível observar que os materiais menos densos apresentaram índices maiores, refletindo que necessitariam de menor proporção na relação água/cimento.

Tabela 6 - Índice de Consistência das argamassas de preenchimento.

<b>Tipo de argamassa</b>	<b>Índice de Consistência (mm)</b>
Com adição de pó de borracha	295
Com adição de areia de PET	300
Com adição de pérolas de EPS	347

Fonte: Elaboração própria

Devido a se tratar de uma argamassa de preenchimento para fins do estudo na contribuição do conforto térmico, atualmente a norma brasileira não estabelece um índice ideal para esse tipo de argamassa.

Já os resultados de densidade de massa estão apresentados na Tabela 7, onde é notório a diferença de densidade entre os materiais, demonstrando que a relação do desempenho térmico com a densidade deve ser analisada.

Tabela 7 - Densidade de massa das argamassas de preenchimento.

<b>Tipo de argamassa</b>	<b>Densidade de Massa (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Com adição de pó de borracha	1,70
Com adição de areia de PET	1,65
Com adição de pérolas de EPS	1,63

Fonte: Elaboração própria

## 4.2 Análise dos resultados da Termografia

Os resultados obtidos do ensaio a partir da termografia infravermelha são apresentados na forma de imagens e gráficos e posteriormente, são discutidos com suas respectivas análises. Para uma melhor identificação dos resultados as nomenclaturas das amostragens são descritas na Tabela 8.

Tabela 8 - Nomenclatura das amostragens.

Prisma	Nomenclatura
Prisma com septo vazio	PV
Prisma com septo preenchido com argamassa modificada com borracha	PB
Prisma com septo preenchido com argamassa modificada com areia de PET	PAPET
Prisma com septo preenchido com argamassa modificada com EPS	PEPS

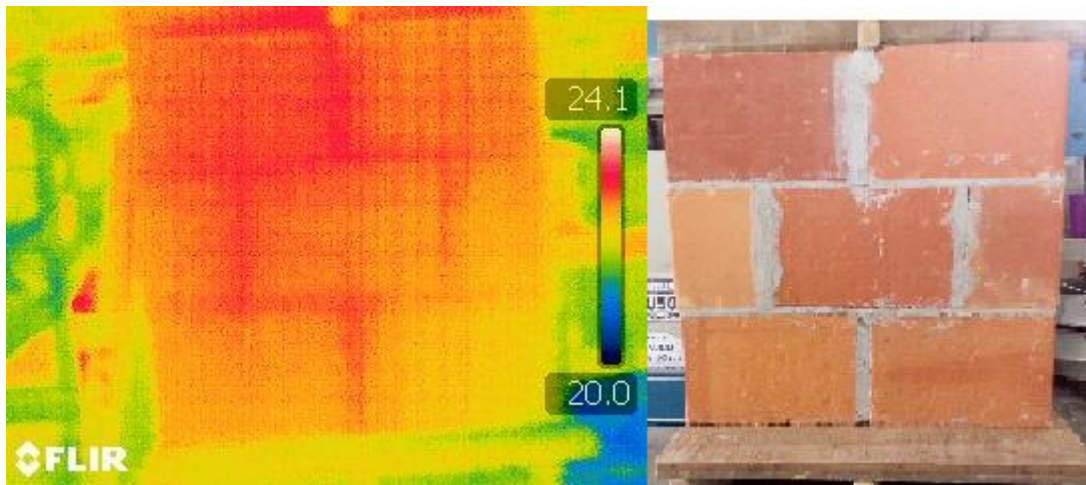
Fonte: Elaboração própria.

Com o auxílio do *software FLIR Tools* foi possível analisar e extrair dados de temperatura da superfície dos prismas para criação de gráficos e posterior observância no comportamento dos diferentes materiais constituintes que preencheram os septos.

### 4.2.1 Estágio I: Termografia antes do aquecimento

Antes de ligar a fonte de calor foi extraída uma foto termográfica para comparar a temperatura ambiente em relação à superfície dos prismas, como pode ser visto na Figura 28. As temperaturas ambientes durante os ensaios foram controladas para que não alternassem, fixando-as em torno de 22°C. Mesmo com a temperatura baixa é possível observar que as juntas de argamassa apresentam temperaturas mais elevadas se comparadas a superfície da cerâmica.

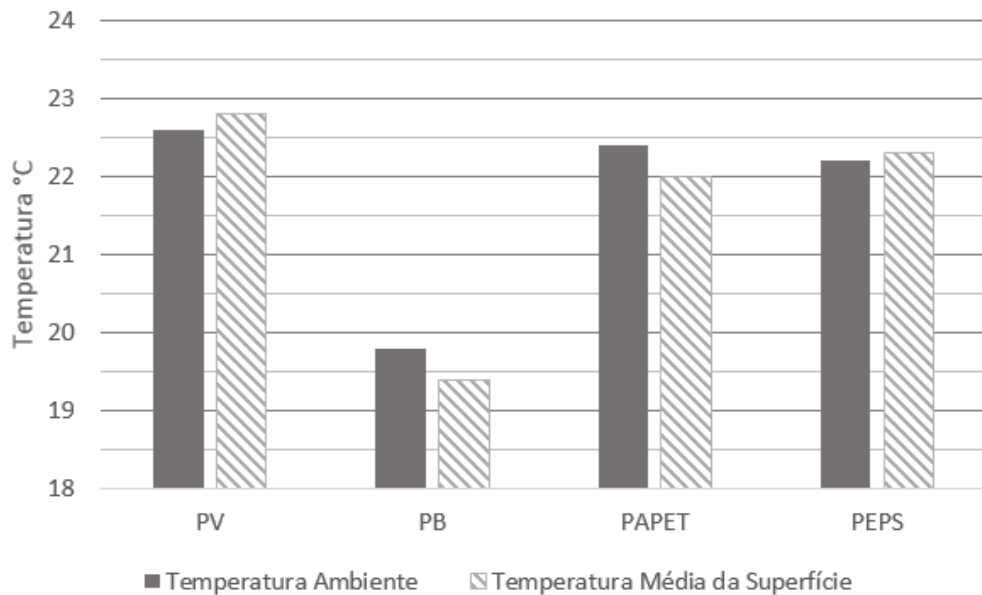
Figura 28 - Termograma da superfície do prisma PV antes do aquecimento.



Fonte: Elaboração própria.

No Gráfico 1 é demonstrado as temperaturas iniciais das superfícies dos prismas e as temperaturas do ambiente no momento inicial do ensaio.

Gráfico 1 - Temperaturas iniciais do ensaio de Termografia.



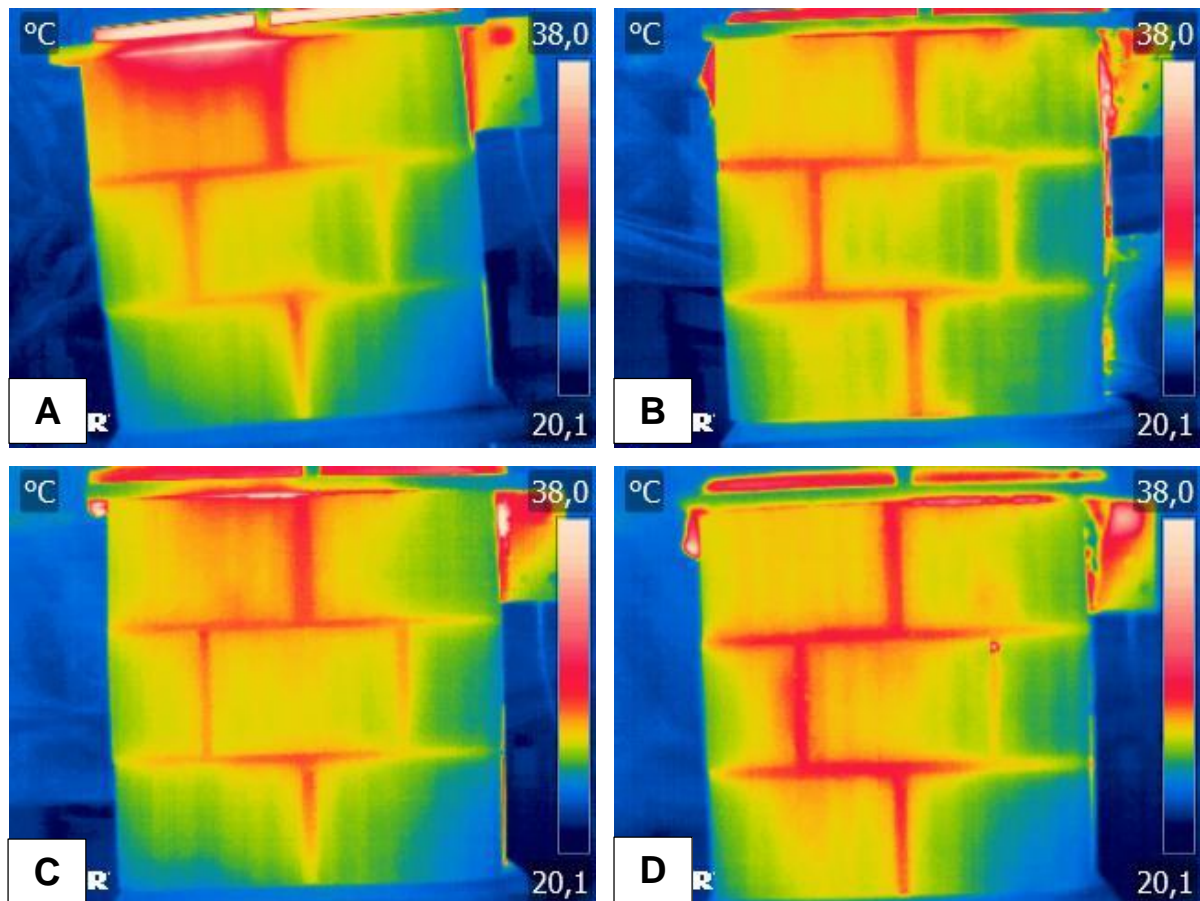
Fonte: Elaboração própria.

É possível visualizar que as temperaturas iniciais dos prismas estão praticamente iguais as temperaturas do ambiente, demonstrando que não houve influência passível de alterar os resultados das diferentes tipologias.

#### 4.2.2 Estágio II: Termografia posterior ao aquecimento

Os prismas foram aquecidos durante quatro horas em uma temperatura de 55°C monitoradas por um termômetro de imersão, que estava imerso na fonte de calor (forno). É apresentada a Figura 29 (imagens A, B, C e D), mostrando o comportamento das quatro tipologias de prismas que foram capturadas após esse tempo de aquecimento.

Figura 29 - Termograma da superfície do prisma:(A) PV, (B) PB, (C) PAPET, (D) PEPS após 4 horas de aquecimento.



Fonte: Elaboração própria.

As imagens termográficas possibilitam a real detecção das diferentes temperaturas existentes na superfície dos prismas. No conjunto é notória que no canto inferior direito dos prismas, os mesmos apresentam uma temperatura excessivamente

abaixo do restante da superfície, esse fenômeno pode ser atribuído há um defeito da fonte de calor que não distribui uniformemente o calor em seu interior.

Verifica-se também, que a fuga de calor mais ascendente ocorre nas juntas de assentamento da alvenaria, visto que é o local onde apresenta a maior temperatura na superfície. Vale salientar que o prisma com o septo vazio (PV) apresenta temperatura maior em sua parte superior, sendo possível devido a circulação do ar dentro dos septos, visto que o ar quente é mais leve que o frio e tende a ficar na superfície superior dos septos.

Para uma melhor identificação das temperaturas superficiais dos prismas, é apresentado na Tabela 6 com as mesmas.

Tabela 9 - Temperaturas superficiais dos prismas após 4 horas de aquecimento.

Prisma	Temperaturas (°C)		
	Mínima	Média	Máxima
PV	22,8	26,4	35,1
PB	23,2	25,7	29,5
PAPET	23,6	26,4	29,5
PEPS	23,4	26,7	34,9

Fonte: Elaboração própria.

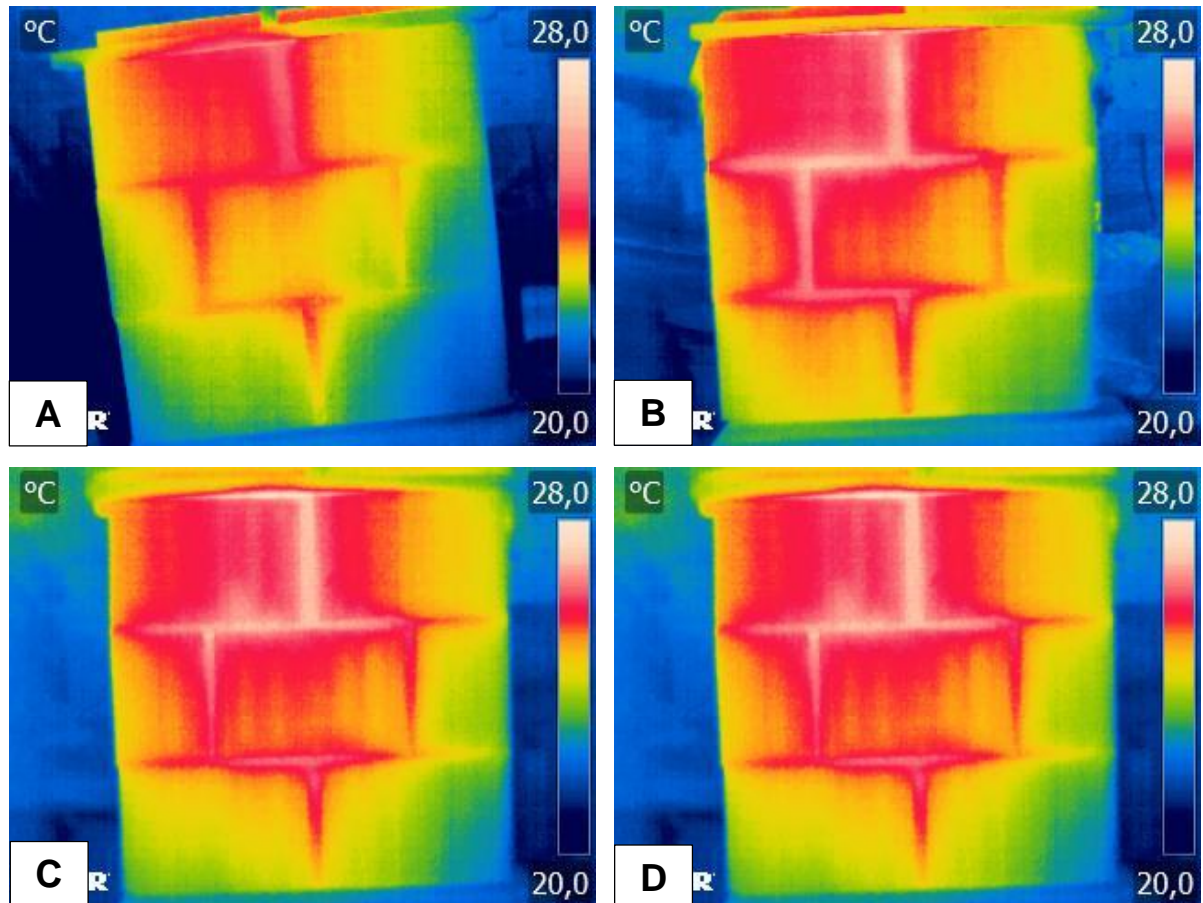
Com os valores apresentados na tabela 9 é possível observar que houve pouca variação nas temperaturas médias e mínimas, porém as temperaturas máximas mostraram-se distintos entre os mesmos, sendo os prismas PB e PAPET com as menores temperaturas.

#### 4.2.3 Estágio III: Termografia posterior ao esfriamento.

Após o aquecimento durante quatro horas, a fonte de calor foi desligada e prosseguido o monitoramento dos prismas por mais quatro horas, representando o resfriamento das paredes externas de uma edificação. As Figura 30 (imagens A, B, C e D) demonstram os termogramas dos prismas após esse procedimento.



Figura 30 - Termograma da superfície do prisma:(A) PV, (B) PB, (C) PAPET, (D) PEPS após 4 horas de esfriamento

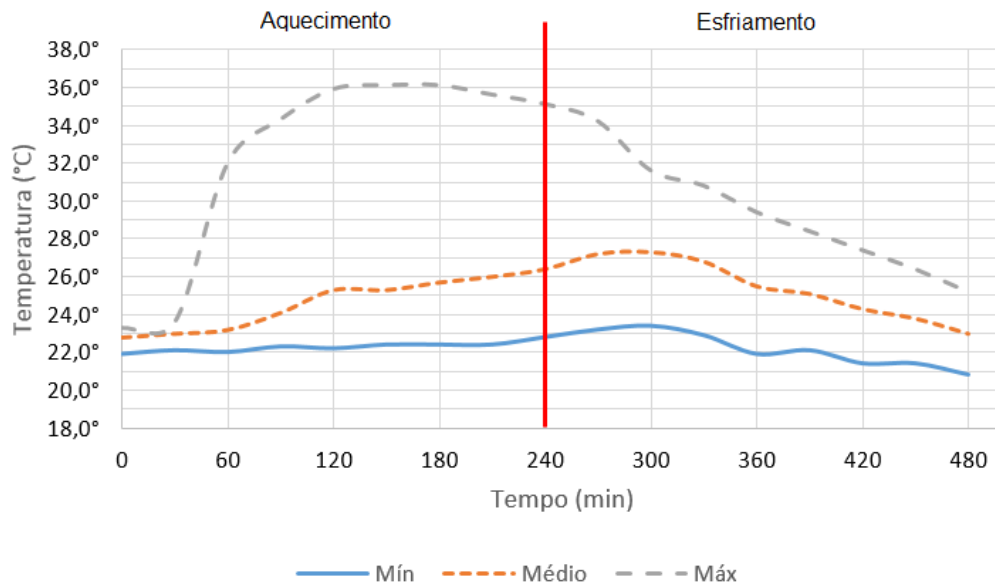


Fonte: Elaboração própria.

De modo igual ao aquecimento, os prismas apresentaram temperaturas maiores nas argamassas de assentamento. Com os termogramas observa-se a diferença de temperatura em relação ao prisma com o septo vazio (PV) e aos outros, de forma que o prisma PV esfriou mais rápidos que os demais.

Para tornar claro os resultados, elaborou-se gráficos com o acompanhamento da temperatura ao longo do tempo de ensaio. É mostrado o Gráfico 2 que apresenta os valores para o prisma PV, onde é observado que o prisma atingiu uma temperatura máxima de 36,1°C, porém sua temperatura média apresentou-se um máximo de 27,3°C. É possível ainda verificar que ao final do ensaio sua superfície esfriou praticamente até atingir a temperatura inicial.

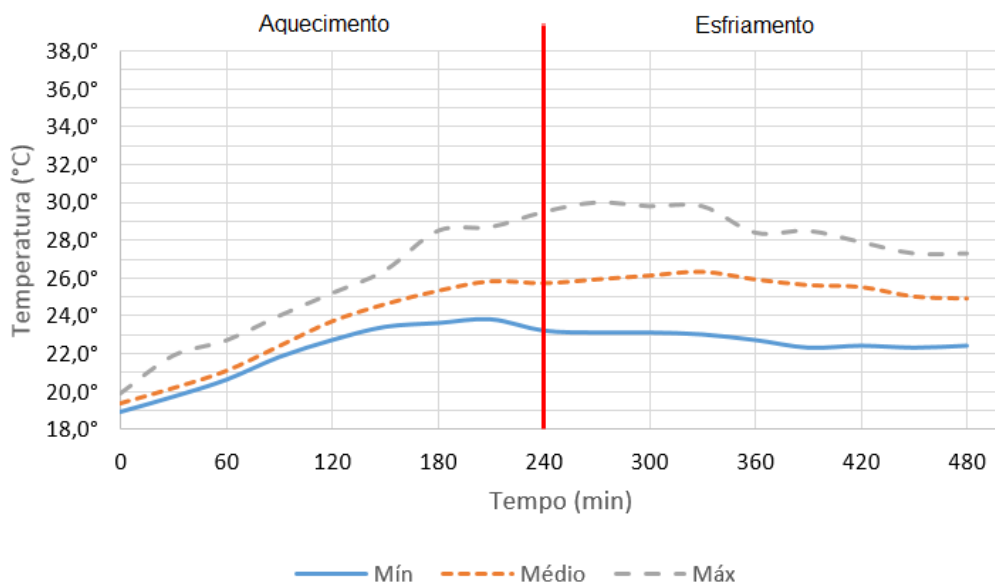
Gráfico 2- Temperaturas da superfície do prisma PV.



Fonte: Elaboração própria.

O prisma PB apresentou suas temperaturas superficiais como mostrado no Gráfico 3, sendo sua temperatura máxima de 30°C e sua temperatura média mais elevada na faixa de 26,3°C. Pode ser notado que ao final do ensaio a superfície do prisma manteve-se aquecida com temperatura superior ao início do ensaio, demonstrando que precisaria de um tempo maior para seu total esfriamento.

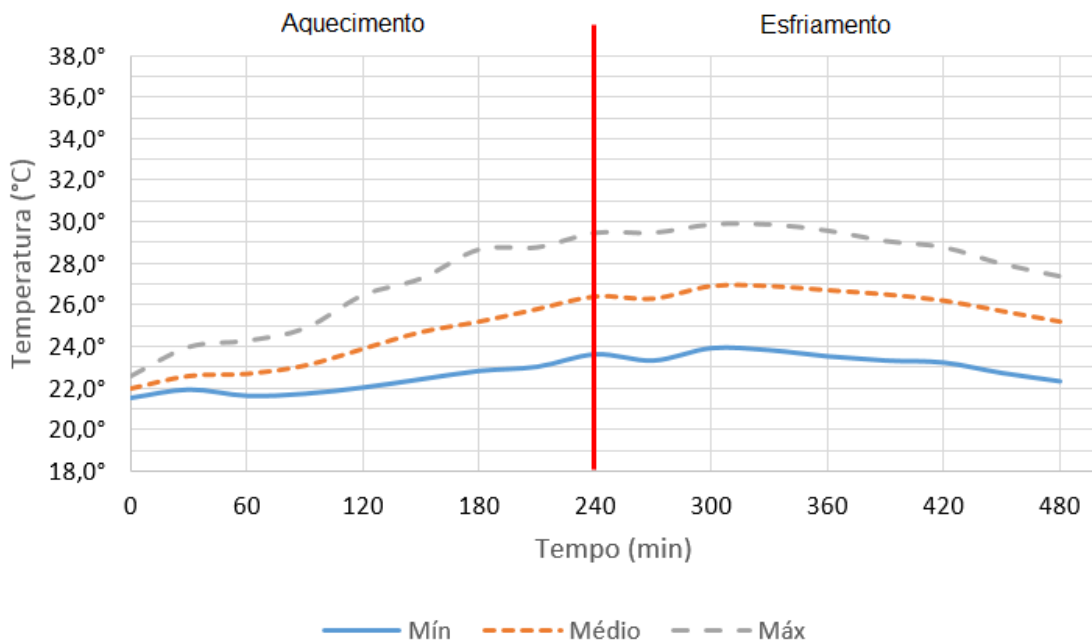
Gráfico 3 - Temperaturas da superfície do prisma PB.



Fonte: Elaboração própria.

O prisma PAPET apresentou suas temperaturas superficiais parecidas com o prisma PB, como mostrado no Gráfico 4, sendo sua temperatura máxima de 29,9°C e sua temperatura média mais elevada na faixa de 26,9°C. Ao final do ensaio observa-se que a temperatura da superfície não estava baixa o suficiente para atingir a temperatura inicial.

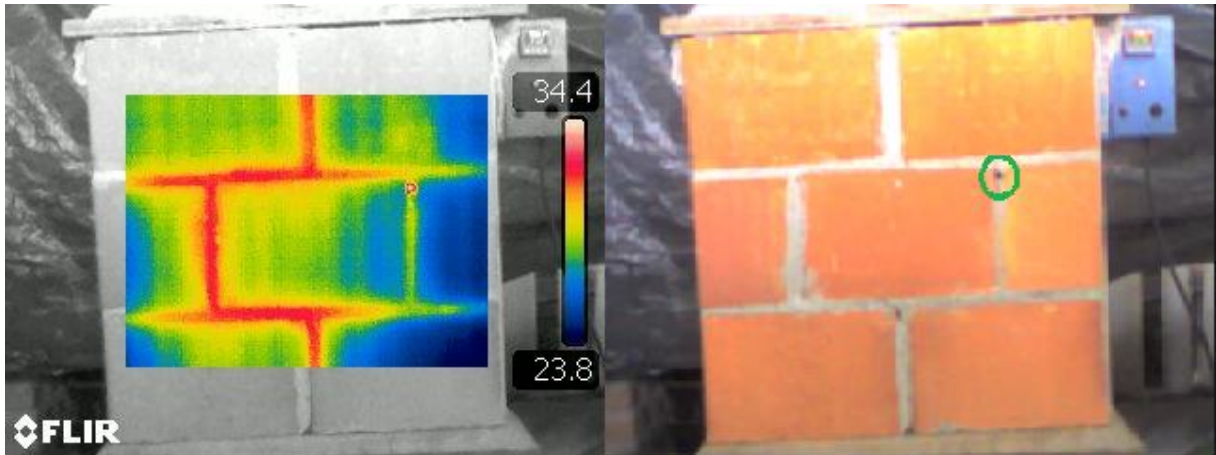
Gráfico 4 - Temperaturas da superfície do prisma PAPET.



Fonte: Elaboração própria.

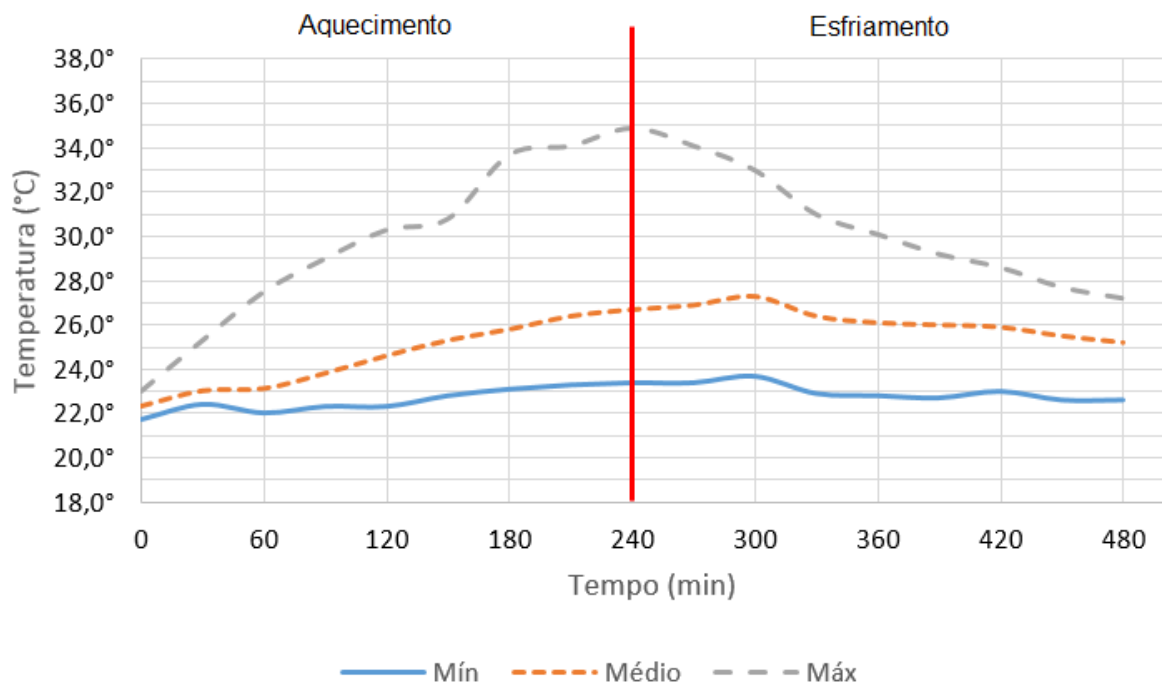
O prisma PEPS apresentou uma peculiaridade em relação aos outros prismas preenchidos com argamassa, pois sua temperatura máxima atingiu os 34,9°C. Essa discrepância ocorreu devido a uma falha na argamassa de assentamento dos blocos, como pode ser visto na Figura 31. A temperatura média mais elevada foi de 27,3°C, como mostra o Gráfico 5.

Figura 31 - Termograma da superfície do prisma PEPS/Prisma PEPS.



Fonte: Elaboração própria.

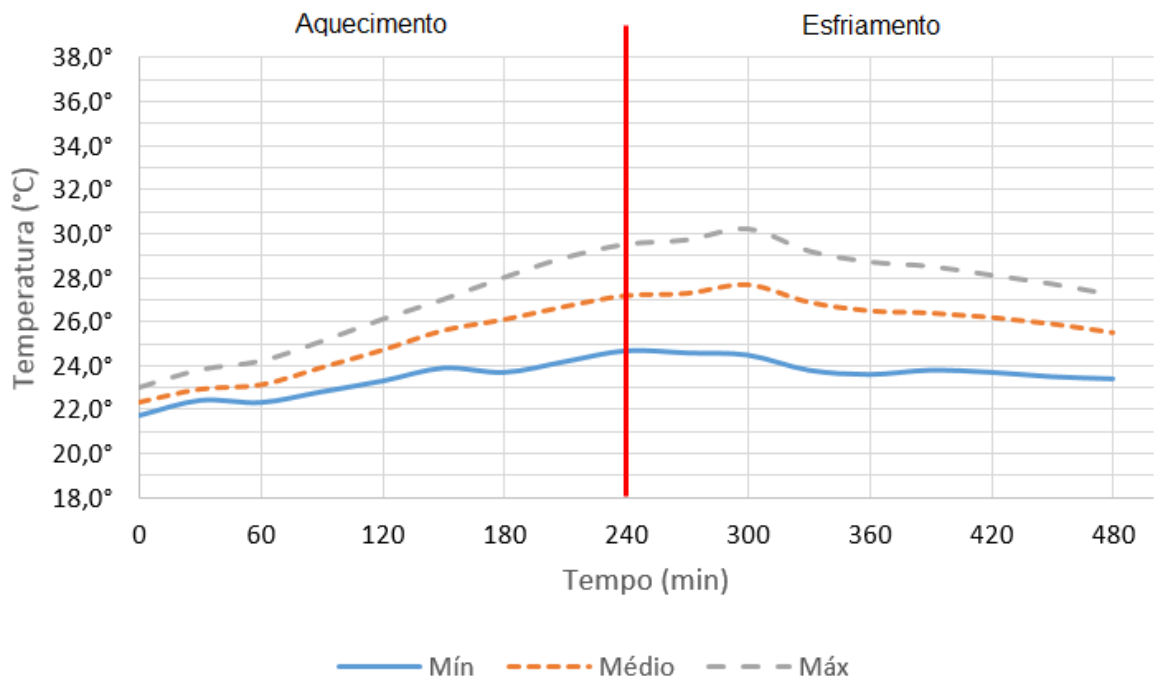
Gráfico 5 - Temperaturas da superfície do prisma PEPS.



Fonte: Elaboração própria.

Sem considerar a temperatura na falha na argamassa de assentamento é facilmente notável, através do comportamento apresentado no Gráfico 6, que a temperatura máxima na superfície do prisma é menor, sendo de 30,2°C.

Gráfico 6 - Temperaturas da superfície do prisma PEPS sem considerar falha da argamassa de assentamento.

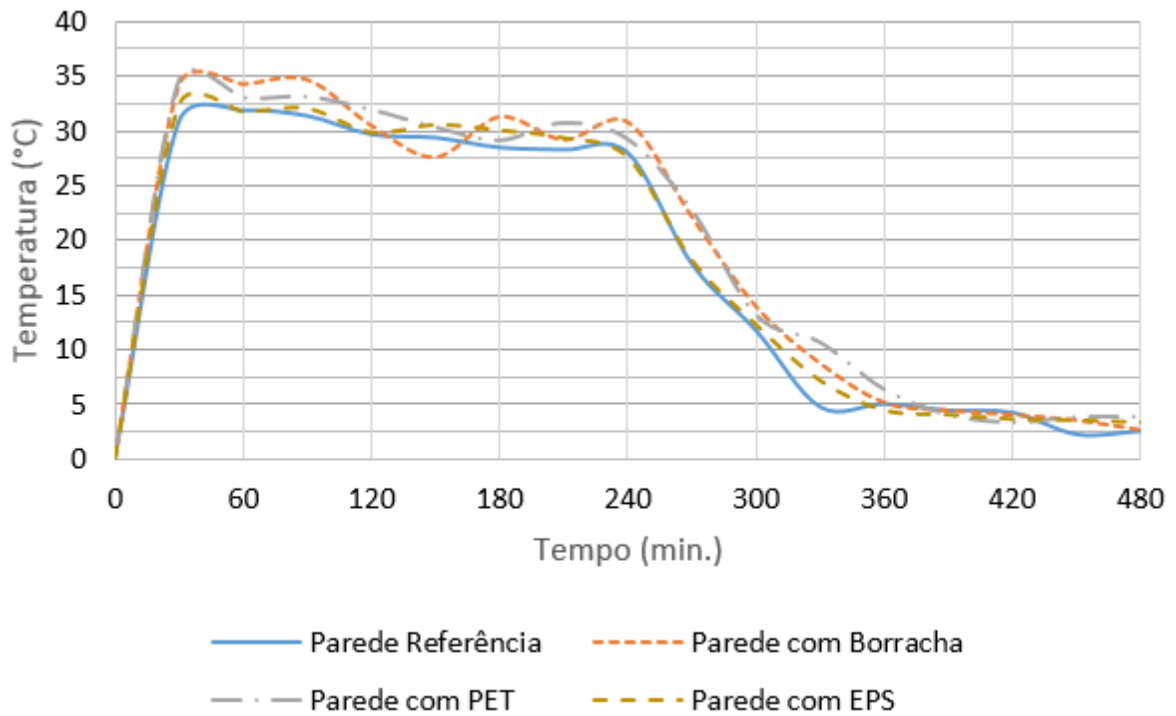


Fonte: Elaboração própria.

#### 4.2.4 Verificação comparativa dos sistemas

Durante o ensaio da termografia infravermelha foi observado a temperatura interna da fonte de calor, ou seja, o forno térmico, com o intuito de verificar o gradiente térmico proporcionado pelos prismas. No Gráfico 7 está apresentado o gradiente térmico das quatro tipologias de prismas, onde em uma observância rápida não é notória a diferença, porém se compararmos o prisma PV que chegou a obter um gradiente de 31,9°C com o prisma com maior gradiente, que foi o PB, onde atingiu 34,7°C de gradiente de temperatura, observa-se uma diferença de 2,8°C, que é bastante relevante em termos de transferência de calor.

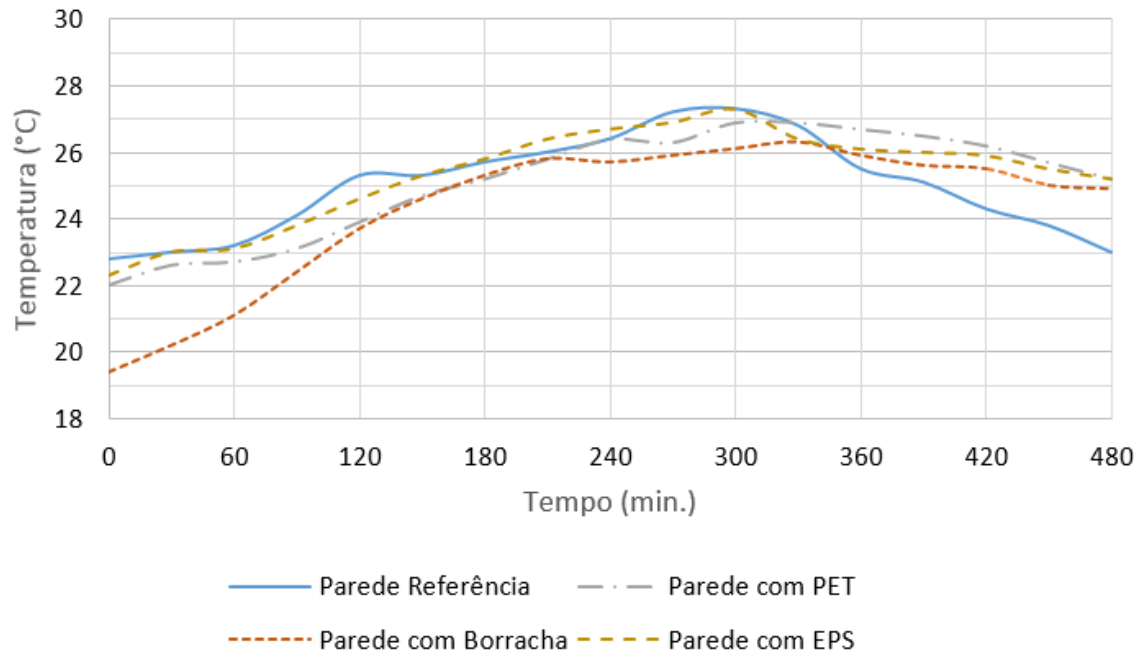
Gráfico 7 - Gradiente de Temperatura entre o Forno e a Superfície dos Prismas.



Fonte: Elaboração própria.

As temperaturas médias das superfícies dos prismas são comparadas no Gráfico 8, onde é possível observar que apresentaram pouca variação entre as mesmas. No entanto, no instante em que o prisma PV apresentou maior temperatura, que foi de 27,3°C aos 270 minutos de ensaio, o prisma mais eficiente que foi o caso do PB atingiu uma temperatura de 26,1°C, diferença essa de 1,2°C. No entanto é relevante afirmar que os prismas com preenchimento dos seu septos demonstraram que mantem-se aquecidos por maior tempo em vista do prisma com septo vazio. Esse fenômeno pode ser atrelado devido a absorção de energia dos materiais de preenchimento dos septos, onde lentamente são transferidas para o ambiente.

Gráfico 8 - Temperaturas Médias da Superfície dos Prismas.



Fonte: Elaboração própria.

## 5. CONCLUSÕES

O presente estudo abrangeu-se em analisar o desempenho térmico de distintos sistemas construtivos em alvenaria estrutural com blocos cerâmicos, sendo preenchidos com argamassas modificadas, por meio da termografia infravermelha.

Com os termogramas obtidos e gráficos construídos pode-se concluir que:

- A termografia infravermelha apresenta bom desempenho na detecção das diferentes temperaturas apresentadas na superfície dos blocos cerâmicos, demonstrando alto potencial a ser explorado nesse tipo de estudo.
- Os termogramas mostraram que a dissipação de calor ocorre de maneira distinta entre o material cerâmico e argamassado, onde foi possível determinar que por ser um material mais poroso a argamassa de assentamento tende a ser contribuinte direta para o aquecimento do ambiente interno de uma residência.
- As argamassas de preenchimento com adição de material alternativo apresentam potencial na contribuição do conforto térmico nas edificações construídas em alvenaria estrutural em blocos cerâmicos, visto que obtiveram diferença no gradiente de temperatura de até 2,8°C entre o prisma oco e o prisma preenchido com argamassa com adição de pó de borracha.
- A argamassa que apresentou mais eficiência foi a que possui adição de pó de borracha, porém apresentou um ponto negativo, visto que o tempo para o esfriamento do prisma ocorreu mais lentamente que as demais configurações.
- Devido a um erro na execução no assentamento do prisma, foi possível comprovar que a não utilização de junta vertical na alvenaria estrutural, contribui negativamente para o isolamento térmico dos fechamentos verticais, devido a fuga de calor ocorrer por esses espaços vazios.

### 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

- Construção de sistemas com diferentes porcentagens de adição de material alternativo.
- Realizar ensaio com a influência da insolação, ou seja, termografia passiva.
- Verificar a relação da massa específica com o aumento das solicitações na fundação da edificação.



## REFERÊNCIAS

ALAM, F. W. A.; PINZ, F. P.; TORRES, A. S.; PALIGA, C. M. Potencial da termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas ocultas ocasionadas pela umidade acidental em paredes de alvenarias cerâmicas com revestimento de argamassa e pintura, **Revista de Arquitetura IMED**, s.l., v 5, n 1, p 28-47, jan., 2016.

ANOVA, J. A.; BERGAMASCO, R.; ANGELIS NETO, G. Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento, **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, s.l., v 10, n 3, p 41-53, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270-2**: Componentes cerâmicos – Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higtotérmico dos edifícios**. 2004. 183 p. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2004.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo**. 2003. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

CINTRA, A. M. **Estudo do desempenho térmico de concretos com ar incorporado**. 2015. 126 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015.

CUNHA, Letícia Shirozaki. **Avaliação de edificações com a utilização da termografia como ensaio não destrutivo – estudo de caso**. 2016, 39 p, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2016.

DELBONO, B. F.; RODRIGUES, F. S. Os aspectos jurídicos da sustentabilidade na construção civil e a importancia do incentivo governamental na utilização de materiais sustentáveis. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1, 2014, Guimarães. **Anais...**Braga: Universidade do Minho, 2014, p 174-181.

EBAH. **Ebah**, Disponível em: < <http://107.21.65.169/content/ABAAAfvlAG/uso-alvenaria-com-funcao-estrutural-no-sistema-construtivo-atualidade#>>. Acesso em: 15 junho. 2017.

FERREIRA, C. C. **Análise de sensibilidade por meio de experimento fatorial de parâmetros de desempenho térmico de envoltórias de edificações residências: contribuição à revisão das normas brasileiras**. 2016. 437 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

MARIO, M.; ANDERSON, A. M.; LUCIANA, N. P. C.; ANGELA, B. M Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 1, 2014, Guimarães. **Anais...**Braga: Universidade do Minho, 2014, p 510-518.

MARQUES, D. F. P. C. **Avaliação da qualidade térmica da envolvente de edifícios – Estudo de caso através da análise numérica e por termografia**

**infravermelha**. 2014. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

MENDONÇA, L. V. Termografia por Infravermelhos Inspeção de Betão, **Revista Engenharia & Vida**, s.l. n 16, p 53-57, set., 2005.

MORONI, A. L. **Análise do desempenho térmico e da eficiência energética de um edifício multifamiliar em alvenaria estrutural na zona bioclimática 2**. 2015. 199 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

NETO, C. J. **Termografia aplicada a detecção e dimensionamento de descontinuidade em tubulações de material compósito**. 2009. 118 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

PEDRA, S. A. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao *design* do conforto térmico de alvenaria estrutural**. 2011. 100 p. Dissertação (Mestrado em *Design*) – Universidade do Estado de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

PEDRA, S. A.; SALES, R. B. C.; LANA, S. L. B.; AGUILAR, M. T. P. Termografia infravermelha aplicada à análise térmica de alvenaria em blocos de concreto e de cerâmica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 54, 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: Instituto Brasileiro de concreto, 2012.

PETERSON, C. **How it Works: The Charged-Coupled Device, or CCD**, Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/~marcia/ccd.pdf>>. Acesso em: 31 maio. 2017.

PIEROZAN JUNIOR, Gilberto Jose. **Análise de desempenho de alvenaria estrutural em blocos de concreto com base na ABNT NBR 15575**. 2016, 129 p, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

RIBAS, R. A. J.; SOUZA, H. A. Avaliação construtiva e de desempenho térmico do prédio da Escola de Minas da UFOP, **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v 60, n 4, p 629-638, out., 2016.

ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria – RS**. 2015. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SACHT, H. M. **Painéis de vedação de concreto moldados *in loco*: avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos**. 2008. 286 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SANTOS, R. D. **Estudo térmico e de materiais de um composto a base de gesso e EPS para construção de casas populares**. 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

SILVA JUNIOR, O. G.; SALES, R. B. C.; PEDRA, S. A.; AGUILAR, M. T. P. Estudo da viabilidade do uso da fibra do curauá para aplicação em isolamento térmico de alvenarias utilizando termografia infravermelha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CONCRETO, 54, 2012, Maceió. **Anais...** Maceió: Instituto Brasileiro de concreto, 2012.

SOUSA, L. P. R. **Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios**. 2010. 128 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2010.

SOUSA, Jullyana Santos. **A análise de patologias em paredes de concreto moldadas *in loco* utilizando a termografia como ensaio não destrutivo**. 2013, 29 p, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2013.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A – Tabelas das temperaturas dos sistemas estudados

Tabela 1 – Temperaturas do experimento do sistema em blocos com os septos ociosos.

Tempo (min)	Temperatura superfície (°C)			Temperatura da Estufa (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Gradiente de Temperatura (°C)
	Mín	Médio	Máx			
0	21,9	22,8	23,3	22,8	22,6	0
30	22,1	23	23,6	53,9	22,1	30,9
60	22	23,2	32	55,1	22,2	31,9
90	22,3	24,1	34,3	55,5	22,3	31,4
120	22,2	25,3	35,9	55	22,5	29,7
150	22,4	25,3	36,1	54,7	22,3	29,4
180	22,4	25,7	36,1	54,2	22,4	28,5
210	22,4	26	35,6	54,3	22,5	28,3
240	22,8	26,4	35,1	54,4	22,8	28
270	23,2	27,2	34,2	45	23,7	17,8
300	23,4	27,3	31,6	39	24,1	11,7
330	22,9	26,8	30,8	31,5	24,3	4,7
360	21,9	25,5	29,4	30,5	22,8	5
390	22,1	25,1	28,4	29,5	22,5	4,4
420	21,4	24,3	27,4	28,5	22,4	4,2
450	21,4	23,8	26,4	26	22,5	2,2
480	20,8	23	25,2	25,5	22,4	2,5

Tabela 2 – Temperaturas do experimento do sistema em blocos preenchidos com argamassa modificada com pó de borracha.

Tempo (min)	Temperatura superfície (°C)			Temperatura da Estufa (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Gradiente de Temperatura (°C)
	Mín	Médio	Máx			
0	18,9	19,4	19,9	19,4	19,8	0
30	19,7	20,2	21,9	54,4	20,9	34,2
60	20,6	21,1	22,7	55,4	21,8	34,3
90	21,8	22,4	24	57,1	23	34,7
120	22,7	23,7	25,2	54,2	22,8	30,5
150	23,4	24,6	26,4	52,2	23,2	27,6
180	23,6	25,3	28,5	56,6	23,2	31,3
210	23,8	25,8	28,7	55	23,5	29,2
240	23,2	25,7	29,5	56,5	23,2	30,8
270	23,1	25,9	30	48	23,1	22,1
300	23,1	26,1	29,8	40	23,1	13,9
330	23	26,3	29,8	35	23,4	8,7
360	22,7	25,9	28,4	31	23,5	5,1
390	22,3	25,6	28,5	30	23,5	4,4
420	22,4	25,5	27,9	29,5	23,1	4
450	22,3	25	27,3	28,5	23,2	3,5
480	22,4	24,9	27,3	27,5	23,2	2,6

Tabela 3 – Temperaturas do experimento do sistema em blocos preenchidos com argamassa modificada com areia de PET.

Tempo (min)	Temperatura superfície (°C)			Temperatura da Estufa (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Gradiente de Temperatura (°C)
	Mín	Médio	Máx			
0	21,5	22	22,6	22	22,4	0
30	21,9	22,6	24	57,2	22,5	34,6
60	21,6	22,7	24,3	55,7	22,2	33
90	21,7	23,1	24,9	56,2	22,3	33,1
120	22	23,9	26,5	55,8	22,4	31,9
150	22,4	24,7	27,3	55	22,6	30,3
180	22,8	25,2	28,7	54,3	22,6	29,1
210	23	25,8	28,8	56,5	22,6	30,7
240	23,6	26,4	29,5	55,6	23	29,2
270	23,3	26,3	29,5	49	22,8	22,7
300	23,9	26,9	29,9	40	23	13,1
330	23,8	26,9	29,9	37,5	22,8	10,6
360	23,5	26,7	29,6	33	23,2	6,3
390	23,3	26,5	29,1	30,5	23	4
420	23,2	26,2	28,8	29,5	23,1	3,3
450	22,7	25,7	28	29,5	22,7	3,8
480	22,3	25,2	27,4	29	22,1	3,8

Tabela 4 – Temperaturas do experimento do sistema em blocos preenchidos com argamassa modificada com pérolas de EPS.

Tempo (min)	Temperatura superfície (°C)			Temperatura da Estufa (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Gradiente de Temperatura (°C)
	Mín	Médio	Máx			
0	21,7	22,3	23	22,3	22,2	0
30	22,4	23	25,3	55,3	22,5	32,3
60	22	23,1	27,5	54,8	21,7	31,7
90	22,3	23,8	29	55,8	21,8	32
120	22,3	24,6	30,3	54,4	22,3	29,8
150	22,8	25,3	30,8	55,8	22,2	30,5
180	23,1	25,8	33,7	55,8	22,3	30
210	23,3	26,4	34,1	55,7	22,2	29,3
240	23,4	26,7	34,9	54,2	22,5	27,5
270	23,4	26,9	34,1	45	22,5	18,1
300	23,7	27,3	33	39,5	23	12,2
330	22,9	26,4	31	33,5	22,4	7,1
360	22,8	26,1	30,1	30,5	22,4	4,4
390	22,7	26	29,2	30	22,7	4
420	23	25,9	28,6	29,5	22,7	3,6
450	22,6	25,5	27,7	29	22,6	3,5
480	22,6	25,2	27,2	28,5	23	3,3

Tabela 5 – Temperaturas do experimento do sistema em blocos preenchidos com argamassa modificada com pérolas de EPS sem considerar o ponto de falha na argamassa de assentamento

Tempo (min)	Temperatura superfície (°C)			Temperatura da Estufa (°C)	Temperatura Ambiente (°C)	Gradiente de Temperatura (°C)
	Mín	Médio	Máx			
0	21,7	22,3	23	22,3	22,2	0
30	22,4	22,9	23,8	55,3	22,5	32,4
60	22,3	23,1	24,2	54,8	21,7	31,7
90	22,8	23,9	25,1	55,8	21,8	31,9
120	23,3	24,7	26,1	54,4	22,3	29,7
150	23,9	25,6	27	55,8	22,2	30,2
180	23,7	26,1	28	55,8	22,3	29,7
210	24,2	26,7	28,9	55,7	22,2	29
240	24,7	27,2	29,5	54,2	22,5	27
270	24,6	27,3	29,7	45	22,5	17,7
300	24,5	27,7	30,2	39,5	23	11,8
330	23,8	26,9	29,2	33,5	22,4	6,6
360	23,6	26,5	28,7	30,5	22,4	4
390	23,8	26,4	28,5	30	22,7	3,6
420	23,7	26,2	28,1	29,5	22,7	3,3
450	23,5	25,9	27,7	29	22,6	3,1
480	23,4	25,5	27,2	28,5	23	3