



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA
CENTRO DAS CIÊNCIAS EXATAS E DAS TECNOLOGIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA
AVALIAÇÃO DE UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES DE
ALVENARIA

ITAYLANE MALTA SANTOS

BARREIRAS-BA
MARÇO-2018

ITAYLANE MALTA SANTOS

**APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA
AVALIAÇÃO DE UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES DE
ALVENARIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito à obtenção do grau de
Engenheiro Civil.

Orientador: Professor D.Sc. Elier Pavón de la Fé

BARREIRAS-BA

MARÇO-2018

FICHA CATALOGRÁFICA

S237 Santos, Itaylane Malta.

Aplicação da termografia infravermelha na avaliação de umidade ascensional em paredes de alvenaria. / Itaylane Malta Santos. – 2018.

84f. il.

Orientador Prof. Dr. Elier Pavón de la Fé

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Oeste da Bahia. Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias, Barreiras, BA, 2018.

1. Engenharia Civil. I. la Fé, Elier Pavón de. II. Universidade Federal do Oeste da Bahia - Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias. III. Título.

CDD 624


ITAYLANE MALTA SANTOS

**APLICAÇÃO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA
AVALIAÇÃO DE UMIDADE ASCENSIONAL EM PAREDES DE
ALVENARIA**

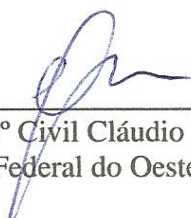
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do
Oeste da Bahia, como requisito parcial à obtenção do
grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em 23 de março de 2018.

Banca Examinadora

Orientador: 

Professor D.Sc. Elier Pavón de la Fé
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)



Professor Eng.º Civil Cláudio Alex de Oliveira Pires
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)



Professor D.Sc. Itarez Hoppe Filho
Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB)

*Dedico este trabalho a minha família,
em especial a minha mãe: Eurides
e minha irmã: Danielle.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ser essencial na minha vida, por toda força, ânimo e coragem que me ofereceu para ter alcançado meu objetivo.

A minha mãe, Eurides, minha base, obrigada por sempre acreditar nos meus sonhos, pelo apoio nos momentos difíceis e dedicação à minha educação. A minha irmã, Danielle, pela cumplicidade, generosidade e auxílio em todos os momentos. Amo-as incondicionalmente.

Ao meu orientador, Professor Elier Pavón de la Fé, um sincero obrigada pelo interesse e dedicação que depositou neste trabalho, a disponibilidade, ajuda prestada e pela generosidade traduzida em palavras de confiança.

Ao meu cunhado, Elias Souza, gratidão pelo auxílio em todos os momentos.

A minha tia Marilde, exemplo de mulher e profissional, gratidão pelas palavras de incentivo.

A minha madrinha Yonnayra e ao meu amigo Fabrício, obrigada pelo apoio nos momentos difíceis.

Aos meus amigos e colegas de curso, Maria Clara, Érica, Carol, Hindira, Camila, Rízia, Lucas, Gleyson, Helves, Guilherme, Thábata, Laíssa e Tarciane, obrigada pelos bons momentos compartilhados, vocês tornaram esse percurso mais feliz.

A todos os meus professores que contribuíram para a minha formação, muito obrigada.

Aos professores Cláudio Alex de Oliveira Pires e Juarez Hoppe Filho, obrigada por ter cedido seu tempo para avaliar este trabalho.

Agradeço a todos os meus amigos do grupo Debate, especialmente ao meu amigo Aloísio Guedes, pelas palavras de incentivo nas horas de desânimo.

Ao Centro das Ciências Exatas e das Tecnologias (CCET) da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB), por ter proporcionado condições de desenvolver este trabalho.

Agradeço à Pró Reitoria de Administração e Infraestrutura (PROADI) e à Coordenadoria de Manutenção e Segurança do Trabalho (CMAST), pelo empréstimo da Câmera Infravermelha, que possibilitou a realização deste trabalho.

RESUMO

A termografia de infravermelho permite a realização de imagens térmicas da distribuição de temperatura superficial de objetos, o que possibilita a detecção, localização e quantificação de anomalias térmicas. No campo da engenharia civil esta técnica é usada na detecção de problemas de umidade, descolamentos, fissuras, dentre outros. No entanto, existem muitas dúvidas em relação à influência das condições climáticas e os tipos de revestimentos na aplicação desta técnica. Neste estudo foram confeccionados protótipos de paredes de alvenaria de bloco cerâmico, nos quais foi simulada a presença de água na base para estudar a umidade ascensional com a termografia de infravermelho. O estudo foi dividido em dois experimentos. No experimento 01 foi avaliada a influência das condições climáticas em paredes de revestimento argamassado, por meio da realização de experimentos em ambiente interno (temperatura controlada) e externo (temperatura variável). No experimento 02 foi avaliada a influência do tipo de revestimento na detecção da umidade, sendo utilizados revestimentos argamassado, pintado e cerâmico (grês e porcelanato). Os dados foram coletados com auxílio de uma câmera infravermelha, termopares e régua, para a realização de uma análise qualitativa e quantitativa (ΔT) dos termogramas e a mensuração da altura da umidade nas paredes. Os resultados obtidos no experimento 01 permitiram verificar que é possível detectar a umidade ascensional em paredes de alvenaria com revestimento argamassado utilizando a termografia de infravermelho. Comprovou-se que as condições climáticas têm influência na avaliação da umidade com a termografia, observando-se que quanto maior a temperatura do ambiente, maior o valor do ΔT . A partir dos resultados obtidos no experimento 02, se conclui que é possível detectar a umidade ascensional nos 4 tipos de revestimentos estudados, com maior clareza no revestimento argamassado sem pintura, seguido do revestimento argamassado pintado, grês e porcelanato. Além disso, foi possível mensurar a altura da umidade com o auxílio da termografia, independentemente do tipo de revestimento analisado.

Palavras-chave: termografia, umidade, capilaridade, parede, revestimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS	11
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA.....	13
2.2 MECANISMOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR.....	15
2.2.1 Condução	15
2.2.2 Convecção	16
2.2.3 Radiação.....	17
2.3 CÂMERA INFRAVERMELHA	18
2.4 PARÂMETROS QUE AFETAM A TERMOGRAFIA	19
2.4.1 Parâmetros relacionados com as propriedades dos materiais	20
2.4.2 Parâmetros relacionados às condições climáticas	21
2.4.3 Parâmetros relacionados às características da câmera infravermelha.....	22
2.5 CLASSIFICAÇÃO DA TERMOGRAFIA.....	24
2.5.1 Quanto ao tipo de análise	24
2.5.2 Quanto à excitação térmica	25
2.6 APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA	26
2.6.1 Aplicações na Engenharia Civil	26
2.7 UMIDADE ASCENSIONAL	27
2.8 AVALIAÇÃO DA UMIDADE COM A TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO ..	28
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	34
3.1.1 Bloco cerâmico	34
3.1.2 Argamassa	36
3.2 DESENHO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	39
3.2.1 Protótipo 01	39
3.2.2 Protótipo 02.....	41

3.3	DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS	43
3.3.1	Câmera infravermelha.....	43
3.3.2	Termopares.....	45
3.4	EXPERIMENTO	46
3.4.1	Experimento 1	47
3.4.2	Experimento 2	52
3.5	COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS	54
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	63
4.1	EXPERIMENTO 01	63
4.2	EXPERIMENTO 02	68
	CONCLUSÕES.....	74
	SUGESTÕES	76
	REFERÊNCIAS	77
	APÊNDICE A – DADOS PROCESSADOS NOS EXPERIMENTOS	83

1. INTRODUÇÃO

A termografia de infravermelho é uma técnica de ensaios não destrutivos que se baseia no mapeamento térmico de uma peça, componente ou estruturas (CORTIZO, 2007), e possibilita a detecção, localização e quantificação de anomalias térmicas (REBELO, 2017). Podem-se citar como as principais patologias estudadas nas edificações com essa técnica: a umidade, as fissuras e os descolamentos (BAUER *et al.*, 2015).

Observa-se um grande interesse de pesquisadores nacionais e internacionais na aplicação da termografia de infravermelho no âmbito da Engenharia Civil, especialmente na detecção de manifestações patológicas visíveis ou ocultas em fachadas e estruturas de concreto.

A umidade é uma das principais causas de patologias nas edificações e pode ser proveniente de diversas fontes. Entre elas está a umidade ascensional, que provém do solo na ausência ou falha de impermeabilização. A umidade ascende pelas paredes por capilaridade devido à estrutura porosa dos materiais de construção. Sua ação pode prejudicar o desempenho das edificações, possibilitando a degradação progressiva das vedações verticais. Dessa forma, estas podem deixar de cumprir funções, como por exemplo, de proteção e acabamento (SOCOLOSKI, 2015). Nesse sentido, é importante a contribuição da termografia para auxiliar na compreensão dos fenômenos de umidificação e, assim, prevenir e solucionar alguns dos problemas gerados pela presença da umidade (REBELO, 2017).

Uma das técnicas mais adequadas para detectar anomalias é a termografia de infravermelho, baseada no princípio de que todos os materiais possuem a capacidade de emitir energia sob a forma de calor, na zona da radiação infravermelha do espectro eletromagnético (OLIVEIRA, 2013). Essa técnica é capaz de detectar problemas de umidade em diferentes elementos de uma edificação devido à existência de zonas úmidas, onde a evaporação da água causa uma redução da temperatura superficial, provocando heterogeneidades térmicas que são captadas pela termografia (BAUER; PAVÓN, 2015).

Os benefícios do uso da termografia infravermelha vêm se mostrando abrangente no contexto dos ensaios não destrutivos, haja vista que, proporciona pouco ou nenhum dano à estrutura, pode ser aplicada com a estrutura em uso e permite que os problemas possam ser detectados em estágio ainda inicial (BRIQUE, 2016). Além disso, permite realizar medições

sem que haja contato entre a superfície a medir e o equipamento, podendo a distância entre ambos variar de alguns milímetros até vários quilômetros (OLIVEIRA, 2013).

Apesar do avanço nos estudos dessa técnica, ainda existem muitas dúvidas quanto à interferência das condições climáticas na aplicação da termografia de infravermelho e também sobre seu potencial na detecção de umidade em diversos tipos de revestimentos. Dessa forma, a partir desse estudo pretende-se estudar algumas das principais variáveis relacionadas com a aplicação da termografia de infravermelho na detecção de umidade, dentre elas as condições climáticas e o tipo de revestimento.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo geral:

Verificar a potencialidade do ensaio termográfico na detecção de umidade ascensional em paredes de alvenaria de bloco cerâmico revestida em uma das faces.

E os seguintes objetivos específicos:

- Determinar a influência das condições climáticas no estudo da umidade ascensional com a termografia de infravermelho em paredes de alvenaria com revestimento argamassado.
- Avaliar a influência do tipo de revestimento na detecção da umidade ascensional com a termografia de infravermelho.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em quatro capítulos:

No Capítulo 1 apresentam-se o contexto e a justificativa, os objetivos e a organização do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta os principais conceitos e as leis das físicas que regem a termografia de infravermelho, os parâmetros que afetam a termografia e sua classificação, os principais estudos na área aplicados na identificação de anomalias, com ênfase na detecção de umidade.

O capítulo 3 apresenta o programa experimental desenvolvido para a avaliação de manifestações de umidade ascensional por meio da termografia infravermelha. Foram caracterizados os materiais empregados, detalhado o processo construtivo dos protótipos desenvolvidos para os experimentos, especificado os equipamentos utilizados, relatado os procedimentos de cada experimento e a forma de coleta e processamento de dados.

No Capítulo 4 são apresentados e discutidos os resultados por experimento.

Em seguida são apresentadas as conclusões, sugestões para trabalhos futuros e o Apêndice.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada uma revisão bibliográfica dos principais conceitos necessários a compreensão da termografia infravermelha, destacando-se aqueles relacionados com os mecanismos de transferência de calor por radiação, que são a base científica para o entendimento deste ensaio não destrutivo.

São expostos os principais parâmetros que influenciam na análise dos resultados deste ensaio, que tem como produto imagens térmicas ou termogramas. E, à vista disso, são explanadas as classificações da termografia: quanto ao tipo de análise (qualitativa e quantitativa) e quanto ao tipo de excitação térmica (passiva e ativa).

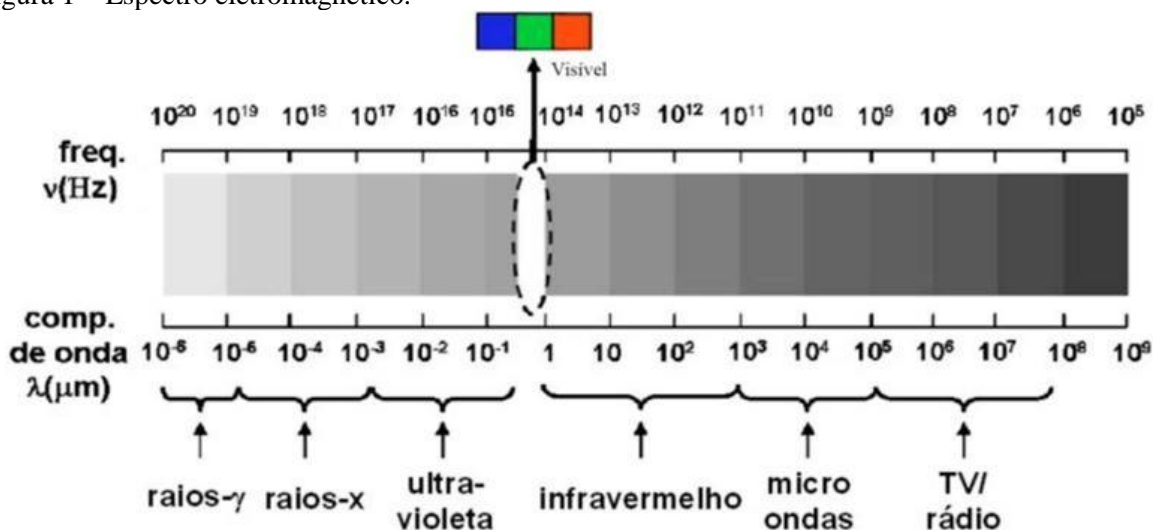
Ademais, são relatadas as aplicações da termografia no âmbito da engenharia civil, enfatizando-se seu emprego na avaliação de patologias, especialmente às relacionadas à umidade, abordando-se situações em que a termografia infravermelha foi aplicada para sua identificação.

2.1 Termografia infravermelha

Segundo MICHA *et al.* (2011), a visão é considerada a mais nobre dentre os 5 sentidos que se conhece, e pode ser definida como um sensor de luz capaz de distinguir cores. A faixa que compreende a chamada luz visível (do violeta ao vermelho) consiste apenas em uma pequena parcela do espectro eletromagnético, conforme se observa na Figura 1.

O espectro eletromagnético apresenta subdivisões de acordo com suas propriedades, sendo que a transição de uma faixa para outra é feita de forma gradual. Cada divisão é função do tipo de interação que ocorre entre o objeto analisado e a radiação incidente, do tipo de processo físico que dá origem à energia eletromagnética, e da transparência da atmosfera em relação à radiação eletromagnética (DORNELLES, 2008).

Figura 1 – Espectro eletromagnético.



Fonte: MICHA *et al.* (2011) modificado.

Em geral, tudo o que enxergamos é devido à reflexão, podendo ser produto da interação da radiação com os corpos ou da própria emissão de radiação por eles. O espectro da emissão por radiação de um corpo depende de sua temperatura, à vista disso, tem-se que à temperatura ambiente, os corpos não emitem radiação visível do espectro eletromagnético, mas sim na região do infravermelho (MICHA *et al.*, 2011).

De acordo com SILVA (2007), o infravermelho é a energia que se propaga no espaço na forma de ondas eletromagnéticas, de comprimento de onda entre 0,75 μm e 1000 μm . A radiação infravermelha é invisível ao olho humano, sendo que um de seus efeitos principais é o térmico, responsável pelo aquecimento dos ambientes (DORNELLES, 2008).

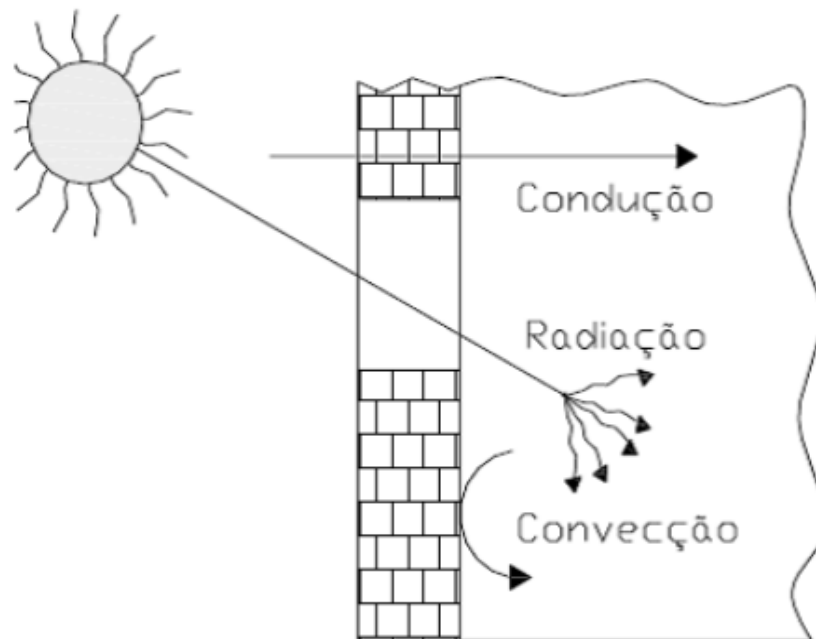
A termografia de infravermelho é um ensaio não destrutivo, que determina a temperatura superficial de corpos que disponham de uma temperatura acima do zero absoluto ($-273,15^\circ \text{C}$), mediante a conversão da energia térmica emitida por objetos na faixa infravermelha do espectro eletromagnético em termogramas, que são imagens que indicam as variações de temperatura do objeto por meio das variações de cores (SILVA, 2007).

Mediante a detecção da radiação infravermelha, a termografia avalia a distribuição térmica e mede a temperatura da superfície de um objeto (CALDEIRA, 2016). Dessa forma, para melhor compreendê-la é relevante detalhar conceitos relacionados à transmissão de calor.

2.2 Mecanismos de Transmissão de Calor

De acordo com LIVI (2004), o calor pode ser definido como a energia que é transferida em função de uma diferença de temperatura. A física é a área da ciência que estuda os mecanismos de transporte de calor e a determinação das distribuições de temperatura e dos fluxos (taxas de transferência) de calor. Existem três mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação (Figura 02), que serão explanados a seguir.

Figura 2: Mecanismos de transferência de calor em edifícios.



Fonte: VALÉRIO (2007).

2.2.1 Condução

Para Young e Freedman (2008), o mecanismo de condução de calor consiste em uma transferência de energia térmica no interior de um corpo ou entre dois corpos em contato, em função de um gradiente de temperatura, da região de maior temperatura para a região de menor temperatura.

A densidade de fluxo de calor por condução é diretamente proporcional ao gradiente de temperatura (LIVI, 2004). Para um processo unidimensional de condução, na direção x , a densidade de fluxo pode ser calculada de acordo com a Equação 1.

$$q_x = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde:

q_x é a densidade de fluxo de calor por condução na direção x $\left(\frac{W}{m^2}\right)$;

$\frac{dT}{dx}$ é o gradiente de temperatura na direção x $\left(\frac{^\circ C}{m}\right)$; e

k é o coeficiente de proporcionalidade conhecido como condutividade térmica do material $\left(\frac{W}{m \cdot ^\circ C}\right)$.

O sinal negativo na equação é uma consequência da segunda Lei da Termodinâmica, devido ao fato do fluxo de calor por condução ser no sentido contrário ao gradiente de temperatura, ou seja, o fluxo ocorre em direção à temperatura decrescente (KREITH; BOHN, 2003).

2.2.2 Convecção

Segundo Kreith e Bohn (2003), o modo de transferência de calor por convecção consiste em dois mecanismos operando simultaneamente: a transferência de energia atribuída ao movimento molecular, ou seja, o modo condutivo; e a transferência de energia através do movimento macroscópico de parcelas do fluido.

O mecanismo de transmissão por convecção está relacionado ao movimento dos fluidos, líquidos e gases. De uma forma geral, a transmissão de calor por convecção depende da velocidade do fluido e do regime de escoamento: laminar ou turbulento (LIVI, 2004). Nos edifícios, as trocas de calor por convecção ocorrem normalmente com o ar, e podem se subdividir em dois tipos: convecção ar-sólido, entre as faces dos elementos e o ambiente em contato (exterior ou o interior); e convecção ar-ar, entre massas de ar a diferentes temperaturas (VALÉRIO, 2007).

Conforme Livi (2004), a transferência de calor por convecção pode ser classificada em: convecção forçada e convecção natural. Tem-se convecção forçada quando o escoamento do fluido é causado por agentes externos, tais como ventiladores ou bombas. Na convecção natural o escoamento é causado por forças de empuxo devidas aos gradientes de massa específica produzidos pelas diferenças de temperatura no fluido.

2.2.3 Radiação

Segundo Young e Freedman (2008), a radiação é a transferência de calor por meio de ondas eletromagnéticas, como a luz visível, a radiação infravermelha e a radiação ultravioleta. Esse fenômeno ocorre sempre que entre duas superfícies se estabelece uma diferença de temperatura, independentemente do meio que as separa, ocorrendo inclusive no vácuo (VALÉRIO, 2007).

Em geral, a radiação é classificada por seu comprimento de onda característico. A faixa de comprimento de onda que engloba a radiação térmica se localiza entre 0,1 e 100 μm , que é normalmente subdividida em ultravioleta, luz visível e infravermelho (KREITH; BOHN, 2003).

De acordo com Silva (2007), um corpo negro é um objeto ideal que absorve toda a radiação incidente sobre ele em qualquer comprimento de onda. A radiação térmica emitida por ele possui densidade de fluxo dada pela Lei de Stefan-Boltzmann, que pode ser escrito como:

$$q = \sigma \cdot T_s^4 \quad (2)$$

Onde:

q é a potência emissiva total do corpo negro $\left(\frac{W}{m^2}\right)$;

σ é a constante de Stefan Boltzmann $\left(\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}\right)$; e

T_s é a temperatura absoluta da superfície (K).

Superfícies reais emitem menos energia que um corpo negro, sendo sua densidade de fluxo de energia radiante dada por:

$$q = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (3)$$

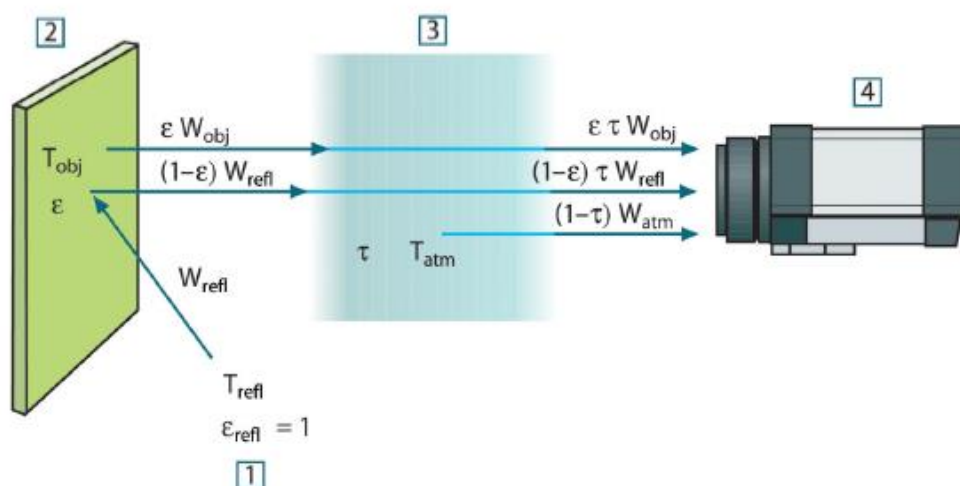
Onde ε é a emissividade da superfície, propriedade que estabelece a eficiência com que a radiação térmica é emitida pela superfície em comparação com um corpo negro. Possui valor entre 0 e 1, dependendo da composição da superfície. Para corpos negros, a emissividade é igual a 1. Em geral, os metais polidos apresentam emissividade baixa, enquanto substâncias não metálicas possuem emissividade alta (LIVI, 2004).

2.3 Câmera Infravermelha

A câmera infravermelha é o principal instrumento para a realização do ensaio não destrutivo de termografia infravermelha (CALDEIRA, 2016). Este equipamento detecta e capta a radiação infravermelha, convertendo-a em sinais elétricos que geram imagens térmicas com a distribuição das temperaturas superficiais dos objetos, correspondendo cada cor a um determinado intervalo de temperaturas (BARREIRA, 2004).

Uma câmera de infravermelho recebe radiações provenientes de três fontes: do objeto analisado; do meio adjacente, refletida pelo objeto; e da atmosfera, conforme mostrado na Figura 3 (FLIR SYSTEMS, 2010).

Figura 3 – Processo de medição termográfica. 1: Meio Adjacente. 2: Objeto Analisado. 3: Atmosfera. 4: Câmera.



Fonte: FLIR - Manual do utilizador (2010).

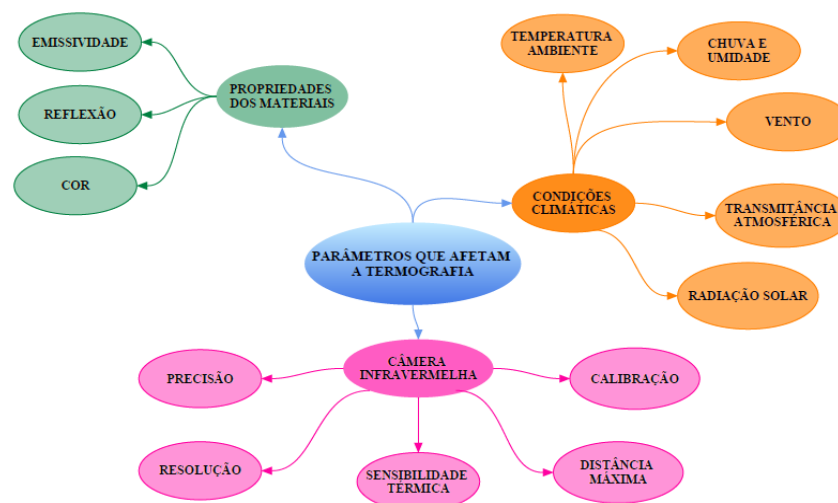
Conforme Silva (2007), para se realizar medições com a câmera infravermelha, devem ser inseridos os seguintes parâmetros no equipamento: emissividade do objeto, distância entre o objeto e a câmera, umidade relativa do ar, temperatura refletida e temperatura atmosférica. A umidade relativa e a distância entre o objeto e a câmera são parâmetros inseridos com o objetivo de se calcular a atenuação que a radiação sofre até chegar à lente do equipamento. A temperatura refletida é aquela admitida para todas as superfícies emissoras no meio adjacente ao objeto em estudo. Enquanto que a temperatura atmosférica é a da atmosfera entre objeto e a câmera.

2.4 Parâmetros que afetam a termografia

Embora aparente ser uma técnica de fácil execução, caso não se tomem as devidas precauções antes e durante sua realização, vários fatores podem influenciar nos resultados obtidos pelo ensaio de termografia infravermelha e gerar conclusões erradas (BARREIRA, 2004). Segundo Freitas *et al.* (2014), existem três tipos de parâmetros que podem afetar os resultados dos termogramas, são eles os parâmetros relacionados com: as propriedades dos materiais, as condições climáticas e as características da câmera.

A Figura 4 ilustra os principais parâmetros que afetam a termografia de infravermelho, que serão explanados a seguir.

Figura 4 – Parâmetros que afetam a termografia.

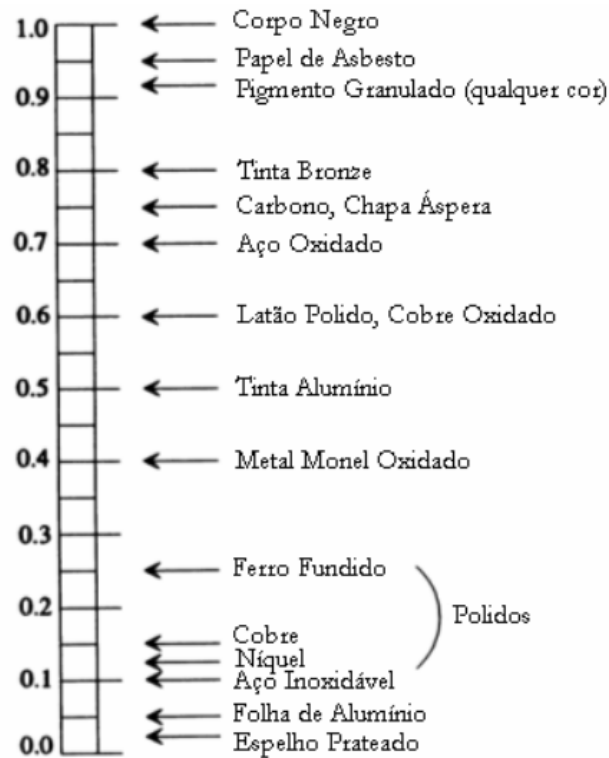


Fonte: Autor.

2.4.1 Parâmetros relacionados com as propriedades dos materiais

A emissividade é uma propriedade vinculada à superfície do material e define a sua capacidade de emitir energia (REBELO, 2017). Dessa forma, consiste em uma informação fundamental para uma estimativa precisa da temperatura do fluxo radiante medido. Normalmente os valores variam de 0,1 a 0,95. Para superfícies extremamente polidas têm-se emissividades inferiores a 0,1 e, para superfícies oxidadas os valores são superiores a 0,95 (SILVA, 2007). A Figura 5 ilustra alguns valores de emissividade, à temperatura ambiente, para os materiais mais comuns usados na engenharia.

Figura 5 - Valores de emissividade para alguns materiais.















Fonte: Silva (2007), adaptado de Dereniak e Boreman (1996).

Conforme Bauer e Pavón (2015), a reflexão pode ser um obstáculo na termografia, sobretudo nas medições em campo, haja vista que, materiais com acabamentos muito lisos e com brilho refletem a radiação infravermelha de outros corpos (edifícios vizinhos, veículos, instalações e redes elétricas, dentre outros), suscitando uma interpretação incorreta dos termogramas.

Cores diferentes absorvem quantidades diferentes de radiação solar, portanto, a cor da superfície é um parâmetro importante, pois pode camuflar defeitos e anomalias (REBELO, 2017). Conforme os estudos de Dornelles (2008), o qual avaliou 78 diferentes cores e tipos de tintas, as cores que mais absorvem calor são as de tonalidade escura, como o preto, que absorve 98% do calor solar que chega à superfície (Figura 6-a).

Figura 6 - Absortância solar: (a) das cores preta e cinza e (b) da cor branca, com diferentes tonalidades.

(a)	N°	Nome	Cor	α_{TOT} (%)
	75	Preto		98,0
	29	Preto		97,7
	22	Cinza		89,7
	9	Concreto		79,1
	69	Concreto		75,3
	53	Concreto		75,1
	23	Cinza BR		71,2
	11	Jade		60,3

(b)	N°	Nome	Cor	α_{TOT} (%)
	38	Bianco Sereno		31,3
	6	Branco		28,2
	65	Branco Neve		27,2
	50	Branco Neve		19,4
	39	Branco		18,7

Fonte: Dornelles (2008).

Na Figura 06 são expostos os resultados de Dornelles (2008) para as cores preta, cinza e branca, com diferentes tonalidades. Cores brancas (Figura 06-b) absorvem menos radiação que cores escuras (Figura 06-a), portanto, em inspeções termográficas, cores claras podem camuflar defeitos em objetos (REBELO, 2017).

2.4.2 Parâmetros relacionados às condições climáticas

O ambiente em que ocorre a inspeção termográfica possui grande relevância nos resultados obtidos. A radiação emitida pelo sol, a temperatura ambiente, a transmitância atmosférica, o vento, a chuva e a umidade relativa do ar podem afetar de maneiras distintas a

distribuição térmica dos componentes sob inspeção, bem como a quantidade de radiação infravermelha que chega até o equipamento (CRAVEIRO, 2008).

A temperatura ambiente é um dos parâmetros a ser inserido na câmera infravermelha para que seja realizada a correta medição de temperatura da inspeção. É utilizada para compensar a radiação atmosférica que é refletida na superfície do material (RODRÍGUEZ, 2010).

Os corpos inspecionados podem perder calor pela influência do vento, provocando, um resfriamento convectivo. Isso promove um aumento da diferença de temperatura entre a superfície do objeto medido e o ambiente, resultando em erros de medição do equipamento (CALDEIRA, 2016).

Conforme Craveiro (2008), altos índices de umidade no ambiente possuem efeitos negativos na aplicação da termografia infravermelha, pois o resfriamento da superfície do objeto em inspeção dificulta a detecção, avaliação e o diagnóstico do defeito. Ademais, atenua a radiação infravermelha que chega à câmera.

A transmissividade atmosférica é a fração de radiação transmitida pela atmosfera, que é a camada de gases que cobre a Terra (CALDEIRA, 2016). Segundo Craveiro (2008), ela varia em função da temperatura, da umidade relativa do ar e da quantidade de partículas suspensas no ar (poeira, poluição, neblina e névoa). A atmosfera pode atuar sobre a radiação emitida pelos objetos por meio de quatro fenômenos: absorção, emissão, dispersão e turbulência. Estes fenômenos podem atenuar ou acentuar os efeitos da radiação, distorcendo os resultados dos termogramas.

A radiação solar pode interferir em uma inspeção termográfica de duas maneiras: pelo carregamento solar, que eleva a temperatura dos corpos, e pelo reflexo da luz solar, que resulta em uma medição equivocada da radiação infravermelha emitida pelo objeto (CRAVEIRO, 2008).

2.4.3 Parâmetros relacionados às características da câmera infravermelha

Os parâmetros relacionados ao equipamento estabelecem o alcance das inspeções, determinando a distância a que pode ser feito o estudo e o tamanho das anomalias a serem analisadas (BAUER; PAVÓN, 2015).

De acordo com Silva (2012), três conceitos importantes para a compreensão de câmeras infravermelhas são:

- a) Precisão: é a medida da incerteza da medição de um equipamento. Quanto mais preciso, menor a incerteza no valor medido;
- b) Resolução: representa o número de pixels que compõem a imagem térmica gerada pela câmera de infravermelho. Normalmente é informada na forma (nº de pixels na largura) x (nº de pixels na altura). As resoluções comumente encontradas no mercado para estudo de patologias e desempenho térmico são: 60x60, 80x80, 120x120, 240x180, 320x240 e 640x480;
- c) Sensibilidade térmica: é a menor variação de temperatura que a câmera de infravermelho consegue detectar.

As características das câmeras devem ser indicadas de acordo com a aplicação. É importante se ter em consideração a resolução, a sensibilidade térmica, a precisão e os pixels no momento de escolher o equipamento. Ademais, os procedimentos de calibração disponíveis na câmera são importantes para garantir uma boa precisão nas medições (REBELO, 2017).

O menor detalhe visível que a câmera pode captar é denominado “campo de visão instantâneo”, ou IFOV (*Instantaneous Field of View*), e equivale a projeção de 1 pixel na superfície observada. A soma de todos os IFOVs resulta no FOV, que é o “campo de visão” total da imagem, que corresponde a maior área que o equipamento pode captar a uma dada distância. Dessa forma, tem-se que o campo de visão é um fator de suma importância desse instrumento, e é importante haver precauções no momento da leitura de detalhes da imagem, haja vista que está vinculado à distância tomada e, portanto, depende da especificação do equipamento (CALDEIRA, 2016).

A distância é um parâmetro que afeta a obtenção de imagens térmicas, pois o afastamento entre a câmera e o objeto influencia na resolução dos termogramas (BARREIRA, 2004). Além disso, segundo (REBELO, 2017), distâncias entre a câmara e o objeto superiores a 10 m podem atenuar a radiação térmica.

2.5 Classificação da Termografia

A termografia de infravermelho pode ser classificada quanto ao tipo de análise em: qualitativa e quantitativa; e quanto à excitação térmica em: ativa e passiva.

2.5.1 Quanto ao tipo de análise

A termografia de infravermelho tem como produto termogramas, que são imagens da distribuição de temperatura de um corpo. Os locais onde se localizam as anomalias apresentam padrões térmicos diferentes dos locais que não possuem. Dessa forma, surge a necessidade de se realizarem análises, que podem ser de dois tipos: quantitativa ou qualitativa, dependendo do objetivo do ensaio e a natureza do objeto em análise (BARREIRA, 2004).

2.5.1.1 Qualitativa

De acordo com Oliveira (2013), a análise é qualitativa quando se pretende apenas visualizar as diferenças de temperatura nas superfícies dos objetos em estudo. É uma análise mais simples e deve ser usada sempre que uma abordagem mais superficial do problema for suficiente, como é o caso de detecção de fugas de água em tubagens ou defeitos no isolamento. Dada a sua simplicidade, muitas vezes as imagens térmicas obtidas neste tipo de análise são interpretadas no próprio local por um técnico qualificado.

2.5.1.2 Quantitativa

A análise quantitativa é empregada quando se pretende quantificar as variações de temperatura superficial do objeto em estudo. Os resultados obtidos no ensaio não são analisados no local, são gravados e posteriormente inseridos para processamento e interpretação em software de análise específico (OLIVEIRA, 2013).

Conforme Brique (2016), após a obtenção da sequência de imagens, a primeira tarefa é a detecção dos defeitos, onde é analisado o comportamento de diferentes parâmetros, tais como a curva de evolução de temperatura, perfis de temperatura e o contraste térmico.

Segundo Pavón (2017), se o termograma do objeto apresenta uma diferença de temperatura (ΔT) superior a $0,5^\circ \text{C}$ em relação ao ambiente, suspeita-se que pode existir uma anomalia, porém a partir de um ΔT de 3°C , já se confirma a existência de anomalia.

2.5.2 Quanto à excitação térmica

A quantidade de radiação emitida por um corpo é diretamente proporcional à temperatura, dessa forma, para induzir o aumento no nível de radiação, é necessária uma excitação térmica no corpo. Baseando-se no modo de excitação térmica, a termografia pode ser de dois tipos: ativa e passiva. A escolha da técnica a ser empregada dependerá das condições do ambiente em que se desenvolve o ensaio, do tipo de material que está sendo analisado e das características do possível defeito a ser detectado (CALDEIRA, 2016).

2.5.2.1 Ativa

Na termografia ativa, é necessário um estímulo externo artificial (aquecimento ou arrefecimento), de modo a produzir um contraste térmico em zonas que se encontram em equilíbrio térmico. O contraste térmico pode ser induzido por variadas fontes de energia mais simples (flashes, lâmpadas ou jatos de ar quente) ou mais complexas (pulsos ultrassônicos, radiação infravermelha, micro-ondas ou laser) (SOUSA, 2010). Em geral, a termografia ativa é utilizada em análises qualitativas, pois permite que os defeitos sejam caracterizados de forma mais exata (EDIS *et al.*, 2014b).

2.5.2.2 Passiva

Na termografia passiva não é empregada nenhuma estimulação externa de resfriamento ou aquecimento para provocar um fluxo de calor no material testado. Neste método, perfis anormais de temperatura indicam um potencial problema, sendo a diferença de temperatura o termo chave para a detecção de possíveis anomalias. Em geral, a termografia passiva é mais qualitativa; entretanto, recentes pesquisas revelaram que é possível uma análise quantitativa quando se dispõe de um modelo matemático que descreva o fenômeno térmico (RODRÍGUEZ, 2010).

Estudos realizados por Theodorakeas *et al.* (2015) em estruturas de mosaico do Museu Arqueológico Delfos (Grécia), revelaram que a termografia passiva com abordagem qualitativa, pode ser aplicada como uma ferramenta eficiente na detecção de umidade.

2.6 Aplicações da Termografia

Devido a sua característica não destrutiva, a termografia infravermelha vem sendo empregada em muitas áreas e em variadas aplicações. Ao longo dos anos, seus equipamentos têm-se tornado cada vez mais leves e compactos, aumentando assim seu campo de atuação, pois podem ser facilmente transportados (SOUSA, 2010).

2.6.1 Aplicações na Engenharia Civil

De acordo com os estudos realizados por Barreira (2004), Rodríguez (2010), Oliveira (2013), Bauer e Pavón (2015), Caldeira (2016), Brique (2016) e Rebelo (2017), observa-se um grande interesse de pesquisadores nacionais e internacionais na aplicação da termografia infravermelha no âmbito da Engenharia Civil, especialmente na identificação e diagnóstico de patologias.

Barreira (2004) verificou os fatores que influenciam a medição da radiação térmica emitida por alguns materiais de construção utilizando a termografia infravermelha. Os estudos revelaram que a emissividade é um parâmetro de grande influência nas medições termográficas, sendo essa influência mais evidente quanto mais afastado o valor da emissividade adotada da emissividade real. No entanto, se a análise for qualitativa, a seleção da emissividade não é tão importante.

Rodríguez (2010) desenvolveu um método de inspeção por termografia ativa para detectar e caracterizar defeitos internos em materiais cerâmicos. Para tal propósito, foi analisado o comportamento térmico do material ao ser exposto a diferentes regimes de arrefecimento. Os resultados demonstraram que ao aumentar a temperatura inicial das amostras, conseguiu-se detectar defeitos com profundidades de até 14,0 mm.

Oliveira (2013) avaliou as potencialidades da termografia infravermelha no diagnóstico de patologias associadas à umidade resultante da ascensão capilar, de infiltrações e da condensação superficial. Os resultados do ensaio foram comparados com resultados obtidos

por um detector de umidade, que permitiu uma análise qualitativa da termografia e o ateste de que esta técnica pode ser utilizada para esse tipo de diagnóstico.

Bauer e Pavón (2015) utilizaram a termografia para identificação e avaliação de anomalias em revestimentos cerâmicos. Neste estudo, foi possível provar que falhas de aderência ou ausência de argamassa no tardo da cerâmica são identificáveis e quantificáveis utilizando-se a termografia infravermelha.

Caldeira (2016) empregou a termografia infravermelha para a identificação de danos na aderência entre concreto e Polímeros Reforçados com Fibras (PRF). Os resultados das análises mostraram que a termografia infravermelha promove notável identificação de falhas subsuperficiais entre concreto e PRF.

Brique (2016) aplicou a técnica da termografia infravermelha na detecção de falhas de aderência em fachadas com revestimentos cerâmicos, por meio da execução de painéis de alvenaria revestidos com cerâmica nas cores preta e branca (cores extremas). Como resultado, observou-se que a cor do revestimento e sua respectiva absorvância apresentaram influência na detecção dos defeitos na fase de aquecimento das peças, tanto em termos qualitativos (visualização do defeito) quanto quantitativos (ΔT). Porém, a partir do momento em que as peças entram em equilíbrio térmico com o ambiente e também na fase de arrefecimento, a cor não demonstrou mais influência.

Rebelo (2017) avaliou quantitativamente os resultados da termografia infravermelha aplicada ao estudo da umidade, por meio de um tratamento estatístico descritivo. Os resultados obtidos permitiram validar as potencialidades das ferramentas utilizadas, para tratar quantitativamente os fenômenos de umidificação que ocorrem nos elementos construtivos.

2.7 Umidade Ascensional

A umidade nas edificações pode ser oriunda de diversas fontes, do processo de execução dos elementos construtivos, pela água existente no solo (ascensional), devido à água da chuva (precipitação), causas fortuitas, dentre outros (OLIVEIRA, 2013). A umidade ascensional flui do solo na ausência ou falha de impermeabilização. Em razão da estrutura porosa dos materiais de construção, a umidade ascende pelas paredes por capilaridade

(SOCOLOSKI, 2015). Mas para que isto ocorra, é necessário que haja contato entre as paredes e a água do solo, o que acontece quando (HENRIQUES, 2007):

- As fundações das paredes se encontram abaixo do nível freático;
- As fundações das paredes se encontram acima do nível freático em zonas de terreno com grande capilaridade, provocando a elevação da água existente a uma cota diferente;
- Paredes implantadas em terrenos pouco permeáveis ou com pendentes viradas para as paredes, provocando o deslizamento das águas sobre o terreno, entrando assim em contato com as paredes.

A umidade é um agente patológico muito influente no que se refere à degradação dos materiais de construção, podendo ter consequências negativas em sua estética e na própria estrutura (OLIVEIRA, 2013). A seguir são apresentados estudos que propõem a avaliação de problemas de umidade em diferentes elementos de uma edificação com auxílio da termografia de infravermelho.

2.8 Avaliação da umidade com a termografia de infravermelho

A umidade é uma das patologias das construções que mais tem sido estudada com a utilização da termografia de infravermelho. A umidade em materiais porosos (como os materiais de construção) percola nos poros até seu enchimento. A água modifica a densidade, o calor específico e a condutividade térmica. De acordo com o aumento da quantidade de água, esses três fatores aumentam (ROSINA e LUDWIG, 1999).

O calor específico é uma das principais propriedades térmicas que afetam o estudo da umidade. Quanto maior for o calor específico, mais energia é necessária para aquecer ou arrefecer um material particular (PAVÓN, 2017). A água tem calor específico mais elevado que diversos materiais comuns de construção, conforme apresentado na Figura 7. Portanto, o ganho ou perda de calor da água em condições semelhantes é mais lento, fazendo com que os materiais saturados apresentem maior calor específico (KOMINSKY *et al.*, 2007). Dessa forma, áreas com elevado conteúdo de umidade aparecem com temperaturas diferentes às áreas vizinhas sem presença de umidade, podendo esta diferença de temperatura ser detectada com equipamentos de termografia (BARREIRA, 2004).

Figura 7 – Calor específico médio de diversos materiais.

SUBSTÂNCIA	kcal/kg °C	SUBSTÂNCIA	kcal/kg °C	SUBSTÂNCIA	kcal/kg °C
ÁCIDO ACÉTICO	0,510	CELOTEX	0,400	MADEIRA (PINHO)	0,650
ÁCIDO SULFÚRICO	0,330	CHUMBO	0,030	MAGNÉSIO	0,250
AÇO	0,115	CIMENTO	0,200	MANGANÊS	0,120
AÇÚCAR	0,280	CINZAS	0,200	MÁRMORE	0,210
ÁGUA (LÍQUIDA)	1,000	CLOROFÓRMIO	0,230	MERCÚRIO	0,036
ÁGUA (VAPOR)	0,374	COBRE	0,095	MICA	0,209
ALCATRÃO	0,400	CONCRETO	0,180	MONÓXIDO DE CARBONO	0,312
ÁLCOOL	0,580	COQUE	0,260	NAFTALINA	0,310
ALGODÃO	0,320	COURO	0,360	NÍQUEL	0,110
ALUMINA	0,200	DURALUMÍNIO	0,211	ÓLEO COMBUSTÍVEL	0,450
ALUMÍNIO (POLIDO)	0,220	EBONITE	0,350	ÓLEO DE OLIVA	0,400
AMONÍACO	1,000	ESCORIAS	0,180	ÓLEO LUBRIFICANTE	0,400
ANILINA	0,400	ESTANHO	0,054	OURO	0,033
AREIA	0,200	ETER ELÍTICO	0,520	OXIGÊNIO (LÍQUIDO)	0,316
ARGILA EM TIJOLOS	0,200	FERRO	0,116	PEDRA (GRANITO)	0,200
ASBESTO	0,200	FERRO FUNDIDO	0,119	PETRÓLEO	0,510
ASFALTO	0,220	GÁS CARBÔNICO CO ²	0,527	PLATINA	0,082
BAQUELITE	0,350	GÁS SULFÚRICO SO ²	0,397	PÓ DE SERRA	0,500
BARRO SECO	0,220	GELO	0,500	PORCELANA	0,258
BARRO ÚMIDO	0,550	GESSO	0,260	PRATA	0,063
BASALTO	0,200	GLICERINA	0,576	QUARTZO	0,210
BISMUTO	0,030	GORDURA	0,460	QUEROSENE	0,470
BORRACHA DURA	0,330	GRAFITE	0,200	SAL	0,210
BORRACHA MOLE	0,480	HIDROGÊNIO	0,316	SEDA	0,330
BRONZE	0,090	LÃ	0,320	TALCO	0,210
CARBONATO Ca	0,190	LÃ DE ROCHA	0,200	TERRA	0,440
CARBORUNDUM	0,160	LÃ DE VIDRO	0,160	TIJOLO REFRAATÁRIO	0,220
CARVÃO MINERAL	0,310	LADRILHO	0,150	VIDRO COMUM	0,200
CARVÃO VEGETAL	0,200	LATÃO	0,090	ZINCO	0,107

Fonte: < <https://csparedexteriores.wordpress.com/category/uncategorized/>>
Acesso em: 20/02/2018.

Edis *et al.* (2014a) resumem em três os aspectos que devem ser analisados para usar a termografia infravermelha na detecção de alterações no teor de umidade, eles são: a redução da resistência térmica, o arrefecimento evaporativo na área úmida e o aumento da capacidade de armazenamento de calor do material úmido.

Nos estudos que avaliam problemas de umidade com a termografia de infravermelho, em diferentes elementos de uma edificação, percebe-se que não existe um consenso em relação à forma que este problema vai aparecer no termograma (áreas mais frias ou quentes), o melhor horário para se realizar inspeções, e a influência das condições climáticas (variação da temperatura) nos estudos termográficos. Exemplo dessas dúvidas são os trabalhos de Kominsky *et al.* (2007), Tavukçuoğlu *et al.* (2005), Solla *et al.* (2013), Bauer e Pavón (2015) e Barreira *et al.* (2016), que serão explanados a seguir.

Tavukçuoğlu *et al.* (2005) empregaram a termografia infravermelha para a avaliação de problemas de drenagem de águas superficiais em um edifício histórico de alvenaria de pedra. Os autores detectaram as zonas de acúmulo de água e vazamentos na edificação por meio da termografia, no horário da manhã e da tarde. As áreas com problemas de umidade foram detectadas pela diminuição da temperatura da área afetada.

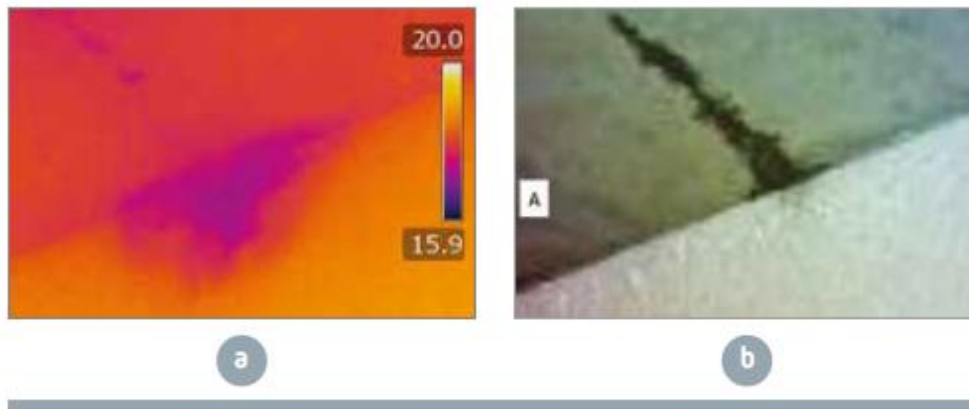
Kominsky *et al.* (2007) utilizaram a termografia de infravermelho para a identificação dos locais da envoltória de um edifício com problemas de umidades, comprovando depois, com inspeção intrusiva, níveis de umidade superiores a 20%. Os problemas de umidades nas paredes de alvenaria de tijolo cerâmico, inspecionados durante o dia, foram detectados como áreas mais quentes.

Solla *et al.* (2013) aplicaram a termografia infravermelha para detectar problemas de umidade em uma ponte de alvenaria. Mediante um modelo termográfico tridimensional detectaram a presença de água (umidade) pela redução da temperatura na área afetada em consequência da evaporação.

Edis *et al.* (2014a) avaliaram problemas de umidade de uma fachada a partir da utilização de perfis de temperatura. Concluíram que, em fachadas com revestimento cerâmico vidrado as variações de umidade podem ser detectadas através de inspeção termográfica passiva com base no ganho de calor solar da fachada. A magnitude da diferença de temperatura entre as áreas secas e úmidas foi maior em torno do meio dia, contudo, apenas permanece no seu valor máximo por um curto período de tempo. À noite, a magnitude da diferença de temperatura foi menor, mas permaneceu estável durante mais tempo, pelo qual recomendam a noite como o melhor horário para realizar este tipo de estudo.

Bauer e Pavón (2015) avaliaram a magnitude do problema de umidade (Figura 8-a) na união entre a laje e a parede (cortina em concreto) com a termografia de infravermelho. A inspeção foi feita na face inferior de uma laje, no encontro com a cortina de concreto, em uma garagem em subsolo que apresentava problema de infiltração na laje (falha da impermeabilização). A diferença de temperatura foi detectada no termograma devido à evaporação da água na superfície de concreto, que reduz a temperatura da área afetada.

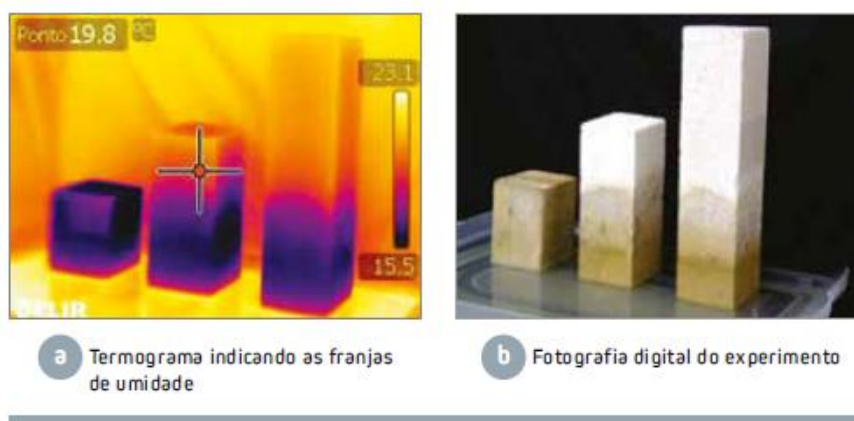
Figura 8 – Avaliação de problemas de umidade no interior de uma edificação com termografia infravermelha.



Fonte: Bauer e Pavón (2015).

Bauer e Pavón (2015) também verificaram que os problemas de umidade causados por capilaridade são detectados com o uso da termografia de infravermelho. O estudo de absorção de água por capilaridade (Figura 9-a) foi realizado em corpos de prova prismático, onde se define claramente a altura da franja de água (Figura 9-b), observada tanto na imagem digital quanto no termograma (o que nem sempre ocorre). No termograma ela passa a ser identificada e mensurada pela redução de temperatura superficial que a evaporação proporciona.

Figura 9 – Avaliação de capilaridade em amostras de concreto celular.



Fonte: Bauer e Pavón (2015).

Barreira *et al.* (2016) utilizaram a termografia infravermelha para avaliar a absorção capilar em um modelo de laboratório em grande escala e o processo de secagem de duas

paredes exteriores. Concluíram que a termografia infravermelha pode detectar problemas de umidade invisíveis e pode ser usada para avaliar o processo de secagem, embora destaque que a abordagem quantitativa do fenômeno é muito complexa.

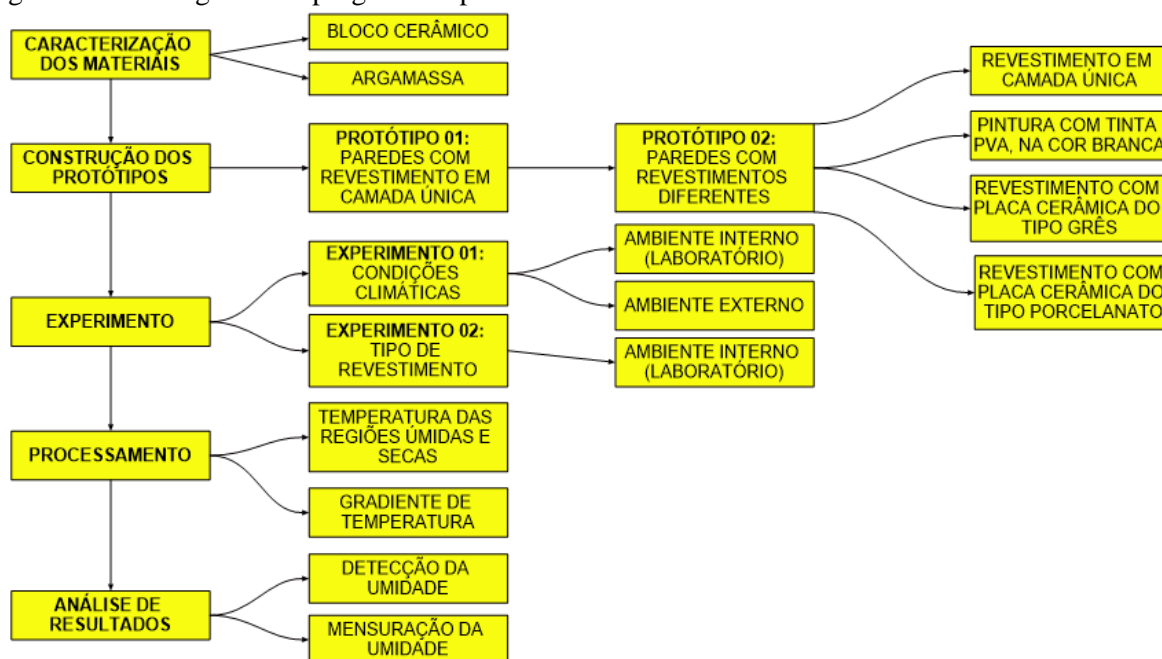
Pode-se concluir que a termografia de infravermelho pode ser usada na detecção de problemas de umidade. No entanto, ainda existem muitas dúvidas em relação à forma que este problema vai aparecer nas imagens térmicas e em que tipo de revestimento pode ser detectado. Além disso, não há um consenso sobre a influência das condições climáticas na avaliação deste problema. Dessa forma, faz-se necessário o estudo da influência destes parâmetros no processo de avaliação desta patologia com a termografia de infravermelho.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O presente capítulo aborda o programa experimental desenvolvido para verificar as potencialidades da termografia de infravermelho na detecção de umidade ascensional em paredes de alvenaria. Foram caracterizados os materiais empregados, detalhado o processo construtivo dos protótipos desenvolvidos para os experimentos, especificado os equipamentos utilizados, relatado os procedimentos de cada experimento e a forma de coleta e processamento de dados.

Para melhor entendimento dos procedimentos realizados nesta pesquisa, apresenta-se na Figura 10 o fluxograma das etapas do programa experimental realizado, na análise das variáveis investigadas: condições climáticas e tipo de revestimento, para detectar e mensurar a umidade nas paredes com o auxílio da termografia de infravermelho.

Figura 10 – Fluxograma do programa experimental.



Fonte: Autor.

Para este estudo foram construídos dois grupos de protótipos para avaliar a umidade ascensional em paredes de alvenaria. O grupo 01 é composto por protótipos do tipo 01 - paredes de alvenaria com revestimento argamassado. O grupo 02 é constituído por protótipos

do tipo 02 - paredes de alvenaria com diversos tipos de revestimentos. Vale destacar que apenas uma das faces dos protótipos possui revestimento.

Para cada variável investigada foi realizado um experimento. No experimento 01 foram utilizados os protótipos 01 para determinar a influência das condições climáticas no estudo da umidade com a termografia. No experimento 02 foram utilizados os protótipos 02 para avaliar a influência do tipo de revestimento na detecção da umidade.

O experimento 01 foi realizado em um ambiente interno, com temperatura controlada a 22° C. O experimento 02 foi realizado em um ambiente externo, coberto e protegido das intempéries, porém sujeito as variações de temperatura.

A metodologia empregada na realização dos experimentos está apresentada no fluxograma da Figura 10, que consistiu na caracterização dos materiais, construção dos protótipos, realização dos experimentos, processamento de dados e análises dos resultados, que serão apresentados a seguir.

3.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram blocos cerâmicos e argamassa industrializada. As características dos mesmos serão apresentadas a seguir.

3.1.1 Bloco cerâmico

Para a execução dos protótipos, em formato de mini paredes, foram adquiridos no comércio local 20 blocos cerâmicos furados de dimensões 9 cm x 19 cm x 19 cm, isentos de defeitos e de tonalidade de cor parecida.

Dentre os blocos adquiridos, foram selecionados 8 blocos para serem ensaiados, com o objetivo de escolher 4 deles com índice de absorção similar para serem assentados na base das paredes construídas. Utilizou-se a metodologia da ABNT NBR 15270-3: 2005 – Anexo B: Determinação da massa seca e do índice de absorção d'água. A Figura 11 apresenta a determinação da massa seca e da massa úmida obtida para o bloco 01.

Figura 11 – Determinação da massa seca (1) e da massa úmida (2).



Fonte: Autor.

Os resultados obtidos nos ensaios são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Determinação do índice de absorção conforme a NBR 15270-3: 2005.

Nº Bloco	Ms (g)	Mu (g)	AA (%)
1	2315,40	2664,60	15,08
2	2338,30	2691,80	15,12
3	2290,50	2645,90	15,52
4	2301,20	2652,60	15,27
5	2298,10	2561,80	11,47
6	2389,80	2706,10	13,24
7	2361,30	2632,80	11,50
8	2351,60	2592,00	10,22
Média	2330,78	2643,45	13,43
Desvio Padrão	35,27	48,15	2,11
Coef. De Variação	1,51%	1,82%	15,72%

Fonte: Autor.

Onde:

Ms: Massa seca, em gramas;

Mu: Massa úmida, em gramas e;

AA: Índice de absorção, em percentual.

Com base nos resultados obtidos no ensaio (Tabela 01), foram selecionados os blocos 1, 2, 3 e 4 para serem assentados na base (primeira fiada) de cada protótipo, tendo em vista que possuem índices de absorção próximos (15% – 16%). Os outros blocos foram colocados na fiada superior da parede.

3.1.2 Argamassa

Na execução dos protótipos foi utilizada uma argamassa industrializada de uso geral para o assentamento dos blocos e para o revestimento das mini paredes. O fabricante recomenda para 20 kg de argamassa uma faixa de 3,4 L a 3,6 L de água, foi utilizado 3,6 L de água na mistura da argamassa. A Tabela 02 mostra a classificação da argamassa de acordo com a ABNT NBR 13281:2005.

Tabela 2 – Classificação da argamassa conforme a ABNT NBR 13281:2005.

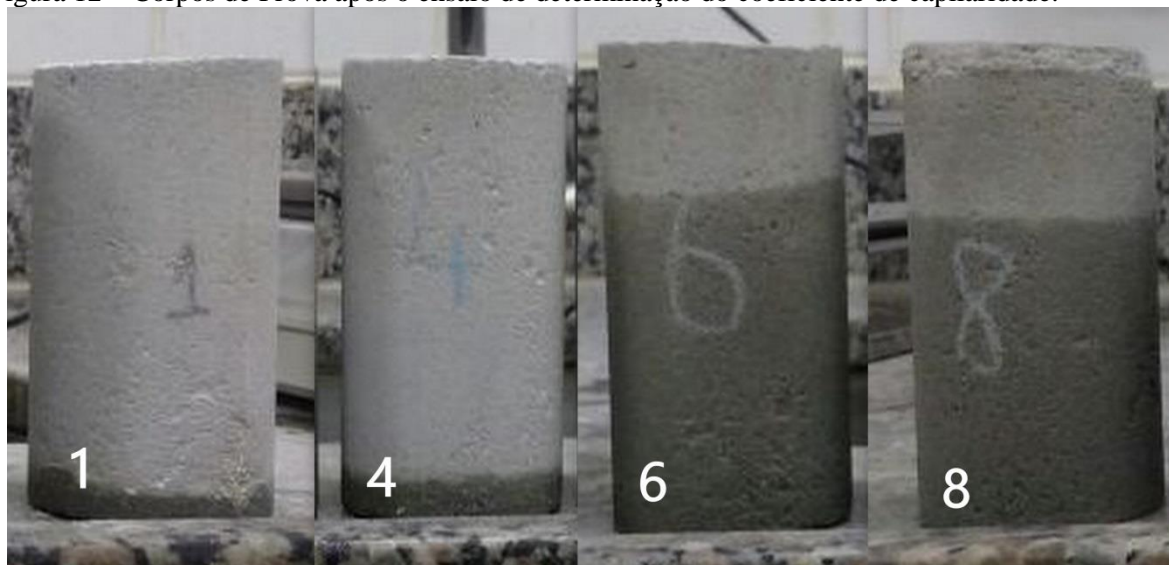
Propriedade	Classe	Faixa
Retenção de Água	U1	≤ 78%
Densidade de massa no estado fresco	D4	1600 a 2000 kg/m ³
Resistência à tração na flexão	R4	2,0 a 3,5 MPa
Resistência à compressão	P4	4,0 a 6,5 MPa
Densidade de massa aparente no estado endurecido	M4	1400 a 1800 kg/m ³
Resistência potencial de aderência à tração	A3	≥ 0,3 MPa

Fonte: Embalagem do produto.

Na embalagem do produto não é informada a classificação da argamassa quanto ao coeficiente de capilaridade. Dessa forma, foram moldados e ensaiados 4 corpos-de-prova para a determinação do coeficiente de capilaridade do produto. Sendo que 2 corpos-de-prova tiveram cura úmida (imersos em uma solução saturada de cal), durante 3 dias e posteriormente foram secos em estufa à 100° C ± 5° C durante 48h. Os outros 2 corpos-de-prova tiveram cura ambiente, nas mesmas condições dos protótipos executados.

Os corpos-de-prova foram ensaiados aos 28 dias (Figura 12), conforme os procedimentos da ABNT NBR 15259:2005. Este ensaio consiste em colocar os corpos-de-prova em um recipiente com lâmina d'água de 5 mm ± 1 mm e determinar a massa de cada corpo-de-prova, em gramas, aos 10 min e aos 90 min.

Figura 12 – Corpos de Prova após o ensaio de determinação do coeficiente de capilaridade.



Fonte: Autor.

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de determinação do coeficiente de capilaridade.

Tabela 3 – Determinação do coeficiente de capilaridade.

CP	Cura	m0 (g)	m10 (g)	m90 (g)	C (g/dm ² .min ^{1/2})
1	Úmida	332,72	333,25	334,62	1,37
4		331,15	332,15	334,03	1,88
Média		331,94	332,70	334,33	1,63
Desv. Padrão		1,11	0,78	0,42	0,36
Coef. de Variação		0%	0%	0%	22%
6	Ambiente	324,13	332,08	347,17	15,09
8		340,75	349,78	363,98	14,2
Média		332,44	340,93	355,58	14,65
Desv. Padrão		11,75	12,52	11,89	0,63
Coef. de Variação		4%	4%	3%	4%

Fonte: Autor.

Onde:

m0 é a massa inicial do corpo-de-prova, em gramas;

m10 é a massa do corpo-de-prova no tempo t= 10 min, em gramas;

m90 é a massa do corpo-de-prova no tempo t= 90 min, em gramas;

C é o coeficiente de capilaridade, em gramas por decímetro quadrado pela raiz quadrada de minuto ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$).

De acordo com os resultados da Tabela 03 e com a ABNT NBR 13281:2005, a argamassa é classificada quanto à capilaridade em C2 ($1,0 \text{ g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ a $2,5 \text{ g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) nas condições de cura úmida e em C6 ($> 10 \text{ g}/\text{dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$) nas condições de cura ambiente. Observou-se uma grande diferença nos valores de capilaridade entre a cura úmida e a cura ambiente (Tabela 03), o que demonstra a importância da realização de um bom procedimento de cura da argamassa para se evitar problemas de umidade por capilaridade. Entretanto, os resultados da cura ambiente são positivos, pois garantem que o fenômeno de absorção de água por capilaridade na argamassa poderá ser visualizado nos experimentos.

Ademais, foram moldados mais 4 corpos-de-prova para a determinação da absorção de água por imersão, sendo que 2 corpos-de-prova tiveram cura úmida e os outros 2 tiveram cura ambiente (durante 7 dias), nas mesmas condições dos protótipos. Os corpos-de-prova foram ensaiados conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 9778: 2005. A tabela 4 apresenta os resultados obtidos no ensaio de determinação da absorção de água por imersão.

Tabela 4 – Determinação da Absorção de água por imersão.

CP	Cura	Ms (g)	Msat (g)	AA (%)
2	Úmida	348,55	388,04	11,33
3		337,61	377,49	11,81
Média		343,08	382,77	11,57
Desv. Padrão		7,74	7,46	0,34
Coef. de Variação		2%	2%	3%
5	Ambiente	361,65	400,30	10,69
7		345,38	385,55	11,63
Média		353,52	392,93	11,16
Desv. Padrão		11,50	10,43	0,67
Coef. de Variação		3%	3%	6%

Fonte: Autor.

Onde:

Ms é a massa do corpo-de-prova seco em estufa, em gramas;

Msat é a massa do corpo-de-prova saturado, em gramas;

AA é absorção de água por imersão, em percentual.

Observou-se nos resultados obtidos (Tabela 04), que independente do tipo de cura realizada (úmida ou ambiente), a absorção de água por imersão da argamassa ensaiada é similar.

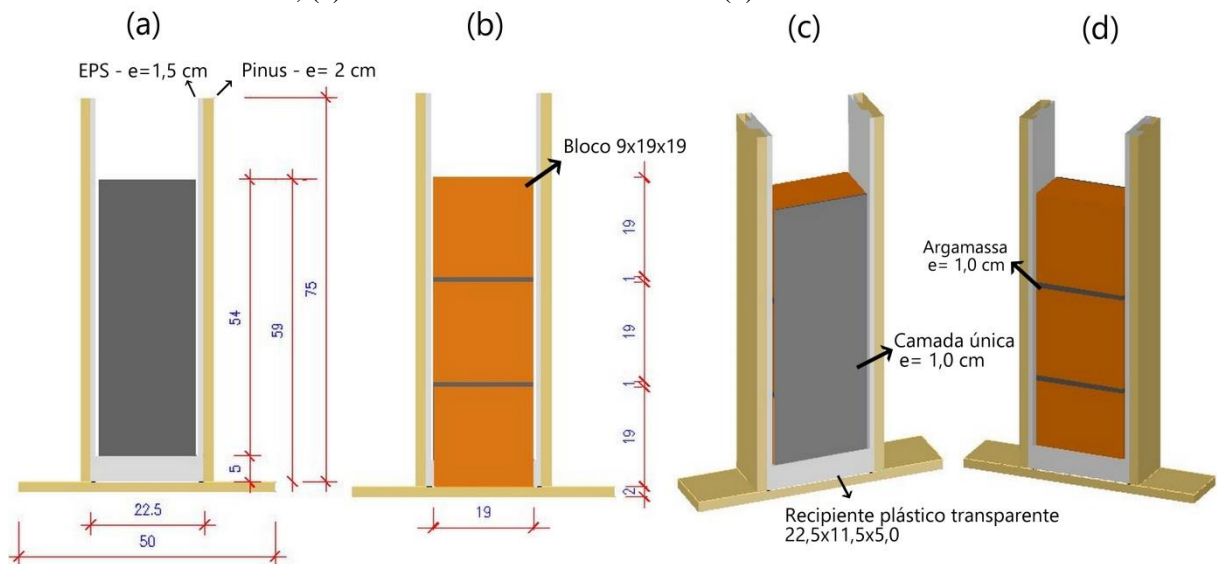
3.2 Desenho e construção do protótipo

Para a realização dos experimentos foram construídos protótipos de mini-paredes que serão detalhadas a seguir.

3.2.1 Protótipo 01

O protótipo 01 (Figura 13) consiste em uma mini-parede constituída de 3 blocos cerâmicos de dimensões 9 cm x 19 cm x 19 cm, assentados na vertical com argamassa industrializada (juntas de 1 cm). Possui uma das faces sem revestimento e a outra com revestimento argamassado (espessura de 1 cm).

Figura 13 - Protótipo 01: (a) Croqui com dimensões da face com revestimento e (b) da face sem revestimento, (c) 3D da face com revestimento e (d) 3D da face sem revestimento.



Fonte: Autor.

Inicialmente, foram construídas estruturas de madeira em pinus (Figura 14-a) com a finalidade de travar, dar sustentação e permitir o deslocamento do protótipo com facilidade, sem causar danos à parede. Em seguida, os blocos cerâmicos foram assentados sobre um recipiente plástico de dimensões 22,5 cm x 11,5 cm x 5 cm (comprimento x largura x altura), como mostrado na Figura 14-a, que tem o objetivo de ser preenchido com água para simular o fenômeno de absorção por capilaridade na parede.

Após o assentamento dos blocos (Figura 14-b), foi feito o revestimento argamassado em uma das faces da parede, como mostrado na Figura 14-c. Para o assentamento dos blocos e revestimento das paredes foi utilizada a argamassa industrializada (Tabela 02). A espessura do revestimento foi de 1 cm.

Figura 14 – Processo construtivo do protótipo: (a) Estrutura de madeira e recipiente plástico, (b) assentamento dos blocos e (c) revestimento de uma face da parede com argamassa industrializada.



Fonte: Autor.

A Figura 15 apresenta os 4 protótipos do tipo 01 construídos para a realização do experimento 01.

Figura 15 – Protótipos 01 construídos.

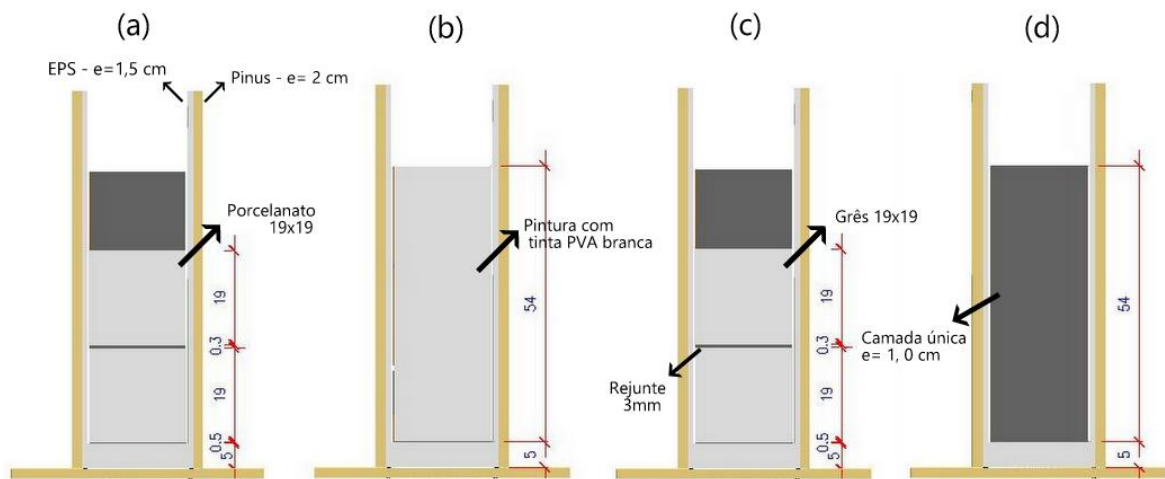


Fonte: Autor.

3.2.2 Protótipo 02

O protótipo 02 foi executado por meio da modificação do protótipo 01. Foi alterado o revestimento da face das paredes com revestimento argamassado, por meio da aplicação de outros tipos de revestimentos, como: pintura e assentamento de placas cerâmicas, mantendo apenas 01 dos protótipos com as mesmas características do protótipo 01 (revestimento argamassado sem pintura). A Figura 16 apresenta os desenhos dos protótipos 02 (a, b, c e d).

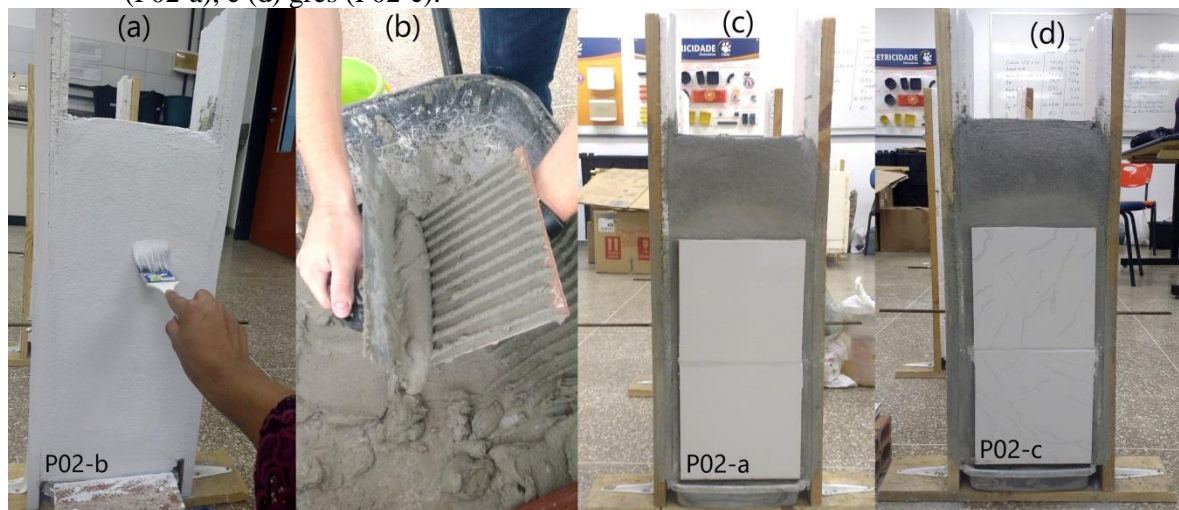
Figura 16 – Protótipo 02: (a) revestimento em porcelanato (P02-a), (b) pintura com tinta PVA branca (P02-b), (c) revestimento em grês (P02-c), (d) revestimento em camada única (P02-d).



Fonte: Autor.

A Figura 17 mostra os procedimentos realizados para a execução dos protótipos 02. Foram modificados os revestimento de três protótipos tipo 01 construídos, sendo mantida uma mini parede (P02-d) com revestimento argamassado sem pintura (Figura 16-d). Nas outras paredes realizou-se os seguintes processos: pintou-se a face da parede P02-b com tinta PVA na cor branca, em duas camadas com intervalo de 24h (Figura 17-a); assentou-se placas cerâmicas do tipo grês no protótipo P02-c (Figuras 17-b e 17-c); e assentou-se placas cerâmicas do tipo porcelanato no protótipo P02-a (Figuras 17-b e 17-d).

Figura 17 – Aplicação de revestimento: (a) pintura com tinta PVA branca (P02-b), (b) aplicação de cordões de argamassa colante no tardo da placa cerâmica, (c) assentamento de porcelanato (P02-a), e (d) grês (P02-c).



Fonte: Autor.

A Figura 18 apresenta os 04 protótipos do tipo 02 (a, b, c e d), executados para a realização do experimento 02.

Figura 18 – Protótipos 02: (a) face revestida com porcelanato, (b) face pintada com tinta branca, (c) face revestida com grês e (d) face simplesmente revestida com argamassa.



Fonte: Autor.

3.3 Descrição dos equipamentos

3.3.1 Câmera infravermelha

Para o estudo termográfico, foi utilizada a câmera infravermelha modelo FLIR i3 (Figura 19). Este equipamento é muito utilizado na identificação de falhas e de componentes com problemas de aquecimento em instalações elétricas e equipamentos mecânicos. Devido a sua resolução, sua utilização é limitada na área da construção civil a estudos de pequenas áreas a curtas distâncias. A escolha do equipamento se justifica por ser o único disponível na Instituição para a realização desta pesquisa.

Na realização dos experimentos foram utilizadas as configurações e parâmetros da câmera infravermelha, uma vez que podem ser ajustados no programa de processamento de dados do equipamento. Ao ajustar os parâmetros no software (emissividade do objeto, distância entre o objeto e a câmera, umidade relativa do ar, temperatura refletida e temperatura atmosférica), o programa ajusta as cores no termograma.

Figura 19 – Câmera infravermelha utilizada, modelo Flir i3.



Fonte: Autor.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros utilizados para o ajuste dos termogramas às condições do experimento.

Tabela 5 – Parâmetros adotados nos experimentos.

Parâmetros	Experimento 1		Experimento 2 - Interno
	Interno	Externo	
Emissividade **	0,95	0,95	0,95
Temperatura aparente refletida	25° C	25° C	25° C
Temperatura atmosférica	*	*	*
Umidade relativa	50%	50%	50%
Distância	2 m	2 m	2 m
* Temperatura mensurada no termopar para o horário (Apêndice)			
** Flir Systems (2010).			

Fonte: Autor.

O valor adotado para a emissividade foi 0,95, haja vista que de acordo com o Manual do utilizador do equipamento, a maioria dos materiais de construção apresentam emissividade na faixa de 0,95.

A temperatura aparente refletida foi adotada no valor de 25° C. A temperatura atmosférica utilizada foi a mensurada com termopares durante a realização do experimento.

De acordo com o Manual do utilizador do equipamento, a umidade relativa pode ser predefinida em 50% para distâncias curtas entre o objeto e o equipamento. Como a distância adotada para a realização dos experimentos foi de 2 m e não foi possível a obtenção de um equipamento para mensurar a umidade relativa ar, foi adotado o valor de 50%.

As características da câmera infravermelha podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Características da câmera infravermelha.

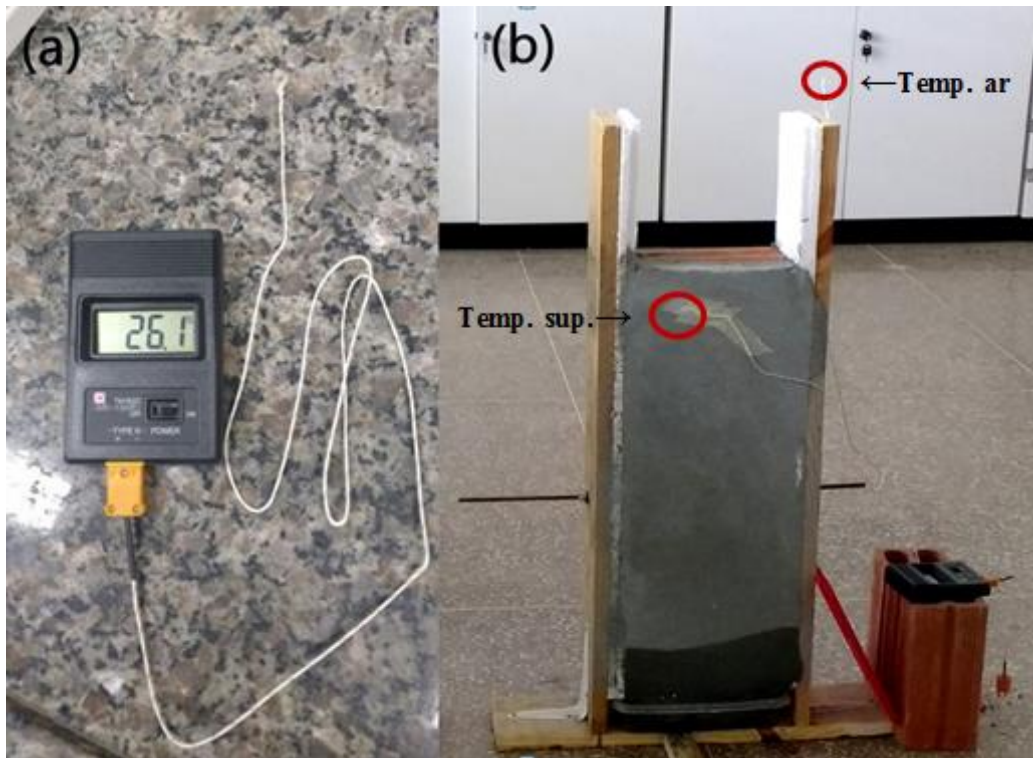
Especificações	
Modelo	i3
Resolução	60 x 60
Total de pixels	3.600
Resolução geométrica	3,5 mrad
Sensibilidade térmica	< 0,15° C
Precisão	2° ou 2% da leitura
Faixa de temperatura	- 20° C a 250° C
Campo de visão	12,5° x 12,5°
Foco	Foco fixo
Detector	Microbolômetro
Tela	LCD de 2,8" Colorido
Frequência da imagem	9 Hz
Correção de emissividade	Ajustável de 0,1 a 1,0

Fonte: < http://www.2a.com.br/download/minipa/folder_flir_i3.pdf>.
Acessado em: 22/02/2018.

3.3.2 Termopares

Para mensurar a temperatura superficial das paredes e do ar (Figura 20-b), foram utilizados termopares tipo k. Estes dispositivos são constituídos de dois metais distintos, unidos por suas extremidades e ligados a um termômetro na outra extremidade. A Figura 20-a mostra o termopar utilizado nos experimentos.

Figura 20 – (a) Termômetro- termopar utilizado no experimento, (b) mensuração da temperatura do ar e da temperatura superficial da parede.



Fonte: Autor.

Para cada condição de ensaio, ambiente interno ou externo, foi colocado em um dos protótipos ensaiados dois termopares. Um para mensurar a temperatura do ar e o outro para mensurar a temperatura da superfície da parede. Mensurar a temperatura do ambiente tem o objetivo de avaliar a influência das condições climáticas no estudo da umidade ascensional com a termografia de infravermelho. Já os resultados dos termopares da superfície dos objetos foram utilizados no momento da aferição para comparar com os valores obtidos na câmera infravermelha, sem finalidade de cálculo.

3.4 Experimento

A finalidade dos experimentos realizados foi a simulação de umidade ascensional em paredes de alvenaria e a avaliação desse fenômeno com o uso da termografia de infravermelho.

O procedimento utilizado para simular e avaliar esse fenômeno consistiu no enchimento do recipiente localizado na base dos protótipos com água, mantendo-se uma lâmina d'água constante; e na realização de inspeções e registros do comportamento da umidade nas paredes com a câmera infravermelha ao longo do tempo. Cada experimento foi realizado ao longo de dois dias, tendo duração de 12 horas por dia (das 7h às 19h).

O experimento consistiu na realização de imagens térmicas por meio da termografia de infravermelho, a mensuração da temperatura ambiente e da temperatura da superfície das paredes com o auxílio de termopares e medições da altura da umidade nas paredes, em um período de 24h (12h por dia), sendo as medições realizadas nas 2 primeiras horas feitas a cada 30 min e nas horas seguintes a cada 1h.

3.4.1 Experimento 1

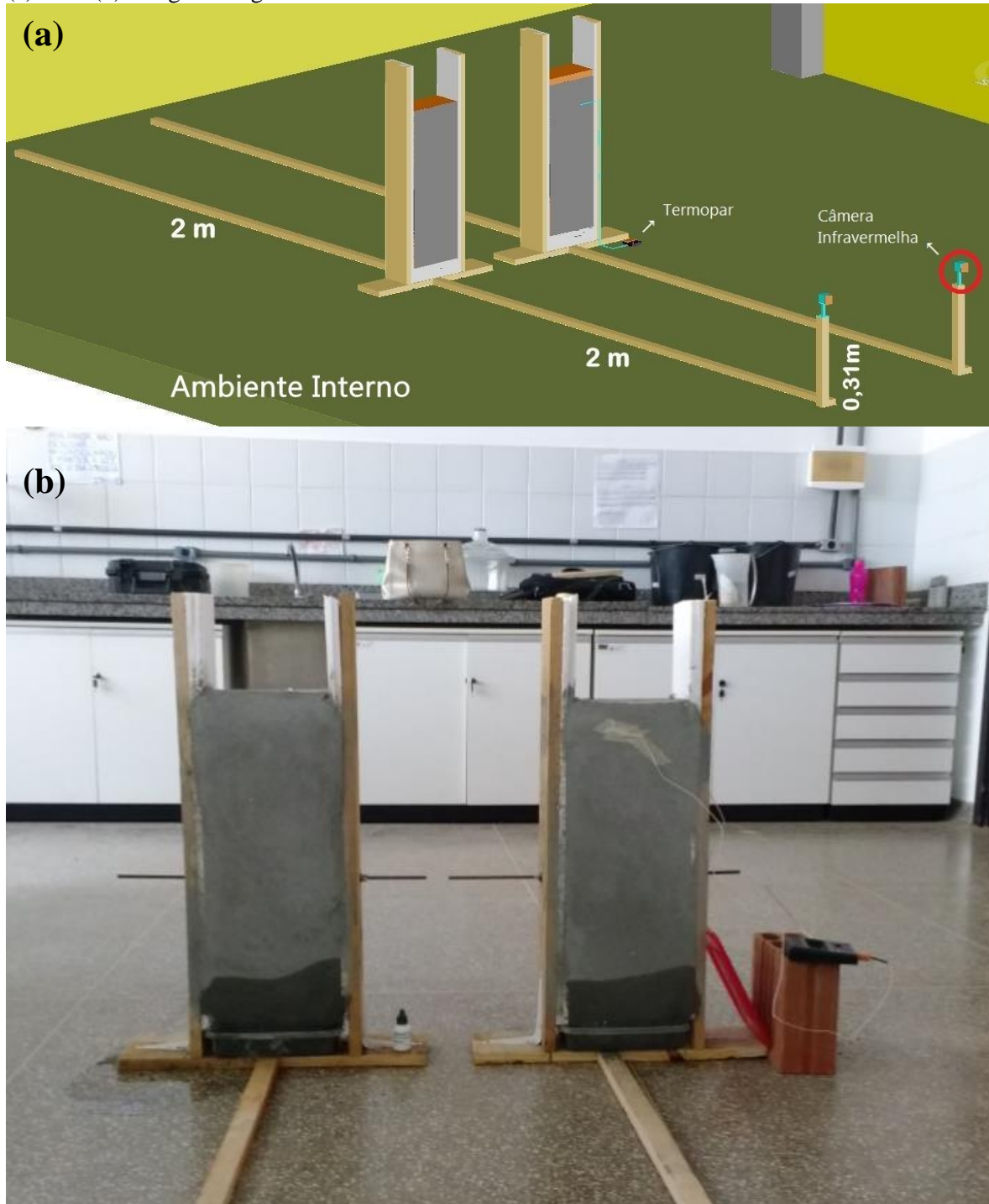
O experimento 1 foi realizado em duas condições: em um ambiente interno com a temperatura controlada à 22° C e em um ambiente externo com a temperatura variável, que serão detalhados a seguir.

O local denominado Ambiente Interno é o laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB. A distribuição dos equipamentos, objetos e protótipos no espaço foi feita da seguinte forma:

- Foram posicionados 02 protótipos do tipo 01 no meio do laboratório (Figuras 21 e 22), pois são necessários espaços na frente e no fundo da face das paredes para a realização de imagens térmicas em ambas as faces;
- Foram colocadas guias de madeira de 2 metros de comprimento na frente e no fundo dos protótipos para fixar a distância da câmera infravermelha ao alvo (parede). Essa distância é devido à resolução da câmera infravermelha, pois a mesma permite a visualização no termovisor da área da parede onde ocorre o fenômeno de umidade;
- A tábua vertical onde está posicionada a câmera infravermelha tem a função de manter a mesma altura das imagens. A altura de 31 cm permite uma boa visualização da base do protótipo, sem que seja necessário inclinar a câmera para verificar o fenômeno de umidade;

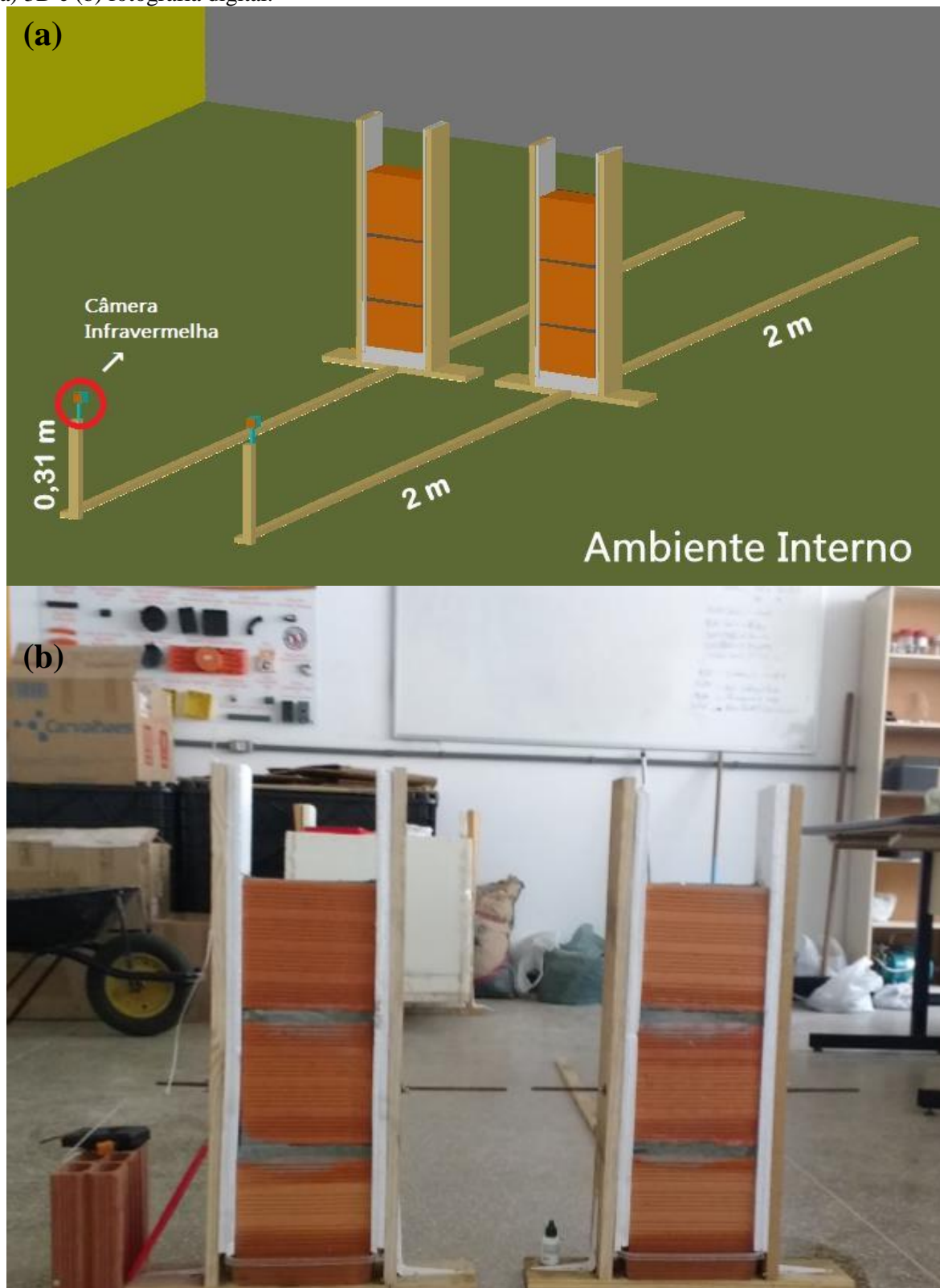
- Por fim, foram colocados termopares em um dos protótipos, de cada ambiente, para aferir as temperaturas do ar e da superfície da parede.

Figura 21 - Distribuição dos equipamentos, objetos e protótipos no ambiente interno - Vista Frontal: (a) 3D e (b) fotografia digital.



Fonte: Autor

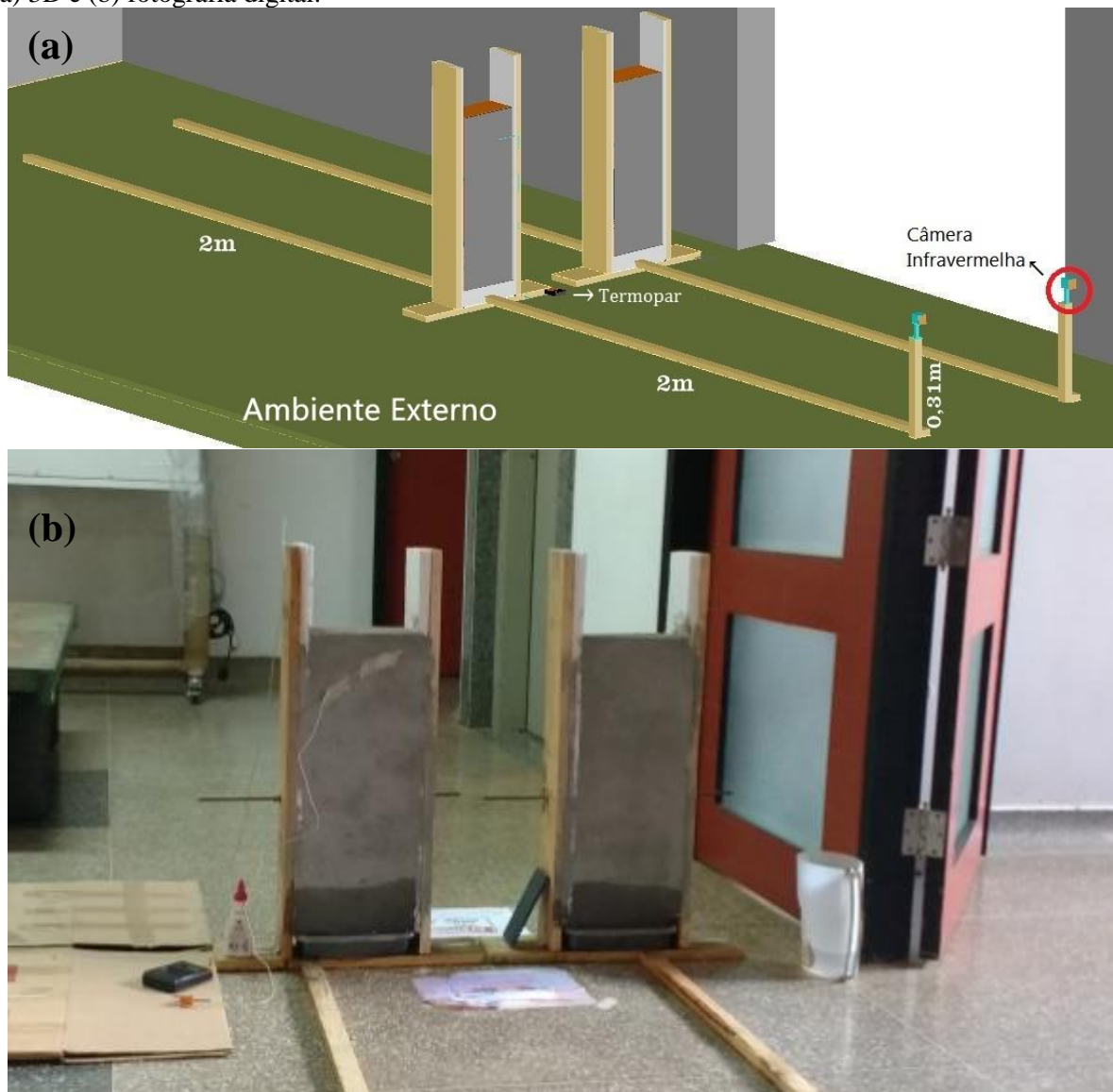
Figura 22 – Distribuição dos equipamentos, objetos e protótipos no ambiente interno - Vista Traseira: (a) 3D e (b) fotografia digital.



Fonte: Autor.

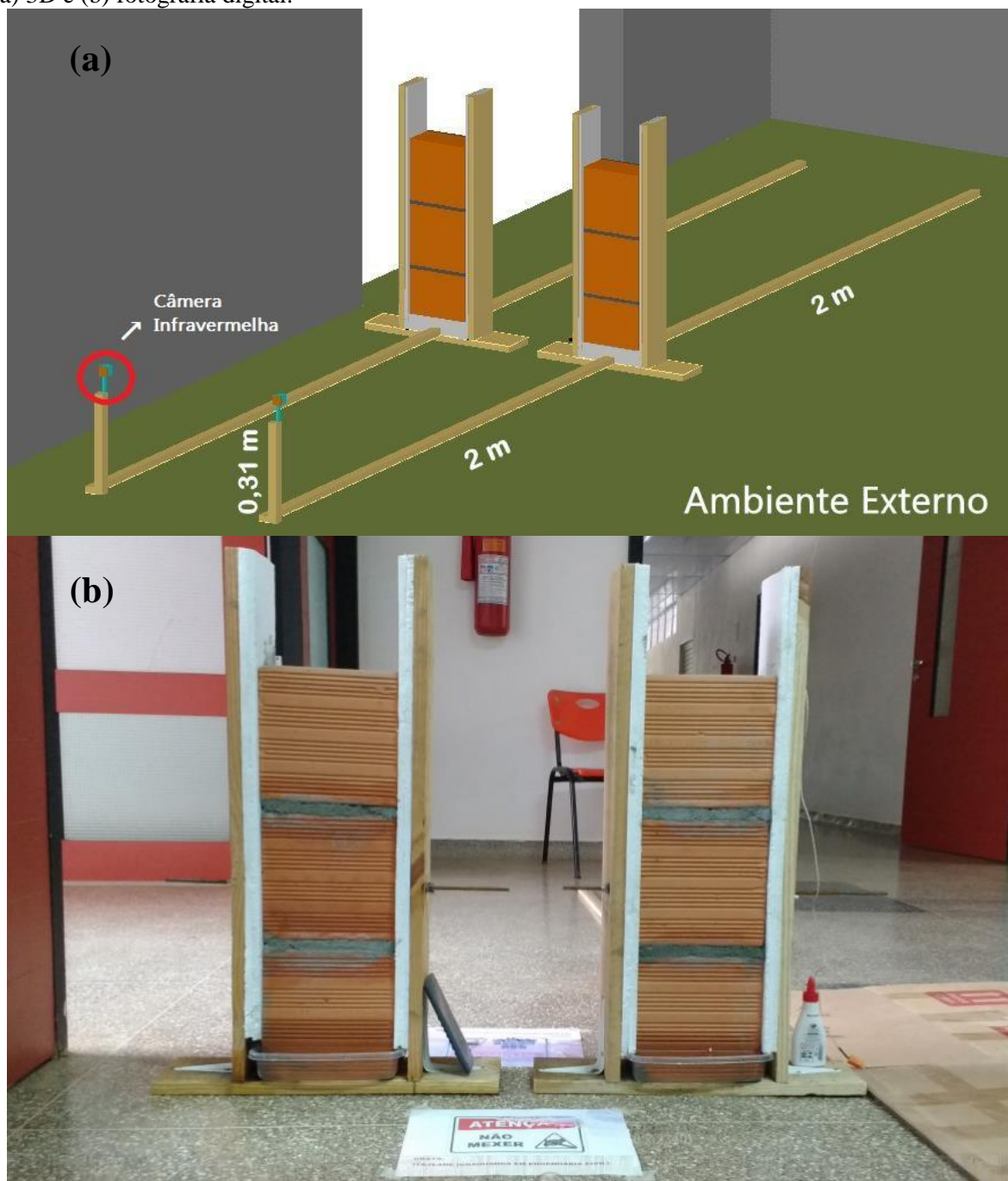
O local denominado Ambiente Externo é um dos corredores de acesso aos laboratórios de Ciências Exatas da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB. O ambiente é coberto e protegido das intempéries, no entanto está sujeito às variações de temperatura. A distribuição dos equipamentos, objetos e protótipos no espaço (Figuras 23 e 24) foi feita de forma similar ao Ambiente Interno.

Figura 23 - Distribuição dos equipamentos, objetos e protótipos no ambiente externo - Vista Frontal: (a) 3D e (b) fotografia digital.



Fonte: Autor.

Figura 24 – Distribuição dos equipamentos, objetos e protótipos no ambiente externo - Vista Traseira: (a) 3D e (b) fotografia digital.



Fonte: Autor.

No posicionamento dos protótipos, em ambos os ambientes, foi tomado o cuidado de escolher um local livre e distante de objetos que pudessem provocar reflexos indesejados nas imagens térmicas.

As temperaturas mínimas e máximas nos dias em que foram realizados os experimentos são apresentadas na Tabela 7. Observou-se uma oscilação na faixa de 9° C a 10° C, que denota que nos dias do experimento houve uma variação significativa das temperaturas ambiente.

Tabela 7 – Temperaturas mínimas e máximas

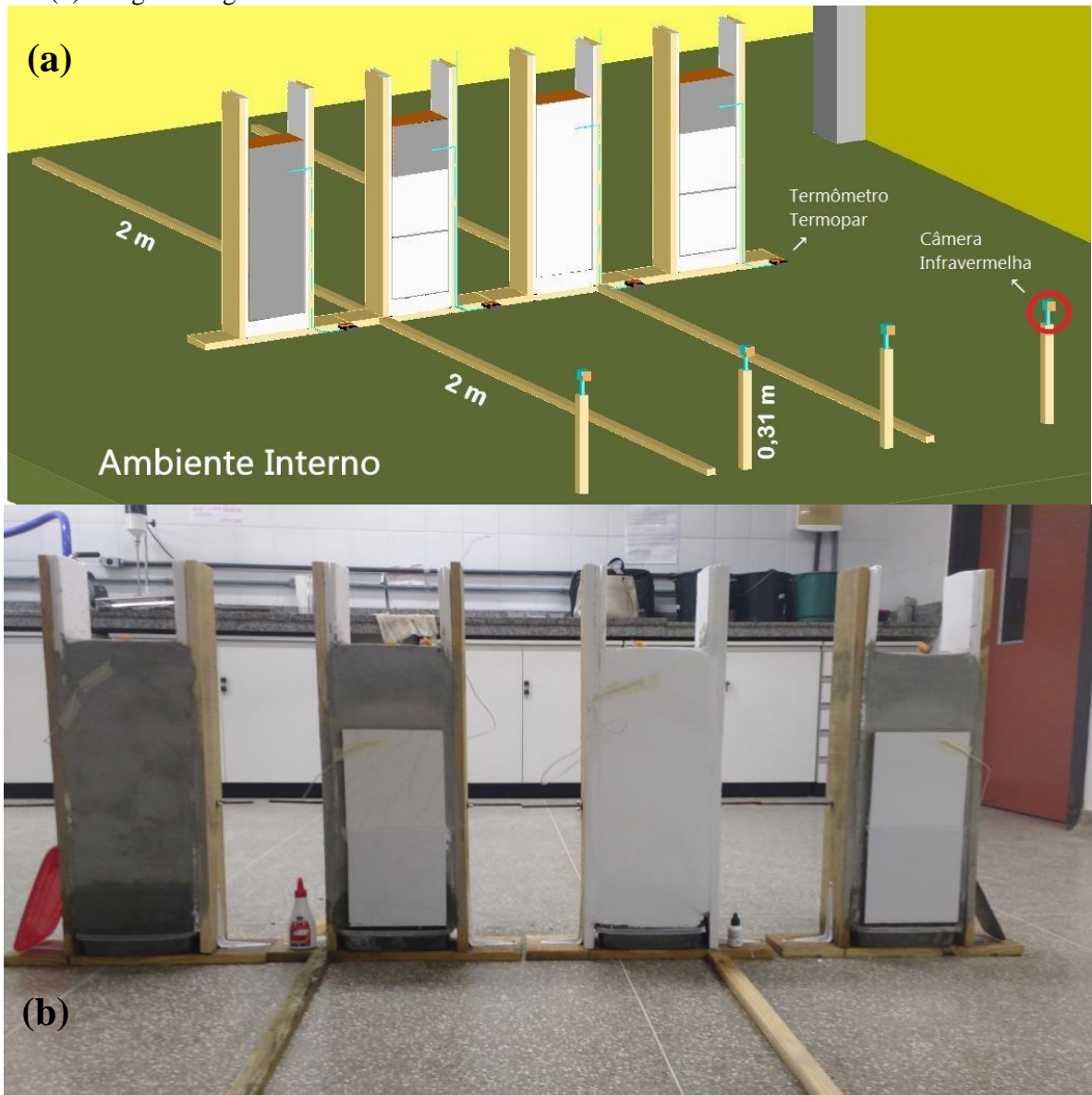
Data	27/01/2018	28/01/2018
Temperatura mínima (°C)	19	19
Temperatura máxima (°C)	28	29
ΔT (°C)	9	10

Fonte: <<https://www.accuweather.com/pt/br/barreiras>>.
Acessado em 23/02/2018.

3.4.2 Experimento 2

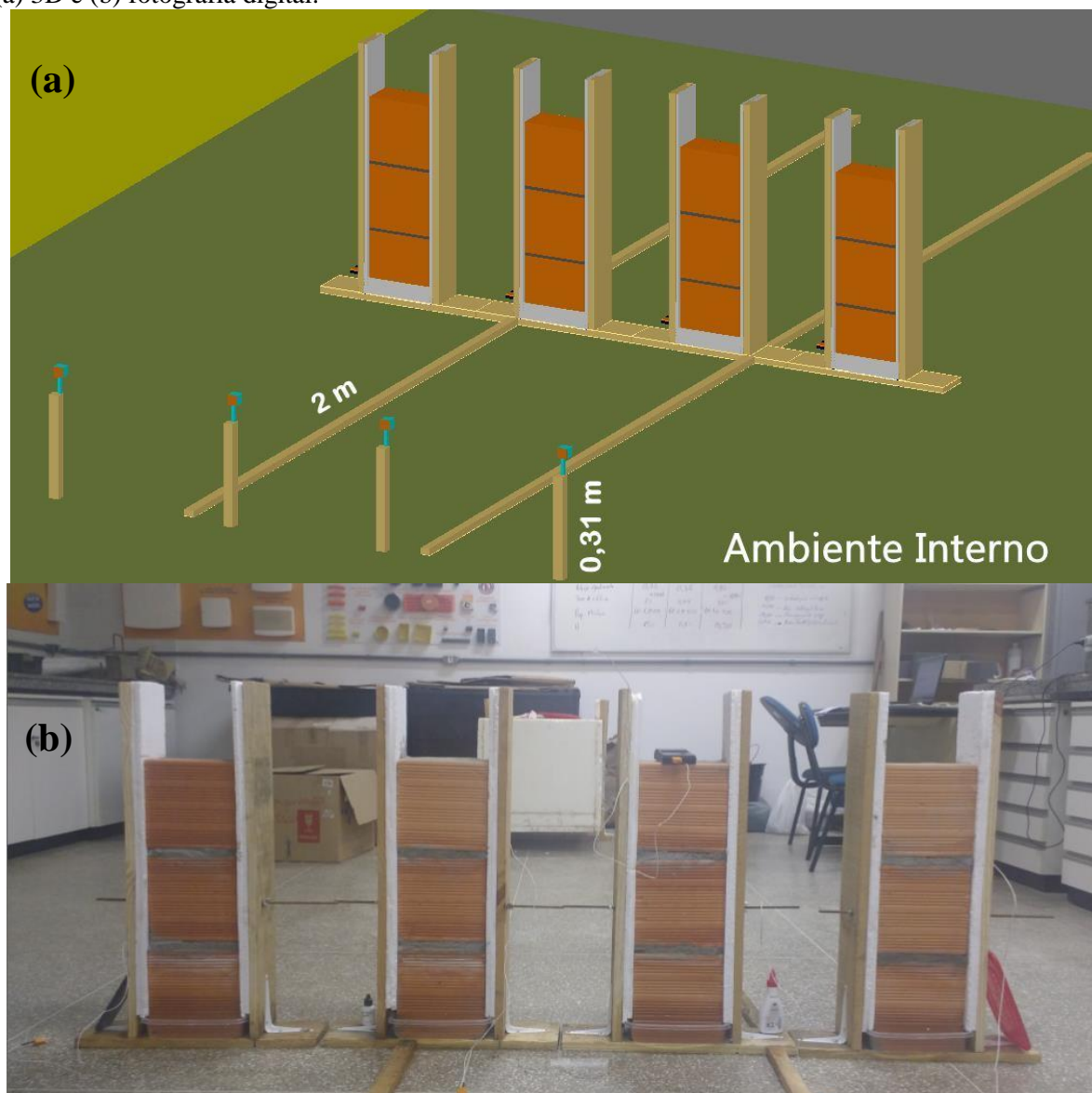
O experimento 2 foi realizado em um ambiente interno com a temperatura controlada à 22° C. O local denominado Ambiente Interno foi o laboratório de Materiais de Construção da Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB. As Figuras 25 e 26 apresentam a distribuição dos protótipos (P02 – a, b, c e d), objetos equipamentos no espaço, que foi feito de forma similar ao experimento 01, com a diferença de que no experimento 02 são posicionados 4 protótipos do tipo 02.

Figura 25 – Disposição dos equipamentos, objetos e protótipos no ambiente interno - Vista Frontal: (a) 3D e (b) fotografia digital.



Fonte: Autor.

Figura 26 – Disposição dos equipamentos, objetos e protótipos no ambiente interno - Vista Traseira: (a) 3D e (b) fotografia digital.



Fonte: Autor.

3.5 Coleta e processamento de dados

Para a coleta de dados foram utilizados os equipamentos citados no item 3.3.

Nos experimentos 1 e 2 foram coletadas imagens térmicas das duas faces do protótipo (com revestimento e sem revestimento), utilizando uma câmera infravermelha modelo FLIR

i3 (Figura 27), no período de 12h (das 7h às 19h), em intervalos de 30 min nas duas primeiras horas e a cada 1 hora nas horas seguintes.

A distância de medição para as duas faces foi sempre constante e igual a 2 m, obedecendo às medidas estabelecidas no manual do equipamento, a fim de evitar ou minimizar as incertezas no processo de coleta de dados para a termografia.

No experimento 1 foram afixados dois termopares em um protótipo dos 2 protótipos, para cada condição (ambiente interno e ambiente externo), sendo um na superfície do revestimento da parede e o outro em contato com o ar para mensuração dessas temperaturas, sendo essas temperaturas registradas a cada 1h. Além disso, com o auxílio de uma régua, foi mensurada a altura da umidade visível nas duas faces da parede, utilizando uma régua de 30 cm. As medições foram realizadas a cada 1 hora, sendo mensuradas em cada protótipo duas alturas (a maior e a menor), e considerada a média das duas alturas como a altura da umidade.

Similar ao experimento 1, no experimento 2 foram afixados dois termopares em cada protótipo, sendo um na superfície do revestimento da parede e o outro em contato com o ar, para a mensuração dessas temperaturas. A coleta desses dados foi feita a cada 1h, no período de 12h, das 07h às 19h.

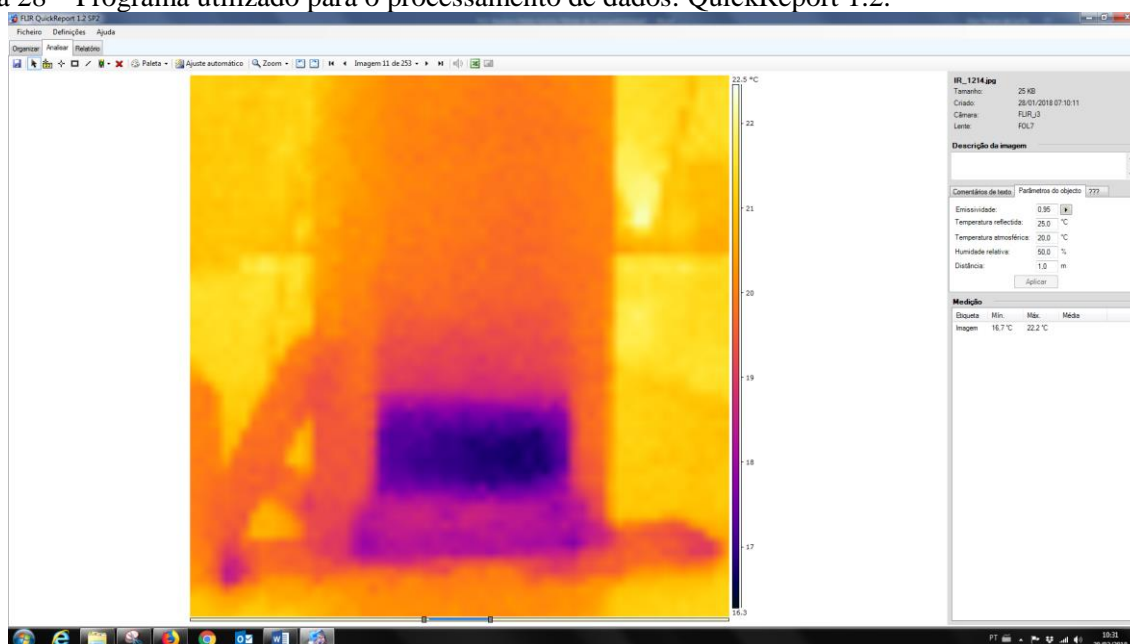
Figura 27 – Coleta de dados com a câmera infravermelha.



Fonte: Autor.

O software utilizado para o processamento de dados foi o FLIR QuickReport 1.2 (Figura 28), versão gratuita da empresa FLIR, fabricante do termovisor utilizado nesta pesquisa, para obter as temperaturas superficiais das mini paredes pelos termogramas e realizar a devida análise. Esperou-se, com isso, detectar e mensurar a umidade nos protótipos, relacionando-os com o fluxo de calor que varia conforme as condições de exposição e tipo de revestimento.

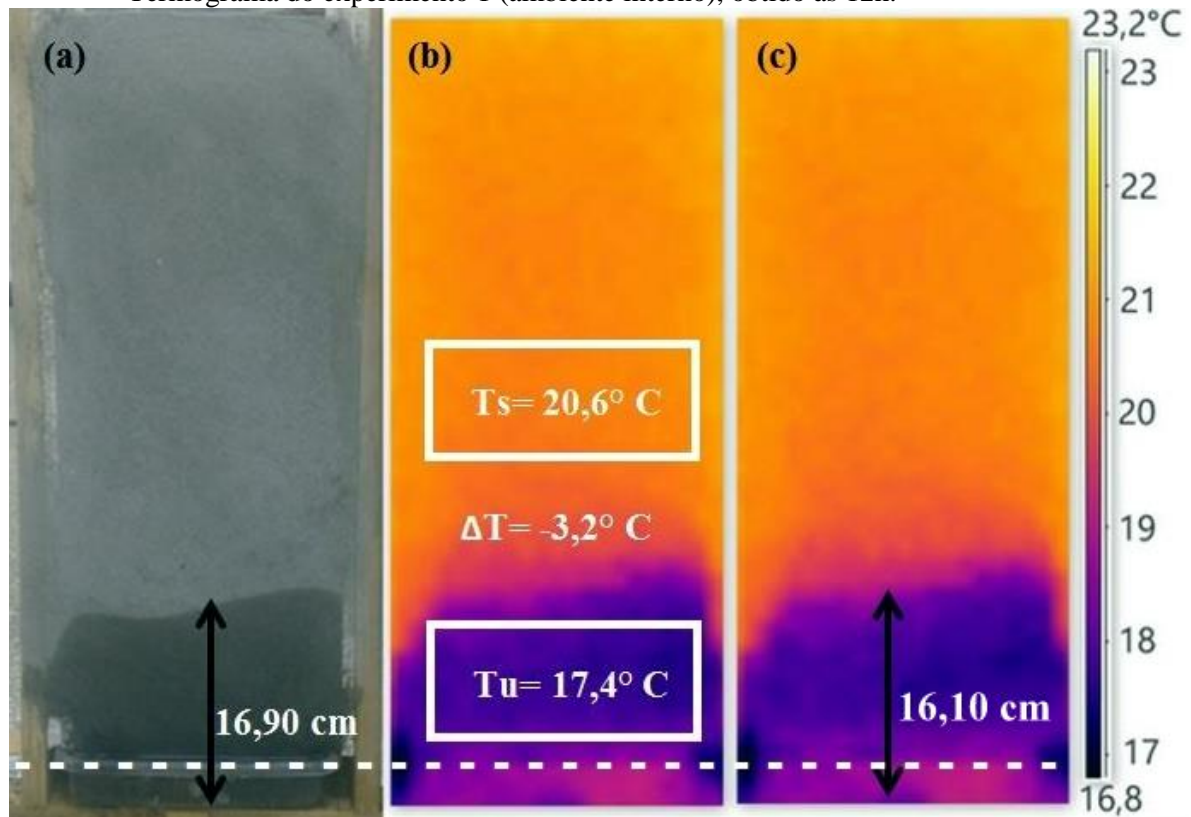
Figura 28 – Programa utilizado para o processamento de dados: QuickReport 1.2.



Fonte: Autor.

Com o processamento das imagens térmicas, pretende-se determinar o ΔT , que é o gradiente de temperaturas entre as regiões com defeitos e sem defeitos. Para a determinação do ΔT foram selecionadas áreas no termograma para obter os valores médios de temperatura que serão utilizados no cálculo, conforme apresentado na Figura 29. Esse procedimento foi realizado para as duas variáveis analisadas: condições climáticas (ambiente interno e externo) e para os 4 tipos de revestimento no ambiente interno.

Figura 29 – Processamento de Dados. (a) Mensuração da altura. (b) Determinação do ΔT . (c) Determinação da altura da umidade por meio da termografia infravermelha. Obs.: Termograma do experimento 1 (ambiente interno), obtido às 12h.



Fonte: Autor.

A área correspondente ao recipiente plástico, que pode ser observada na Figura 29 como a região abaixo da linha tracejada, tem temperatura diferente da superfície do objeto observado. Isso se deve a presença do recipiente plástico, que tem emissividade diferente da superfície da parede. Dessa forma, para a determinação do ΔT foi considerada a temperatura da temperatura da região acima da linha tracejada.

De acordo com as informações do fabricante, 1 IFOV equivale a 3,5 mrad, o que significa que a 1 m de distância, 1 pixel equivale a um quadrado de 3,5 mm x 3,5 mm. Nos experimentos realizados a distância entre o objeto analisado e o equipado foi sempre constante e igual a 2 m, dessa forma, 1 pixel equivale a um quadrado de 7,0 mm x 7,0 mm. Esse parâmetro foi utilizado para o cálculo da altura da umidade nas paredes por meio da termografia de infravermelho (Figura 29-c). Este cálculo fundamenta-se na aplicação das técnicas de representação gráfica descrito por Pavón (2017), que se baseiam na utilização dos valores de temperaturas de linhas, vinculados à posição (x,y) dos pixels. A seguir é

apresentado o passo-a-passo para a determinação da altura da umidade. Para a exemplificação desse método foi utilizado o termograma apresentado na Figura 29.

Roteiro para a determinação da altura da umidade por meio da termografia infravermelha:

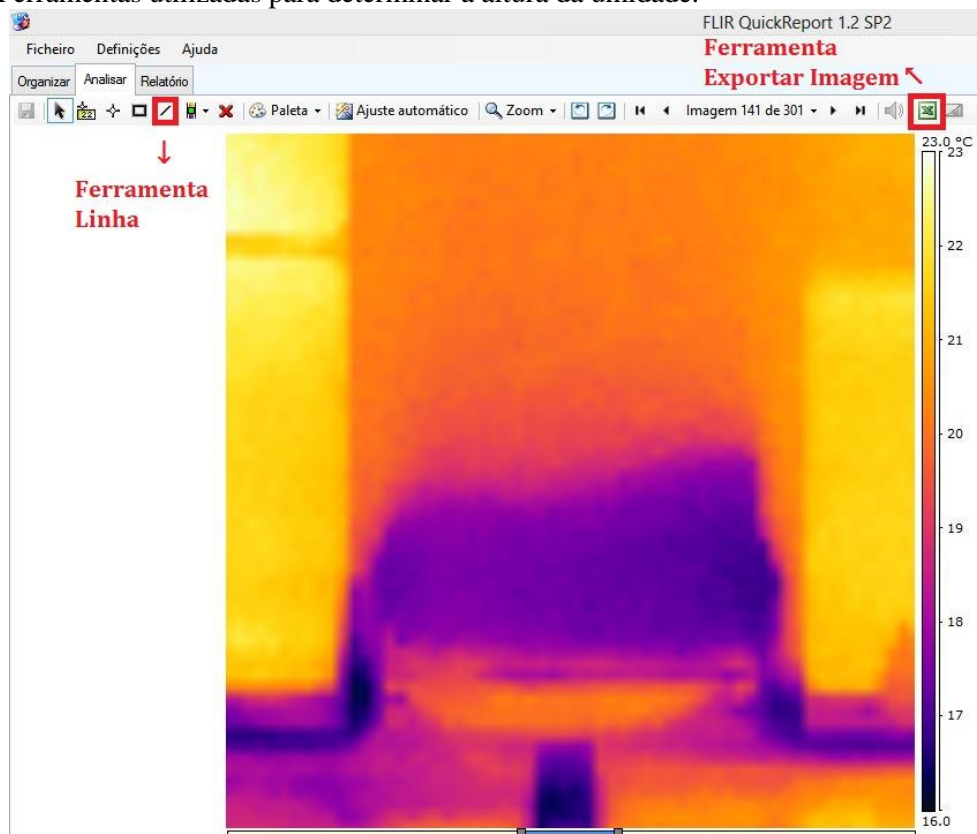
- Selecionar no software QuickReport 1.2, o termograma que será processado;
- Corrigir os parâmetros do objeto: emissividade, temperatura aparente refletida, temperatura atmosférica, umidade relativa e distância da câmera ao objeto, de acordo com a Tabela 5 (Figura 30);
- Selecionar no programa a ferramenta Linha (Figura 31) e desenhar no termograma uma linha no trecho onde se deseja determinar a altura da umidade (Figura 32);
- Selecionar a ferramenta “Exportar Imagem” (Figura 31) e selecionar a opção L1 (Figura 33). Em consequência, o programa irá gerar um arquivo em Excel da temperatura de cada pixel da linha criada (Figura 34);
- Associar valores de pixel crescentes para cada temperatura obtida para a linha, (Figura 35) e gerar o gráfico Temperatura x Altura em pixel;
- Verificar no termograma o valor da temperatura no trecho final da umidade da parede, ou seja, na interseção entre a região com umidade e sem umidade. No termograma o valor limite da temperatura (Figura 36) foi 18,7° C;
- Verificar no gráfico o valor do pixel associado a temperatura. No gráfico, a ordenada correspondente a abscissa 18,7° C é 23 pixels (Figura 37);
- Como cada pixel equivale a um quadrado de 7 mm x 7 mm à 2 m de distância, tem-se que a altura final da umidade correspondente a 18,7° C, que está associada a ordenada de 23 pixels é $23 \cdot 7 = 161$ mm, conforme apresentado na Figura 29 e no gráfico da Figura 37.

Figura 30 – Parâmetros do objeto inseridos no programa.

Comentários de texto	Parâmetros do objecto	???
Emissividade:	0,95	▶
Temperatura reflectida:	25,0	°C
Temperatura atmosférica:	22,0	°C
Humidade relativa:	50,0	%
Distância:	2,0	m
<input type="button" value="Aplicar"/>		

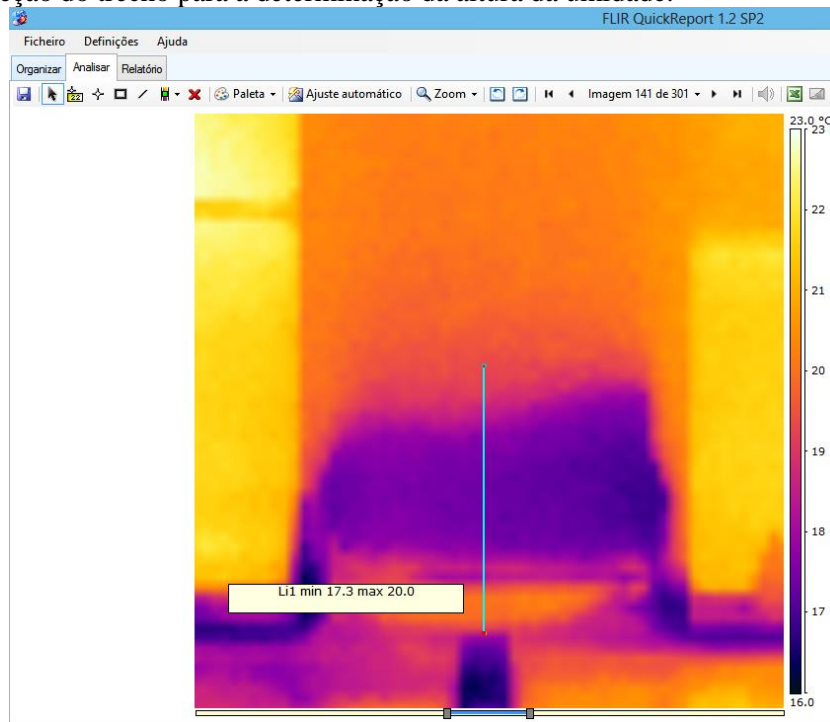
Fonte: Autor.

Figura 31 – Ferramentas utilizadas para determinar a altura da umidade.



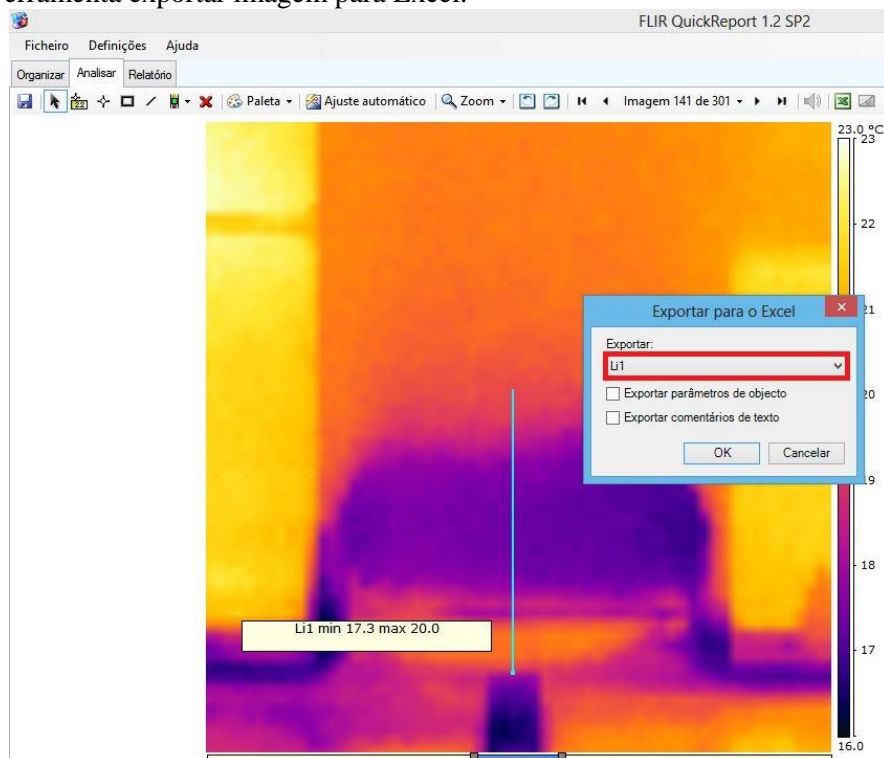
Fonte: Autor.

Figura 32 – Seleção do trecho para a determinação da altura da umidade.



Fonte: Autor.

Figura 33 – Ferramenta exportar imagem para Excel.



Fonte: Autor.

Figura 34 – Dados exportados para o Excel referente a temperatura de cada pixel.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	17,88	19,31	19,89	19,98	20	19,34	18,15	18,53	17,95	17,7	17,46	17,36	17,32	17,32
2	* Temperatura de cada pixel do trecho selecionado													
3														

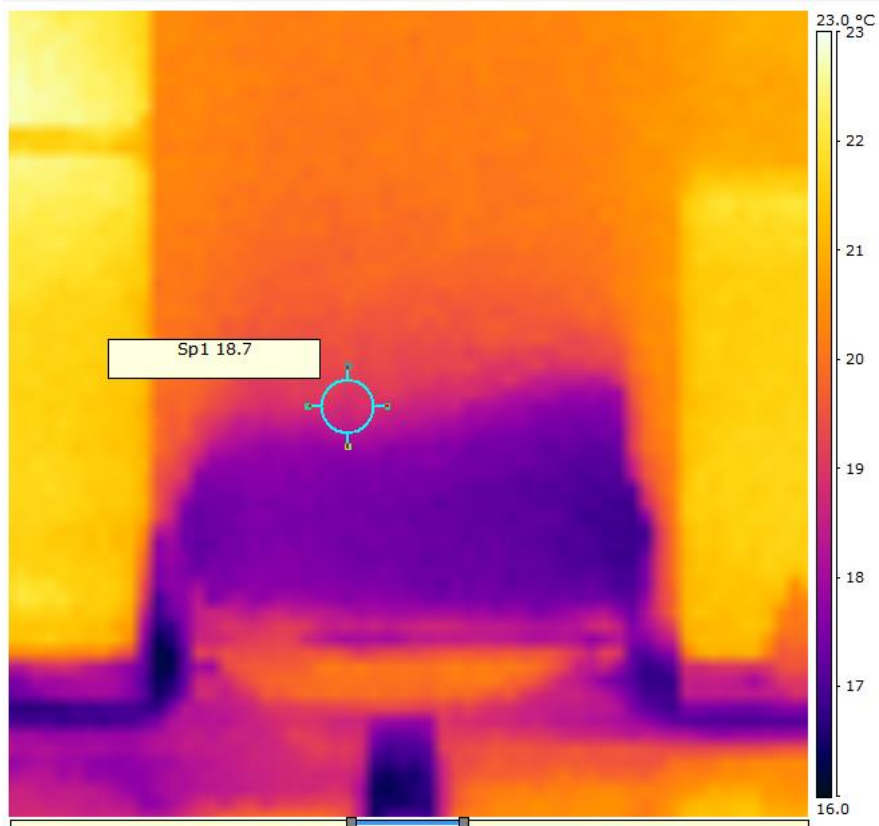
Fonte: Autor.

Figura 35 – Para o valor de temperatura do pixel é associado um valor de pixel crescente.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	17,88	19,31	19,89	19,98	20	19,34	18,15	18,53	17,95	17,7	17,46	17,36	17,32	17,32
2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12

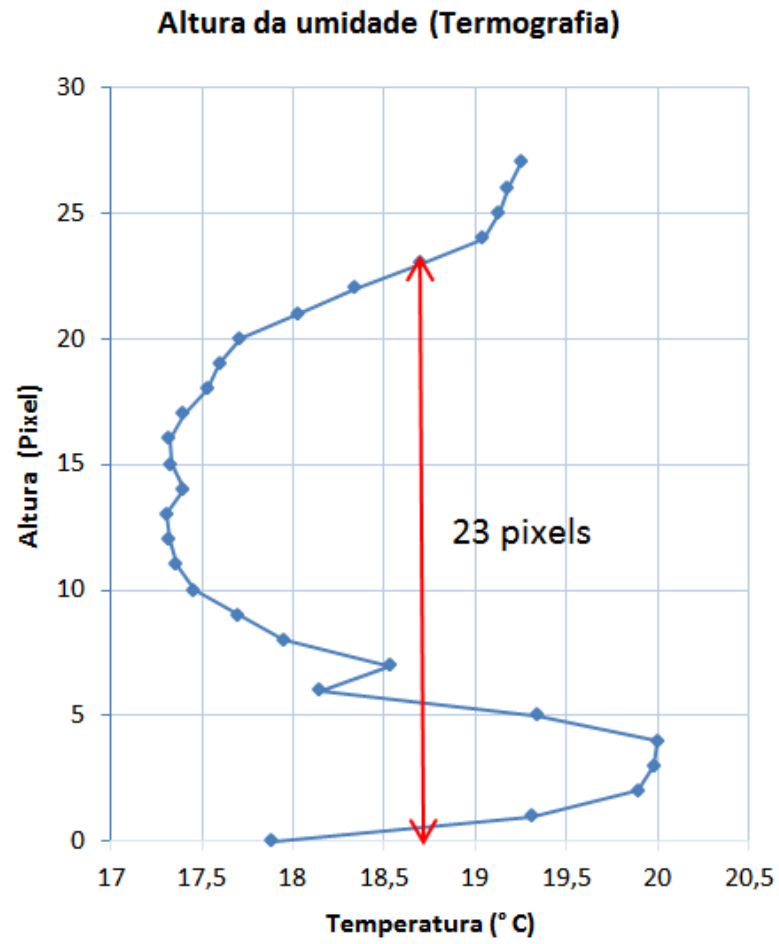
Fonte: Autor.

Figura 36 – Valor da temperatura referente ao limite do trecho com umidade.



Fonte: Autor.

Figura 37 – Gráfico da Temperatura versus altura.



Fonte: Autor.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados dos estudos experimentais realizados, no qual se pretende: verificar o potencial da termografia de infravermelho na detecção de umidade ascensional em paredes de alvenaria; determinar a influência das condições climáticas no estudo da umidade ascensional com a termografia de infravermelho em paredes de alvenaria com revestimento argamassado; e avaliar a influência do tipo de revestimento na detecção da umidade ascensional com a termografia de infravermelho.

4.1 Experimento 01

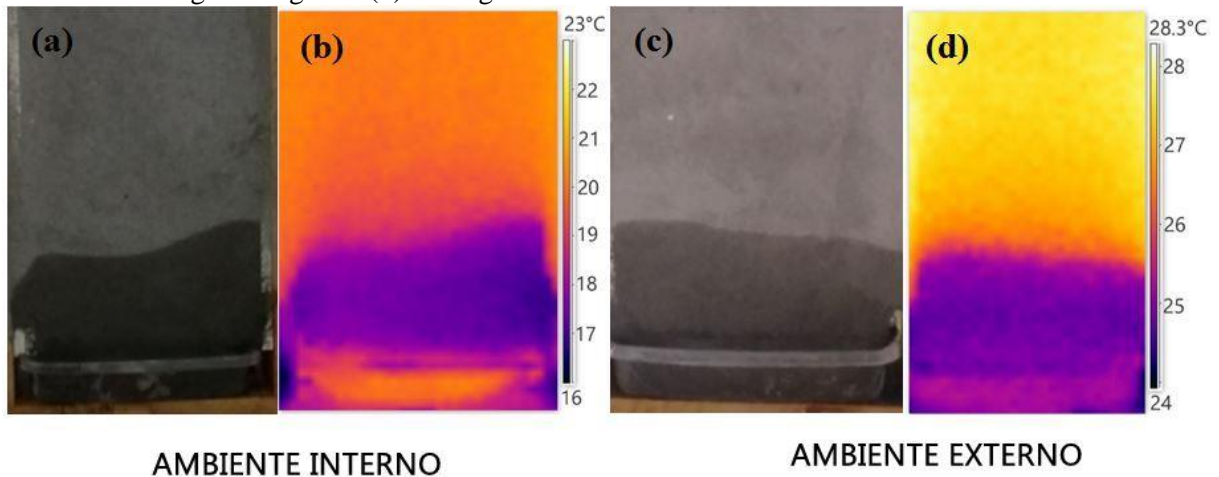
Os resultados obtidos no experimento 01 foram analisados qualitativamente para verificar a detecção da umidade ascensional utilizando a termografia de infravermelho. E, quantitativamente, por meio do processamento das imagens térmicas (cálculo do ΔT), para justificar numericamente a presença de umidade nas paredes de alvenaria. Das informações coletadas, conforme explanado na metodologia (item 3.5), foram utilizadas para esta pesquisa os dados do experimento das faces revestidas com argamassa, de forma a acompanhar a evolução e estabilização do fenômeno de capilaridade por meio da termografia de infravermelho. Trabalhou-se com o intervalo de 12h, das 7h às 19h, sugerindo-se inspeções durante o dia, que foi a tendência observada nos estudos de avaliação da umidade com a termografia infravermelha (item 2.8).

Os resultados serão expostos da seguinte forma para as duas condições analisadas (ambiente com temperatura controlada e variável): análise qualitativa, análise quantitativa (ΔT), influência das condições climáticas, comparativo entre a altura da umidade visível e a umidade obtida por meio da termografia de infravermelho.

No experimento foram coletadas imagens térmicas com auxílio da termografia de infravermelho, da face com revestimento argamassado dos protótipos construídos, no qual foi observado o fenômeno de absorção por capilaridade das paredes de alvenaria, estando dois protótipos (CP01 e CP02) em um ambiente interno condicionado à 22° C e dois protótipos (CP03 e CP04) em um ambiente externo sujeito às variações climáticas. Após 1h de experimento, foi visível a presença de umidade em todos os termogramas obtidos, conforme

exemplificado na Figura 38, onde são apresentados os termogramas e fotografias digitais obtidos para o CP01 e o CP03, às 12h.

Figura 38 – CP01: (a) fotografia digital e (b) termograma do ambiente interno às 12h. CP03: (c) fotografia digital e (d) termograma do ambiente externo às 12h.



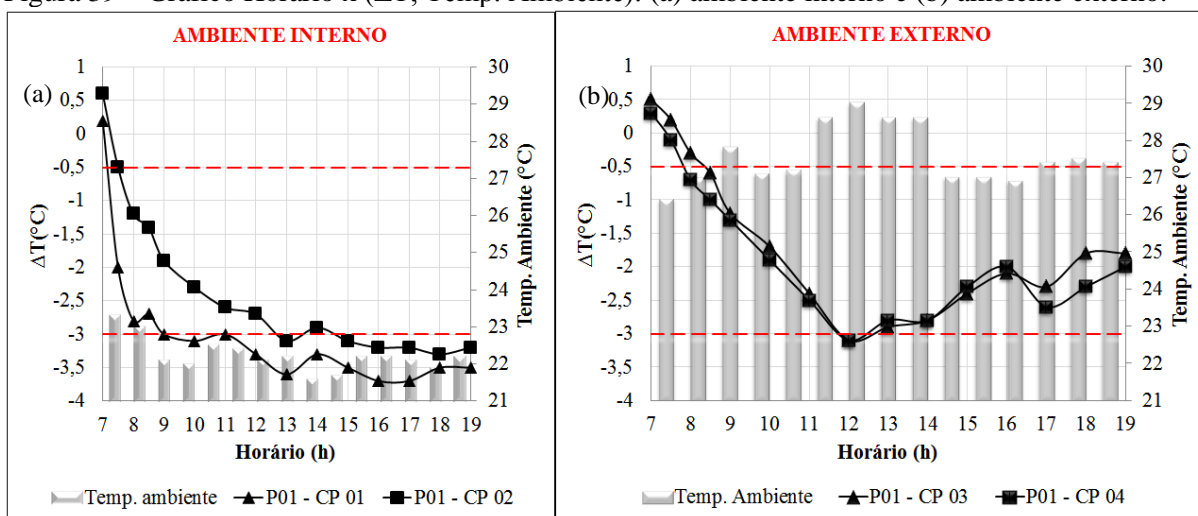
Fonte: Autor.

A umidade é observada tanto na inspeção visual (Figuras 38-a e 38-c), quanto nos termogramas (Figuras 38-b e 38-d). Dessa forma, verifica-se que com auxílio da termografia pode-se detectar a umidade em paredes de alvenaria, nas duas condições do experimento 1 (interno e externo).

Com base nos resultados obtidos na termografia, foi realizado o processamento de dados no programa QuickReport 1.2 e obtidas as temperaturas das áreas úmidas e secas das paredes, para o cálculo do ΔT (Temperatura úmida – Temperatura seca). Além disso, foi mensurada a temperatura ambiente das condições locais ao longo do experimento. Por fim, foi gerado o gráfico “Horário x (ΔT ; Temp. Ambiente)”, para os ambientes interno e externo, que está apresentado na Figura 39.

Na Figura 39, os gráficos de linhas referem-se ao eixo vertical principal (ΔT), e os gráficos de barras referem-se ao eixo vertical secundário (temperatura ambiente).

Figura 39 – Gráfico Horário x (ΔT ; Temp. Ambiente): (a) ambiente interno e (b) ambiente externo.



Fonte: Autor (Dados no Apêndice A).

Com base nos resultados obtidos (Figura 39), foi verificado que o estudo termográfico é uma técnica adequada para a detecção de umidade ascensional em paredes de alvenaria, haja vista que após a estabilização da umidade (às 16 h), obteve-se ΔT (em módulo) na faixa de $3,2^{\circ}\text{C}$ a $3,7^{\circ}\text{C}$ no ambiente interno e na faixa de $1,8^{\circ}\text{C}$ a $2,6^{\circ}\text{C}$ no ambiente externo. De acordo com Pavón (2017), na avaliação de defeitos com a termografia, valores de ΔT (em módulo) entre $0,5^{\circ}\text{C}$ e 3°C justifica a presença de anomalias, tal qual pode ser observado no gráfico da Figura 39-b, para o ambiente externo. Ainda segundo Pavón (2017), valores de ΔT (em módulo) acima de 3°C confirma a presença de anomalias, tal qual pode ser observado no gráfico da Figura 39-a, para o ambiente interno.

Na Figura 39-a, observa-se que o comportamento dos dois corpos-de-prova (CPs) é semelhante. A diferença entre os mesmos se deve ao posicionamento dos CPs no local do experimento em relação ao ar-condicionado. Como o CP01 estava mais próximo do ar-condicionado, as regiões úmidas resfriaram-se mais rapidamente e, portanto, obtiveram-se inicialmente valores de ΔT (em módulo) maiores que o CP02. Mas com o passar do tempo, o protótipo entra em equilíbrio térmico com o ambiente e o ΔT se estabiliza, obtendo-se valores de $3,5^{\circ}\text{C}$ para o CP01 e $3,2^{\circ}\text{C}$ para o CP02, às 19h. Os resultados obtidos para o ambiente interno sugerem que essa técnica pode ser aplicada a qualquer hora do dia, uma vez que o fenômeno estabiliza no ambiente interno.

Na Figura 39-b, observa-se que o comportamento dos dois CPs é equivalente, tendo em alguns trechos as curvas coincidentes. Constatou-se que mesmo em um ambiente com variações na temperatura ambiente, os valores de ΔT indicam a existência de anomalias, conforme os estudos de Pavón (2017). Os resultados obtidos sugerem que essa técnica pode ser aplicada também em ambientes com variações climáticas. Nas condições do experimento, os melhores horários para a aplicação dessa técnica foi das 11h às 14h, onde foram observadas as maiores temperaturas do dia. Comparando o gráfico de linhas com o de barras, observa-se a tendência de maiores valores de ΔT para valores crescentes da temperatura ambiente, nos quais a presença de umidade no termograma é mais visível.

Verificam-se nos gráficos da Figura 39, valores positivos de ΔT nos primeiros 30 minutos de experimento. Isso se deve ao fato da água estar numa temperatura maior do que a da parede (aproximadamente 23,5° C). Como a água possui uma capacidade térmica maior do que a alvenaria, resfria e aquece mais lentamente, nas imagens térmicas percebe-se que a região do recipiente nas primeiras horas fica com temperatura maior do que a temperatura das regiões secas.

Durante a realização do experimento, choveu das 13h50 às 15h, dessa forma, houve uma queda da temperatura ambiente, que pode ser observada no gráfico da Figura 39-b. Apesar dessa mudança nas condições climática, nota-se que os valores de ΔT ainda são expressivos, indicando a existência de umidade na parede.

O objetivo específico do experimento 01 foi analisar o comportamento das condições climáticas na avaliação termográfica de umidade em paredes de alvenaria com revestimento argamassado. Foi verificado que independente da interferência das condições climáticas, ainda assim os valores de ΔT são expressivos e indicam que essa técnica pode também ser aplicada em ambientes sujeito à variações de temperatura.

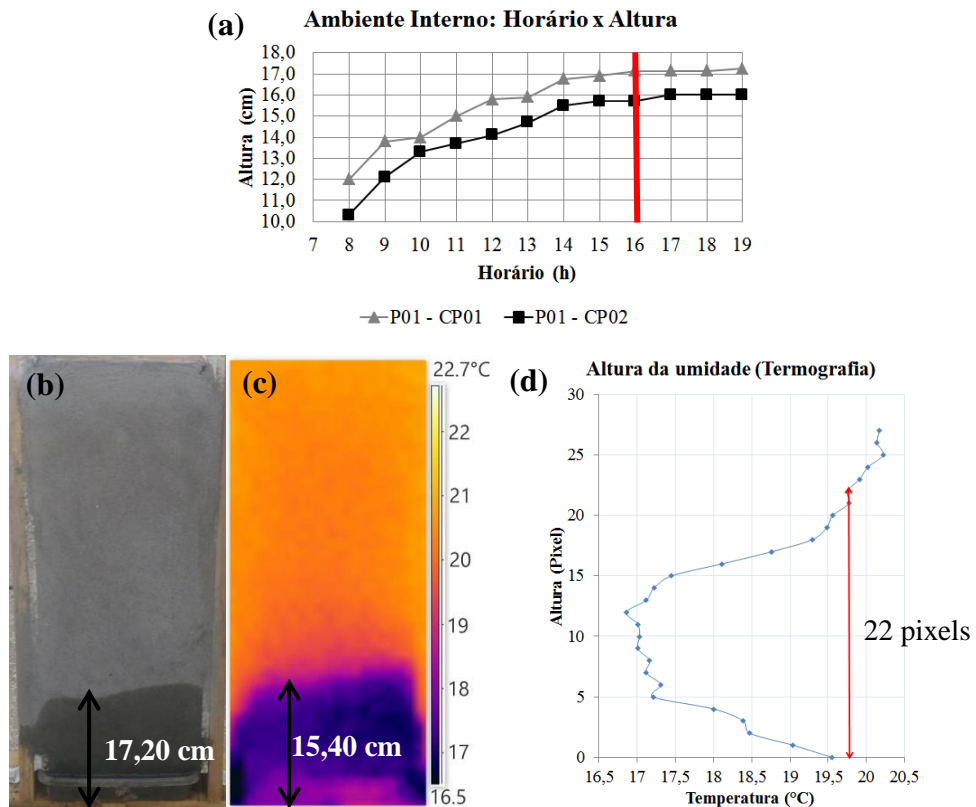
No experimento foi mensurada a altura da umidade visível da face do protótipo com revestimento argamassado. As Figuras 40-a e 41-a apresentam os resultados obtidos no gráfico “Horário x Altura” para o ambiente interno e externo, respectivamente.

Conforme Pavón (2017), através da termografia também é possível se chegar aos valores da altura da umidade nas paredes. Dessa forma, foi selecionado um horário em que o fenômeno de capilaridade já estava estável (16h) e aplicadas as técnicas de representação gráfica descritas por Pavón (2017), para o cálculo da altura da umidade. Após a conversão de

pixel para centímetro, foi verificado que os valores medidos (Figuras 40-b e 41-b) são próximos aos obtidos por meio da termografia (Figuras 40-c, 40d, 41-c e 41-d), com diferença de 10,47% e 11,33% para os ambientes interno e externo, respectivamente. Portanto, foi verificado que a termografia pode auxiliar na mensuração da altura da umidade em paredes de alvenaria.

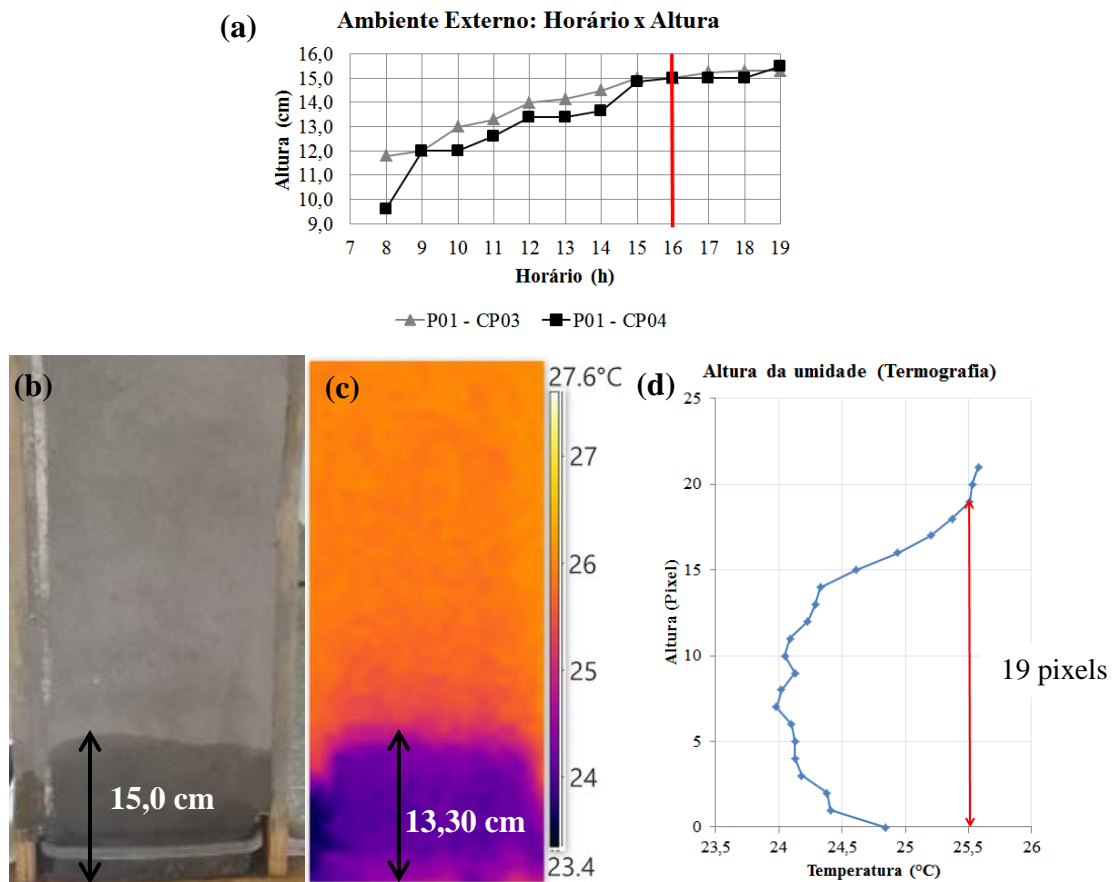
Verifica-se nos gráficos 40-a e 41-a que nas duas condições (interno e externo), o fenômeno de absorção de água por capilaridade entrou em equilíbrio às 16h, demarcado com uma reta nos gráficos das figuras 40-a e 41-a. A altura da umidade visível no ambiente interno ficou entre 16 cm e 17,3 cm e no ambiente externo entre 15,3 cm e 15,5 cm. Conforme os ensaios de capilaridade realizados na argamassa (item 3.2), já se esperava que a umidade tivesse uma altura considerável, pois os CPs com cura ambiente tiveram coeficiente de capilaridade média igual a $14,65 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$.

Figura 40 – (a) Gráfico Horário x Altura da umidade do ambiente interno; (b) Imagem visível da parede às 16h; (c) Termograma da parede às 16h; (d) Gráfico da Temperatura x Altura da umidade com recurso à termografia.



Fonte: Autor (Dados no Apêndice A).

Figura 41 - (a) Gráfico Horário versus Altura da umidade do ambiente interno; (b) Imagem visível da parede às 16h; (c) Imagem térmica da parede às 16h; (d) Gráfico da Temperatura versus Altura da umidade com recurso à termografia.



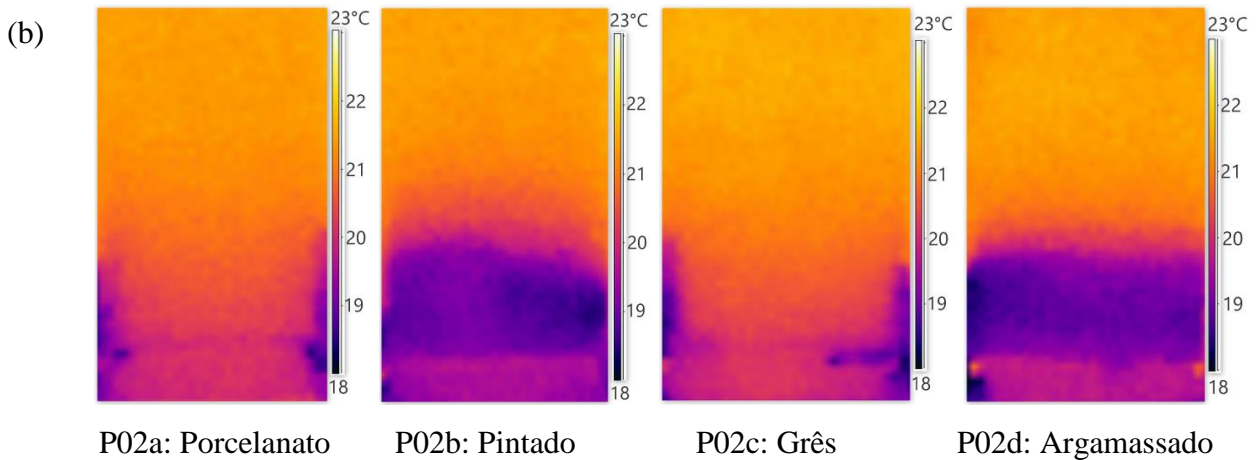
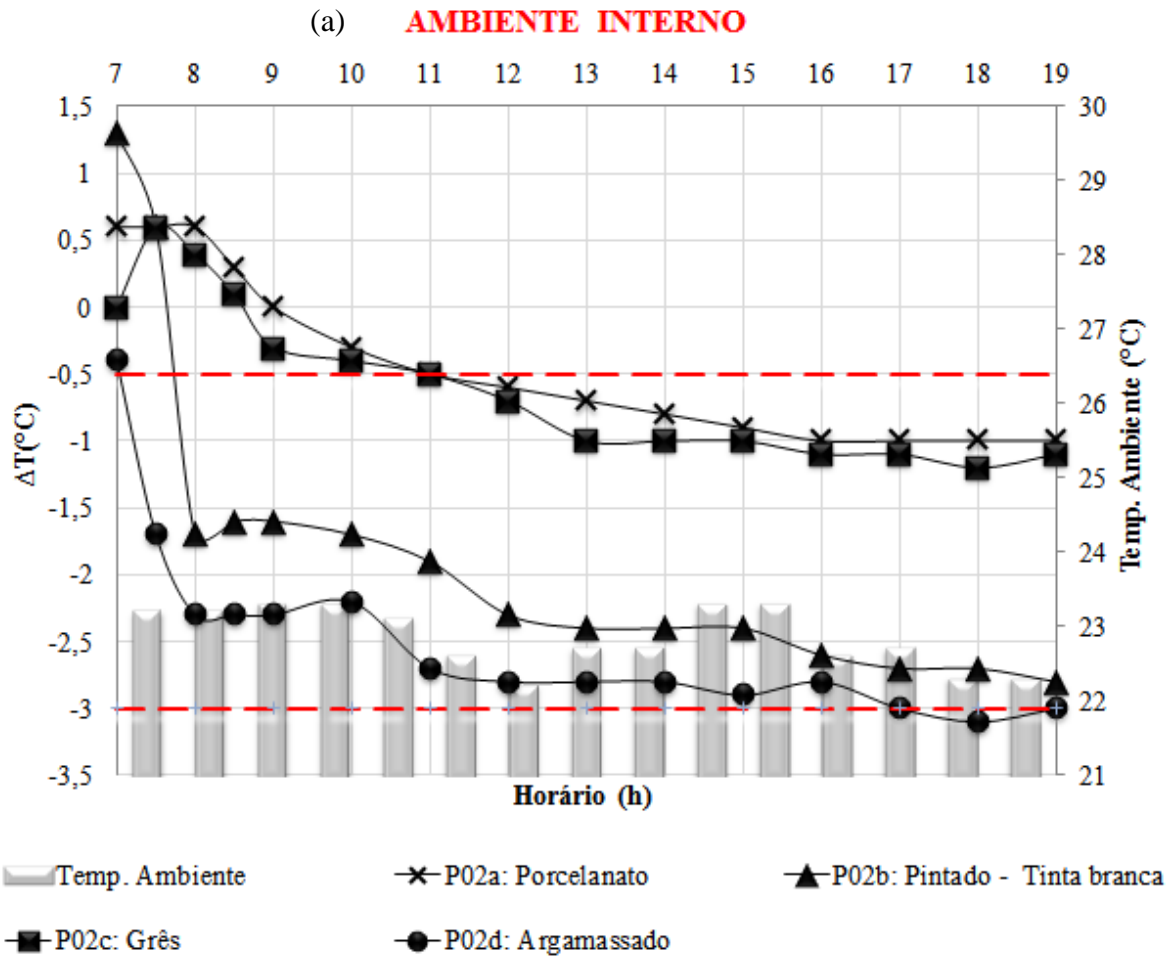
Fonte: Autor (Dados no Apêndice A).

4.2 Experimento 02

No experimento 02 foram processadas imagens térmicas das primeiras 12h do experimento (das 7h às 19h), da face revestida dos Protótipos 02, sendo: P02-a (porcelanato), P02-b (pintura na cor branca), P02-c (grês) e P02-d (argamassada), no qual foi observado o fenômeno de absorção por capilaridade da parede de alvenaria, estando os protótipos em um ambiente interno condicionado à 22° C. Além disso, foi mensurada a temperatura ambiente ao longo do experimento. Com base nos resultados obtidos na câmera infravermelha, foi realizado o processamento de dados no programa QuickReport e, obtidas as temperaturas da área úmida e da área seca, para o cálculo do ΔT dos termogramas correspondentes a 12h de

experimento dos quatro tipos de revestimentos. Por fim, foi gerado o gráfico “Horário x (ΔT ; Temp. Ambiente)”, que está apresentado na Figura 42-a.

Figura 42 – (a) Gráfico Horário x (ΔT ; Temp. Ambiente). (b) Termogramas dos protótipos às 19h.



Fonte: Autor (Dados no Apêndice A).

Dos quatros tipos de revestimentos analisados, a umidade só foi observada visualmente no revestimento argamassado. Nos revestimentos cerâmicos (grês e porcelanato) e argamassado com pintura branca, a olho nu, não foi possível detectar a umidade. Com a termografia de infravermelho foi possível detectar a umidade em todos os tipos de revestimento, com maior clareza no revestimento argamassado sem pintura, seguido do revestimento argamassado com pintura branca, grês e porcelanato (Figuras 43 a 46), que demonstra a vantagem de utilização desta técnica.

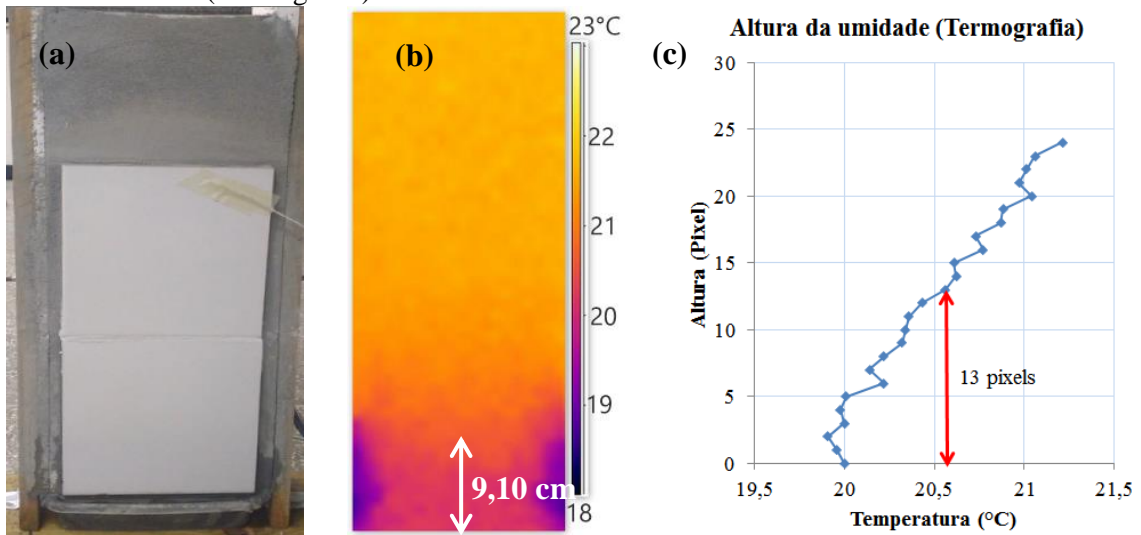
Observa-se no gráfico da Figura 42-a, valores positivos de ΔT durante os primeiros 90 minutos de experimento para as paredes revestidas com grês (P02-c) e porcelanato (P02-a). Isso se deve ao fato da água estar numa temperatura maior do que a da parede (23,5° C), e devido a sua capacidade térmica, resfria e aquece mais lentamente. Além disso, considerando que a maior concentração da umidade está no revestimento argamassado, haja vista que a absorção do grês (0,5% a 3,0%) e porcelanato ($\leq 0,5\%$) é baixa e o tempo de exposição a umidade foi curto (12h), sugere-se que o processo de arrefecimento ocorre mais lentamente, pois não está em contato direto com o ar. Diferente das paredes que tem revestimento argamassado sem pintura (P02-d) e com pintura branca (P02-b), que nos primeiros minutos apresentam ΔT de -0,4 e 0° C, respectivamente, pois a superfície úmida está em contato direto com o ar, logo tende a entrar em equilíbrio mais rápido.

Percebe-se que as curvas referentes ao revestimento em porcelanato (P02a) e em grês (P02c), são semelhantes. Isso se deve ao fato da umidade de ambas ser interna. A pequena diferença entre elas pode ser devido à absorção das placas, que é maior no grês. O ΔT estabilizou em 1° C para o porcelanato e em 1,1° C para o grês, dessa forma, como o valor de ΔT é superior a 0,5, pode-se sugerir a existência de uma anomalia nesse revestimento. O que é interessante, haja vista que visivelmente não se pode notar nas placas cerâmicas a existência de umidade (Figuras 43-a e 45-a). Dessa forma, a termografia infravermelha apresenta-se como uma técnica vantajosa, pois pode detectar problemas de umidade não visível.

Constata-se que as curvas referentes ao revestimento argamassado sem pintura (P02d) e com pintura na cor branca (P02b) são semelhantes. No entanto, na inspeção visual da parede pintada, não foi possível detectar a presença de umidade. Evidenciando que a termografia pode ser aplicada para detectar umidade em paredes pintadas, haja vista que no experimento foi utilizada a cor branca, que absorve menor quantidade de radiação que outras cores.

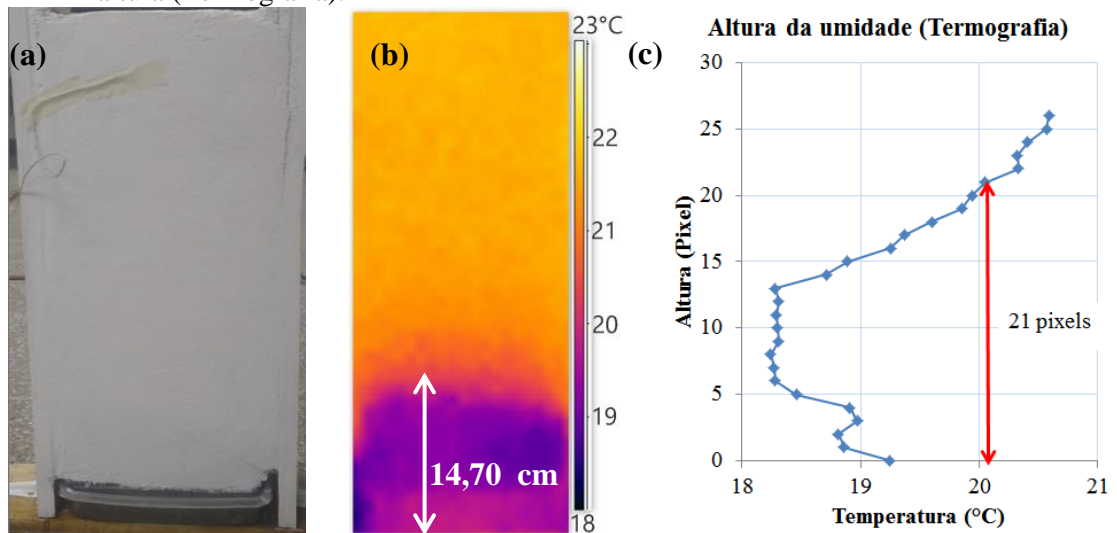
Utilizou-se a técnica descrita por Pavón (2017) para a obtenção da altura da umidade que não pode ser identificada por inspeção visual em 3 protótipos dos 4 protótipos avaliados (P02a, P02b, P02c) no experimento 02 (Figuras 43, 44 e 45) e da umidade visível do protótipo com revestimento argamassado (Figura 46).

Figura 43 – P02a – Porcelanato: (a) fotografia digital e (b) termograma às 18h, (c) gráfico temperatura x altura (Termografia).



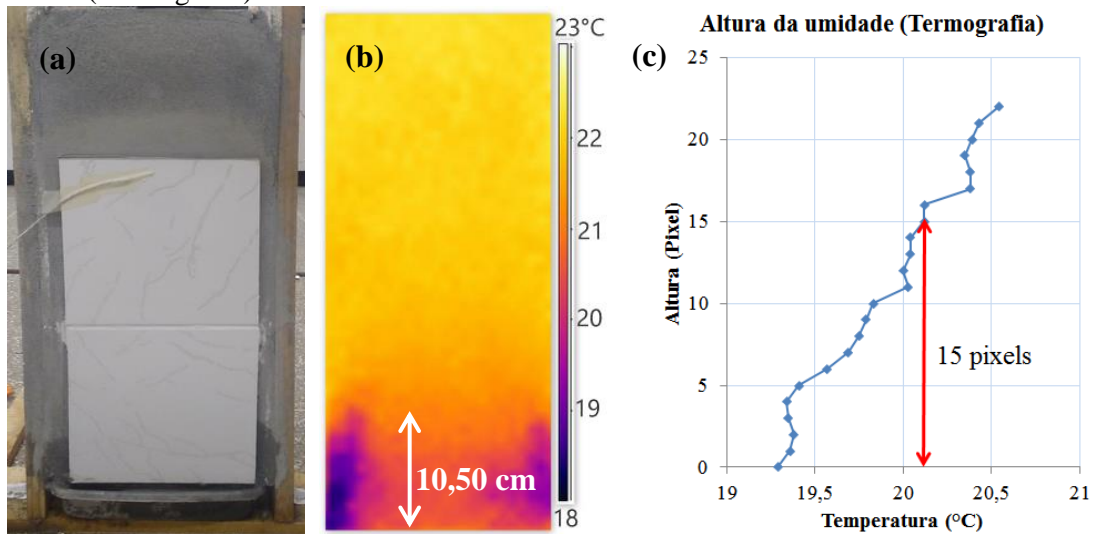
Fonte: Autor.

Figura 44 – P02b – Pintado: (a) imagem visível e (b) termograma às 18h, (c) gráfico temperatura x altura (Termografia).



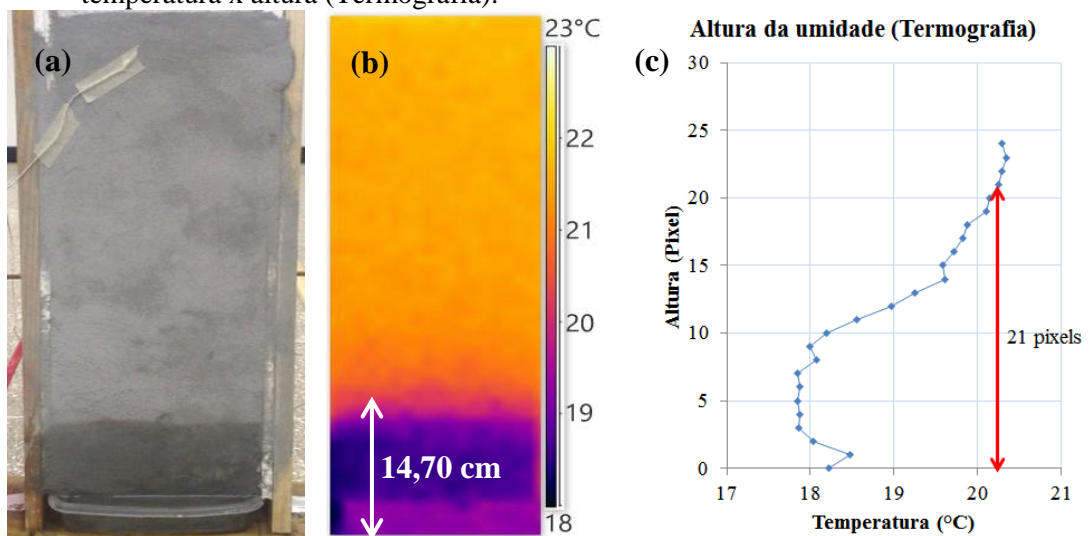
Fonte: Autor.

Figura 45 – P02c – Grês: (a) imagem visível e (b) termograma às 18h, (c) gráfico temperatura x altura (Termografia).



Fonte: Autor.

Figura 46 – P02d – Argamassado (a) imagem visível e (b) termograma às 18h, (c) gráfico temperatura x altura (Termografia).



Fonte: Autor.

A obtenção da altura da umidade nos revestimentos cerâmicos (Figuras 43-b e 45-b) é mais complexa do que em revestimentos argamassados, pois conforme podem ser observadas nos gráficos das Figuras 43-c e 45-c, as mudanças de inclinação da curva “Temperatura x Altura” não são bem definidas, como as do revestimento argamassado (Figuras 44-c e 46-c). Dessa forma, a obtenção da temperatura limite da região úmida destes revestimentos, foi

obtida pela análise de nitidez das cores “mais frias” dos termogramas. No entanto, ainda assim, a termografia se apresenta como uma técnica vantajosa, pois independente do tipo de revestimento, com o auxílio da termografia foi possível mensurar a altura da umidade.

CONCLUSÕES

No experimento 01 foi avaliada a influência das condições climáticas no estudo da umidade ascensional com a termografia infravermelha em paredes de alvenaria com revestimento argamassado, tendo-se como principais conclusões:

- Verificou-se que é possível detectar a umidade ascensional em paredes de alvenaria com revestimento argamassado utilizando a termografia de infravermelho.
- Os valores obtidos de ΔT (diferenças entre as áreas com e sem defeito) justificam a presença de umidade nas paredes de alvenaria. Após a estabilização da altura da umidade, obteve-se valores na faixa de 3,2° C a 3,7° C no ambiente interno e valores na faixa de 1,8° C a 2,6° C no ambiente externo.
- As variações do ΔT (diferenças entre as áreas com e sem umidade) durante os experimentos mostraram que as condições climáticas têm influência na avaliação de umidade com a termografia.
- Os valores de altura da umidade visível mensurada e da umidade obtida com auxílio da termografia de infravermelho ficaram próximos, sendo maior os valores de umidade visível mensurada, com diferença de 10% para o ambiente interno e 11% para o ambiente externo, nas condições do experimento;
- Quando o fenômeno da absorção de água por capilaridade se estabilizou, o ΔT tendeu a ficar constante, no ambiente interno, onde a temperatura se manteve próxima dos 22° C durante todo o experimento.
- Quanto maior foi a temperatura do ambiente, maior o valor de ΔT e portanto, mais visível a presença de umidade no termograma, sendo esta a tendência observada no experimento com temperatura variável.
- Em relação às condições mais apropriadas para a realização das inspeções termográficas, os resultados deste estudo sugerem que as inspeções realizadas em ambientes com oscilações nas condições climáticas (temperatura) sejam feitas nos horários com maior pico de temperatura, pois se observa uma

tendência de obter maiores valores de ΔT . E nos ambientes com temperatura controlada ou com baixa oscilação, sugere-se que as inspeções podem ser realizadas em qualquer horário.

No experimento 02 foi avaliada a influência do tipo de revestimento na detecção de umidade ascensional em paredes de alvenaria com a termografia de infravermelho. As principais conclusões foram:

- A umidade ascensional foi visível no revestimento argamassado sem pintura. Nos revestimentos cerâmicos (grês e porcelanato) e argamassado com pintura branca, a olho nu, não foi possível detectar a umidade;
- Com a termografia de infravermelho foi possível detectar a umidade em todos os tipos de revestimento, com maior clareza no revestimento argamassado sem pintura, seguido do revestimento argamassado com pintura branca, grês e porcelanato;
- Independente do tipo de revestimento, com o auxílio da termografia foi possível mensurar a altura da umidade.

SUGESTÕES

Baseado nos resultados obtidos neste trabalho e nas principais dúvidas relacionadas à aplicação desta técnica na detecção de umidade, sugere-se que seja estudado em pesquisas futuras:

- Avaliar a influência das condições climáticas em revestimentos argamassados e cerâmicos em ambientes externos, expostos ao sol;
- Comparar a aplicação da termografia de infravermelho com outras técnicas de detecção de umidade (termo-higrômetro);
- Estudar a influência da mudança das cores do revestimento na detecção de umidade com a termografia;
- Realizar os estudos em paredes de alvenaria com blocos de concreto;
- Avaliar a detecção de umidade com a termografia de infravermelho em paredes de alvenaria com diferentes tipos de argamassa de revestimento.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724: Informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação**. 3. ed. Rio de Janeiro, 2011;

_____. **NBR 10.520: Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 15.270-3: Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural e de vedação – Métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 13281: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15.259: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da absorção de água por capilaridade e do coeficiente de capilaridade**. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica**. Rio de Janeiro, 2005.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2004. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11563>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

BAUER, E.; PAVÓN, E. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de

manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construções**, n. Jul-Set, p. 93–98, 2015.

BRIQUE, S. K. **Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/175058>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

CALDEIRA, M. M. **Utilização de Ensaio não-destrutivo de Termografia Infravermelha para Identificação de Danos na Aderência entre Concreto e PRF**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/167943>>. Acesso em: 10 dez. 2017.

CRAVEIRO, M. A. C. **Desenvolvimento de um sistema para avaliação dos fatores de influência sobre análises termográficas em subestações desabrigadas**. Universidade Federal de Itajubá, 2008. Disponível em: <<https://saturno.unifei.edu.br/bim/0032813.pdf>>. Acesso em: 7 jan. 2018.

CUNHA, A. F. V. DA. **Física Aplicada**. Recife - PE: IFPE - Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia de Pernambuco. 1a. ed., 2016. Disponível em: <http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifpe/tecnico_sistemas_energia_renovavel/arte_fisica_aplicada.pdf>. Acesso em: 7 dez. 2017.

DORNELLES, Kelen Almeida. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA**. 2008. 160p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000445233>>. Acesso em: 29 dez. 2017.

EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. DE. Passive thermographic detection of moisture

problems in façades with adhered ceramic cladding. **Construction and Building Materials**, v. 51, n. 0, p. 187–197, 31 jan.2014.

_____. **Time-Dependent Passive Infrared Thermographic Inspection of Facades**. Book title: XIII International Conference on Durability of Building Materials and Components - XIII DBMC, At São Paulo, Brasil. p. 842 – 849. Set. 2014.

FLIR SYSTEMS, I. **Manual do Utilizador: FLIR i3, FLIR i5, FLIR i7 e Extech IRC30**, 2010. Disponível em: <http://www.icel-manaus.com.br/manual/i3_manual_usuario.pdf>. Acesso em: 5 dez. 2017.

FREITAS, S. S. DE; FREITAS, V. P. DE; BARREIRA, E. **Detection of façade plaster detachments using infrared thermography** - A nondestructive technique. **Construction and Building Materials**, v. 70, p. 80–87, 15 nov. 2014.

HENRIQUES, F. M. A. **Humidade em Paredes**. 4^a ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Departamento de Edifícios, 2007. Disponível em: <<https://www.upload.engenhariacivil.com/files/00477644296044263126.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

KOMINSKY, J. R.; LUCKINO, J. S.; STREET, N. H.; MARTIN, T. F. Passive Infrared Thermography — A Qualitative Method for Detecting Moisture Anomalies in Building Envelopes. **Tedford & Pond**, p. 1–11, 2007.

KREITH, F.; BOHN, M. S. **Princípios De Transferência De Calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A.; CHRISTOU, P.; KALOGIROU, S. A. Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review. **Applied Energy**, v. 134, p. 531–549, dez. 2014.

LIVI, C. P. **Fundamentos de Fenômenos de Transporte: Um Texto para Cursos Básicos**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

Manual de Estilo Acadêmico – **Trabalhos de Conclusão de Curso, dissertações e teses**. UFBA – 5ª Edição: Salvador, 2013.

MICHA, D. N. *et al.* “Vendo o invisível”: experimentos de visualização do infravermelho feitos com materiais simples e de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 01–06, mar. 2011.

OLIVEIRA, G. F. P. DE. **Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias associadas à humidade**. 194 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia. Civil – Especialização em Construções), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2013.

PAVÓN, E. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho**. 2017. 250p. Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

REBELO, D. **Avaliação quantitativa dos resultados da termografia de infravermelho aplicada ao estudo da humidade**. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2017.

RODRÍGUEZ, F. DE J. L. **DETECCÃO DE DEFEITOS EM MATERIAIS CERÂMICOS USANDO TERMOGRAFIA**. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica – Especialização em Engenharia e Ciências Térmicas), Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

ROSINA, E.; LUDWIG, N. **Optimal thermographic procedures for moisture analysis in buildings materials**. Diagnostic Imaging Technologies and Industrial Applications. Anais. Munich, Alemanha: SPIE, 1999. Disponível em:

<<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=907226>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

SILVA, R. N. T. DA. **Estudo da termografia por infravermelho: aplicações na engenharia e determinação de parâmetros termofísicos e geométricos de materiais**. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Pernambuco, 2007. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/5497>>. Acesso em: 12 dez. 2017.

SILVA, R. N. T. DA. **Influência dos erros da câmera de infravermelho na estimativa de parâmetros termofísicos**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Pernambuco, 2012.

SOCOLOSKI, R. F. **Tratamento de Umidade Ascensional em Paredes Através de Inserção de Barreiras Químicas por Gravidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

SOLLA, M.; LAGÜELA, S.; RIVEIRO, B.; LORENZO, H. Non-destructive testing for the analysis of moisture in the masonry arch bridge of Lubians (Spain). **Structural Control and Health Monitoring**, v. 20, n. 11, p. 1366–1376, 2013.

SOUSA, L. F. R. DE. **Aplicação de Termografia no Estudo do Isolamento Térmico de Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Aveiro, Departamento de Engenharia Mecânica, Portugal, 2010.

TAVUKÇUOĞLU, A.; DÜZGÜNEŞ, A.; CANER-SALTIK, E. N.; DEMIRCI, Ş. Use of IR thermography for the assessment of surface-water drainage problems in a historical building, Ağzıkarahan (Aksaray), Turkey. **NDT & E International**, v. 38, n. 5, p. 402–410, jul. 2005.

THEODORAKEAS, P. *et al.* Passive and active infrared thermography: An overview of

applications for the inspection of mosaic structures. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 655, n. 1, 2015.

VALÉRIO, J. **Avaliação do impacte das pontes térmicas no desempenho térmico e energético de edifícios residenciais correntes**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 2007.

YOUNG, HUGH;FREEDMAN, R. **Física II: Termodinâmica e Ondas**. 12. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2008.

APÊNDICE A – DADOS PROCESSADOS NOS EXPERIMENTOS

As Figuras 47 e 48 apresentam os dados processados no experimento 01.

Figura 47 – ΔT obtido pelo processamento dos termogramas das primeiras 12h do experimento 01.

Horário (h)	AMBIENTE INTERNO							AMBIENTE EXTERNO						
	P01 - 1			P01 - 2			Temp. Ambiente (°C)	P01 - 3			P01 - 4			Temp. Ambiente (°C)
	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)		T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	
7	18,9	18,7	0,2	20,8	20,2	0,6	23,3	21,9	21,4	0,5	22,9	22,6	0,3	26,4
7,5	18,1	20,1	-2	19,8	20,3	-0,5	23	23	22,8	0,2	23,5	23,6	-0,1	27
8	17,2	20	-2,8	19,3	20,5	-1,2	22,1	23,5	23,8	-0,3	23,8	24,5	-0,7	27,8
8,5	17,2	19,9	-2,7	19	20,4	-1,4	22	23,6	24,2	-0,6	23,9	24,9	-1	27,1
9	17,3	20,3	-3	18,8	20,7	-1,9	22,5	23,6	24,8	-1,2	24,3	25,6	-1,3	27,2
10	17,7	20,8	-3,1	18,1	20,4	-2,3	22,4	24	25,7	-1,7	24,3	26,2	-1,9	28,6
11	17	20	-3	17,6	20,2	-2,6	22,1	23,6	26	-2,4	24	26,5	-2,5	29
12	16,8	20,1	-3,3	17,5	20,2	-2,7	22,2	24,1	27,2	-3,1	24,5	27,6	-3,1	28,6
13	16,4	20	-3,6	17,4	20,5	-3,1	21,6	24	26,9	-2,9	24,3	27,1	-2,8	28,6
14	16,8	20,1	-3,3	17,4	20,3	-2,9	21,7	23,8	26,6	-2,8	24	26,8	-2,8	27
15	16,9	20,4	-3,5	17,5	20,6	-3,1	22,2	23,6	26	-2,4	23,9	26,2	-2,3	27
16	17,3	21	-3,7	17,2	20,4	-3,2	22,2	24,1	26,2	-2,1	24	26	-2	26,9
17	16,3	20	-3,7	17,3	20,5	-3,2	22,1	23,6	25,9	-2,3	23,5	26,1	-2,6	27,4
18	17,2	20,7	-3,5	17,2	20,5	-3,3	21,9	24,4	26,2	-1,8	24,2	26,5	-2,3	27,5
19	16,9	20,4	-3,5	17,1	20,3	-3,2	22,2	24	25,8	-1,8	24,4	26,4	-2	27,4
Média (°C)	17,20	20,17	-2,97	18,13	20,40	-2,27	22,23	23,65	25,30	-1,65	23,97	25,77	-1,81	27,57
Desvio Padrão	0,65	0,52	0,99	1,14	0,15	1,17	0,44	0,59	1,61	1,13	0,42	1,35	1,03	0,78
Coef. Variação	4%	3%	-33%	6%	1%	-52%	2%	2%	6%	-69%	2%	5%	-57%	3%

Figura 48 – Altura da umidade mensurada com régua das primeiras 12h do experimento 01.

Horário (h)	ALTURA MÉDIA DA UMIDADE DAS PAREDES (CM)							
	AMBIENTE INTERNO				AMBIENTE EXTERNO			
	P1		P2		P3		P4	
	Lado com revestimento	Lado sem revestimento	Lado com revestimento	Lado sem revestimento	Lado com revestimento	Lado sem revestimento	Lado com revestimento	Lado sem revestimento
8	12,0	6,0	10,3	6,5	11,8	6,0	9,6	6,5
9	13,8	6,5	12,1	7,5	12,0	6,4	12,0	6,8
10	14,0	6,9	13,3	7,5	13,0	7,0	12,0	7,0
11	15,0	7,5	13,7	8,0	13,3	7,5	12,6	7,0
12	15,8	7,5	14,1	8,0	14,0	7,5	13,4	7,5
13	15,9	7,5	14,7	8,5	14,2	8,0	13,4	8,5
14	16,8	8,5	15,5	9,5	14,5	8,5	13,7	8,5
15	16,9	8,5	15,7	9,0	15,0	9,0	14,9	9,0
16	17,2	9,0	15,7	9,0	15,0	9,5	15,0	10,0
17	17,2	9,5	16,0	10,0	15,3	9,5	15,0	10,0
18	17,2	9,5	16,0	10,0	15,3	10,0	15,0	10,0
19	17,3	9,5	16,0	10,0	15,3	10,0	15,5	10,5
Média (°C)	15,7	8,0	14,4	8,6	14,1	8,2	13,5	8,4
Desv. Padrão	1,7	1,2	1,8	1,2	1,3	1,4	1,7	1,5
Coef. Variação	10,83%	15,22%	12,58%	13,34%	8,98%	16,81%	12,86%	17,26%

A Figura 49 apresenta os dados processados no experimento 02.

Figura 49 – ΔT obtido pelo processamento dos termogramas das primeiras 12h do experimento 02.

Horário (h)	AMBIENTE INTERNO												Temp. Ambiente (°C)
	P02d			P02c			P02b			P02a			
	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	T área úmida (°C)	T área seca (°C)	ΔT (°C)	
7	20,4	20,8	-0,4	20,5	20,5	0	22,1	20,8	1,3	21,9	21,3	0,6	23,2
7,5	19	20,7	-1,7	21,4	20,8	0,6	21,7	21,1	0,6	21,8	21,2	0,6	23,2
8	18,4	20,7	-2,3	21,4	21	0,4	19,3	21	-1,7	21,6	21	0,6	23,3
8,5	18,4	20,7	-2,3	21,4	21,3	0,1	19,4	21	-1,6	21,5	21,2	0,3	23,3
9	18,4	20,7	-2,3	20,7	21	-0,3	19,4	21	-1,6	21,3	21,3	0	23,1
10	14,1	16,3	-2,2	20,7	21,1	-0,4	19,4	21,1	-1,7	21,3	21,6	-0,3	22,6
11	17,7	20,4	-2,7	20,6	21,1	-0,5	18,9	20,8	-1,9	20,7	21,2	-0,5	22,2
12	17,9	20,7	-2,8	20,4	21,1	-0,7	18,7	21	-2,3	20,5	21,1	-0,6	22,7
13	18,3	21,1	-2,8	20,4	21,4	-1	18,8	21,2	-2,4	20,6	21,3	-0,7	22,7
14	18,1	20,9	-2,8	20,1	21,1	-1	18,8	21,2	-2,4	20,7	21,5	-0,8	23,3
15	15	17,9	-2,9	20,4	21,4	-1	18,8	21,2	-2,4	20,6	21,5	-0,9	23,3
16	13,2	16	-2,8	20,8	21,9	-1,1	18,8	21,4	-2,6	20,5	21,5	-1	22,6
17	18	21	-3	20,8	21,9	-1,1	18,7	21,4	-2,7	20,7	21,7	-1	22,7
18	18	21,1	-3,1	20,8	22	-1,2	18,6	21,3	-2,7	20,6	21,6	-1	22,3
19	13,5	16,5	-3	20,4	21,5	-1,1	18,4	21,2	-2,8	20,4	21,4	-1	22,3
Média (°C)	17,23	19,70	-2,47	20,72	21,27	-0,55	19,32	21,11	-1,79	20,98	21,36	-0,38	22,85
Desv. Padrão	2,17	1,94	0,69	0,40	0,42	0,60	1,10	0,18	1,20	0,52	0,20	0,63	0,41
Coef. Variação	13%	10%	-28%	2%	2%	-108%	6%	1%	-67%	2%	1%	-167%	2%