

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

MARIANE SATSUKI MONOMI KIYOTANI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

Alegrete

2019

MARIANE SATSUKI MONOMI KIYOTANI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

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

2019

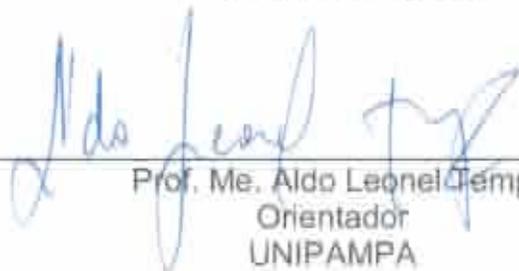
MARIANE SATSUKI MONOMI KIYOTANI

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE ARGAMASSAS DE
REVESTIMENTO**

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: 26, novembro de 2019.

Banca examinadora:



Prof. Me. Aldo Leonel Kemp
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Aisson Simonetti Milani
UNIPAMPA



Prof. D. Sc. Diego Arthur Hartmann
UNIPAMPA

Aos meus avós, aos meus pais, à minha
irmã.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA pela oportunidade de realizar o presente trabalho.

À minha família, pelo apoio, incentivo e acompanhamento durante todo esse período da minha vida e por acreditarem nos meus sonhos. Aos meus avós, pela compreensão durante o tempo que estive ausente.

Ao Andreisson, por toda ajuda durante o processo de desenvolvimento desse trabalho e pelo incentivo a não desistir. Por sempre estar disponível a ouvir, ser meu conselheiro, revisor e tradutor.

Ao Prof. Me. Aldo Temp, pela orientação e dedicação, cujo conhecimento foi fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores Me. Alisson Milani e Dr. Sc. Diego Hartmann, pelas sugestões que contribuíram para o aperfeiçoamento da pesquisa.

Ao Eng. Marcelo Oliveira e a técnica Raquel Machado pela ajuda e disponibilidade durante os ensaios de laboratório.

A Prof. Simone Venquiaruto, pela doação da areia de PET utilizada na pesquisa.

A todos os professores do corpo docente do curso de Engenharia Civil, pelos conhecimentos e ensinamentos transmitidos.

A empresa FIDA, pela doação da argamassa térmica e pó de borracha utilizados nesse estudo.

A todos meus amigos e colegas, pelo companheirismo, troca de conhecimentos e pelos momentos divertidos proporcionados ao longo do percurso que resultou na finalização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho visa contribuir para a utilização de novos materiais cujo desempenho térmico seja satisfatório tomando como referência as normas NBR 15575 e NBR 15220. Para isso, foram estudadas cinco argamassas de revestimento: argamassa convencional, argamassa térmica da empresa FIDA e argamassas modificadas com 30% de adição, sendo pó de borracha, areia de PET e resíduo de argamassa. Foram moldadas duas placas planas para cada argamassa citada para determinação da capacidade térmica. Posteriormente, essas argamassas foram aplicadas sobre paredes de alvenaria estrutural, as quais tiveram sua superfície exposta por uma fonte de calor externa. A superfície oposta ao estímulo foi monitorada com o auxílio de uma câmera termográfica. A argamassa que apresentou melhor desempenho foi a argamassa térmica, porém foi constatado que as argamassas com adição de pó de borracha e areia de PET também apresentam potencial como alternativa para o isolamento térmico. Ainda foi observado que a argamassa de revestimento contribui na distribuição da temperatura pela superfície, além de ser importante para a vedação do sistema, dessa forma melhorando o conforto térmico.

Palavras-chave: argamassa modificada, revestimento, conforto térmico, termografia infravermelha.

ABSTRACT

This research aims to contribute to the use of new materials whose thermal performance is satisfactory taking as reference the standards NBR 15575 and NBR 15220. Five coating mortars were studied: conventional mortar, FIDA thermal mortar and mortars with 30% of addition of rubber powder, PET sand and mortar residue. Two flat plates were molded for each mortar mentioned to determine the thermal capacity. Subsequently, these mortars were applied to structural masonry walls, which had their surface exposed to an external heat source. The surface on the opposite side of the heat source was monitored with a thermographic camera. The best performing mortar was thermal mortar, but it was found that mortars with the addition of rubber powder and PET sand also have potential as an alternative for thermal insulation. It was also observed that the rendering mortar contributes surface temperature distribution, besides being important for the wall sealing system, thus improving the thermal comfort.

Keywords: modified mortar, rendering mortar, thermal comfort, infrared thermography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Zonas bioclimáticas	23
Figura 2 - Transmissão de calor através de uma parede.....	24
Figura 3 - Decomposição da luz solar.....	26
Figura 4 - Detecção de infiltração invisível a olho nu	27
Figura 5 - Termogramas da sola do pé para os diferentes tipos de piso após 1 minuto de contato	30
Figura 6 - Termogramas da sola do pé para os diferentes tipos de piso após 2 minutos de contato	30
Figura 7 - Termograma das amostras de bloco cerâmico antes do aquecimento: (A) Vista frontal; (B) Vista do topo	31
Figura 8 - Termogramas das amostras de bloco cerâmico depois do aquecimento: (A) Vista frontal; (B) Vista lateral.....	31
Figura 9 - Esquema da parede construída	32
Figura 10 - Termograma da superfície oposta após receber insolação de seis horas	32
Figura 11 - Linhas de perfil da superfície oposta após seis horas de insolação	33
Figura 12 - Termograma da superfície dos prismas após as 4 horas de esfriamento: (A) PV; (B) PB; (C) PAPET; (D) PEPS.....	33
Figura 13 - Temperaturas médias das superfícies dos prismas	34
Figura 14 - Etapas da metodologia	35
Figura 15 – Bloco de alvenaria estrutural.....	36
Figura 16 - Argamassa de assentamento	37
Figura 17 - Areia de PET.....	37
Figura 18 - Pó de borracha	38
Figura 19 – Agregado miúdo de resíduo de argamassa	39
Figura 20 – Argamassa TermoFIDA	39
Figura 21 – Corpos de prova moldados	40
Figura 22 – Vista frontal da parede sem revestimento.....	41
Figura 23 – Parede com revestimento: (A) Vista frontal; (B) Vista lateral	41
Figura 24 - Argamassa espalhada	43
Figura 25 - Recipiente cilíndrico com argamassa	44
Figura 26 - Equipamento FOX 304	45
Figura 27 - Esquema do dispositivo de medição	45

Figura 28 - Estufa	46
Figura 29 – Esquema do ensaio	47
Figura 30 - Realização do ensaio.....	48
Figura 31 - Termograma da superfície da parede PR antes do aquecimento	54
Figura 32 - Termogramas da superfície das paredes após 4 horas de aquecimento: (A) PR; (B) PRCC; (C) PB; (D) PAT; (E) PPET.....	55
Figura 33 - Termograma da superfície após 4 horas de esfriamento: (A) PR; (B) PRCC; (C) PB; (D) PAT; (E) PPET	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Transmitância térmica de paredes externas	23
Tabela 2 - Capacidade térmica de paredes externas	23
Tabela 3 - Resultados do índice de consistência	49
Tabela 4 – Densidade de massa para cada argamassa	50
Tabela 5 - Classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco	50
Tabela 6 – Resultado de condutividade térmica das placas planas	51
Tabela 7 - Nomenclatura das paredes	52
Tabela 8 - Temperaturas das paredes após 4 horas de aquecimento.....	56
Tabela 9 - Temperaturas no instante final do ensaio de termografia	59
Tabela 10 - Variação da temperatura no aquecimento e no esfriamento	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Objetivos	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	15
1.2	Justificativa	15
1.3	Estrutura do trabalho	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Conforto térmico	17
2.2	Transferência de calor	18
2.2.1	Condução	18
2.2.2	Convecção	18
2.2.3	Radiação	19
2.3	Propriedades térmicas dos materiais	19
2.3.1	Condutibilidade térmica	20
2.3.2	Calor específico	20
2.3.3	Resistência térmica e transmitância térmica	20
2.3.4	Difusividade térmica	21
2.3.5	Inércia térmica	21
2.4	Desempenho térmico de materiais	22
2.4.1	Desempenho térmico de vedações verticais internas e externas	22
2.4.2	Desempenho térmico de revestimentos	24
2.5	Termografia infravermelha	26
2.5.1	Descrição do método da termografia infravermelha	27
2.5.2	Aplicações da termografia infravermelha	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1	Materiais	36
3.1.1	Substrato	36
3.1.2	Argamassa de assentamento	36
3.1.3	Argamassas utilizadas	37
3.2	Métodos	40
3.2.1	Confecção dos corpos de prova	40
3.2.2	Confecção das paredes	40
3.2.3	Confecção das argamassas	41
3.2.4	Ensaio no estado fresco da argamassa	42
3.2.5	Verificação da capacidade térmica nos corpos de prova	44

3.2.6 Verificação da transferência de calor nas paredes	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	49
4.1 Ensaio no estado fresco.....	49
4.2 Análise dos resultados de capacidade térmica	50
4.3 Análise dos resultados da termografia	52
4.3.1 Termografia antes do aquecimento	53
4.3.2 Termografia posterior ao aquecimento	55
4.3.3 Termografia posterior ao esfriamento	57
4.3.4 Comparação dos sistemas.....	62
5 CONCLUSÕES	66
5.1 Sugestão para trabalhos futuros	67

1 INTRODUÇÃO

De forma geral, utiliza-se o conceito de desempenho para definir determinadas características que um produto deve apresentar para que seja possível cumprir os propósitos para o qual foi planejado. No contexto da construção civil, a definição mais utilizada é a elaborada por Gibson (1982) de que a abordagem do desempenho deve ser feita a partir da preocupação com os requisitos que deve ter e não com a forma de ser construída.

No Brasil, a expansão do setor da construção civil levou à modernização e introdução de novos processos construtivos. Conseqüentemente, constatou-se a necessidade da criação de meios para avaliar tecnicamente esses processos. De acordo com Borges (2008) uma das primeiras apresentações do conceito de desempenho foi feita na década de 70, pelo trabalho de Rosso (1980), porém os estudos para a criação de uma metodologia de avaliação só começaram a ser feitos a partir do ano de 2000, resultando na publicação da Norma Brasileira de Desempenho em 2008, a ABNT NBR 15575. Devido a esse atraso na criação de normativas brasileiras, houve a introdução de tecnologias não suficiente consolidadas ou adaptadas para as condições do Brasil resultando em casos desastrosos com aparecimento precoce de patologias e altos custos de manutenção (BORGES, 2008).

A ABNT NBR 15575 (2013) apenas estabelece condições que o edifício deve ter em relação à exigência do usuário e seu comportamento em uso, não descrevendo os processos construtivos. Por essa razão, para Gomes (2015) os problemas de degradação prematura, sejam físicas ou funcionais são um problema atual e decorrem, principalmente, devido a um processo construtivo deficiente. Esses problemas estão relacionados ao envelhecimento natural da edificação provocado pela escolha de materiais de baixa qualidade, problemas no projeto e na execução ou por falta de manutenção. Dessa maneira, a degradação pode ser observada na queda da segurança, estabilidade, durabilidade, utilização e até mesmo na estética da edificação (GOMES, 2015).

A indústria da construção civil busca, principalmente, projetar de maneira a obter o menor custo, dessa forma muitas vezes os sistemas utilizados não são adequados, assim como o desconhecimento do projetista e a escassez de técnicas construtivas eficientes, muitas vezes, resultam no descumprimento do requisito

mínimo de desempenho das edificações. Dentre os principais requisitos que são desprezados pode-se citar o desempenho térmico e acústico. Em contrapartida, o mercado cada vez mais competitivo e exigente desafia as empresas a aperfeiçoarem e investirem em tecnologias que aumentem a qualidade das obras.

Com o surgimento de preocupações em relação à sustentabilidade, o desempenho térmico nas edificações passou a ser um assunto recorrente. Cada vez mais, procura-se projetar de maneira a obter maior eficiência energética, conforto térmico e acústico e atender as condições de desempenho. Nesse contexto, a norma NBR 15575 (2013) foi publicada com o objetivo de apresentar critérios mínimos de desempenho térmico das edificações.

A NBR 15575 (2013) define que para atender às exigências de conforto térmico é necessário avaliar os sistemas de vedação e cobertura. Além da alvenaria, a argamassa de revestimento é indispensável para realizar o fechamento da estrutura que, de acordo com Passos e Carasek (2018) pode ser responsável por até 30% do isolamento térmico quando apresentar espessura em torno de 35% do sistema de vedação. Dessa forma, o estudo de novos materiais e sistemas construtivos se torna uma maneira de suprir as exigências e uma ferramenta de vantagem competitiva no mercado da construção civil.

Diante deste contexto este trabalho tem o objetivo de desenvolver uma argamassa com propriedades isolantes térmicas visando melhorar um dos requisitos de desempenho: o térmico.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho visa analisar o desempenho térmico de diferentes tipos de argamassas de revestimento e verificar o desempenho do sistema de vedação utilizando a técnica da termografia infravermelha.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a capacidade térmica das argamassas de revestimento com adição de areia de PET, pó de borracha, resíduo da construção civil e argamassa térmica;
- Verificar a temperatura superficial das paredes de alvenaria estrutural com revestimento argamassado utilizando a termografia infravermelha;
- Analisar o desempenho térmico do sistema de vedação composto por argamassa modificada e alvenaria estrutural.

1.2 Justificativa

De acordo com Passos e Carasek (2018) cerca de 23% do gasto energético é proveniente do setor residencial, sendo 20% responsável por sistemas de condicionamento de ar. Para Golub (2017) a questão térmica é um assunto crescente nas pesquisas com a finalidade de melhorar o conforto do usuário e a economia de energia. Dessa forma, melhorar as propriedades térmicas das edificações seria uma solução para reduzir o consumo energético.

Além das vantagens econômicas, os estudos do conforto térmico pretendem estabelecer condições adequadas para a ocupação e o desenvolvimento das atividades humanas. Estas condições baseiam-se, principalmente, em três fatores: o bem-estar e a produtividade do ser humano e a conservação de energia, evitando desperdícios com calefação e refrigeração (DUARTE, 2016).

Diante deste contexto, este trabalho visa o desenvolvimento de argamassas com propriedades térmicas para o uso na construção civil, contribuindo com a inovação tecnológica.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O 1º Capítulo faz a introdução do tema abordado na pesquisa, bem como os objetivos gerais e específicos e também a justificativa.

O Capítulo 2 aborda a revisão bibliográfica dos seguintes temas: conforto térmico, transferência de calor, propriedades térmicas dos materiais, desempenho térmico dos materiais e termografia infravermelha.

O Capítulo 3 descreve a metodologia empregada na pesquisa onde é abordado o planejamento da pesquisa, os materiais utilizados e os procedimentos experimentais.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e a interpretação dos dados obtidos.

O Capítulo 5 aborda as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No final do trabalho estão as referências bibliográficas utilizadas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir serão apresentados os tópicos da revisão bibliográfica com a definição de termos relacionados ao desempenho dos sistemas e materiais com ênfase no requisito térmico e qualidade energética.

2.1 Conforto térmico

Existem um grande número de definições para o termo conforto térmico, e, de acordo com Duarte (2016) entende-se como conforto térmico o estado de bem-estar entre o homem e o ambiente que está inserido quando existe a condição de neutralidade térmica. Porém, por estar associado a uma sensação humana depende também de fatores fisiológicos e psicológicos, além de fatores físicos. A ABNT NBR 15220 (2003), define conforto térmico como satisfação psicológica do indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

De acordo com Menezes (2006), o conforto térmico pode ser analisado sob o ponto de vista pessoal ou ambiental, o primeiro expressa a condição mental de satisfação com o ambiente térmico, enquanto que o segundo define ambiente confortável cujas condições permitam a manutenção da temperatura interna sem a necessidade de mecanismos termo-reguladores, ou seja, o organismo está em balanço térmico com o ambiente.

Pimenta *et al.* (2015) explica que foram criados índices de conforto térmico como PMV (Predicted Mean Vote – Voto Previsto Médio) e PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied – Percentagem Previsível de Insatisfeitos) para avaliar a percepção térmica humana. Com o estudo concluiu-se que mesmo o ambiente considerado neutro para a maioria das pessoas, ainda haverá uma porcentagem de pessoas insatisfeitas. Por isso é impossível definir uma zona termicamente confortável, uma vez que este conceito é relativo.

Segundo Rotta (2009), as principais variáveis físicas que influenciam no conforto térmico são: temperatura do ar, temperatura média radiante, umidade do ar e velocidade relativa do ar. Já as variáveis pessoais são: atividade desempenhada e as roupas utilizadas, além de existirem as características individuais como aspectos psicológicos, culturais e de hábito.

Para Costa (2011) os requisitos em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico são: condições de exposição das edificações que podem ser climáticas (temperatura e umidade do ar, velocidade e direção dos ventos e radiação solar direta e difusa); condições de implantação (latitude, longitude e orientação solar); condições de uso da edificação (número de ocupantes e atividades padrão, quantidade de calor e vapor d'água produzidos no interior da edificação, número de renovações de ar proporcionados pelo controle da ventilação do ambiente).

2.2 Transferência de calor

A transmissão de energia pode ocorrer de três formas: condução, convecção ou radiação. Porém, nos processos de transferência de calor, geralmente, ocorrem fenômenos simultâneos. Em edificações as trocas ocorrem devido à radiação solar e diferenças de temperatura entre os meios internos e externos (COLARES, 2017).

2.2.1 Condução

A condução é a única forma de transmissão de energia em forma de calor que pode acontecer em meio sólido, no interior do corpo ou entre dois corpos em contato. Esse processo de transmissão energética ocorre da região mais quente para a região mais fria. Os átomos da região mais quente possuem em média uma energia cinética maior do que os da região mais fria, fazendo com que haja colisão entre átomos vizinhos transmitindo parte da energia. Na colisão há apenas transmissão de energia em forma de calor, sem haver deslocamento de massa (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

A Lei de Fourier foi desenvolvida pelo francês Jean-Baptiste Joseph Fourier que transformou em um modelo matemático o processo de transmissão de energia em forma de calor por condução, onde determina que o fluxo de calor é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura (MOREIRA, 2014).

2.2.2 Convecção

Esse fenômeno de transferência de calor ocorre somente em fluidos (líquidos e gases) que tenham diferença de temperatura, pois a energia térmica se propaga de modo que ocorra transporte de massa (INPE, 2012).

Quando o fluido se encontra em uma superfície cuja temperatura é maior, o processo de transmissão de calor ocorre, primeiramente por meio de condução. Devido a esse aumento de temperatura o elemento do fluido se expande, aumenta seu volume e, conseqüentemente, diminui a densidade. Do mesmo modo, as partículas mais frias do fluido terão menor volume e densidade maior. Devido a ação da gravidade, o elemento mais denso será deslocado para baixo enquanto que o empuxo impulsiona as partículas menos densas para a superfície. Esse processo pode ser denominado de processo de circulação ou fluxo convectivo e pode ocorrer o efeito contrário, caso o local de contato seja mais frio que o fluido (INPE, 2012).

2.2.3 Radiação

O processo de transmissão de energia por radiação ocorre por meio de ondas eletromagnéticas irradiadas de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura, sendo que estes estão separados. Mesmo que haja vácuo entre eles a radiação acontece até que se estabeleça o equilíbrio térmico. O Sol irradia energia para a Terra através do vácuo e analogamente pode-se sentir a energia em forma de calor proveniente de uma lareira. A formação das ondas eletromagnéticas é dada pela oscilação de cargas elétricas dos átomos que constituem os objetos. (VILAR, 2011).

A maior parte do calor proveniente de corpos quentes são transmitidos através da radiação, pois qualquer corpo, com temperatura acima do zero absoluto emite energia sob a forma de radiação térmica (JORGE, 2011).

2.3 Propriedades térmicas dos materiais

Para que seja possível fazer a avaliação do desempenho térmico é necessário analisar algumas características físicas que o material apresenta. Algumas delas são: condutibilidade térmica, capacidade térmica, calor específico, resistência térmica, difusividade térmica e inércia térmica.

2.3.1 Condutibilidade térmica

A condutibilidade térmica é uma característica de cada material e quantifica a capacidade do material de conduzir calor. Materiais isolantes possuem baixa condutividade térmica, ou seja, conduzem calor de maneira lenta, enquanto que os dissipadores de calor têm alta condutibilidade térmica (JORGE, 2011).

Navroski *et al.* (2010) define que um material pode ser determinado como sendo bom ou mau condutor térmico de acordo com sua estrutura atômica ou molecular. Dessa forma, os metais são bons condutores devido às ligações fracas dos elétrons mais externos que os possibilitam transportar energia livremente por meio de colisões do metal. Porém, materiais como madeira, lã, vidro, papel e poliestireno que são considerados mau condutores de calor (isolantes térmicos) possuem seus elétrons mais externos firmemente ligados.

Materiais porosos, geralmente possuem baixa condutibilidade térmica, classificando-os como isolantes térmicos. Porém, se esses materiais absorverem água passarão a conduzir mais calor, perdendo a capacidade de isolar (RORIZ, 2008).

2.3.2 Calor específico

Calor específico, ou capacidade térmica específica, é definido como sendo a quantidade de calor que deve ser fornecida a uma unidade de material para variar uma unidade de temperatura. Como essa quantidade de calor é um parâmetro que varia para cada substância, pode ser utilizado para caracterizá-la (ALMEIDA D., 2012).

Essa característica é importante para classificar um material como bom isolante, uma vez que quanto maior o calor específico maior a quantidade de energia necessária para variar a temperatura do material (COLARES, 2017).

2.3.3 Resistência térmica e transmitância térmica

Para Colares (2017) define como resistência térmica a capacidade do material de impedir a passagem de calor. Esta propriedade está relacionada com a transmitância térmica que depende da espessura e da condutividade térmica dos

materiais constituintes e indica a capacidade de conduzir mais ou menos calor por unidade de área em uma diferença de temperatura (LAMBERTS *et al*, 2010).

A NBR 15220-1 (2003) apresenta as resistências térmicas superficial interna, superficial externa e total. A primeira corresponde à resistência térmica da camada de ar adjacente à superfície interna, enquanto que a segunda corresponde à resistência da camada de ar adjacente à superfície externa, onde existe transferência de calor por meio de radiação e/ou convecção. A resistência térmica total é o somatório das resistências térmicas das camadas componentes incluindo as resistências superficiais internas e externas. A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total.

2.3.4 Difusividade térmica

A difusividade expressa a velocidade com a qual o material propaga o calor em seu interior (MELRINHO, 2014). Esta propriedade está relacionada à adaptação do material em relação à temperatura do ambiente. Se está sendo usado para fins de vedação, quanto maior a difusividade, maior o tempo para realizar a troca de calor do meio externo para o interno e vice-versa (COLARES, 2017).

A NBR 15220 (2003) define difusividade térmica como sendo a razão entre a condutividade térmica pela capacidade de armazenar energia térmica.

2.3.5 Inércia térmica

Um edifício tem a capacidade de captar e armazenar energia térmica através da inércia térmica de seus elementos. A velocidade e a quantidade de energia absorvida definem esse parâmetro (JORGE, 2011). A inércia térmica indica a capacidade do material de armazenar e dissipar calor (COLARES, 2017), por isso quanto maior a capacidade térmica do elemento, maior inércia térmica e, conseqüentemente, menor amplitude térmica entre o ambiente externo e o interno (LAMBERTS *et al*, 2010).

O estudo dessa propriedade pode melhorar o conforto térmico, se a energia acumulada for orientada de maneira a proporcionar menor amplitude na variação de temperatura do ambiente interno (JORGE, 2011).

2.4 Desempenho térmico de materiais

Na construção civil, a análise do desempenho térmico deve ser feita considerando o fluxo de calor entre os elementos que compõem a vedação, que são os principais responsáveis pelo requisito de habitabilidade. Esse item inclui o desempenho térmico dos materiais em uma edificação.

A NBR 15575 – Parte 1 (2013) estabelece dois procedimentos para a análise do desempenho térmico: o normativo e o informativo. O primeiro procedimento, considerado simplificado, consiste em atender os requisitos e critérios para o sistema de vedação e coberturas expostos nas NBR 15575-4 e NBR 15575-5 (NBR 15575, 2013). O método informativo visa avaliar o desempenho em edificações ou protótipos já construídos, realizados por meio de medições. Quando o procedimento normativo resultar em um desempenho térmico insatisfatório, deve-se fazer análise por meio de simulação computacional.

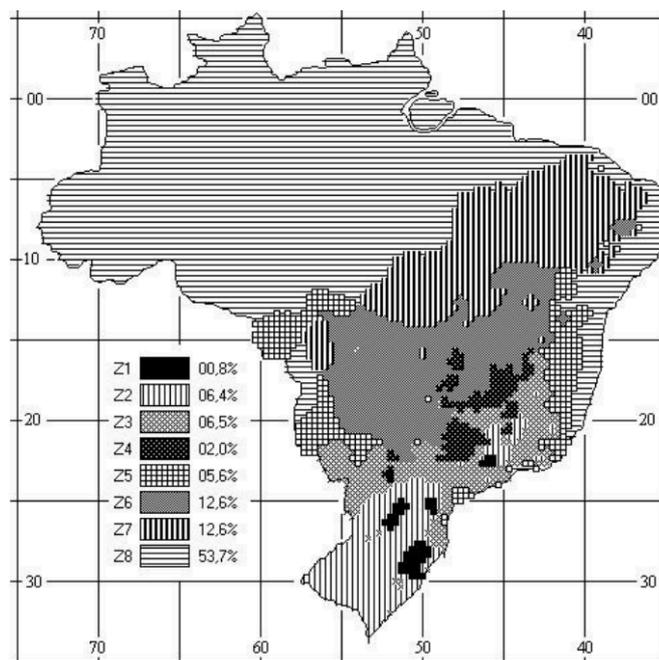
Segundo Rotta (2009), decisões tomadas no projeto arquitetônico podem contribuir para o melhor desempenho térmico, como: volumetria do edifício, orientação das fachadas, posicionamento e sombreamento das janelas, sistemas construtivos de paredes e coberturas, levando em consideração as propriedades termo-físicas desses elementos.

2.4.1 Desempenho térmico de vedações verticais internas e externas

De acordo com a NBR 15575 (2013) os sistemas de vedação verticais internos e externo das edificações integram os demais elementos da construção influenciando no desempenho. Esses materiais apesar de não ter função estrutural podem fazer o isolamento térmico e acústico, evitar a entrada de água (estanqueidade), fazem a fixação de peças suspensas e entre outras funções.

Para avaliar o desempenho térmico da edificação devem ser considerados os seguintes critérios: transmitância térmica de paredes externas, capacidade térmica de paredes externas e aberturas para ventilação. Todos os critérios envolvem a localização geográfica no país, representado pelas zonas bioclimáticas contidas no anexo A da NBR 15575. A Figura 1 apresenta as zonas bioclimáticas da norma.

Figura 1 - Zonas bioclimáticas



Fonte: NBR 15575-1 (2013).

A NBR 15575-4 (2013) estabelece critérios para a verificação do desempenho térmico que podem ser analisados pelo modelo simplificado determinado na NBR 15575 (2013). Se os critérios não atenderem pode ser feito a análise a partir do processo de simulação. Os valores limites estão nas Tabelas 1 e 2. O valor de α varia conforme a cor e as características de superfícies externas.

Tabela 1- Transmitância térmica de paredes externas

Transmitância Térmica W/m ² .K		
Zonas 1 e 2	Zonas 3, 4, 5, 6, 7 e 8	
U ≤ 2,5	$\alpha^* \leq 0,6$	$\alpha^* > 0,6$
	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

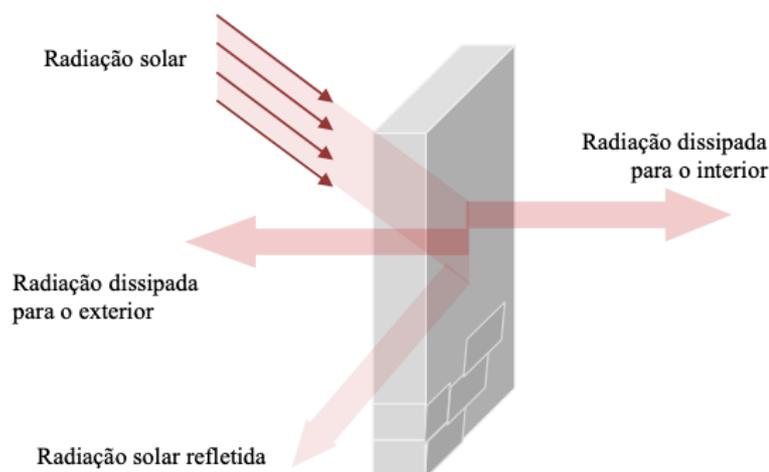
Capacidade Térmica (CT) kJ/m ² .K	
Zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7	Zona 8
≥ 130	Sem exigências

Fonte: Adaptado de NBR 15575-4 (2013)

No Brasil, o principal material empregado na vedação interna e externa de edificações é a alvenaria cerâmica, seguido de regularização em argamassa inorgânica e acabamento em pintura, textura ou cerâmica. De acordo com Colares (2017) a escolha dos materiais utilizados no revestimento e no tratamento superficial influenciam no comportamento térmico e contribuem para a redução da carga térmica. As duas técnicas mais empregadas para solucionar esse problema são: utilização de tijolos de maior espessura ou construção de paredes duplas (COLARES, 2017). Porém, para Veiga e Santos (2009) a maior eficácia é conseguida através do uso de isolamento térmico pelo exterior ou interior das paredes de fachada. Os dois sistemas propostos que apresentam melhor eficácia são a introdução de material isolante no interior da caixa de ar entre as paredes ou uso de blocos com características térmicas e geométricas melhoradas (VEIGA; SANTOS, 2017)

O processo de transmissão de calor entre os ambientes internos e externos acontece em três etapas, esquematizado na Figura 2.

Figura 2 - Transmissão de calor através de uma parede



Fonte: Pedra (2011).

2.4.2 Desempenho térmico de revestimentos

Para Brás *et al.* (2012) a primeira barreira contra os agentes de degradação são os revestimentos de parede exteriores. Dessa forma, a argamassa de revestimento além de assumir função estética apresenta características de proteção, contribuindo para a impermeabilização.

O revestimento argamassado tem como principais funções a proteção da estrutura contra o intemperismo; participação no sistema de vedação contribuindo para o isolamento térmico (aproximadamente 30%), isolamento acústico (aproximadamente 50%), estanqueidade (de 70 a 100%), resistência ao fogo e desgastes superficiais e a regularização da superfície para a aplicação de revestimento decorativo. Para desempenhar essas funções a argamassa deve satisfazer as seguintes propriedades: trabalhabilidade (consistência, plasticidade e adesão inicial), retração, aderência, permeabilidade a água, resistência mecânica (principalmente superficial) e capacidade de absorver deformações (CARASEK, 2007).

O revestimento pode ser constituído das seguintes camadas:

- Chapisco: camada que tem a função de uniformizar a superfície e prepará-la para a aplicação do revestimento, melhorando a aderência;
- Emboço: camada de regularização da base para o recebimento de outra camada, seja reboco ou revestimento decorativo (cerâmica);
- Reboco: camada de cobrimento que permite o recebimento de pintura como revestimento decorativo ou constitui o acabamento final;
- Camada única: revestimento de um único tipo de argamassa onde é possível a aplicação da camada decorativa;
- Revestimento decorativo monocamada (monocapa) – RDM: revestimento de camada única que possui a função regularização e decorativa (CARASEK, 2007).

Para Veiga e Santos (2009) os revestimentos de isolamento térmico possuem contribuição significativa para a eficiência energética, classificados pelos seguintes tipos: revestimentos compósitos de isolamento térmico pelo exterior, revestimentos de painéis isolantes fixados diretamente ao suporte e revestimentos constituídos por placas fixadas mecanicamente, com isolante no espaço de ar.

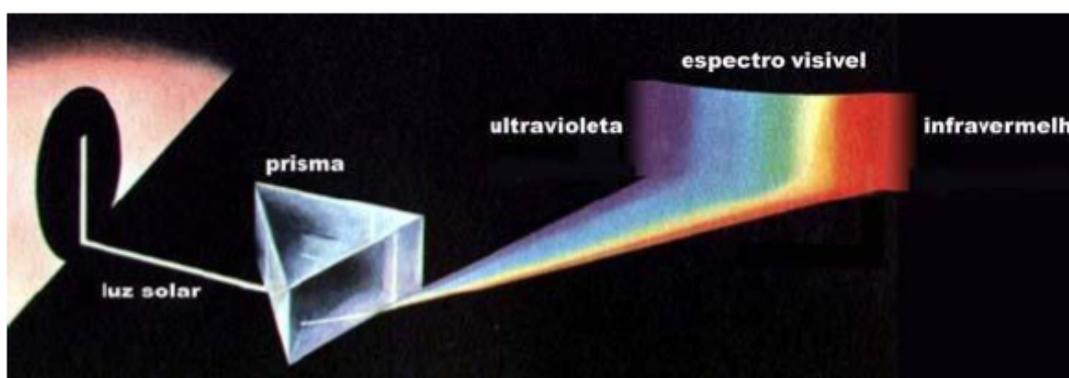
Ainda é possível complementar estas soluções a outras menos eficazes e aplicáveis como rebocos isolantes, revestimentos refletivos de proteção térmica e revestimentos de mudança de fase (PCM). Rebocos isolantes são argamassas pré-dosadas com elevada incorporação de agregados leves; revestimentos refletivos atuam na elevada refletância permitindo menor quantidade calor proveniente da radiação; revestimentos de mudança de fase (PCM – *Phase Change Materials*)

caracterizam-se pela incorporação de partículas pequenas que permitem a correção térmica (VEIGA; SANTOS, 2009).

2.5 Termografia infravermelha

Os raios infravermelhos foram descobertos em 1800 por um astrônomo, William Herschel, cujo objetivo era descobrir quais espectros eram responsáveis pelo aquecimento dos elementos. Constatou que a temperatura aumentava do ultravioleta para o vermelho, porém, as maiores temperaturas continuavam para além do visível (MENDONÇA *et al*, 2013). A luz solar pode ser decomposta em um espectro que varia entre o ultravioleta e o infravermelho como demonstra a Figura 3.

Figura 3 - Decomposição da luz solar



Fonte: Almeida P. (2017)

Os raios infravermelhos são ondas eletromagnéticas que possuem comprimento de onda maior que os comprimentos visíveis. Quanto mais quente o objeto, maior a radiação emitida por ele e por isso a radiação infravermelha é sinônimo de radiação de calor (MENDONÇA *et al*, 2013).

Partindo do princípio de que todo material emite radiação infravermelha, a termografia infravermelha incorpora dois conceitos: captação dos comprimentos de ondas eletromagnéticas não visíveis e análise da temperatura do material.

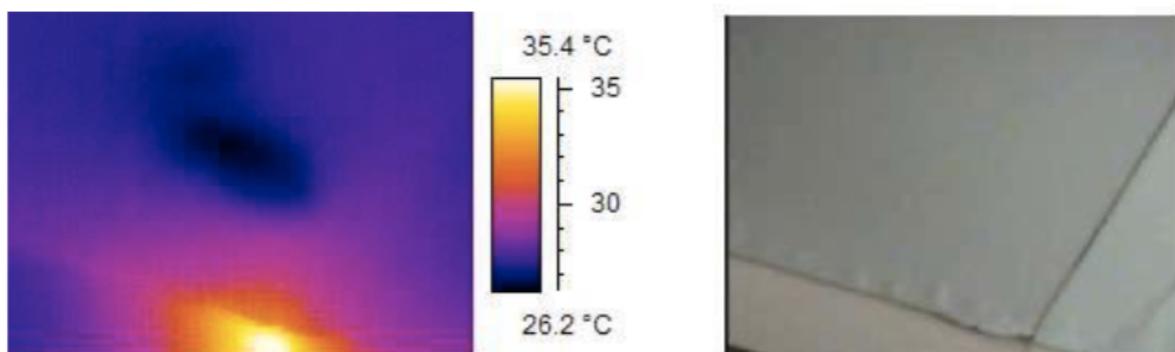
A termografia infravermelha é um ensaio não destrutivo que obtém imagens da temperatura superficial de estruturas através de uma câmera termográfica. A termografia baseia-se na perturbação do fluxo de calor, que produzem desvios na temperatura superficial e são captadas por equipamentos termográficos gerando uma imagem (MARIO, 2011). Câmeras coletam a radiação infravermelha emitida pelo

corpo e convertem em sinais elétricos, criando imagens térmicas. Como esses sinais são baixos e proporcionais ao fluxo de radiação, são amplificados, lidos e processados por softwares, transformando-os em imagens térmicas ou termogramas (PEDRA, 2011).

2.5.1 Descrição do método da termografia infravermelha

Esta tecnologia vem sendo utilizada para analisar a estrutura corporal humana, detectar falhas em equipamentos elétricos e, na construção civil, para encontrar alterações na cobertura, na estrutura, nos sistemas de vedação e revestimento. Essas alterações podem ser excesso de umidade, fissuras, corrosão de armaduras, análise térmica do edifício, entre outras (FREITAS *et al*, 2013; MENDONÇA *et al*, 2013). Na Figura 4 consta a fotografia de um forro, à esquerda a imagem termográfica e à direita a imagem real.

Figura 4 - Detecção de infiltração invisível a olho nu



Fonte: Mendonça *et al* (2013).

Para que seja possível fazer o ensaio é necessário que haja um fluxo térmico através do objeto que pode ser uma diferença de temperatura ou uma fonte de calor. Existem dois métodos para garantir esse fluxo: método passivo e método ativo (MELRINHO, 2014).

- Método passivo: é necessário que haja uma diferença de temperatura natural para analisar as anomalias, que é resultante da variação entre o ambiente interno e externo. Recomenda-se que seja maior que 10 °C. Esse fluxo térmico é proporcional à resistência térmica e a variação térmica entre o ambiente externo e interno (MELRINHO, 2014). Essa

técnica permite o acompanhamento em condições normais, onde o sol é a principal fonte de calor, e permite a análise periódica de estados que não são visíveis a olho nu (PEDRA, 2011);

- Método ativo: nesse método é necessária uma fonte de aquecimento externo para criar diferenças de temperatura significativas. Existem diversos tipos de aquecimento que podem ser feitos, sendo cada um recomendado para a obtenção de alguma informação. Os tipos mais comuns de termografia ativa são: pulsada, modulada ou *lock-in*, pulsada por fase de aquecimento e a vibrotermografia. Utiliza-se esse método quando se procura resultados quantitativos (PEDRA, 2011).

Existem diversos equipamentos que executam a termografia digital que são diferenciados pelo sistema de captação, podem ser eles: sistema ótico, captação de imagem pelo mecanismo de varredura, por percepção de calor, técnicas de resfriamento e imageamento (CORTIZO, 2007). O equipamento mais utilizado é a câmera termográfica que converte a energia infravermelha do objeto em sinais eletrônicos por meio de uma lente que concentra essa energia num detector infravermelho. Esses dados são importados para um software, onde pode ser analisada a temperatura de cada ponto da imagem obtida (ALMEIDA P., 2017).

Porém, a radiação captada pela câmera não depende apenas da temperatura do objeto, varia também conforme a emissividade e o ambiente, influenciando diretamente na radiação reflexiva do objeto. Os parâmetros também poderão variar de acordo com o efeito de absorção da atmosfera (FLIR, 2013).

A emissividade dos materiais é a razão entre a radiância da superfície e a radiância de um corpo negro. Este parâmetro determina a quantidade de energia que um corpo emite em um determinado comprimento de onda, onde é feita uma comparação da radiação emitida pelo material e o corpo negro que possui emissividade igual a 1 (toda radiação que recebe, emite) (MARIO, 2011; PEDRA, 2011).

Segundo Bauer e Leal (2013) os fatores que influenciam na análise dos resultados devem ser levados em consideração durante a realização do ensaio, pois existe um risco elevado de interpretações errôneas dos termogramas, onde algumas imperfeições da superfície são capazes de alterar a temperatura superficial devido a fatores externos como:

- Condições térmicas do objeto e do ambiente antes e durante o ensaio;

- Presença de interferências externas como sombras, reflexão de outras fontes de calor, diferentes acabamentos e texturas, entre outros fatores;
- Condições de medição como emissividade, temperatura do ar, ângulo e distância entre a câmera e o objeto, entre outros.

2.5.2 Aplicações da termografia infravermelha

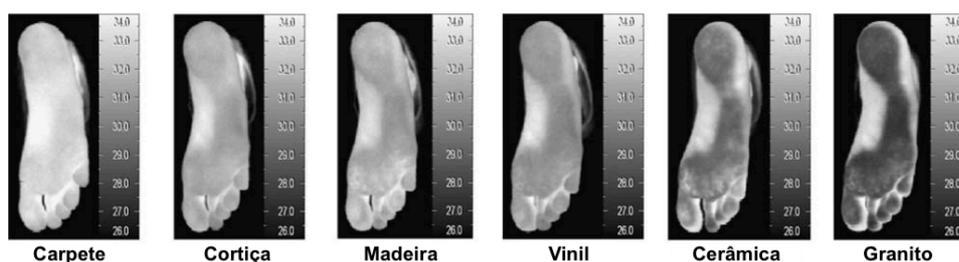
Atualmente, a técnica é utilizada para fazer o estudo de fachadas, inspeção de deterioração em edifícios, entre outras. Essas variações de temperatura que são captadas pela termografia infravermelha e perfis anormais de temperatura podem indicar um problema relevante (PEDRA, 2011).

Mario (2011) acredita que a maior parte das patologias presentes nos materiais e componentes de uma edificação estão associadas à temperatura. Além disso, a exemplo da detecção de pontos de infiltração invisíveis a olho nu, o excesso de umidade e temperatura são responsáveis por maior parte dos danos materiais e à saúde (FREITAS *et al*, 2013).

Para Cortizo (2007) uma variação de 1 ° a 2 °C, geralmente, indica a existência de alguma anomalia. Quando essa variação passa dos 4 °C, pode-se afirmar que existem problemas. Ainda explica que as edificações cuja superfície externa está exposta a temperaturas menores que 0 °C e a superfície interna tem temperaturas maiores que 0 °C haverá a ocorrência de uma ponte térmica, onde poderá provocar uma mudança de fase da água presente abaixo do revestimento. Esse fenômeno pode desencadear um fluxo de calor para o exterior ou interior da edificação, devido à alta condutividade térmica da água.

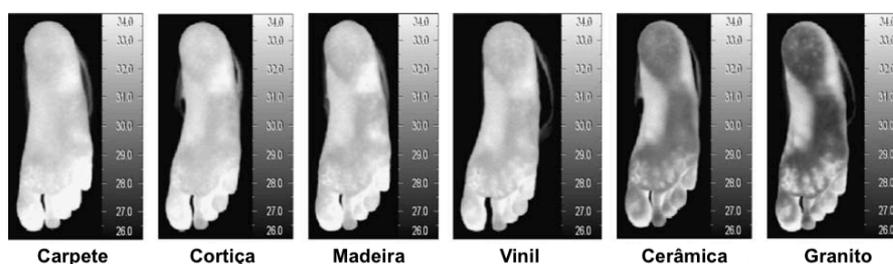
Barreira e Freitas (2007) apresentam um estudo sobre o conforto térmico apresentado por diferentes revestimentos de piso empregados em edificações de Portugal. A termografia infravermelha foi utilizada para avaliar a influência da temperatura do material em contato com a sola dos pés descalços ao longo do tempo. Foi observado que a maior temperatura superficial do pé foi atingida com o carpete, seguido de cortiça, madeira, vinil, azulejo cerâmico e, por fim, granito. As Figuras 5 e 6 apresentam os termogramas da sola do pé para a exposição a diferentes tipos de piso.

Figura 5 - Termogramas da sola do pé para os diferentes tipos de piso após 1 minuto de contato



Fonte: Adaptado de Barreira e Freitas (2007).

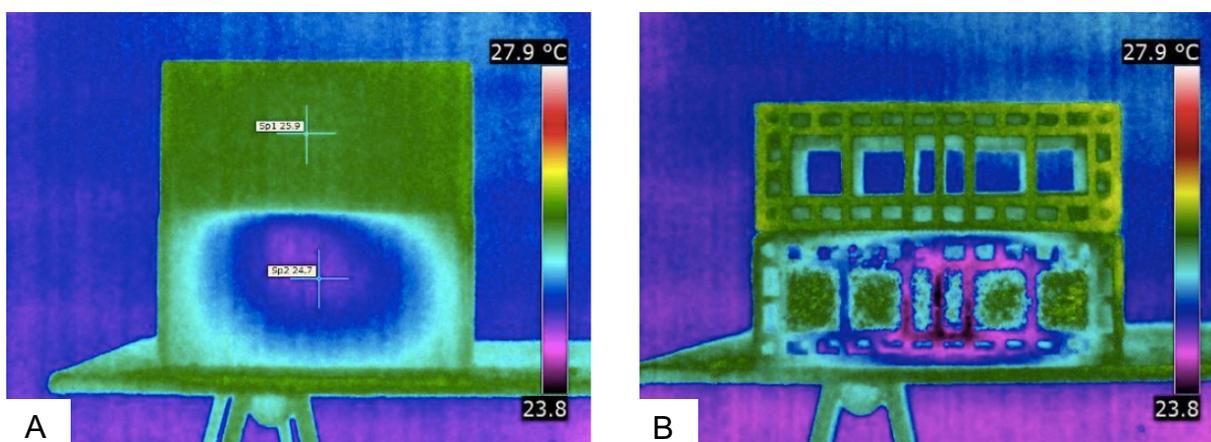
Figura 6 - Termogramas da sola do pé para os diferentes tipos de piso após 2 minutos de contato



Fonte: Adaptado de Barreiras e Freitas (2007).

Pedra (2011) analisou o desempenho térmico em amostras de blocos de alvenaria estrutural de cerâmica e concreto com preenchimento dos septos com resíduo de EPS. O preenchimento foi feito com pérolas de EPS e material aglutinante composto de cola e água. Para o ensaio nos blocos isolados foi utilizada a técnica da termografia ativa, para a análise da parede foi utilizado o ensaio de termografia passiva, na qual o aquecimento era proporcionado pelo sol. Foi observado que os blocos preenchidos com EPS apresentavam melhor desempenho, tanto o de concreto quanto o cerâmico. A Figura 7 mostra o termograma de dois blocos cerâmicos, o bloco inferior é preenchido com EPS e o superior está com o septo vazio.

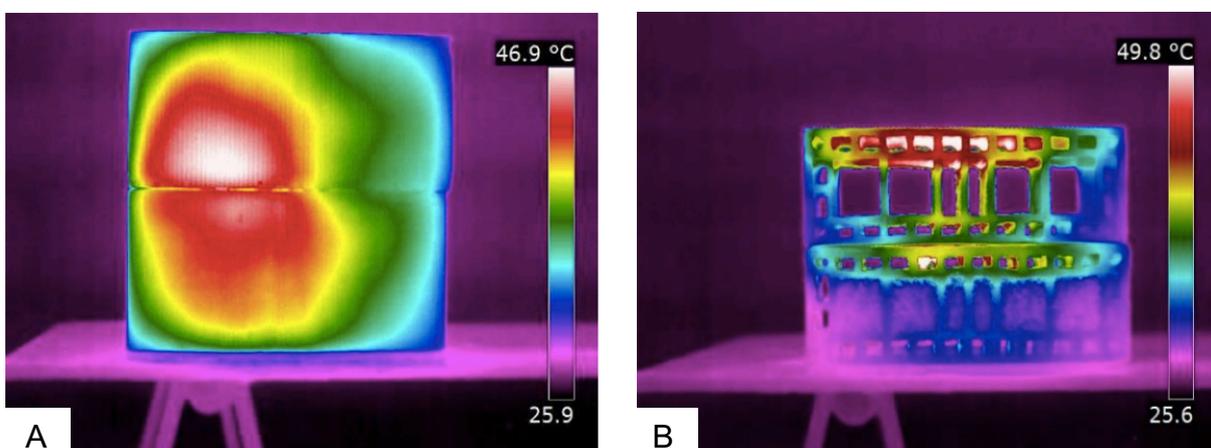
Figura 7 - Termograma das amostras de bloco cerâmico antes do aquecimento:
(A) Vista frontal; (B) Vista do topo



Fonte: Pedra (2011).

A Figura 8 mostra os blocos cerâmicos depois de aquecidos. Notou-se pequena diferença entre a temperatura superficial entre o bloco preenchido e o vazio, que é mais visível quando os blocos são observados pelo topo.

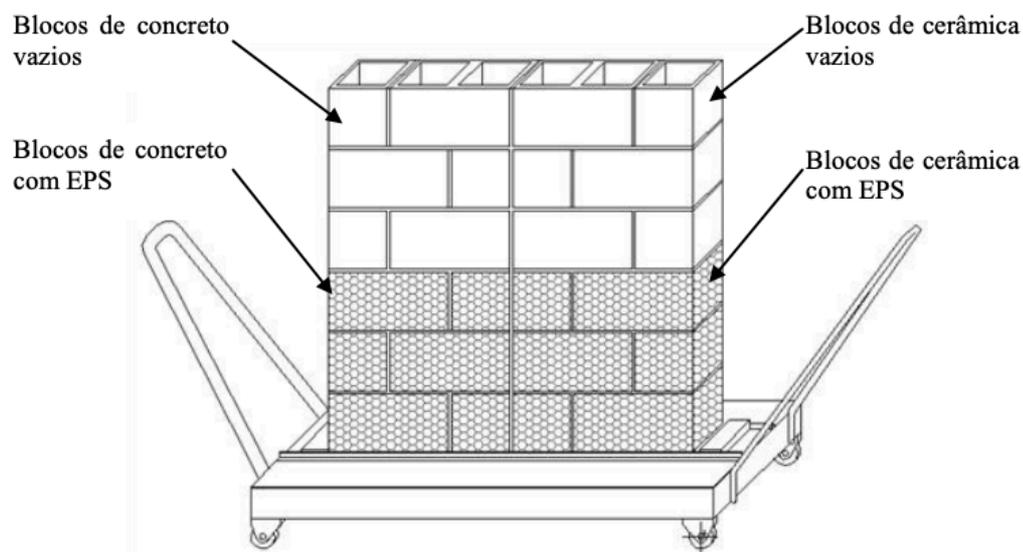
Figura 8 - Termogramas das amostras de bloco cerâmico depois do aquecimento: (A) Vista frontal; (B) Vista lateral



Fonte: Pedra (2011).

Além da observação dos blocos isolados foi construída uma parede de alvenaria estrutural composta por blocos de concreto e cerâmica, com quatro áreas distintas, como mostra a Figura 9. A parede ficou exposta ao sol por seis horas e foram feitas imagens tanto da superfície na qual incide a luz solar quanto da superfície oposta.

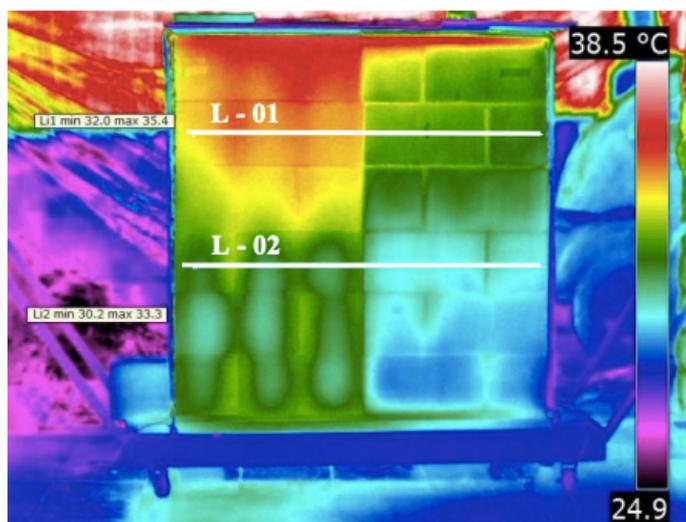
Figura 9 - Esquema da parede construída



Fonte: Pedra (2011).

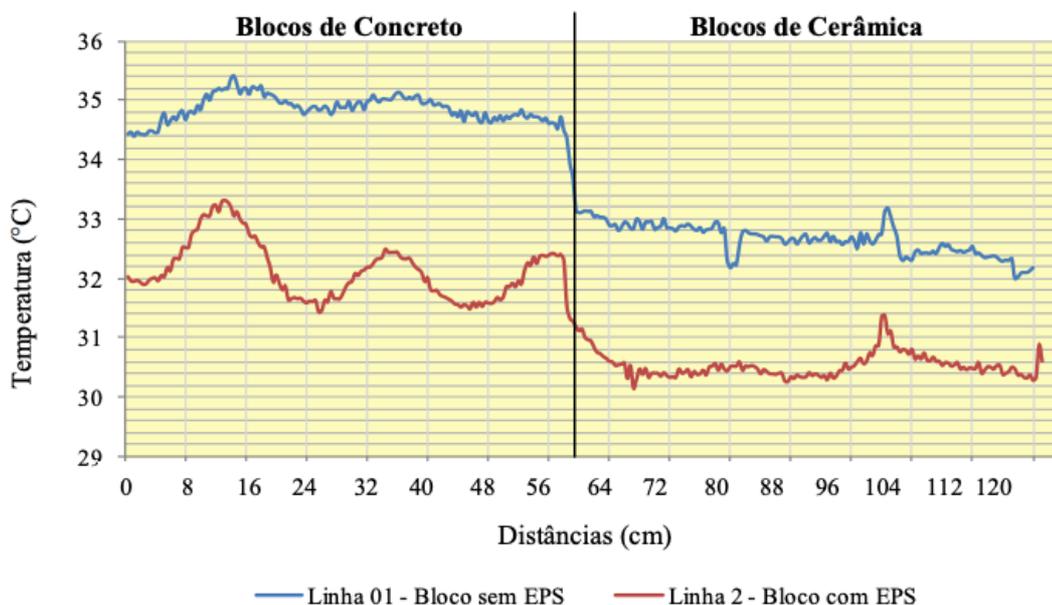
Pedra (2011) percebeu que a câmera termográfica detectava pequenas variações de temperatura e, por isso, foi possível notar que a insolação afetou de forma diferente as quatro configurações propostas. Na Figura 10 é possível observar a diferença na transmissão de calor. Esse fenômeno pode ser melhor observado na Figura 11 apresenta dados da temperatura em uma linha da superfície após seis horas de insolação na face oposta. A partir da análise do gráfico percebe-se o melhor desempenho dos blocos cerâmicos e dos blocos preenchidos com EPS.

Figura 10 - Termograma da superfície oposta após receber insolação de seis horas



Fonte: Adaptado de Pedra (2011).

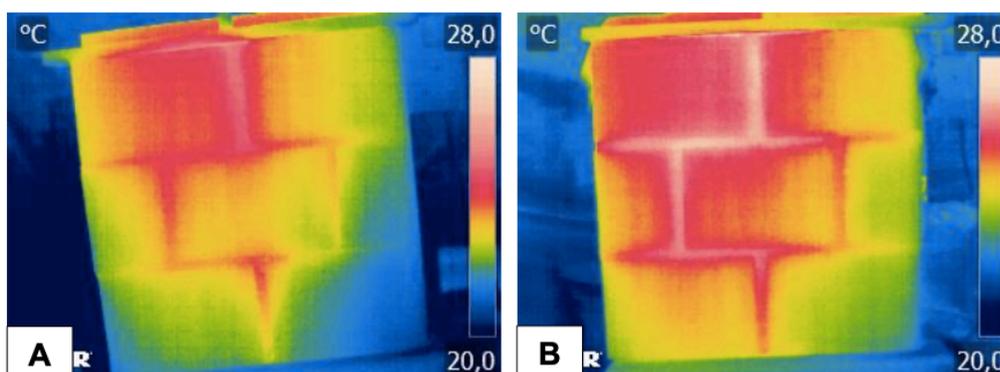
Figura 11 - Linhas de perfil da superfície oposta após seis horas de insolação

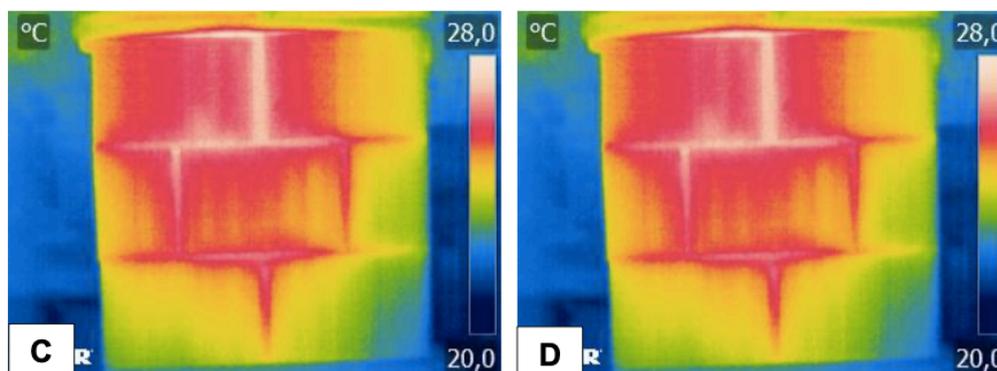


Fonte: Pedra (2011).

Almeida P. (2017) estudou a influência do preenchimento dos septos de blocos de alvenaria estrutural com pó de borracha, pérolas de EPS e areia de PET. Os prismas construídos foram submetidos a uma fonte de calor externa, com a qual foi possível criar gradientes de temperatura superficial que seriam observadas por 4 horas. Depois, a fonte de calor era retirada e era feita a observação por mais 4 horas. Foi observado, pela análise dos termogramas, que tanto no aquecimento quanto no resfriamento, as maiores temperaturas se encontravam na argamassa de assentamento. A Figura 12 ilustra esse fenômeno. As nomenclaturas PV, PB, PAPET e PEPS representam o prisma com o septo vazio, preenchido com pó de borracha, preenchido com areia de pet e preenchido com pérolas de EPS, respectivamente.

Figura 12 - Termograma da superfície dos prismas após as 4 horas de esfriamento: (A) PV; (B) PB; (C) PAPET; (D) PEPS

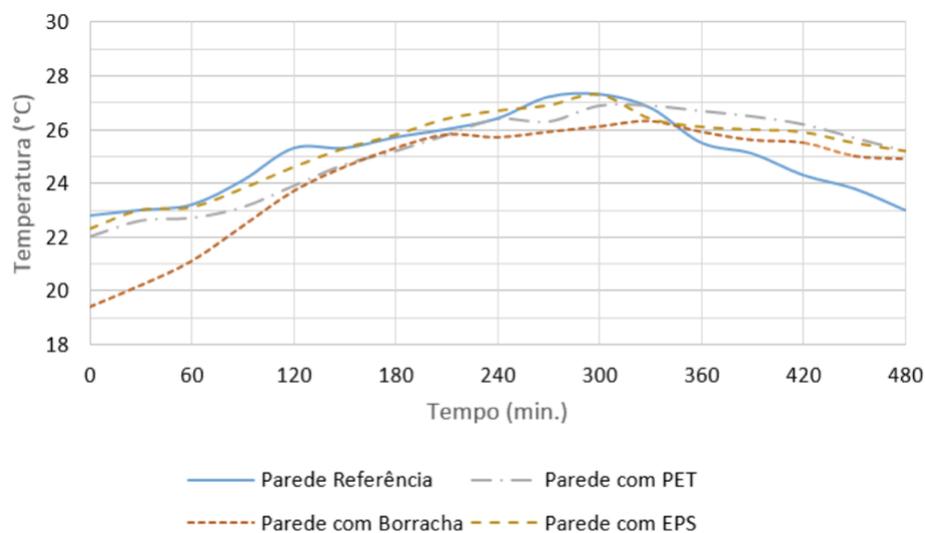




Fonte: Almeida, P. (2017).

Pela Figura 13 é possível observar que as temperaturas médias da superfície dos prismas apresentaram pouca variação entre elas. Porém, no instante em que o prisma de septo vazio atingiu as maiores temperaturas, o prisma preenchido com pó de borracha apresentou melhor desempenho, com a menor temperatura entre os prismas analisados.

Figura 13 - Temperaturas médias das superfícies dos prismas

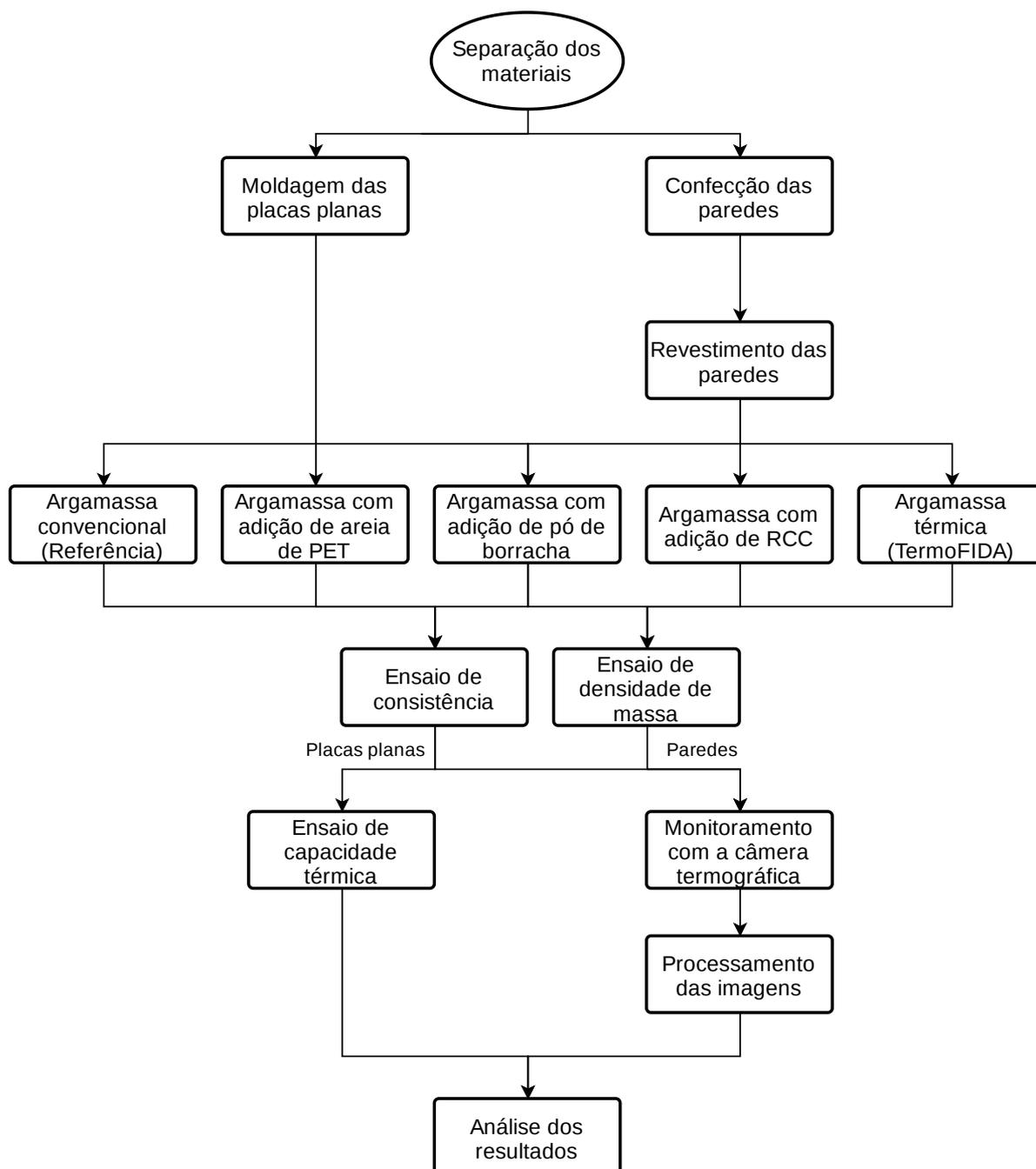


Fonte: Almeida, P. (2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são detalhados os procedimentos de desenvolvimento do trabalho, os materiais utilizados, suas características e os procedimentos realizados na pesquisa. A Figura 14 mostra o fluxograma da metodologia proposta.

Figura 14 - Etapas da metodologia



Fonte: Elaboração própria.

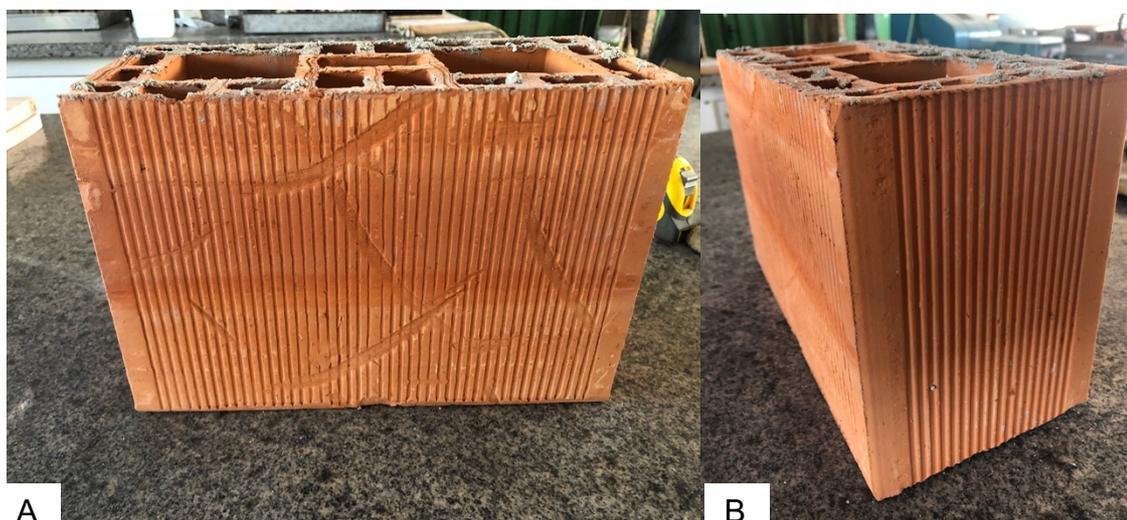
3.1 Materiais

Neste item serão apresentadas as características dos materiais utilizados para a composição das paredes que serão estudadas.

3.1.1 Substrato

Para a avaliação do comportamento térmico do sistema de vedação foi utilizado como substrato os blocos cerâmicos estruturais da família 29, como mostrado na Figura 15.

Figura 15 – Bloco de alvenaria estrutural



Fonte: Elaboração própria.

3.1.2 Argamassa de assentamento

Para o assentamento dos blocos cerâmicos estruturais foi utilizada a argamassa estrutural industrializada da empresa FIDA, como mostrado na Figura 16, com espessura média de 1 cm.

Figura 16 - Argamassa de assentamento



Fonte: FIDA.

3.1.3 Argamassas utilizadas

Para a moldagem dos corpos de prova e revestimento das paredes foram utilizados cinco tipos de argamassas diferentes: argamassa convencional, com adição de areia de PET, com adição de pó de borracha, com adição de resíduo de construção civil e uma argamassa térmica.

3.1.3.1 Areia de PET

A areia de PET utilizada foi obtida a partir da moagem de garrafas PET brancas, feito pela empresa Petceu – Industria de Reciclagem Plástica e doado para a realização da pesquisa. A Figura 17 ilustra a areia utilizada.

Figura 17 - Areia de PET



Fonte: Elaboração própria.

3.1.3.2 Pó de borracha

O pó de borracha foi obtido pela doação da empresa FIDA. A Figura 18 ilustra o pó de borracha.

Figura 18 - Pó de borracha



Fonte: Elaboração própria.

3.1.3.3 Resíduo de construção civil (RCC)

O procedimento de moagem do RCC realizado a britagem de corpos de prova de argamassa do laboratório e o material obtido foi peneirado na peneira 4,75 mm. Todo material passante foi novamente peneirado na 2,40 mm devido ao tamanho do agregado ser inadequado para a argamassa de revestimento. Dessa forma, só foram utilizados o material passante na 2,40 mm para a confecção da argamassa. A Figura 19 apresenta o aspecto do agregado depois de britado e peneirado.

Figura 19 – Agregado miúdo de resíduo de argamassa



Fonte: Elaboração própria.

3.1.3.4 Argamassa térmica

A empresa FIDA possui uma argamassa de revestimento especial, com adição de fibra de polipropileno, que possui características de isolamento térmico. A Figura 20 mostra a argamassa utilizada, que foi obtida por meio de doação da empresa.

Figura 20 – Argamassa TermoFIDA



Fonte: Elaboração própria.

3.2 Métodos

A seguir será apresentado o procedimento e especificação para a confecção dos corpos de prova para o ensaio de capacidade térmica e das paredes para a realização da análise térmica depois dos 28 dias.

3.2.1 Confecção dos corpos de prova

Foram moldados dois corpos de prova para cada uma das argamassas citadas no item 3.1.4, de dimensões 15 cm x 15 cm e 2 cm de espessura. Essas amostras foram utilizadas para a realização do ensaio de capacidade térmica normatizado pela NBR 15220 – Parte 5 (2003). Na Figura 21 estão ilustrados os corpos de prova depois de moldados.

Figura 21 – Corpos de prova moldados



Fonte: Elaboração própria.

3.2.2 Confecção das paredes

Foram executadas cinco paredes de dimensões 60x60 cm em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos assentados com argamassa estrutural da empresa FIDA. A vista frontal da parede está apresentada na Figura 22.

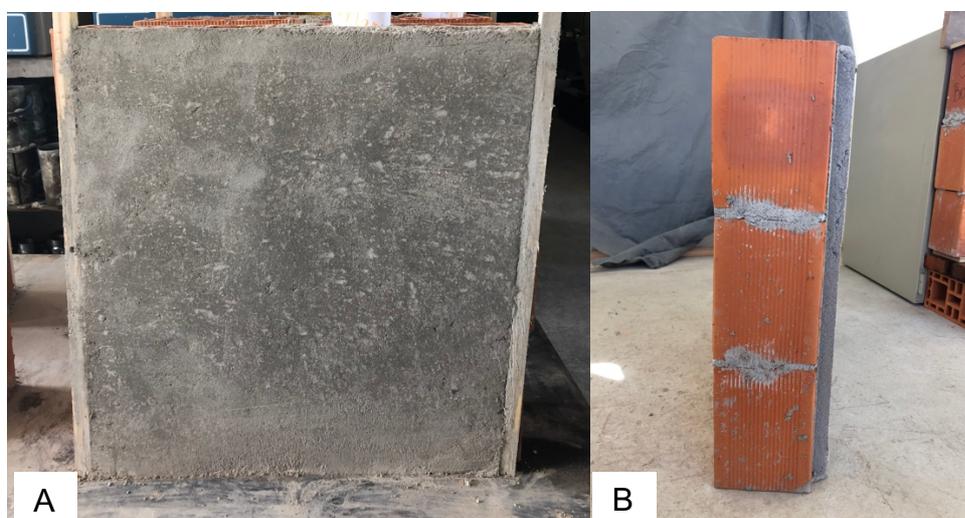
Figura 22 – Vista frontal da parede sem revestimento



Fonte: Elaboração própria.

Posteriormente, as paredes foram revestidas com a argamassa modificada como mostra a Figura 23. Foi determinada uma espessura de revestimento de 2 cm, que seria aplicado em apenas uma face, para que fosse possível fazer a comparação dos resultados das placas planas.

Figura 23 – Parede com revestimento: (A) Vista frontal; (B) Vista lateral



Fonte: Elaboração própria.

3.2.3 Confeção das argamassas

Para a execução do trabalho foram confeccionadas uma argamassa convencional, três argamassas modificadas e uma argamassa industrializada. Para a moldagem das placas planas as argamassas foram executadas na argamassadeira

com capacidade de 10 litros. Para o revestimento das paredes foram executadas utilizando uma betoneira com capacidade de 150 litros.

As argamassas foram produzidas com cimento CPIV-RS, cal e areia. Nas argamassas modificadas as adições de material alternativo foram de 30% em relação ao volume da areia. A Tabela 3 mostra o traço utilizado para as argamassas.

Tabela 3 - Traço em volume das argamassas

Cimento	Cal	Areia	Adição	Água
0,75	0,25	4,00	1,20	0,90

Fonte: Elaboração Própria.

3.2.4 Ensaios no estado fresco da argamassa

Foram realizados ensaios no estado fresco, sendo verificado o índice de consistência e densidade de massa. Como o foco deste trabalho é o estudo do comportamento térmico das argamassas e dos sistemas de vedação não houve outras verificações de propriedades no estado fresco e endurecido.

3.2.4.1 Ensaio de Índice de Consistência

O ensaio foi realizado de acordo com a norma NBR13276 (2002). A norma recomenda que para a execução do ensaio a temperatura do ambiente esteja em 23 ± 2 °C e a umidade relativa do ar em $60\pm 5\%$.

Os materiais utilizados foram:

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

Primeiro a mesa de consistência e o molde tronco-cônico são umedecidos para que não haja transferência de umidade e atrito entre a argamassa e esses materiais. Em seguida, o molde é posicionado no centro da mesa com a base maior voltada para

baixo e é realizado o preenchimento em três camadas com alturas aproximadamente iguais. Aplicar em cada camada 15, 10 e 5 golpes, respectivamente. Depois, é realizado o rasamento com uma espátula e o molde é retirado.

Na sequência, são aplicados 30 golpes em 30 segundos com a mesa na argamassa e ao final do último golpe é feito a medição de três diâmetros da argamassa espalhada. A Figura 24 mostra a argamassa depois dos golpes, onde são tiradas as medições do diâmetro.

Figura 24 - Argamassa espalhada



Fonte: Elaboração própria.

O índice de consistência corresponde à média dos três diâmetros, em milímetros.

3.2.4.2 Densidade de massa

O ensaio de densidade de massa foi realizado de acordo com a NBR 13278 (2005). Os materiais utilizados para a realização do ensaio foram:

- Balança com precisão de 0,1g;
- Espátula;
- Soquete metálico;
- Copo de inox de 380 cm³.

A argamassa é colocada no recipiente em três camadas de altura aproximadamente iguais, aplicando 20 golpes com a espátula em cada uma. Após o preenchimento é efetuado 5 golpes na última camada e rasado o recipiente. A determinação da densidade de massa é feita pela Equação 1.

$$d = \frac{m_c - m_v}{V_r} \quad (1)$$

Onde:

- d: Densidade da argamassa no estado fresco (g/m^3);
- m_c : Massa do recipiente com argamassa (g);
- m_v : Massa do recipiente vazio (g);
- V_r : Volume do recipiente cilíndrico (g).

A Figura 25 mostra o recipiente com argamassa para a determinação do m_c .

Figura 25 - Recipiente cilíndrico com argamassa



Fonte: Elaboração própria.

3.2.5 Verificação da capacidade térmica nos corpos de prova

A NBR 15220 (2003) descreve a utilização do método fluxiométrico para medir a resistência térmica e a capacidade térmica de placas planas, sendo possível calcular outras propriedades térmicas dos corpos de prova. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi o medidor de fluxo de calor FOX 304 da empresa LaserComp's, como mostra a Figura 26.

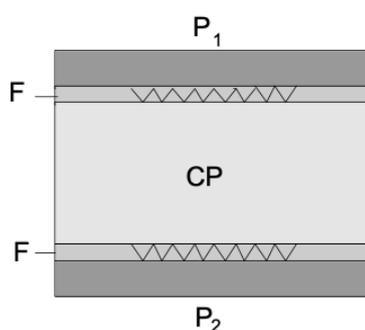
Figura 26 - Equipamento FOX 304



Fonte: Elaboração própria.

O equipamento possui uma placa aquecedora com limite de temperatura de 75 °C e uma placa de resfriamento de até -20 °C. Cada placa possui um fluxímetro para a medição do fluxo de calor. A Figura 27 mostra um esquema do dispositivo de medição do equipamento.

Figura 27 - Esquema do dispositivo de medição



Fonte: NBR 15220-5 (2003)

Onde:

P_1 e P_2 : Placa fria e quente, respectivamente;

F: Fluxímetro;

CP: Corpo de prova.

O ensaio consiste em colocar o corpo de prova entre as duas placas e calibrar as temperaturas de cada uma. Foi recomendado que a diferença de temperatura entre a placa quente e a fria fosse de 30 °C.

Foram utilizadas as temperaturas de 60 °C para a placa quente e 30 °C para a placa fria, de maneira que os resultados pudessem ser comparados com a verificação do ensaio da termografia. De acordo com a norma, o método só é aplicável se não

houver transferências significativas de umidade (redistribuição e absorção) durante a medição, por isso, os corpos de prova foram deixados na estufa no dia anterior ao ensaio.

Os resultados obtidos pelo equipamento são os valores de capacidade térmica para cada uma das placas ensaiadas.

3.2.6 Verificação da transferência de calor nas paredes

O desempenho térmico das paredes foi verificado a partir do ensaio não-destrutivo da termografia ativa por transmissão. Para isso, uma face da parede foi exposta a uma fonte de calor externa e a leitura da temperatura foi feita na face oposta com uma câmera termográfica.

A câmera termográfica que foi utilizada é 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 fazer as leituras com a câmera foi configurado o parâmetro da emissividade, de acordo com a FLIR (2013) para alvenaria rebocada o valor da emissividade é de 0,94.

Para fonte de calor foi utilizada a estufa da marca DeLeo, com potência de 1760W e faixa de operação de 60°C a 300°C . A Figura 28 mostra a estufa utilizada.

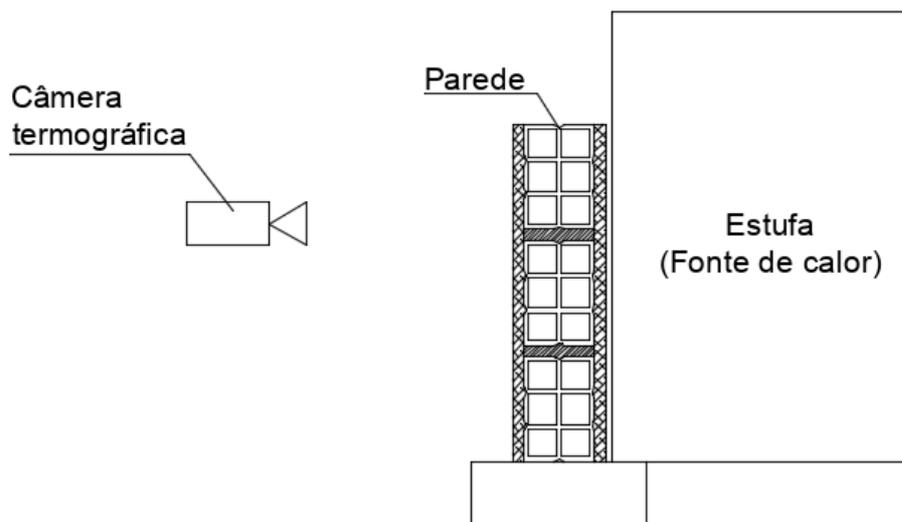
Figura 28 - Estufa



Fonte: Elaboração própria.

Uma das faces da parede ficou exposta durante 4 horas a uma temperatura controlada de 60°, enquanto que a leitura foi feita na face oposta com a câmera posicionada em um tripé a uma distância 2 m da parede como mostra o esquema da Figura 29.

Figura 29 – Esquema do ensaio



Fonte: Elaboração própria.

Foram feitas imagens a cada 30 minutos durante o período de 4 horas em que a parede recebe calor, simulando o período diário de maiores temperaturas. Posteriormente foram capturadas imagens por mais 4 horas sem a fonte externa de calor representando o tempo de resfriamento. Esse procedimento foi realizado para cada parede com os diferentes tipos de argamassa de revestimento. Para que não houvesse diferença de ângulo ou distância entre as fotos, foi utilizado um tripé para o posicionamento da câmera termográfica, como mostra a Figura 30.

Cada parede foi ensaiada em um dia diferente, devido ao tempo de ensaio e a disponibilidade da câmera termográfica. As condições ambientes foram diferentes para cada um dos dias, pois não foi possível fazer o controle da temperatura e da umidade.

Figura 30 - Realização do ensaio



Fonte: Elaboração própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, serão apresentados os resultados encontrados para cada placa plana, para cada parede estudada e as imagens feitas durante a realização do ensaio.

4.1 Ensaio no estado fresco

Para que se tornasse possível a aplicação da argamassa nas paredes foi estipulado o espalhamento de 250 mm com variação de 20 mm para mais e menos. Com esse parâmetro foi possível garantir a trabalhabilidade necessária para aplicação da argamassa nas alvenarias.

Os resultados do índice de consistência das argamassas estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados do índice de consistência

Argamassa	Índice de Consistência (mm)
Referência	252
Adição de areia de PET	253
Adição de RCC	262
Adição de pó de borracha	253
Argamassa TermoFIDA	257

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 5 apresenta os resultados de densidade de massa das argamassas modificadas e da argamassa de referência, onde é possível observar uma redução em relação à argamassa convencional (Referência). Brancher *et al* estudaram a incorporação de resíduo de PVC na argamassa e constataram que houve diminuição da densidade de massa devido à adição de um material cuja massa específica é menor que a dos demais materiais na argamassa. O RCC possui densidade parecida com a da areia, por isso, a densidade de massa da argamassa com RCC ficou próxima da argamassa de referência.

Tabela 5 – Densidade de massa para cada argamassa

Argamassa	Densidade de massa (g/cm ³)
Referência	2,01
Adição de areia de PET	1,79
Adição de RCC	1,97
Adição de pó de borracha	1,79
Argamassa TermoFIDA	1,02

Fonte: Elaboração própria.

Para Carasek (2007) a massa específica das argamassas depende do agregado miúdo e do teor de ar incorporado. E acrescenta que argamassas mais leves são mais trabalháveis a longo prazo, devido à redução do esforço exercido na aplicação e, por isso, pode significar em aumento da produtividade. Além disso, argamassas mais leves reduzem o peso próprio da edificação. A Tabela 6 mostra a classificação das argamassas de acordo com a densidade no estado fresco.

Tabela 6 - Classificação das argamassas quanto à densidade no estado fresco

Argamassa	Densidade de massa A (g/cm ³)
Leve	< 1,40
Normal	$2,30 \leq A \leq 1,40$
Pesada	> 2,30

Fonte: Adaptado de Carasek (2007).

Analisando os valores da Tabela 6 e comparando com os resultados apresentados na Tabela 5 é possível perceber que todas argamassas são classificadas como normais, com exceção da argamassa térmica que é leve.

4.2 Análise dos resultados de capacidade térmica

Para cada argamassa foram moldados dois corpos de prova para a realização do ensaio. A apresentação dos resultados está na Tabela 7 na qual a linha de cima representa o valor encontrado para o fluxímetro da placa fria e a linha de baixo apresenta os resultados obtidos pela placa quente.

Os resultados de condutividade térmica se mostram satisfatórios, uma vez que quanto menor a condutividade térmica, mais isolante é o material. Arantes (2009)

encontrou valores de condutividade térmica para madeiras pouco densas semelhantes aos resultados apresentados na Tabela 7. Esse resultado mostra que as argamassas têm potencial para serem utilizadas como isolante térmico, uma vez que as madeiras, em geral, apresentam um desempenho térmico melhor.

Tabela 7 – Resultado de condutividade térmica das placas planas

Argamassa	Fluxímetro	Condutividade térmica (W/m.K)			
		Placa 1	Placa 2	Média parcial	Média total
Referência	Superior	0,1936	0,1940	0,1938	0,1938
	Inferior	0,1935	0,1939	0,1937	
Adição de areia de PET	Superior	0,1895	0,1875	0,1885	0,1885
	Inferior	0,1895	0,1874	0,1885	
Adição de RCC	Superior	0,1894	0,1772	0,1833	0,1833
	Inferior	0,1893	0,1771	0,1832	
Adição de pó de borracha	Superior	0,1934	0,1800	0,1867	0,1867
	Inferior	0,1934	0,1799	0,1867	
Argamassa TermoFIDA	Superior	0,1327	0,1317	0,1322	0,1341
	Inferior	0,1360	0,1361	0,1361	

Fonte: Elaboração própria.

A incorporação de outros materiais na argamassa pode alterar os valores de condutividade térmica. Silva (2017) observou que uma argamassa industrial com substituição da areia por agregado de cortiça obteve um valor de 0,163 W/m.K para condutividade térmica.

De acordo com Silva (2017) a introdução de agregados leves pode melhorar o comportamento térmico das argamassas, pelo fato de serem mais porosos e de baixa densidade. Ainda associa a densidade de massa com a condutividade térmica, de maneira que menores densidades de massa apresentam menor condutividade térmica. A Tabela 8 apresenta os dados de densidade de massa e de condutividade térmica para cada uma das argamassas.

Tabela 8 - Densidade de massa e condutividade térmica das argamassas

Argamassa	Densidade (g/cm ³)	Condutividade térmica (W/m.K)
Referência	2,01	0,1938
Adição de areia de PET	1,79	0,1885
Adição de RCC	1,97	0,1833
Adição de pó de borracha	1,79	0,1867
Argamassa TermoFIDA	1,02	0,1341

Fonte: Elaboração própria.

Com exceção da argamassa com adição de RCC, é possível observar que maiores valores de densidade de massa resultam em maiores valores de condutividade térmica. Dessa maneira, a argamassa térmica, que possui menor densidade de massa, também possui menor condutividade térmica. Para a argamassa referência ocorre a situação contrária.

4.3 Análise dos resultados da termografia

Os resultados obtidos a partir do ensaio da termografia infravermelha são apresentados a partir das imagens da câmera termográfica e análise dos gráficos. Para identificação de cada uma das paredes analisadas foi utilizada a nomenclatura da Tabela 9 - Nomenclatura das paredes.

Tabela 9 - Nomenclatura das paredes

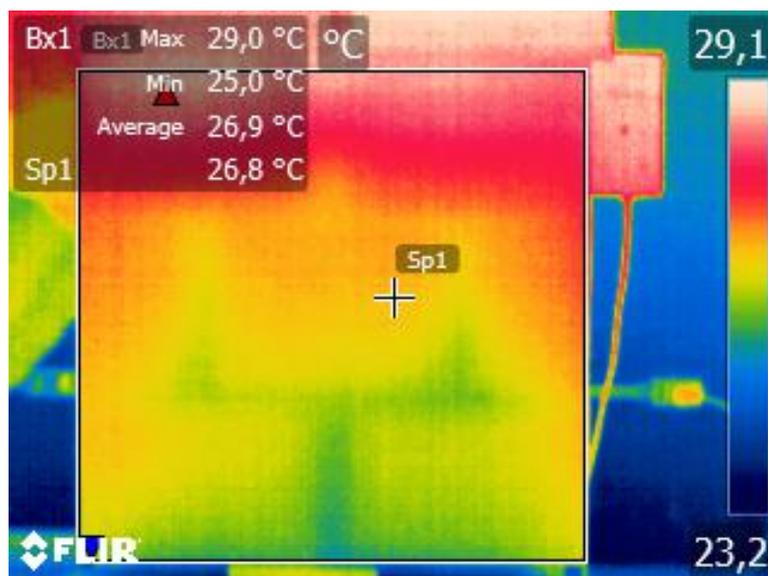
Parede	Nomenclatura
Com revestimento de argamassa convencional	PR
Com revestimento de argamassa com RCC	PRCC
Com revestimento de argamassa com pó de borracha	PB
Com revestimento de argamassa térmica (TermoFIDA)	PAT
Com revestimento de argamassa areia de PET	PPET

Fonte: Elaboração própria.

O processamento das imagens foi feito a partir do *software FLIR Tools*, do qual foi possível extrair os valores da temperatura superficial para confecção dos gráficos e análise do comportamento das paredes com os diferentes revestimentos.

A Figura 31 ilustra a metodologia utilizada para a obtenção da temperatura superficial das paredes. Com o auxílio do software, foi possível desenhar uma área que compreendia apenas a superfície da parede. Dessa área, foi possível retirar a temperatura máxima, mínima e a média.

Figura 31 - Obtenção dos dados de temperatura superficial



Fonte: Elaboração própria.

4.3.1 Termografia antes do aquecimento

Para fazer a comparação da temperatura superficial das paredes com a temperatura ambiente, foram feitas fotos antes de ligar a estufa. Porém, cada ensaio foi realizado em dias diferentes e por isso, houve uma pequena variabilidade de temperatura e umidade do ambiente tendo em vista que não foi possível climatizar o ambiente.

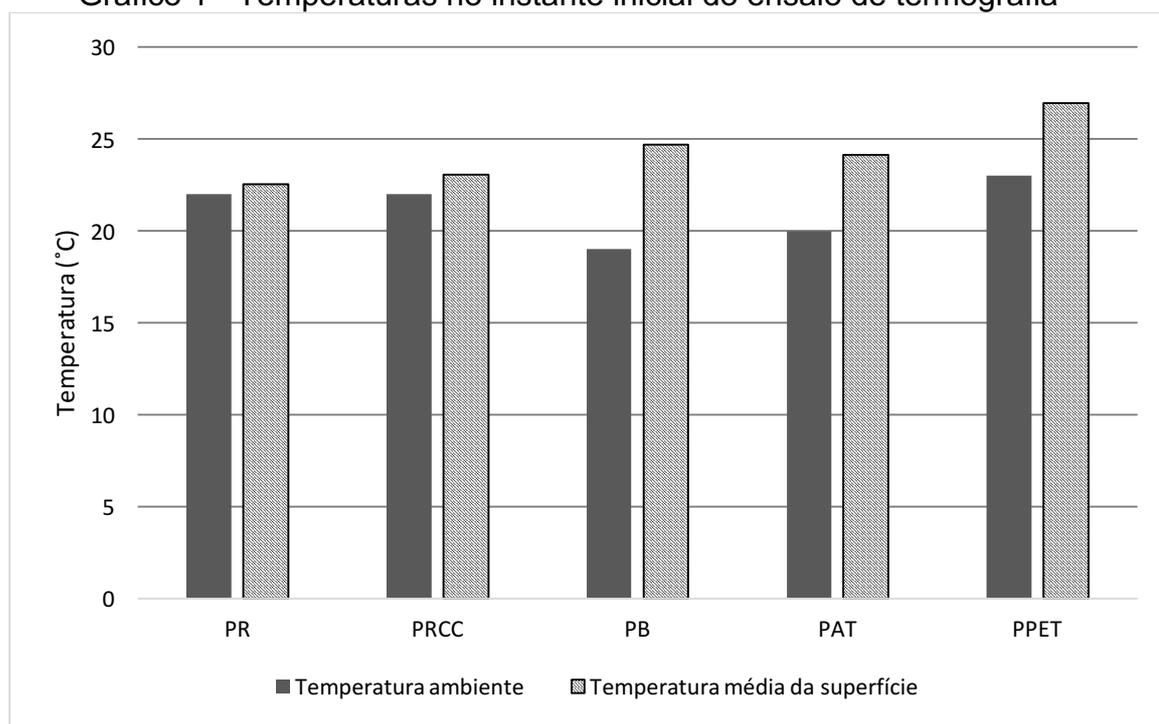
Figura 32 - Termograma da superfície da parede PR antes do aquecimento



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 1 demonstra as temperaturas ambiente no instante inicial do ensaio e a temperatura média da superfície das paredes.

Gráfico 1 - Temperaturas no instante inicial do ensaio de termografia



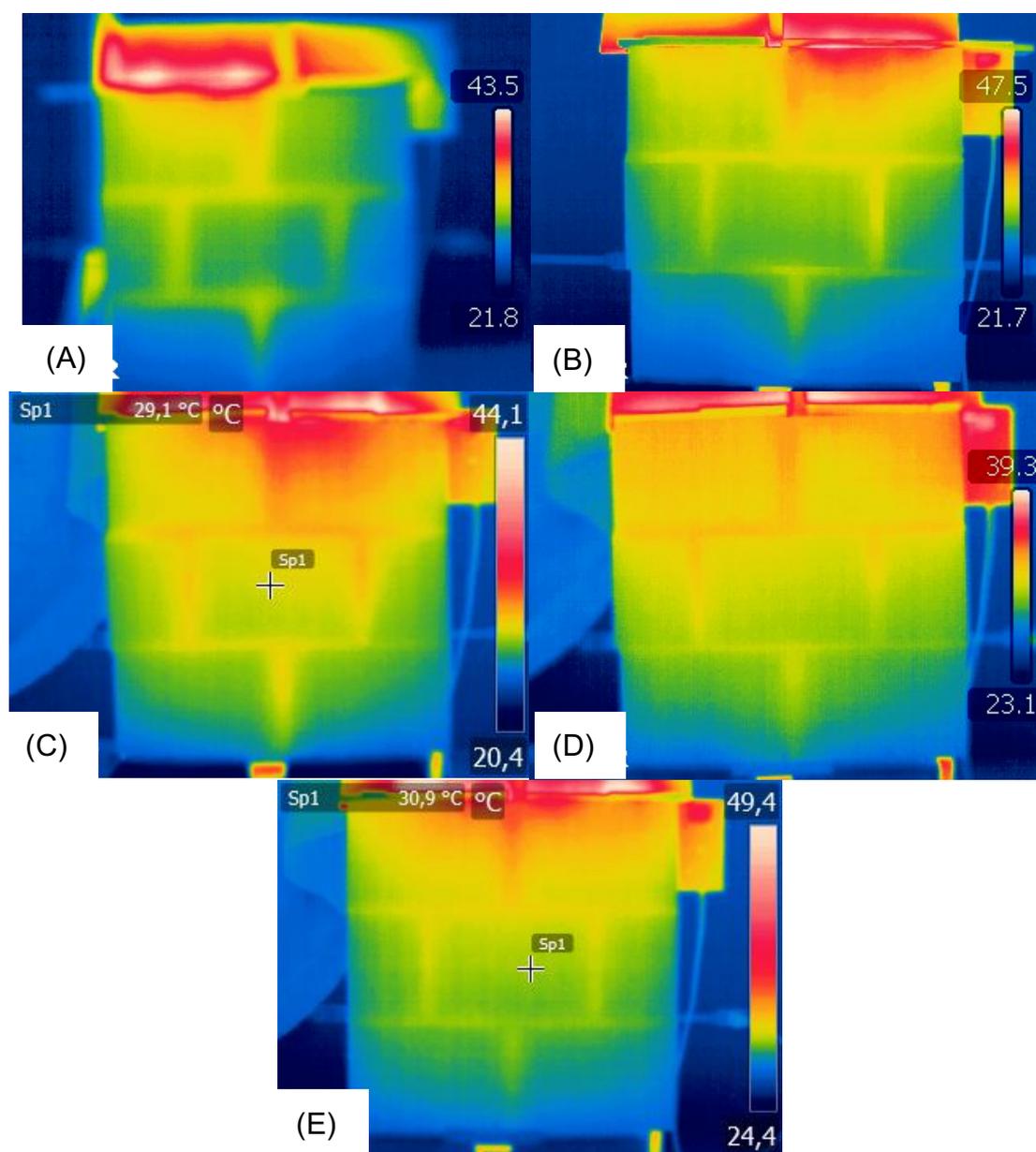
Fonte: Elaboração própria.

Como pode ser observado há uma variação da temperatura externa do ambiente e a temperatura superficial da parede. Esse fato faz com que haja uma tendência de equilíbrio de temperatura externa e a interna com alguns minutos de diferença entre os sistemas de revestimentos.

4.3.2 Termografia posterior ao aquecimento

Uma das superfícies das paredes foi submetida a uma temperatura de 60 °C durante 4 horas. Foram realizadas fotos da superfície a cada 30 minutos, além de serem monitoradas por um termômetro de imersão acoplado à fonte de calor. A Figura 33 apresenta o comportamento do aquecimento das cinco paredes no final do tempo de aquecimento.

Figura 33 - Termogramas da superfície das paredes após 4 horas de aquecimento: (A) PR; (B) PRCC; (C) PB; (D) PAT; (E) PPET



Fonte: Elaboração própria.

Pela análise das imagens é possível detectar a distribuição das temperaturas na superfície das paredes. Observa-se que as juntas possuem maiores temperaturas que os blocos. Essa diferença de temperatura pode ser atribuída ao fato do bloco de alvenaria estrutural possuir um septo que possibilita a presença de ar. O ar possui condutividade térmica menor que a da argamassa de assentamento, o que faz com que haja um aquecimento mais lento do bloco em relação à argamassa.

Como a altura da parede era menor que a estufa, foi colocada uma madeira para fazer a vedação no local, porém é possível perceber que esse material aqueceu mais que a parede monitorada. Para o fechamento do septo na parte superior do bloco foi utilizada uma barreira de madeira para que não houvesse fuga de calor. Em alguns termogramas é possível perceber a influência desse fenômeno e por isso, a área da análise superficial da parede foi modificada de maneira a descartar esses valores de temperatura, para que não houvesse distorção na análise dos dados.

Verificou-se que a parte superior apresenta as maiores temperaturas, e pode-se atribuir ao fato de que existe circulação de ar dentro do septo dos blocos, o ar quente por ser mais leve tende a ficar na parte superior.

A Tabela 10 apresenta os valores das temperaturas superficiais em cada uma das paredes após 4 horas de aquecimento.

Tabela 10 - Temperaturas das paredes após 4 horas de aquecimento

Parede	Temperaturas (°C)			
	Máxima	Mínima	Média da Superfície	Ambiente
PR	34,1	23,3	26,7	22
PRCC	33,7	23,4	28,4	23
PB	34,6	24,8	28,9	25
PAT	31,0	26,0	28,6	26
PPET	35,9	27,7	31,0	29

Fonte: Elaboração própria.

Com os valores da Tabela 10 nota-se que a parede PR apresenta a menor temperatura no final das quatro horas de aquecimento, enquanto que a parede PPET apresentou a maior temperatura entre as demais, o que pode ser atribuído à influência da temperatura ambiente. Percebe-se que a parede PAT apesar de apresentar valores de temperatura média superficial semelhante às paredes PRCC e PB, atingiu a menor temperatura máxima entre as demais. Dessa maneira, pode-se destacar o

desempenho da parede PAT, devido à pouca diferença entre a temperatura máxima e a mínima. A parede PAT apresentou uma diferença de 5,1 °C, enquanto que na parede PR essa variação é de 10,8 °C. A Tabela 11 apresenta a diferença entre a temperatura máxima e mínima para cada uma das paredes estudadas.

Tabela 11 - Diferença entre a temperatura máxima e a mínima

Parede	Temperaturas (°C)		
	Máxima	Mínima	Diferença
PR	34,1	23,3	10,8
PRCC	33,7	23,4	10,3
PB	34,6	24,8	9,8
PAT	31,0	26,0	5,1
PPET	35,9	27,7	8,2

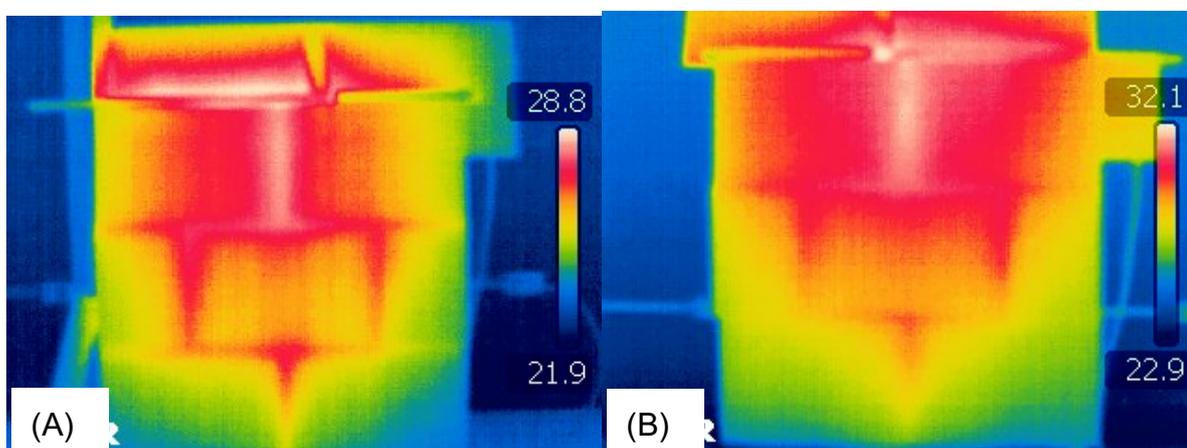
Fonte: Elaboração própria.

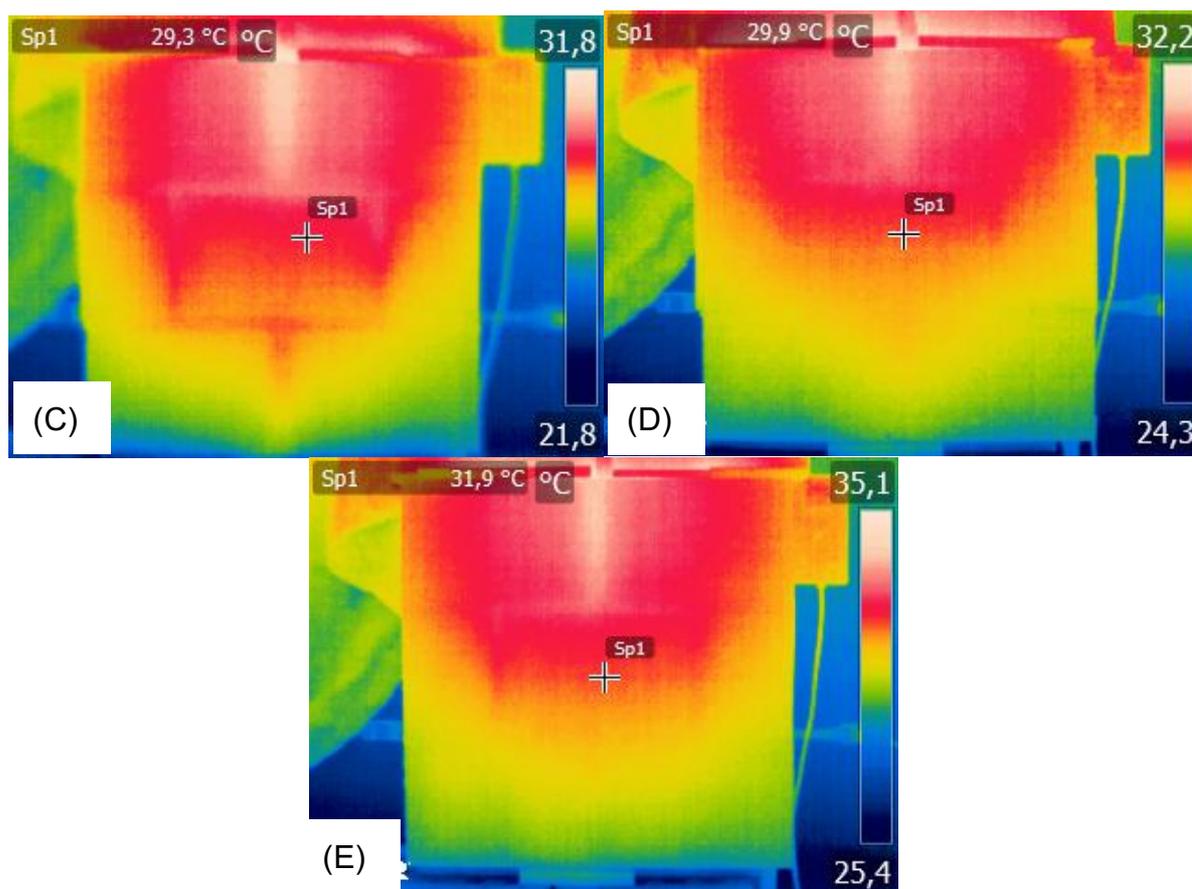
Pela análise da tabela é possível perceber que a parede PR foi a que apresentou maior variação entre a temperatura máxima e mínima.

4.3.3 Termografia posterior ao esfriamento

Após o tempo de aquecimento de 4 horas, a estufa foi desligada e o monitoramento continuou por mais 4 horas, simulando o resfriamento das paredes externas da edificação. A Figura 34 ilustra as paredes no final das 4 horas de esfriamento

Figura 34 - Termograma da superfície após 4 horas de esfriamento: (A) PR; (B) PRCC; (C) PB; (D) PAT; (E) PPET





Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que as temperaturas da superfície das paredes no final do ensaio estão mais uniformes e, em algumas paredes, não é possível perceber as juntas de assentamento. Dessa forma, pode-se perceber a influência da argamassa de revestimento na vedação do sistema, contribuindo para o fechamento de possíveis pontos de fuga de calor. É possível perceber que a argamassa tem papel fundamental na distribuição do calor no sistema.

No final do ensaio foi possível perceber a pequena diferença entre a temperatura superficial do bloco e a temperatura ambiente, apresentadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Temperaturas no instante final do ensaio de termografia infravermelha

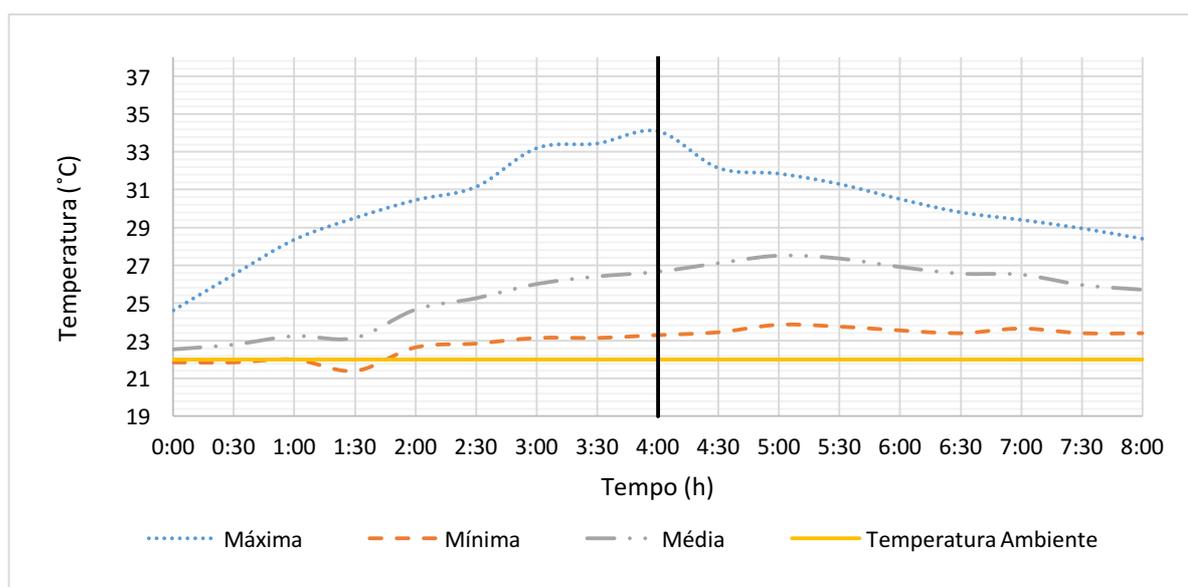
Parede	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura média da superfície (°C)	Diferença	Variação
PR	22	25,7	3,70 °C	14,40%
PRCC	25	28,4	3,40 °C	11,97%
PB	25	28,6	3,60 °C	12,59%
PAT	29	29,6	0,60 °C	2,03%
PPET	29	31,25	2,25 °C	7,20%

Fonte: Elaboração própria.

Para melhor visualização dos resultados foram construídos gráficos com as temperaturas máximas, mínimas, média e ambiente. A linha na vertical representa o momento em que a estufa foi desligada. A escala dos eixos em todos os gráficos é igual, para analisar a evolução das temperaturas em cada sistema de maneira equivalente.

O Gráfico 2 apresenta as temperaturas superficiais da parede com revestimento em argamassa convencional (PR). Observa-se que a parede atinge uma temperatura máxima de 34 °C, enquanto que Almeida P. (2017) obteve temperatura máxima de 36,1 °C para o prisma sem revestimento. Pode-se, então, perceber a influência da camada de revestimento no isolamento térmico da edificação.

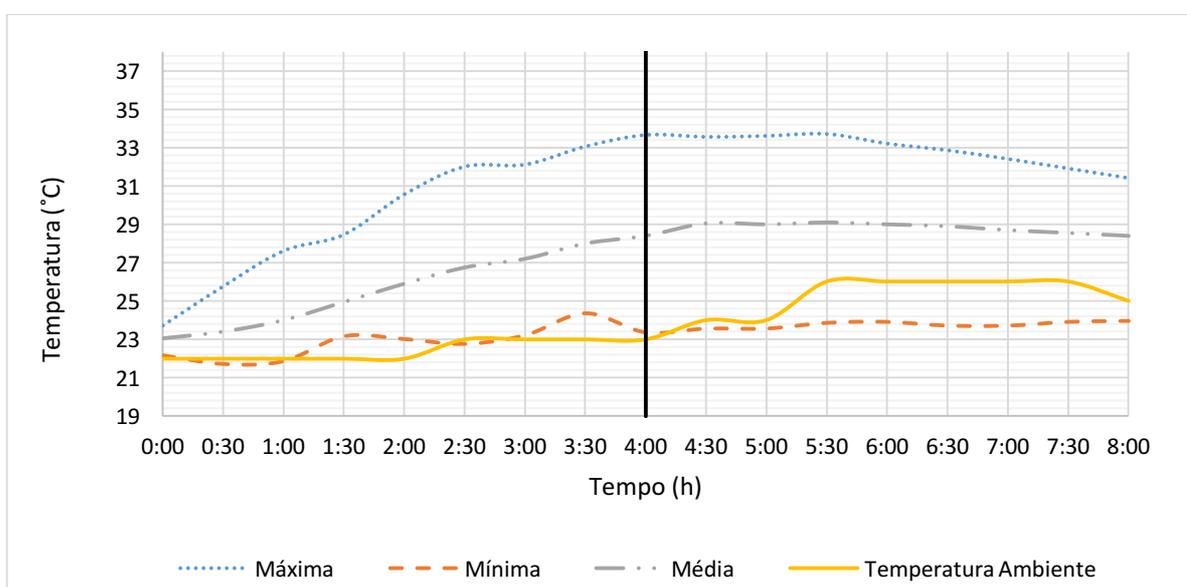
Gráfico 2 - Temperaturas superficiais da parede PR



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 3 apresenta as temperaturas superficiais da parede com revestimento de argamassa com adição de resíduo de argamassa (PRCC). Percebe-se o ganho acentuado de temperatura no aquecimento, com pico de 33,7 °C, porém no esfriamento essa variação torna-se mais suave. Também é possível observar que, em geral, na segunda parte do ensaio as temperaturas mínimas atingiram valores menores que a temperatura ambiente, fato que pode ser atribuído a uma característica do material.

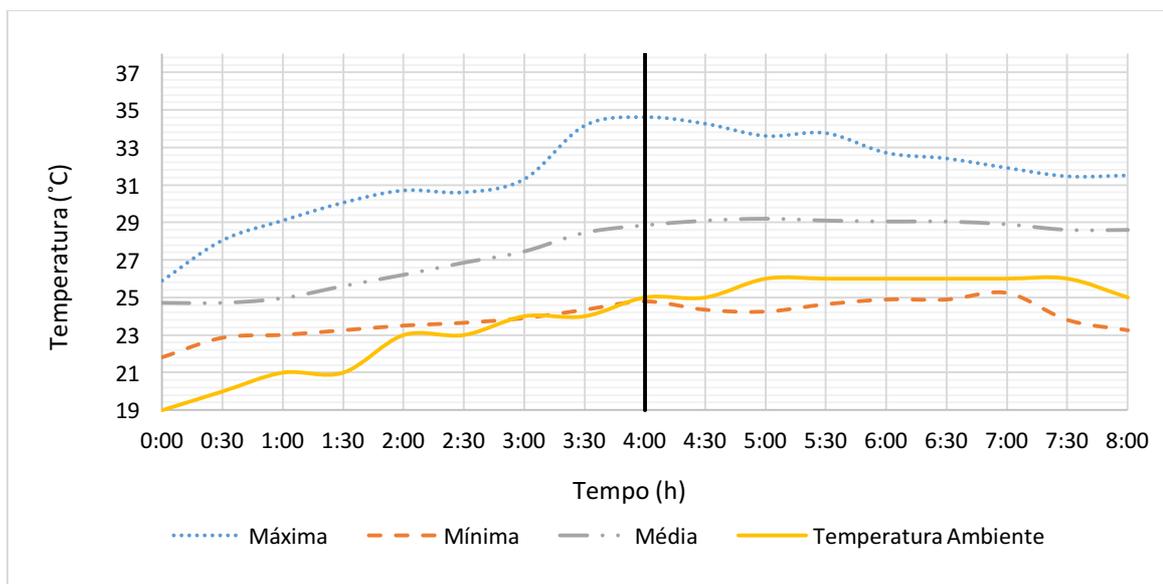
Gráfico 3 - Temperaturas superficiais da parede PRCC



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 4 apresenta as temperaturas superficiais da parede com revestimento de argamassa com adição de pó de borracha (PB). A maior temperatura registrada foi de 34,6 °C, enquanto que sua temperatura média atinge 29,2 °C, valores maiores que os obtidos por Almeida P. (2017). Esse fato pode ser atribuído às condições de realização do ensaio e pode indicar a influência da temperatura ambiente no aquecimento da superfície. O ensaio foi realizado em um ambiente cuja temperatura era de 26 °C, enquanto que a temperatura ambiente no estudo de Almeida P. (2017) atingia valores em torno de 22 °C.

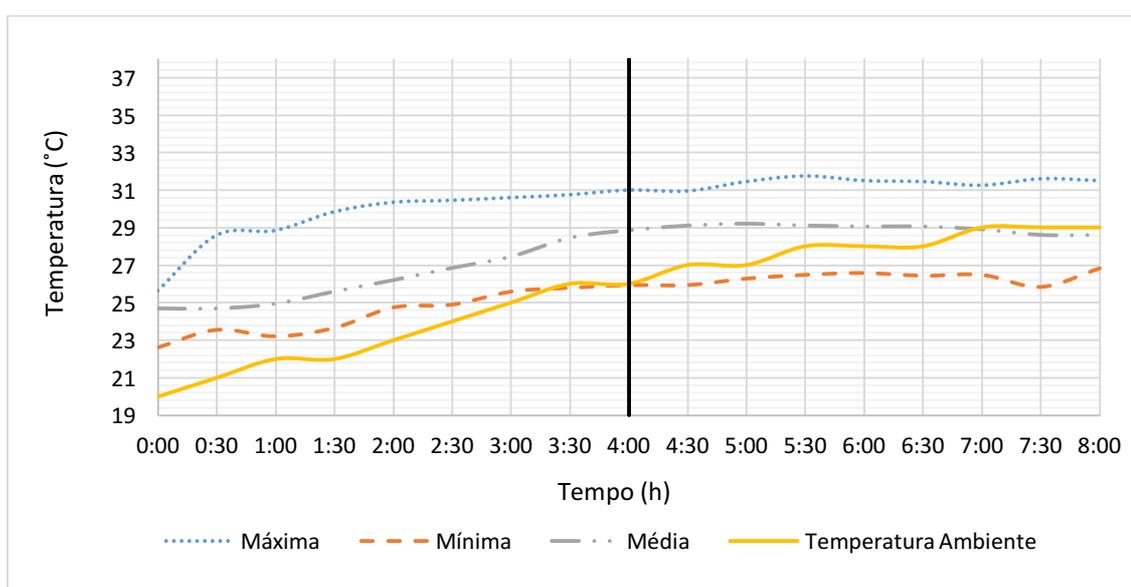
Gráfico 4 - Temperaturas superficiais da parede PB



Fonte: Elaboração própria

As temperaturas superficiais da parede com revestimento de argamassa térmica (PAT) estão apresentadas no Gráfico 5, no qual é possível observar que a variação de temperatura ocorre de maneira gradual, tanto no aquecimento quanto no esfriamento. Percebe-se que ao fim do ensaio a temperatura média da superfície é menor que a temperatura ambiente, estabelecendo uma barreira para o fluxo de calor da parte externa para a parte interna.

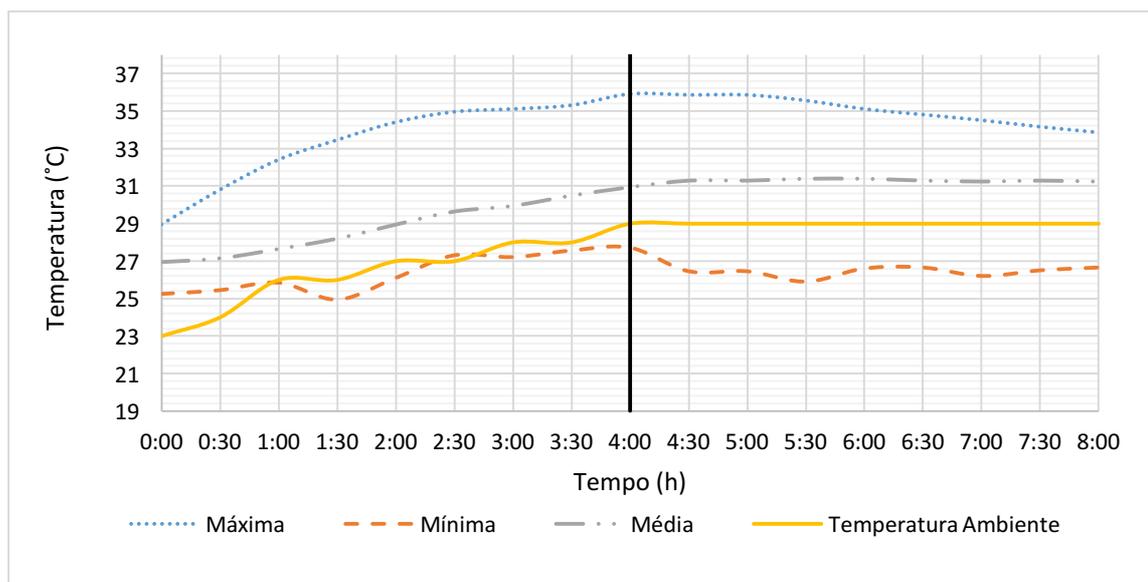
Gráfico 5 - Temperaturas superficiais da parede PAT



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico 6 apresenta as temperaturas superficiais da parede com revestimento de areia de PET (PPET). Se fosse analisado apenas as temperaturas máximas atingidas pela superfície, a parede PPET registrou máxima de 35,9 °C e média de 31,4 °C. Entretanto, analisando o aumento de temperatura no período do aquecimento, o desempenho assemelha-se com a da parede PB.

Gráfico 6 - Temperaturas superficiais da parede PPET



Fonte: Elaboração própria.

4.3.4 Comparação dos sistemas

Após o processamento das imagens foi possível analisar o comportamento das paredes durante o ensaio. Para observar melhor o desempenho de cada sistema foi feito o cálculo da variação da temperatura do início ao fim do aquecimento e do resfriamento. Os valores encontrados estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Variação da temperatura no aquecimento e no esfriamento

		Tempo (h)	Média (°C)	Diferença (°C)	Variação
PR	Aquecimento	00:30	22,8	3,85	14,45%
		04:00	26,7		
	Esfriamento	04:30	27,1	-1,40	-5,45%
		08:00	25,7		
PRCC	Aquecimento	00:30	23,4	5,00	17,61%
		04:00	28,4		
	Esfriamento	04:30	29,1	-0,65	-2,24%
		08:00	28,4		
PB	Aquecimento	00:30	24,7	4,15	14,38%
		04:00	28,9		
	Esfriamento	04:30	29,1	-0,50	-1,75%
		08:00	28,6		
PAT	Aquecimento	00:30	25,3	3,30	11,56%
		04:00	28,6		
	Esfriamento	04:30	29,1	0,55	1,86%
		08:00	29,6		
PPET	Aquecimento	00:30	27,0	4,00	12,92%
		04:00	31,0		
	Esfriamento	04:30	31,3	-0,05	-0,16%
		08:00	31,3		

Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que entre as tipologias estudadas, o melhor desempenho alcançado é da argamassa térmica da FIDA (PAT). Houve um aumento de apenas 3,30 °C da temperatura superficial do período inicial do aquecimento até o desligamento da estufa e no esfriamento foi possível perceber que houve manutenção da temperatura. A parede com revestimento em argamassa convencional, apesar de não apresentar grande aumento de temperatura no aquecimento, obteve a maior perda nos sistemas apresentados durante o esfriamento.

Os revestimentos com adição de pó de borracha (PB) e areia de PET (PPET) tiveram desempenho semelhante no aquecimento, porém o segundo se mostrou melhor isolante térmico. Já a parede com revestimento de adição de RCC (PRCC) apresentou o maior ganho de temperatura no aquecimento, porém seu desempenho no esfriamento foi semelhante à PB e PAT.

Com exceção da parede PAT, as demais apresentaram um ganho de temperatura mais acentuado que a parede PR, demonstrando a influência da temperatura ambiente no aquecimento da superfície. No esfriamento, as paredes apresentaram bom desempenho na manutenção da temperatura, em comparação

com a PR. Para comparar o desempenho da argamassa com o sistema de vedação foi construída a Tabela 14 com a comparação da condutividade térmica e a variação da temperatura superficial no aquecimento e esfriamento.

Tabela 14 - Valores de condutividade térmica e variação da temperatura superficial no aquecimento e esfriamento

Argamassa	Condutividade térmica (W/m.K)	Acréscimo de temperatura (°C)	Decréscimo de temperatura (°C)
Referência	0,1938	3,85	1,40
Adição de RCC	0,1833	5,00	0,65
Adição de pó de borracha	0,1867	4,15	0,50
Argamassa TermoFIDA	0,1341	3,30	0,55
Adição de areia de PET	0,1885	4,00	0,05

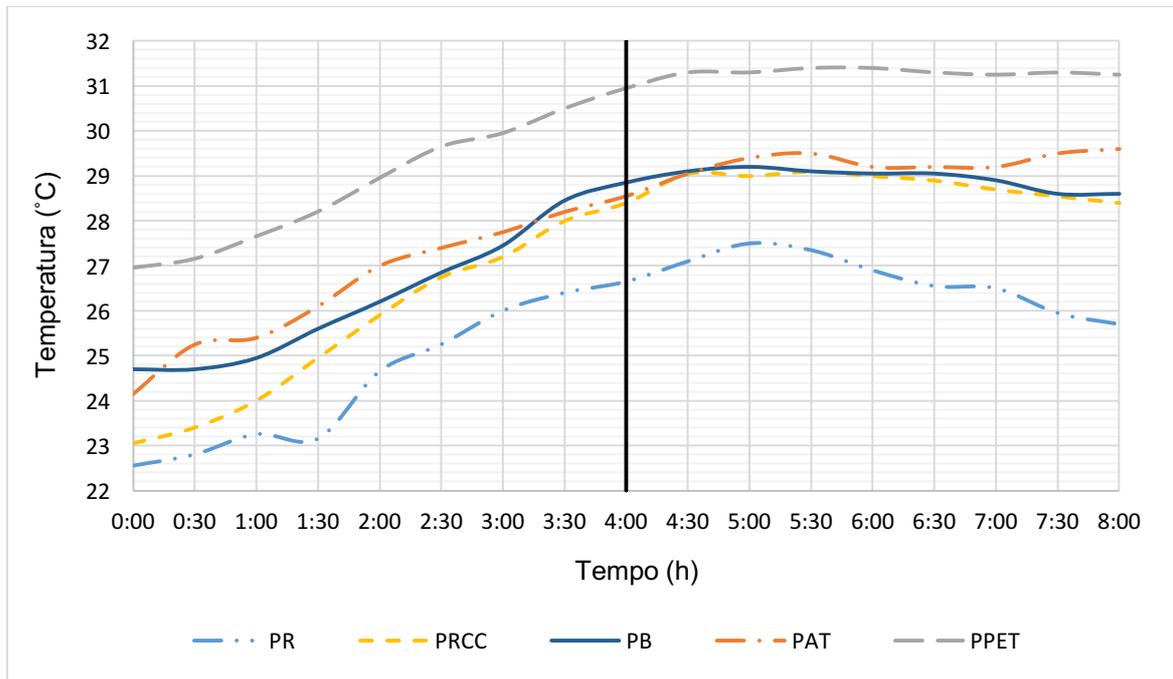
Fonte: Elaboração própria.

Esperava-se que as argamassas com maiores valores de condutividade térmica apresentassem maior variação de temperatura tanto no aquecimento quanto no esfriamento. Essa característica está relacionada ao fato de que materiais com maior condutividade térmica são considerados melhores condutores, e por isso, são mais suscetíveis a mudanças de temperatura. Porém, com exceção da parede PAT, as argamassas com maior condutividade térmica apresentaram menores variações de temperatura no aquecimento.

No esfriamento a argamassa de referência, que possui o maior valor de condutividade térmica apresentou maior variação de temperatura. Porém, não é possível encontrar um padrão para as demais argamassas. A argamassa com adição de areia de PET possui a segunda maior condutividade térmica, porém menor variação de temperatura no esfriamento.

O Gráfico 7 apresenta a evolução das temperaturas médias e analisando os valores atingidos, é possível observar a influência da temperatura ambiente no aquecimento da superfície. No dia da realização do ensaio da parede PR, a temperatura não ultrapassou 22 °C, enquanto que no ensaio da parede PPET chegou a 29 °C. No ensaio das demais, as temperaturas foram bem semelhantes, por isso apresentaram pequena variação entre si.

Gráfico 7 - Evolução das temperaturas médias



5 CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu a análise do desempenho térmico de argamassas modificadas, por meio da determinação da capacidade térmica e do sistema de vedação composto pelos blocos cerâmicos de alvenaria estrutural e argamassa de revestimento modificadas a partir da termografia infravermelha.

Com a análise dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- A incorporação de materiais na argamassa, cuja densidade é menor que a da areia, acarreta em diminuição da densidade de massa.
- As argamassas modificadas apresentaram potencial para reduzir o peso próprio das edificações, devido à menor densidade de massa, além de contribuir para a trabalhabilidade e produtividade.
- A adição de material alternativo reduziu a condutividade térmica das argamassas, de maneira a contribuir para transformar o material em melhor isolante térmico.
- A condutividade térmica das argamassas modificadas assemelha-se à de madeiras, que, de acordo com o estudo de Barreira e Freitas (2007), apresenta melhor conforto térmico que materiais cerâmicos.
- A densidade de massa e a condutividade térmica são grandezas diretamente proporcionais.
- A termografia infravermelha apresenta um potencial para o monitoramento de superfícies de blocos cerâmicos de alvenaria estrutural sujeitos a uma fonte de calor externa. Entretanto, para melhores resultados comparativos, o ensaio deve ser realizado em ambiente com temperatura controlada.
- Os termogramas mostraram a transmissão de calor ocorre de maneira distinta entre os materiais da parede, na qual foi possível perceber a fuga de calor entre as juntas de assentamento. Ainda se observou a eficiência da argamassa de revestimento como contribuinte da vedação.
- A técnica possui boa sensibilidade para detectar as variações de temperatura superficial nos diferentes sistemas propostos, mesmo quando não há altas variações de temperatura.
- Os resultados da temperatura superficial obtidos pelas imagens termográficas apontaram a eficiência do sistema alvenaria de bloco cerâmico e revestimento

com argamassa modificada, com destaque para a argamassa térmica da empresa FIDA. Com exceção da argamassa com adição de resíduo de argamassa, que apresentou maior variação de temperatura no aquecimento, as demais argamassas propostas obtiveram desempenho satisfatório.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

- Fazer análise comparativa dos sistemas em um ambiente com temperatura controlada.
- Estudar as propriedades das argamassas modificadas e sua influência para o isolamento térmico.
- Construção de sistemas com diferentes porcentagens de adição
- Estudo com adição de outros materiais alternativos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D.S. **Determinação experimental do calor específico de matéria mole (soft matter)**. 2012. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Processos Químicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2012.

ALMEIDA, P. S. D. **Termografia infravermelha aplicada à análise térmica de alvenaria em blocos cerâmicos estruturais**. 2017. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

ARANTES, B. **Conforto térmico em edificações de interesse social – Um estudo de caso**. 2012. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Campus de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15220-5**: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluxiométrico. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, E.; LEAL, F. C. B. Condicionantes das medições termográficas para avaliação da temperatura em fachadas. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2013, Fortaleza. **Anais eletrônicos...** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2013. Disponível em: <<https://www.gtargamassas.org.br/eventos/category/12-x-sbta?start=20>>. Acesso em: 27 abr. 2019.

BORGES, C. A. M. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**. 2008. 263 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

BRÁS, A. A.; LEAL, M.; FARIA, M. Argamassas com comportamento térmico melhorado com materiais sustentáveis. In: 2ª CONFERÊNCIA CONSTRUÇÃO E

REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL DE EDIFÍCIOS NO ESPAÇO LUSÓFONO, 2012, Caparica. **Anais eletrônicos...** Caparica: Universidade Nova de Lisboa, 2012. Disponível em: <<https://eventos.fct.unl.pt/crseel2012/pages/comunicacoes-e-apresentacoes>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

CARASEK, H. Argamassas. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. São Paulo: Arte Interativa, IBRACON, 2007. cap. 26, p. 863-902.

CERÂMICA ATLANTA. **Produtos em destaque**. 2016. Disponível em: <<https://www.ceramicaatlanta.com.br/index.html>>. Acesso em: 20 mai. 2019.

COLARES, R. S. **Avaliação da eficiência térmica da alvenaria de vedação utilizando tijolos cerâmicos**. 2017. 90 p. Dissertação (Mestrado interdisciplinar em Tecnologia, Ambiente e Sociedade) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2017.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico**. 2007. 178 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

COSTA, S. M. G. D. **Desempenho térmico e habitação: uma avaliação comparativa no contexto climático da zona bioclimática 8**. 2011. 145 p. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

DUARTE, V. C. P. **Desempenho térmico de edificações**. Disciplina de Desempenho Térmico de Edificações. Mar. 2016. Apostila. Universidade Federal de Santa Catarina CTC - Departamento de Engenharia Civil.

FIDA. **Produtos**. 2014. Disponível em: <<https://www.fida.com.br/>>. Acesso em 05 nov. 2019.

FLIR. **Manual do utilizador – FLIR TOOLS/TOOLS+**. Publ. No. T559600. Release A. Wilsonville, FLIR Systems Inc, 2013.

GOLUB, A. Influência do uso de materiais alternativos em argamassa de revestimento interno: avaliação quanto ao isolamento térmico. **Perspectiva**, Erechim, jun. 2017. Seção Ciências Sociais Aplicadas e Engenharias. Disponível em: <http://www.uricer.edu.br/rperspectiva/inicio.php?id_numero=78>. Acesso em: 6 abr. 2019.

GOMES, J. E. V. **Avaliação do desempenho de edifícios segundo a norma NBR 15575: Adaptação ao caso de edifício reabilitado**. 2015. 85 p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **O que é convecção**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.las.inpe.br/~microg/conveccao.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2019.

JORGE, L. F. A. **Determinação do coeficiente de transmissão térmica em paredes de edifícios**. 2011. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2011.

LAMBERTS, R. et al. **Casa Eficiente: Simulação Computacional do Desempenho Termo-Energético**. Florianópolis: UFSC LabEEE, 2010. V. 4. 53 p. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/publicacoes/livros>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

MARIO, M. **Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas**. 2011. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

MELRINHO, A. C. E. **Anomalias em impermeabilizações de coberturas em terraço: Detecção por termografia de infravermelhos**. 2014. 246 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Nova de Lisboa, Caparica, 2014.

MENDONÇA, L. V.; AMARAL, M. M.; CATARINO, P.S. A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. In: JORNADAS DE ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO 2013, 2013, Lisboa. **Anais eletrônicos...** Lisboa: ISEL, 2013. Disponível em: <<https://sites.google.com/site/jem2013isel/jornadas/programa>>. Acesso em: 26 abr. 2019.

MENEZES, M. S. **Avaliação do desempenho térmico de habitações sociais de Passo Fundo – RS**. 2006. 103 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2006.

MOREIRA, J. R. S. **Processos de transferência de calor**. Disciplina de Processos de Transferência de Calor. Ago. 2014. Notas de aula. Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Mecânica.

NAVROSKI, M. C. et al. Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, mai. 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4014/3140>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

PASSOS, P. M.; CARASEK, H. Argamassas com resíduos para revestimento isolante térmico de parede pré-moldada de concreto. **Cerâmica**, São Paulo, v. 64, n. 372, p. 577-588, dez. 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-69132018000400577&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 24 mar. 2019.

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.

PIMENTA, A. I. et al. **Conceito de conforto térmico humano**. Projeto FEUP 2014/2015. Lisboa: Universidade do Porto FEUP, 2015. 26 p. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_14_15/uploads/relat_Q1FQI04_1.pdf> Acesso em: 6 abr. 2019.

RORIZ, M. **Conforto e Desempenho Térmico de Edificações**. Disciplina de Conforto e Desempenho Térmico de Edificações. São Carlos, 2008. Apostila. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

ROTTA, R. **Desempenho térmico de edificações multifamiliares de interesse social em conjuntos habitacionais na cidade de Santa Maria – RS**. 2009. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

SILVA, F. S. B. **Condutibilidade térmica de argamassas térmicas com EPS e aerogel de sílica**. 2017. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Técnico Lisboa – Ensino, Investigação e Inovação, Lisboa, 2017.

VEIGA, M. R.; SANTOS, C. P. Revestimentos de isolamento térmico de fachada: Eficiência, durabilidade e comprovação de qualidade. **Repositório DSpace**, jul. 2009. Disponível em: <<http://repositorio.Inec.pt:8080/jspui/simple-search?filterquery=%5B2000+TO+2009%5D&filtername=datelssued&filtertype=equa>>. Acesso em: 7 abr. 2019.

VILAR, S. C. **Estudo quantitativo da convecção empregando um modelo acessível aos alunos de física geral**. 2011. 42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12 ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008. 321 p.