

GUILHERME GIORGI JÁCOMO FREIRE

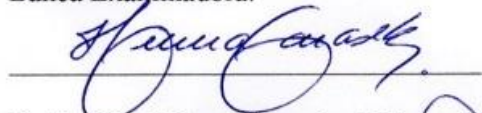
GABRIEL MARTINS AMARAL

USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA IDENTIFICAÇÃO DE
UMIDADE EM ELEMENTOS DE VEDAÇÃO DE EDIFÍCIOS

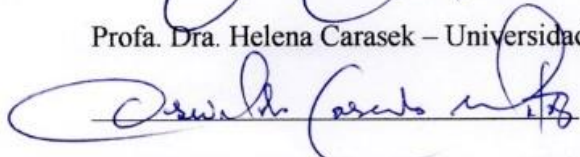
Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 26 / 07 / 2016.

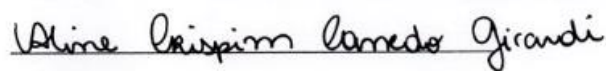
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Helena Carasek – Universidade Federal de Goiás (Orientador)



Prof. Dr. Oswaldo Cascudo Matos – Universidade Federal de Goiás



Engenheira Civil Aline Crispim Canedo Girardi – Instituto Federal Goiano

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:



Profa. Dra. Helena Carasek (orientador)

Em: 26 / 07 / 2016

USO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NA IDENTIFICAÇÃO DE UMIDADE EM ELEMENTOS DE VEDAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Use of Infrared Thermography in Moisture Identification on Masonry Elements of Buildings

Gabriel Martins Amaral ¹, Guilherme Giorgi Jácomo Freire ², Helena Carasek ³

* Contato com os autores:

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás, fecgabriel@gmail.com (62 98280-4399)

² Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Goiás, guilhermegjfreire_ufg@hotmail.com (62 98260-0641)

³ Professora Doutora da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, hcarasek@gmail.com (62 98111-4764)

RESUMO: Os edifícios estão constantemente sujeitos a várias situações adversas que podem comprometer seu desempenho e durabilidade. Dentre elas encontra-se a umidade, fator que corrobora para o surgimento de diversas manifestações patológicas. Portanto, identificá-la e tratar sua origem é fator crucial. Para tanto, o uso da Termografia Infravermelha mostra-se uma alternativa de ensaio não-destrutivo viável. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade da termografia infravermelha na identificação da umidade e determinar o padrão térmico apresentado pela presença da água em elementos de vedação de edifícios. Para tanto, em um primeiro estudo, capturou-se imagens utilizando o termovisor em laboratório, observando-se os padrões de temperatura apresentados quando há percolação de água em blocos de alvenaria. Um segundo estudo foi realizado capturando-se imagens de focos de umidade em fachadas, na cidade de Goiânia GO, em diferentes horários do dia a fim de corroborar com os padrões observados em laboratório. Como resultado, verificou-se que a diferença de temperatura dos locais úmidos para os locais secos de cada elemento analisado formou um padrão visualizado pelo termovisor. Verificou-se ainda que os padrões de imagens se repetem ao longo de todo o dia durante o período de aquecimento, mas que as melhores imagens foram observadas nos períodos de maior insolação. Assim, a termografia infravermelha se mostrou eficiente como ensaio não-destrutivo para identificação de umidade.

Palavras Chave: termografia infravermelha; umidade;; ensaio não-destrutivo; manifestação patológica, alvenaria.

1. INTRODUÇÃO

A Termografia Infravermelha (TI) é um dos vários métodos de Ensaios Não-Destrutivos (END's), que são técnicas que inspecionam materiais ou equipamentos sem a necessidade de danificá-los, podendo ser usados nas etapas de fabricação, construção, montagem e manutenção (ABENDI, 2015). No caso das construções, os END's podem ser usados inclusive com as estruturas em pleno funcionamento, além de garantir que manifestações patológicas possam ser detectadas em estágios iniciais (MEDEIROS, 2010).

A Termografia Infravermelha (TI) é um procedimento novo na construção civil e que se constitui na percepção da radiação infravermelha emitida por um corpo através de um aparelho capacitado a detectar e assimilar esse tipo de transferência de calor (radiação); com isso, torna-se possível a análise com precisão de algumas manifestações patológicas que ocorrem nas construções (MEDEIROS, 2010).

A inspeção termográfica é feita utilizando-se câmaras termográficas, além de termômetros de contato (que permitem a determinação da emissividade) e de medidores de radiação térmica (que são analisadores da envolvente), caso sejam necessários. Podem ser citadas diversas aplicações da TI na construção civil, tanto na detecção de manifestações patológicas que podem ser verificadas visualmente, como também, nas que ainda não são aparentes (até mesmo em problemas embrionários). Como exemplos de manifestações patológicas que o método de TI é capaz de detectar, pode-se citar: infiltrações ou fugas de água; fendas estruturais; vazios no interior do concreto; corrosão de armaduras; etc. (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2010)

Tendo-se em vista os benefícios da técnica da Termografia Infravermelha na Construção Civil, o presente trabalho tem como objetivo avaliar sua aplicabilidade na identificação de umidade nos elementos de alvenarias.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 HISTÓRICO

Segundo Mendonça, Amaral e Catarino (2010), em 1800, William Herschel, astrônomo inglês, descobriu os raios infravermelhos através da inspeção de qual faixa do espectro era responsável pelo aquecimento de objetos. Ele provou que tais raios se encontravam em um comprimento de onda acima do visível, dividindo-os em ondas curtas (2-5 μm) e ondas longas (8-14 μm).

A termografia surge, então, quando William Herschel e seu filho John Herschel, utilizaram da técnica evaporográfica (evaporação do álcool de uma superfície pintada com carbono) para obterem as primeiras imagens utilizando o sistema infravermelho (VERATTI, 1992).

No período da Segunda Guerra Mundial, na metade do ano de 1940, tanques alemães utilizaram o chamado Sistema de Visão Noturna para invadir a Rússia. Foi aí que, então, os Aliados reagiram, elaborando e desenvolvendo o sistema “FLIR - Foward Looking Infra Red” (traduzido como “Visão Avante por Infravermelhos”), que foi utilizado pelos norte-americanos para detecção dos inimigos. Em 1946, surge o scanner de infravermelhos, capaz de gerar um termograma em algumas horas (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2010).

Entre 1960 e 1970, um salto significativo na eficácia dos scanners infravermelhos e dos sistemas integrados de formação de imagens termais ocorreu, podendo uma imagem ser gerada em torno de 5 minutos, com a determinação das respectivas temperaturas dos objetos representados na imagem.

O sistema “ENOUX”, que permitia a visão óptica e termográfica simultaneamente (como apresenta a Figura 1), foi desenvolvido em 1975. Entre 1980 e 1990, já foi possível obter-se imagens termográficas em tempo real, graças aos avanços tanto nos equipamentos de captura, quanto nos de tratamento da imagem (CORTIZO, 2007).

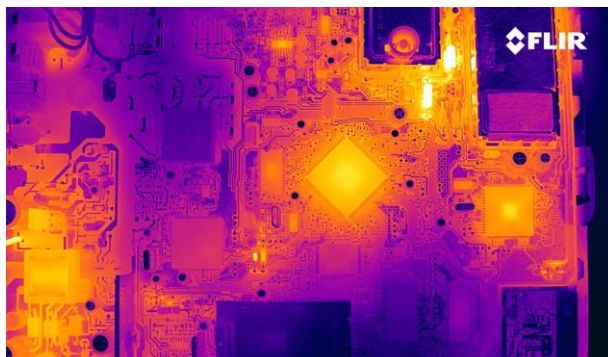


FIGURA 1: Imagem Termográfica de Placa-Mãe de um Computador de Mesa Utilizando Equipamento com a Tecnologia FLIR.

FONTE: FLIR® - *Research and Science* (2016).

O salto tecnológico nos equipamentos termográficos se deu quando do desenvolvimento dos Dispositivos de Carga Acoplada (CCD – Charged Coupled Device), o qual trata-se de um sensor semiconductor para captação de imagens que possui uma matriz de capacitores acoplados, e das Matrizes Focais Planas (FPA's – Focal Plane Arrays) (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2010).

2.2 LEI DA RADIAÇÃO DE STEFAN-BOLTZMANN E LEI DE FOURIER

Segundo Guerra (2013), os corpos, de uma maneira geral, constantemente emitem e absorvem radiação e não há uma forma universal de descrever um padrão de emissão para um corpo qualquer. Entretanto, o corpo negro tem um padrão conhecido, em que se sabe que este absorve toda a energia que nele incide, emitindo em forma de radiação toda essa energia que absorve (Figura 2).

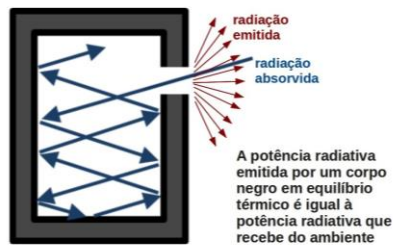


FIGURA 2: (a) Esquema de Radiação Absorvida e Emitida por um Corpo Negro.

FONTE: GUERRA (2013).

Essa emissão depende da temperatura absoluta do corpo e da área de sua superfície. A lei que materializa tal dependência é a Lei de Stefan-Boltzmann (Equação 1).

$$P = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

P = potência irradiada (W)

ε = emissividade (W/m^2)

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^2/\text{K}^4$)

T = temperatura (K)

Para um corpo negro, a emissividade é igual a 1, ou seja, toda a potência irradiada é igual à absorvida. Os chamados corpos cinzentos têm uma emissividade menor do que 1 e maior do que 0, pois não irradiam toda a energia absorvida e transformam o restante em outras formas de energia: ondas de som, fricção, criação de campos magnéticos, polarização etc. (PARALYSIS BY ANALYSIS, 2013).

Joseph Fourier observou que a temperatura de um corpo varia linearmente por toda a sua extensão quando este apresenta uma região mais quente que a outra, e que o fluxo de calor é proporcional à área da seção transversal do corpo e inversamente proporcional ao seu comprimento (SILVA, 2016), como representa a Figura 3.

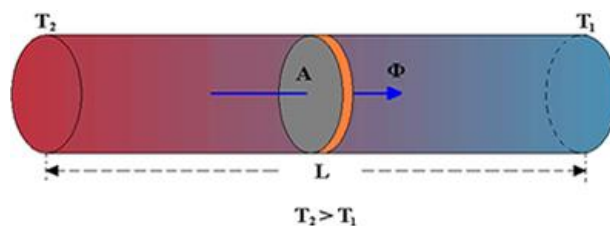


FIGURA 3: Representação da Lei de Fourier em um corpo cilíndrico.

FONTE: SILVA (2016).

Assim, a Lei de Fourier pode ser expressa como na Equação 2:

$$\Phi = (k \cdot A \cdot \Delta T)/L \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

Φ = Fluxo de Calor (W);

k = condutividade térmica do material ($\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$);

A = área da seção transversal do corpo (m^2);

ΔT = variação de temperatura ($^\circ\text{C}$);

L = comprimento do corpo (m).

2.3 TÉCNICA DE TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (TI)

Segundo Holst (2000), a termografia é o mecanismo pelo qual é possível perceber a temperatura superficial de um corpo pelo mecanismo de transferência de calor, já que todo e qualquer corpo acima do Zero Absoluto (quando a temperatura, dada em Kelvin, é igual a zero) emite radiação térmica (infravermelha). Para que seja possível a visualização de um determinado corpo em um meio, é necessário que haja um diferencial de temperatura entre ambos, pois somente dessa forma o aparelho gerador da imagem será capaz de realizar a diferenciação entre eles. Existem duas técnicas de TI: passiva e ativa.

A Técnica de Termografia Passiva é caracterizada por não possuir um estímulo “artificial” de energia, ou seja, só há absorção de energia do corpo por meio da carga solar atuante sobre o corpo. Tem um caráter mais qualitativo que a Termografia Ativa, já que apresenta indicativos de anomalias. Já a TI ativa tem como característica principal a aplicação de um estímulo energético sobre o corpo estudado. Tal estímulo pode ser aplicado tanto com uma fonte de calor quanto com uma “fonte de frio” (que remove a energia térmica do corpo). O objetivo do estímulo é gerar um diferencial térmico entre o corpo e o meio. Tem um caráter mais quantitativo que a TI passiva, uma vez que se pode medir e controlar parâmetros como fonte, tempo, intensidade e distância (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2010).

2.4 APLICAÇÕES DA TERMOGRAFIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ao avaliar um sistema da construção civil pela técnica da termografia infravermelha parte-se do princípio que os materiais que possuem descontinuidades apresentam um fluxo de calor não uniforme. Tais diferenças de fluxo de calor podem ser percebidas na superfície dos materiais através da TI, mostrando discrepâncias localizadas que podem ser associadas a anomalias ou descontinuidades no sistema. A identificação de uma variação de 1°C a 2°C com o uso dos equipamentos de TI é, geralmente, indício de problemas. A variação de 4°C ou mais indica uma anormalidade no corpo (CORTIZO, 2007).

As aplicações da técnica de termografia infravermelha na construção civil vão desde a avaliação do desempenho e do conforto térmico das edificações até a detecção de manifestações patológicas. O uso da TI ainda permite uma análise térmica eficiente dos edifícios e a identificação dos sistemas que os compõe (estruturais, de vedação, elétrico, entre outros) (MENDONÇA, 2005). Utilizando a técnica da termografia infravermelha pode-se facilmente: identificar os elementos das estruturas de concreto armado das edificações, como afirmam Kersul (2014), Mendonça, Amaral e Catarino (2010) e Bauer (2013); observar algumas fissuras que se apresentam para a termocâmera como regiões com variação de aproximadamente 1°C se comparadas ao revestimento em que se encontra (FREITAS; CARASEK; CASCUDO, 2014); detectar umidade nos elementos da construção civil, antes mesmo que se tornem visíveis a olho nu (Figura 4) (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2010).

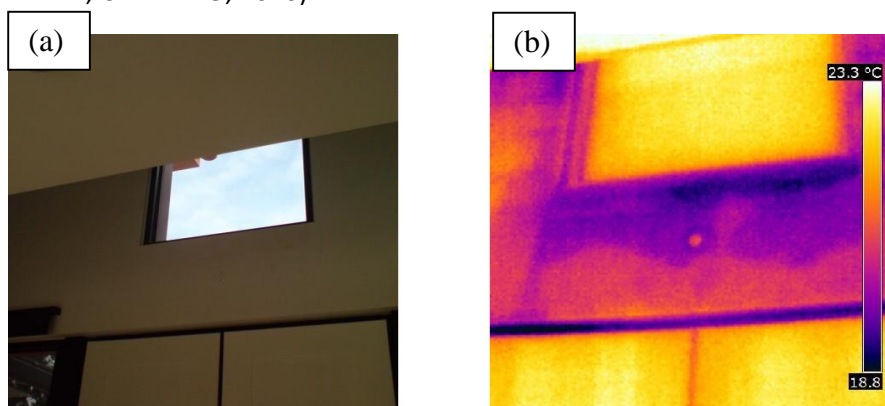


FIGURA 4: Infiltração de água em janela: (a) não visível a olho nu; e (b) imagem termográfica indicando região úmida, que se apresenta como mais escura (fria).

FONTE: MENDONÇA; AMARAL; CARATINO (2010).

3. METODOLOGIA

Os ensaios referentes à identificação da umidade nos elementos de alvenaria foram divididos em duas etapas, nomeadas Estudo I e Estudo II, realizados em laboratório e em campo, respectivamente.

3.1 ESTUDO I – AVALIAÇÃO DO PADRÃO TÉRMICO APRESENTADO POR MATERIAIS UMEDECIDOS (LABORATÓRIO)

Para esta primeira etapa, objetivou-se avaliar a temperatura superficial de dois blocos diferentes: um bloco cerâmico (dimensões 9 cm x 14 cm x 29 cm, largura, altura e comprimento) e um de concreto (dimensões 14 cm x 19 cm x 39 cm). Os blocos foram aquecidos pela face oposta à que teve a imagem térmica registrada e, em um segundo momento, os blocos passaram 24h em contato com a água, após aquecidos pela incidência solar e a imagem térmica foi registrada na mesma face que estava sendo aquecida. O fluxograma com as variáveis do Estudo I está representado na Figura 5.

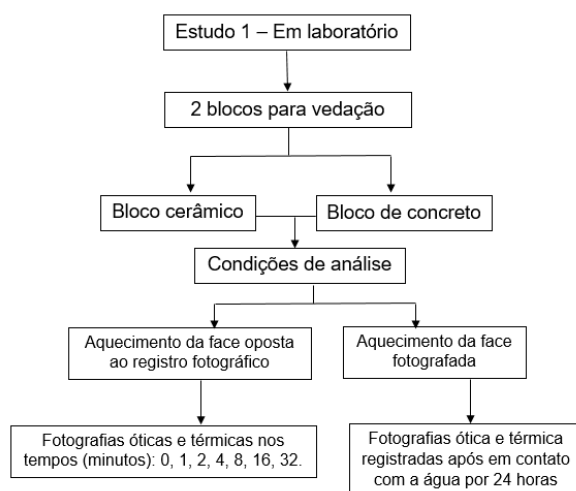


FIGURA 5: Fluxograma com as variáveis do Estudo I, realizado em laboratório

Os materiais utilizados no Estudo I foram: um bloco de concreto, um bloco cerâmico, e um recipiente para colocar água. Como equipamentos, utilizou-se um termovisor apresentado na Figura 6, fontes de energia térmica e uma balança.

- Termovisor E40 da marca FLIR®, para registro das imagens térmicas e das imagens óticas, com todos os parâmetros determinados de acordo com o especificado pelo próprio fabricante;



FIGURA 6: Termovisor E40 da FLIR®.

Buscando avaliar o padrão térmico apresentado por materiais umedecidos, o estudo se baseou em expor os blocos à fonte de água proporcionando condições ideais para a percolação da mesma em seu interior (ascensão capilar). Seguiu-se o mesmo procedimento para todos os blocos. Após ligar-se as fontes de energia térmica em uma das faces dos blocos (técnica de Termografia Ativa), fez-se com que a água estivesse em contato constante com eles (cerca de 2mm de altura da lâmina d'água inicial a partir da base do mesmo). Os blocos eram removidos do contato com a água e afastados da região de aquecimento no momento da captura das imagens (ópticas e térmicas). Estas foram registradas pela face oposta à aquecida e em tempos pré-determinados, que foram: zero, com os blocos ainda sem contato com a água; um minuto, com os blocos em contato com a fonte de água; dois minutos em contato; quatro minutos; oito minutos; dezesseis minutos; e, por fim, trinta e dois minutos de contato dos blocos com a água.

Após os primeiros registros fotográficos, em um segundo momento, deixou-se os blocos em contato com a água durante o período de 24 horas consecutivas e, depois desse período, retirou-se os blocos de dentro da água, com o uso do medidor de umidade anotou-se os valores de umidade em pontos intermediários de cada bloco, após, fez-se o aquecimento durante 30 minutos de uma das faces e registrou-se as fotografias óticas e térmicas, porém, dessa vez, da face que estava em aquecimento.

3.2 ESTUDO II – AVALIAÇÃO DO PADRÃO TÉRMICO EM FACHADAS DE EDIFÍCIOS

O Estudo II teve como objetivo avaliar a aplicabilidade do equipamento termovisor na identificação dos focos de umidade e consequente determinação de sua origem em sistemas de vedação de fachadas de edifícios e utilizou-se também um medidor de umidade superficial, modelo T-M-170 da marca NDT James Instruments®, a fim de comparação com os resultados apresentados pelo termovisor. Assim, essa etapa se baseou na captura de imagens termográficas de paredes em diferentes horários do dia, buscando obtê-las com diferentes incidências solares. As variáveis estão expressas na Figura 7.

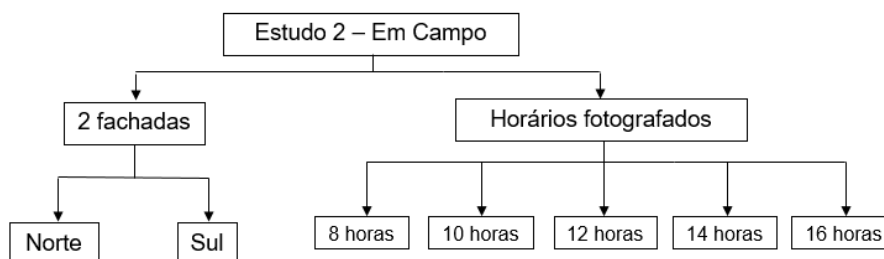


FIGURA 7: Fluxograma com as variáveis do Estudo II, realizado em campo.

Foram escolhidas duas paredes com características visuais da presença de umidade (uma parede com a direção voltada para o Norte, de tijolo aparente, e a outra com a direção voltada para o Sul, de bloco cerâmico e revestimento simples de argamassa). A fachada Norte recebe incidência solar pela manhã, enquanto que a Sul, pela tarde.

Os horários de captura das imagens térmicas das paredes foram: 08:00, 10:00, 12:00, 14:00 e 16:00. As imagens foram registradas somente pelo lado externo da construção. Com o medidor de umidade superficial, anotou-se valores de umidade, registrados em oito pontos distintos em cada uma das paredes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os Estudos I e II percorridos neste capítulo, vale ressaltar que o equipamento termovisor apresenta uma sistemática padronizada de cores para representar as temperaturas em diferentes pontos (cores mais próximas do violeta são mais frias e cores mais próximas do vermelho/branco, mais quentes). As cores podem variar automaticamente dependendo do diferencial de temperatura dos corpos captados pela


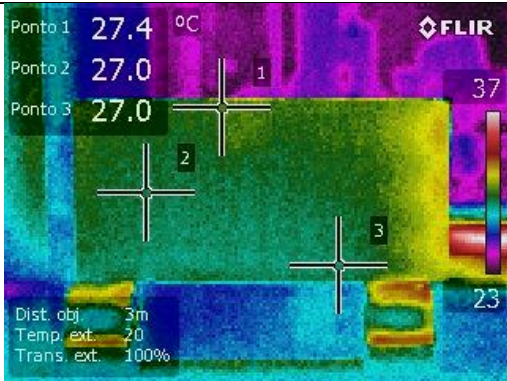

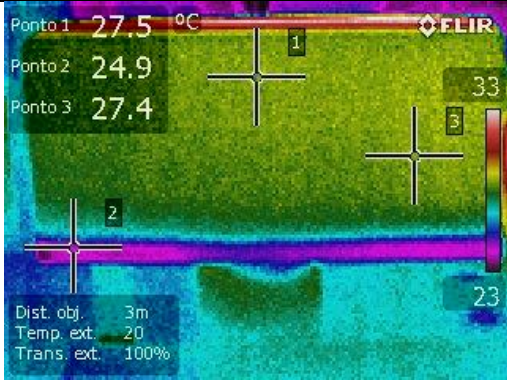

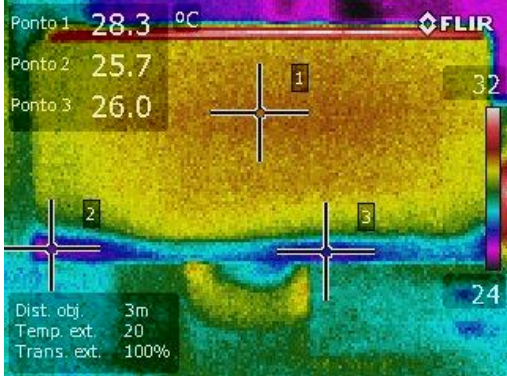
lente da câmera (entretanto nunca deixando de seguir o padrão). Portanto, para uma mesma temperatura (por exemplo, de 20°C), o equipamento pode representá-la com uma cor azulada, bem como uma esverdeada, tudo dependerá de quais outros pontos também estão sendo captados pela câmera naquele instante.

No decorrer do texto, as imagens são discutidas analisando-se as cores, mas apenas de forma didática. O destaque deve ser sempre feito para a diferença entre os valores de temperatura que são apresentados em escala no canto direito de todas as imagens termográficas oferecidas pelo aparelho.

4.1 ESTUDO I

4.1.1 Bloco Cerâmico

São apresentadas, a seguir, as imagens óticas e térmicas da face do bloco cerâmico que não recebeu a incidência direta da fonte térmica, sendo aquecida a face oposta à registrada, em todos os tempos pré-determinados (Figura 8).

Tempo	Imagem ótica	Imagem térmica
T = 0		
T = 4 min.		
T = 16 min.		

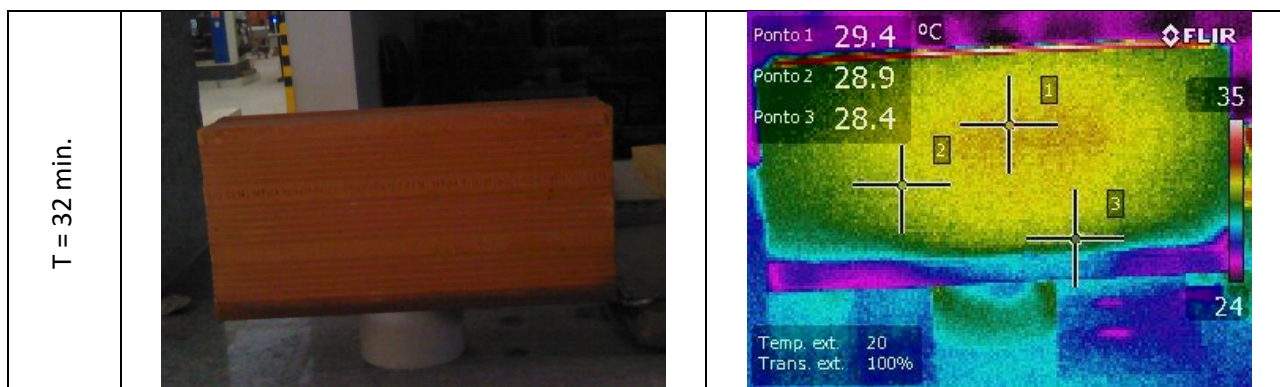


FIGURA 8: Imagens ótica e termográfica de bloco cerâmico utilizado para o estudo em laboratório e que ficou em contato com a água durante os tempos especificados (0, 4, 16 e 32 minutos).

Nota-se que a água, com o decorrer do tempo, progressivamente percola pelos capilares do bloco cerâmico, apresentando-se como uma região mais fria nas imagens termográficas. É possível observar também que, à medida que a água percolada pelos capilares e se afasta de sua fonte, seu volume no interior do bloco reduz gradualmente e, com menos massa a ser aquecida, mais sua temperatura tende a se assemelhar à temperatura da face do bloco, uma vez que, pelo estudo da calorimetria e segundo Young e Freedman (2008), a quantidade de energia térmica necessária para variar a temperatura de um corpo é proporcional à sua massa.

O padrão típico formado nas imagens termográficas é representado por uma escala no canto direito das mesmas nas quais a região mais fria e mais próxima da fonte de água é representada pelos tons roxos (temperaturas em torno dos 23°C) e, após, afastando-se da fonte, segue-se para as cores azulada ($\approx 26^\circ\text{C}$), esverdeada ($\approx 28^\circ\text{C}$) e, em sequência, amarelada ($\approx 29^\circ\text{C}$) (lembrando que o padrão de cores pode se alterar automaticamente pelo aparelho objetivando uma melhor visualização cromática). O padrão térmico sugere o esquema de fluxo de calor de uma região mais quente para uma região mais fria por condução térmica, como explicitado pela Lei de Fourier.

Pela Lei de Stefan-Boltzmann, pode-se inferir que a temperatura da região mais seca encontra-se mais quente, já que a potência irradiada emitida pela mesma é maior, e vai gradativamente diminuindo à medida que se aproxima da fonte de água.

A temperatura do bloco cerâmico encontra-se sempre maior em virtude de seu calor específico, 0,92 kJ/(kg.°C) (ABNT NBR 15220, 2003) ser cerca de 4,5 vezes menor que o calor específico da água, 4,19 kJ/(kg.°C) (BAUER, 2013), o que faz com que a água na base encontre-se sempre mais fria (já que a potência calorífica incidente era a mesma tanto para o bloco quanto para a água), gerando o diferencial de temperatura representado nas imagens termográficas.

O bloco cerâmico, após passar 24h em contato com a água e, posteriormente, removido da mesma e aquecido por 30 minutos, apresentou as seguintes imagens da face que foi aquecida (Figura 9):

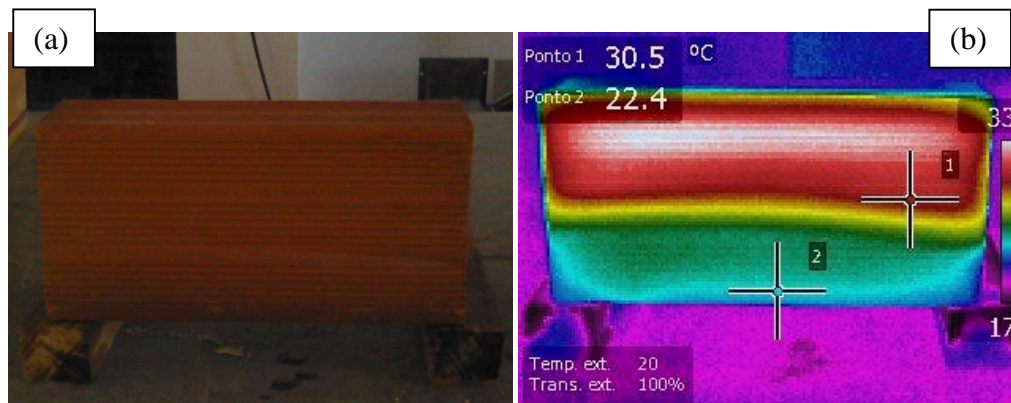

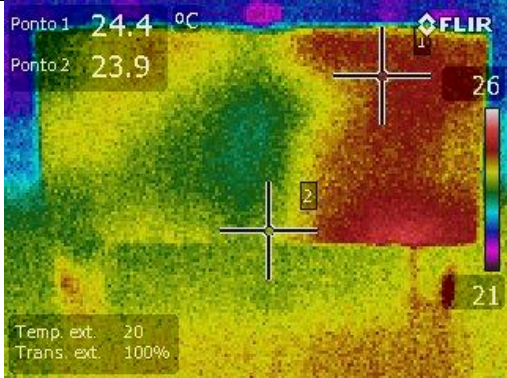

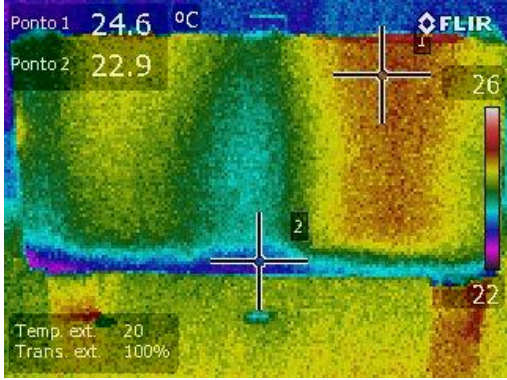

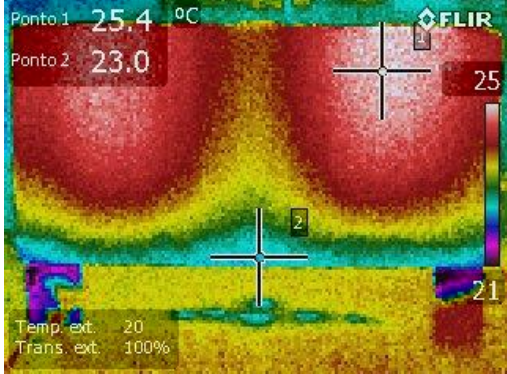


FIGURA 9: Imagens (a)ótica e (b)termográfica da face aquecida de bloco cerâmico após 24h de contato com a água.

A Figura 9 apresenta, de forma mais nítida, o padrão formado dado pela infiltração e percolação da água pelos capilares (é observado que a temperatura varia de 22 a 33 °C, aproximadamente, observando-se na escala ao canto direito da Figura 10b). Tal diferença de temperatura pode ser explicada pelo aumento da condutividade térmica devido à presença de água, que expulsa o ar no interior do bloco e faz com que a energia térmica recebida pela região úmida seja conduzida para o interior do mesmo mais rapidamente (aproximadamente 20 vezes mais rápido do que com ar nos poros) (ROSINA; LUDWIG, 1999). O padrão é mais nítido pois, em um período de 24h, a água tem mais tempo para se elevar pelos capilares e umidificar uma parte maior do bloco, se comparado com os ensaios representados pela Figura 8.

4.1.2 Bloco de Concreto

Para o bloco de concreto, as imagens óticas e termográficas registradas a partir da face oposta à que estava exposta à fonte de energia térmica, para os tempos pré-estabelecidos, estão apresentadas na Figura 10.

Tempo	Imagem ótica	Imagem térmica
T = 0		
T = 4 min.		
T = 16 min.		

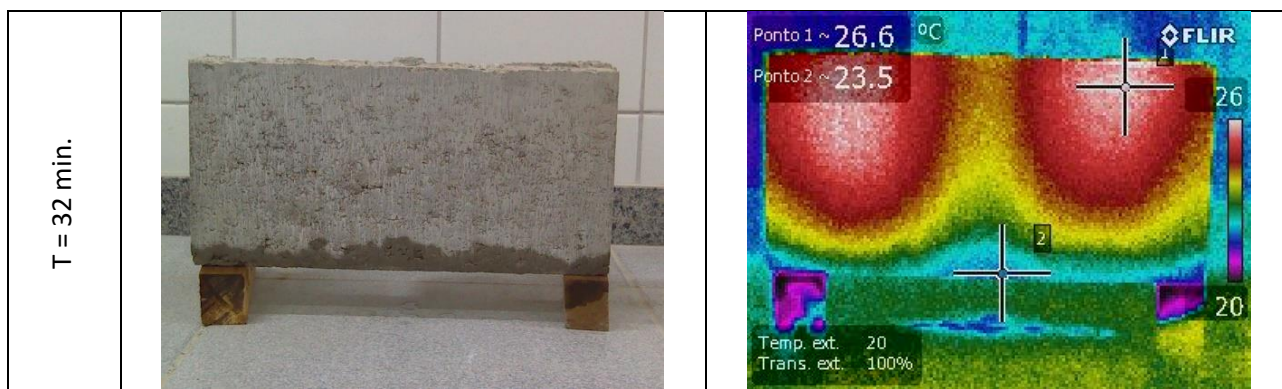


FIGURA 10: Imagens ótica e termográfica de bloco de concreto utilizado para o estudo em laboratório e que ficou em contato com a água durante os tempos especificados (0, 4, 16 e 32 minutos).

Assim como no bloco cerâmico, os padrões de imagens térmicas encontradas para o bloco de concreto apresentam variações de temperatura de acordo com a umidade da região. Próximo à fonte de água, a temperatura é a mais baixa observada ($\approx 21^{\circ}\text{C}$) e afastando-se da fonte, nota-se o aumento da temperatura do bloco, indicando menor umidade ($\approx 26^{\circ}\text{C}$). A capilaridade também está presente no bloco de concreto, mas com um padrão pouco diferente do bloco cerâmico devido à menor permeabilidade e ao formato dos poros capilares de cada um dos materiais (COUTINHO, 2005).

Para o bloco de concreto em contato com a fonte de água durante 24 horas e logo após sendo exposto à fonte de energia térmica mas fora da água, obteve-se as seguintes imagens (Figura 11) registradas na face que estava exposta à fonte de energia.

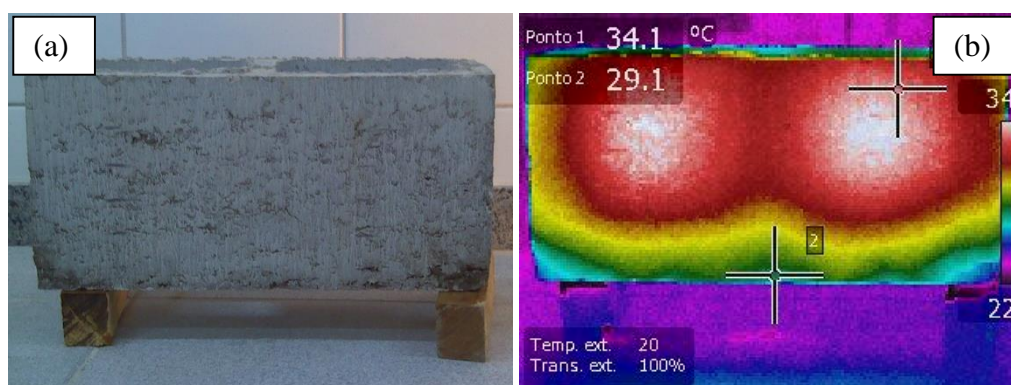


FIGURA 11: Imagens (a)ótica e (b)termográfica do bloco de concreto após 24 horas em contato com a água.

O aquecimento da face fotografada demonstrou que, em 24 horas, a percolação da água ficou mais nítida e está expressada nas regiões em azul ($\approx 24^{\circ}\text{C}$), ciano ($\approx 26^{\circ}\text{C}$), verde ($\approx 28^{\circ}\text{C}$) e amarelo ($\approx 30^{\circ}\text{C}$). A característica de menor temperatura próxima à fonte de água continua presente, se mostrando mais quente com o distanciamento da fonte de umidade. Nota-se que o bloco de concreto apresentou uma variação na temperatura de aproximadamente 5°C , ante 10°C do bloco cerâmico. Tais valores estão relacionados à quantidade de poros no interior dos blocos, o que proporciona maior condutividade térmica no bloco de concreto que possui menos vazios a serem preenchidos, portanto, menos ar em seu interior.

4.2 ESTUDO II

Sendo o Estudo II realizado em campo, apresenta-se, na Figura 12, as imagens obtidas da fachada norte.


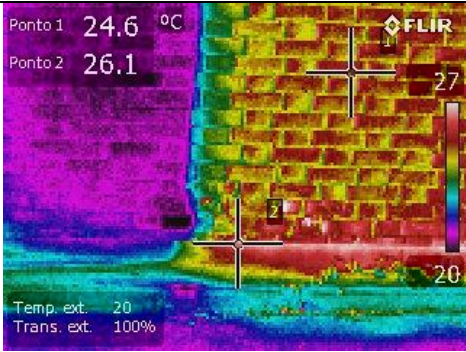

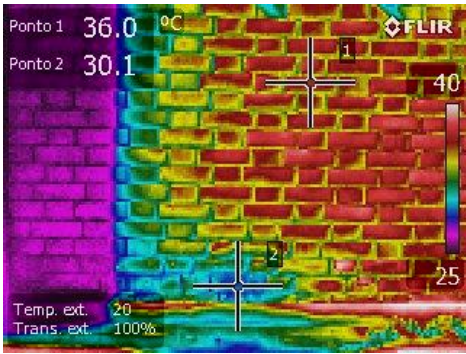

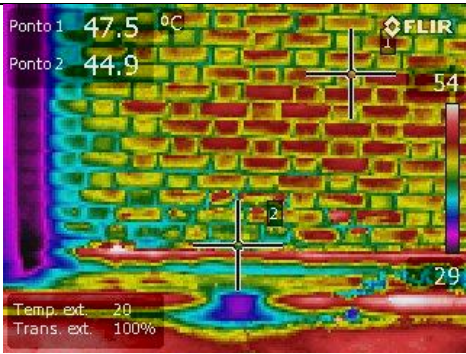



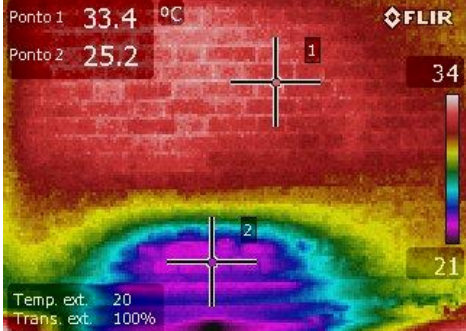
	Imagem ótica	Imagem térmica
08:00 horas		
10:00 horas		
12:00 horas		
14:00 horas		
16:00 horas		


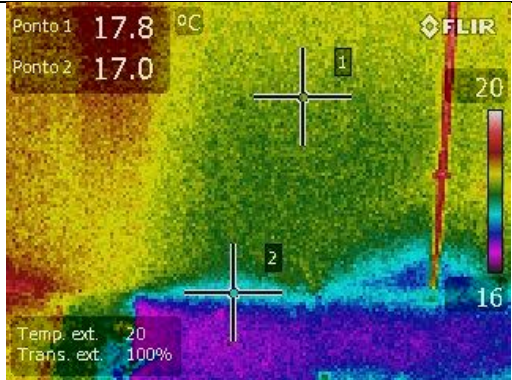

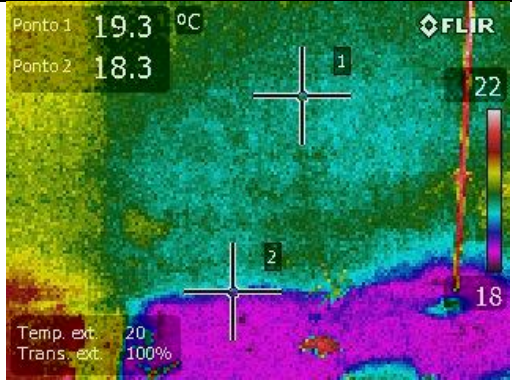

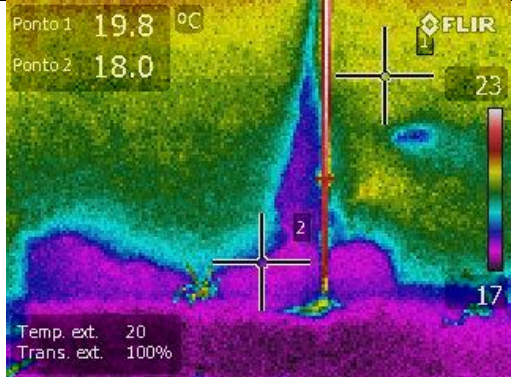
FIGURA 12: Imagens óticas e termográficas da fachada virada para o norte em todos os horários pré-determinados.

A fachada norte apresenta um pilar de seção circular que gerou uma sombra significativamente grande no período das 8:00, chegando a alcançar a região úmida analisada e fazendo com que a região sombreada não fosse aquecida pelo sol (região arroxeadada nas imagens termográficas). Mesmo assim, na sombra é possível ver uma região de um tom roxo mais escuro no tijolo que estava umedecido em relação ao tom em que apareceram os demais tijolos próximos que não estavam tão úmidos, o que se conclui que a região estava mais úmida e, portanto, mais fria. Entretanto, nota-se que, quando a região é aquecida, é mais nítida a identificação das regiões mais úmidas e suas diferenças com as regiões mais secas, pois o padrão cromático fica mais claro.

Até o período das 12:00 o ar-condicionado cujo dreno é o responsável pela umidade da região em análise não se encontrava ligado. Mesmo assim, pode-se observar nas imagens termográficas das 10:00 e 12:00 horas que a região se encontrava mais fria na base (onde a umidade está mais elevada), com tons azulados/esverdeados, e mais quentes à medida que se afasta da região úmida (tons amarelados/avermelhados).

Por volta das 13:00 o ar-condicionado foi acionado, fazendo com que o dreno liberasse água e reiniciasse o processo de umidificação da região. Assim, os tijolos passaram a absorver a água fornecida e o padrão mostrou-se muito mais nítido, semelhante ao padrão observado nos ensaios em laboratório (Figuras 10 e 12).

Para a fachada sul, obteve-se as seguintes imagens (Figura 13).

Tempo	Imagem ótica	Imagem térmica
8:00 horas		
10:00 horas		
12:00 horas		

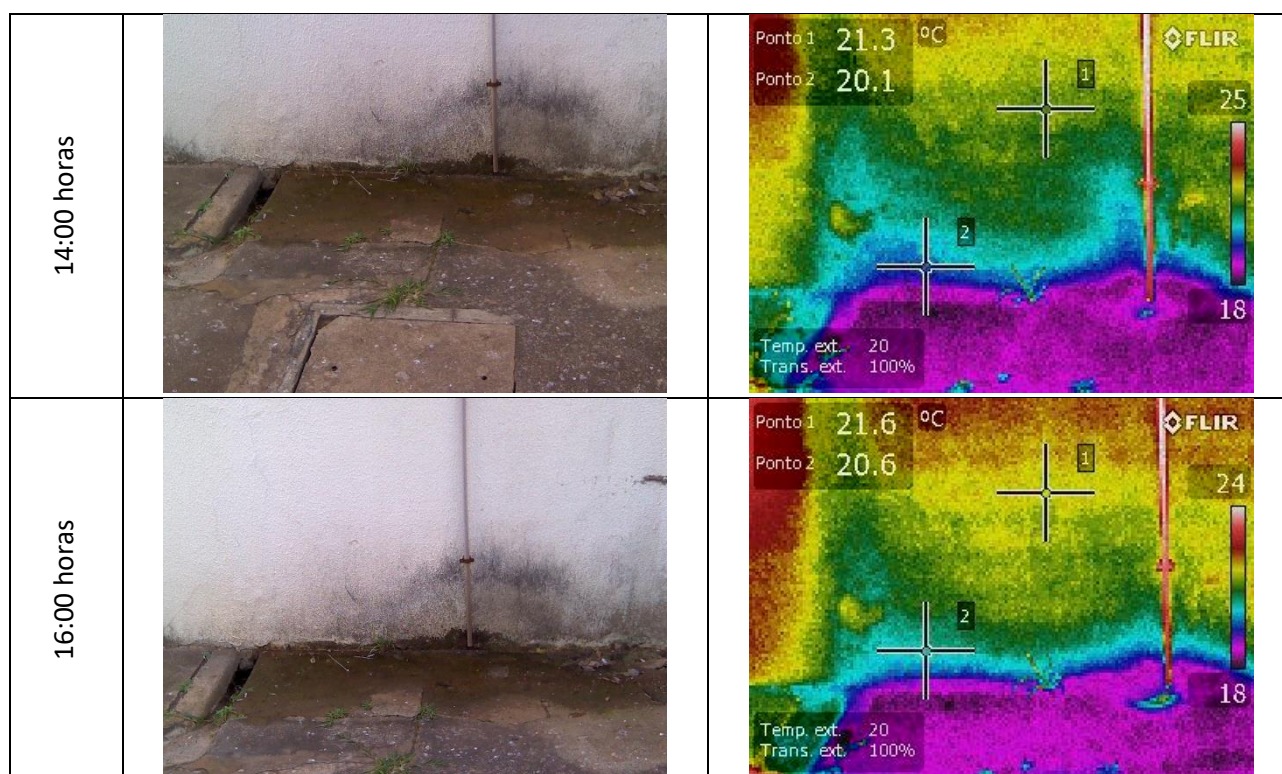


FIGURA 13: Imagens óticas e termográficas da fachada virada para o sul em todos os horários pré-determinados.

A respeito da fachada sul, esta encontrou-se constantemente com fonte de umidade. É observada a presença de água na parede em todas as imagens termográficas capturadas, mesmo quando não houve incidência solar (nos horários das 08:00 e 10:00). Porém, é visível que o padrão fica mais nítido quando a incidência solar se faz presente (por volta das 13:00 em diante), sendo possível analisar as regiões arroxeadas (que estão na base, bastante úmidas e, portanto, mais frias, em torno dos 18°C), seguindo-se para as regiões em azul-escuro, azul-claro, esverdeado e amarelado à medida que a umidade vai diminuindo, chegando até ao tom avermelhado, em que quase não há a presença de umidade. Desta forma, através das imagens termográficas, pode-se notar até onde a umidade alcança o sistema de vedação.

Buscando a comprovação de que os padrões térmicos encontrados nas fachadas norte e sul eram realmente advindos da presença de umidade, utilizando o medidor de umidade superficial T-M-170, fez-se a aferição de diversos pontos nas proximidades das regiões onde supostamente teria presença de umidade. Os locais aproximados dos pontos aferidos estão apresentados na Figura 14.



FIGURA 14: Imagens óticas das fachadas (a) norte e (b) sul com os pontos de aferição de umidade

Os valores de umidade superficial encontrados para cada ponto mapeado nas duas fachadas estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1: Valores de umidade superficial em vários pontos das paredes aferidos através do aparelho medidor de umidade superficial T-M-170

Parede \ Ponto	1	2	3	4	5	6	7	8
Norte	26,8 %	26,4 %	27,3 %	30,2 %	31,5 %	32,2 %	31,1 %	17,6 %
Sul	14,8 %	15,4 %	15,2 %	12,7 %	11,8 %	12,3 %	12,2 %	7,9 %

Notou-se durante a aferição da umidade superficial que o aparelho medidor apresenta dificuldade de adaptação às superfícies que possuem rugosidades, apresentando valores diferentes para cada tipo de superfície, mas para um mesmo material, pode-se analisar qualitativamente os resultados obtidos.

Para a fachada norte, constituída de tijolo aparente que permitiu um contato melhor com o sensor do medidor de umidade superficial, nota-se que o mesmo apresentou valores de umidade superficial mais altos para os pontos mais próximos da fonte de umidade (pontos 1 a 7) e, para o ponto 8 que se encontra mais distante, apresentou um valor de umidade superficial bem inferior, permitindo a identificação da região mais próxima da fonte de umidade.

Já a fachada sul, revestida de textura rústica que é rugosa e cheia de pontas, há a dificuldade de contato pleno do sensor do medidor de umidade com a superfície, proporcionando valores aferidos que não se pode comparar com os encontrados na fachada norte. Os valores de umidade superficial encontrados para a fachada sul demonstram claramente que os pontos 1, 2 e 3 estão bem próximos à fonte de umidade, os pontos 4, 5, 6 e 7 se encontram há uma distância um pouco maior que os anteriores e o ponto 8 é o mais distante da fonte.

Assim, tem-se que, tanto para a fachada norte quanto para a fachada sul, as imagens termográficas realmente apontaram o gradiente de temperatura condizente com a presença de umidade.

5. CONCLUSÃO

Em virtude dos resultados apresentados para o Estudo I, bem como das análises realizadas sobre as imagens obtidas, é possível concluir que uma fonte de umidade é observada pela termografia quando houver um padrão cromático na imagem termográfica, indicando um gradiente de temperatura, em que há uma região mais fria (região onde se encontra a fonte da umidade) e que, gradativamente, vai esquentando à medida que se afasta de forma radial à fonte, indicando que a umidade diminui quanto mais se distancia da fonte. Assim, faz-se possível descobrir o foco da umidade, permitindo a manutenção diretamente na fonte da manifestação patológica, sendo, portanto, a Termografia Infravermelha um eficiente método de Ensaio Não-Destrutivo na identificação de umidade em elementos de vedação.

No Estudo II, para ambas as fachadas, em todos os horários analisados foi possível identificar o gradiente de temperatura devido à presença de umidade (desde a origem até o local mais seco). Porém, foi observado que os melhores horários para a determinação da fonte de umidade são os que a incidência solar se faz mais presente. Caso encontre dificuldade de visualização da imagem termográfica devido as condições ambientes, sugere-se o uso de uma fonte artificial de energia térmica sob o local de análise, proporcionando as condições que permitam a condutividade térmica para que apresente o gradiente de temperatura característico da presença de umidade, caso seja essa a manifestação patológica do local avaliado.

6. REFERÊNCIAS

ABENDI: Associação Brasileira dos Ensaios Não-Destrutivos. **Ensaios Não Destrutivos e Inspeção**. Disponível em: <<http://www.abendi.org.br/abendi/default.aspx?mn=709&c=17&s=&friendly=>>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2016.

ABNT: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005.

ANALYSIS, *Paralysis by*. **Curiosidades: “Qual é a Temperatura Média da Terra?”**. 2013. Disponível em: <<https://paralysisbyanalysis52.wordpress.com/2013/07/14/curiosidades-v-qual-e-a-temperatura-da-terra/>>, acesso em 14 de fevereiro de 2016.

BAUER, W.; WESTFALL, G.; DIAS, H. **Física para Universitários - Relatividade, Oscilações, Ondas e Calor**. São Paulo, AMGH Ed. Ltda, 2013.

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em edificações de Patrimônio Histórico**. 2007. 178f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Mecânica. Belo Horizonte, 2007.

COUTINHO, J. S. **Melhoria da Durabilidade dos Betões por Tratamento da Cofragem**. 1 ed. Porto, FEUP Edições, 2005.

FLIR - *Research and Science*, 2016. Disponível em: <<http://www.flir.com/science/display/?id=60812>>, acesso em 12 de fevereiro de 2016.

FREITAS, J. G.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 57-73, jan/mar 2014.

GUERRA, Rui. **Verificação da Lei de Stefan-Boltzmann**. Universidade do Algarve - Departamento de Física. Faro, 2013. Disponível em: <<http://w3.ualg.pt/~jlongras/1-Lei-Stefan-Boltzmann.pdf>>, acesso em 13 de fevereiro de 2016.

KERSUL, G. M. **Uso da termografia para inspeção e manutenção predial - Estudo de Caso**. 2014. 65f. Monografia (graduação). UniCEUB - Centro Universitário de Brasília. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas. Brasília, 2014.

MEDEIROS, Giovana. **Métodos de Ensaaios Não Destrutivos para Estruturas de Concreto**. Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/metodos-de-ensaios-nao-destrutivos-para-estruturas-de-concreto/>>, acesso em 11 de fevereiro de 2016.

MENDONÇA, Luís Viegas. **Termografia por Infravermelhos: Inspeção de Betão**. Engenharia & Vida, Lisboa, nº 16, p. 53-57, 2005.

MENDONÇA, Luís Viegas; AMARAL, Miguel M. do; CATARINO, Pedro Soares. **A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios**. Lisboa, 2010. Disponível em: <<http://www.spybuilding.com/private/admin/ficheiros/uploads/6b0dca6c9e15cc51dc73bde0562a31d5.pdf>>. Acesso em 11 de fevereiro de 2016.

ROSINA, E.; LUDWIG N. **Optimal thermographic procedures for moisture analysis in buildings materials**. In: *Proceeding of SPIE* 1998. Disponível em <<http://www.brera.unimi.it/istituto/archeo/pubblicazioni/termografia/Optimal%20thermographic%20procedures%20for%20moisture%20analysis.pdf>>. Acesso em 22 de julho de 2016.

SILVA, Domiciano Correa Marques Da. **"Lei de Fourier"**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilestela.uol.com.br/fisica/lei-fourier.htm>>. Acesso em 11 de julho de 2016.

VERATTI, Attílio Bruno. **Termografia: princípios, aplicações e qualidade**. São Paulo: ICON Tecnologia, 1992.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física II: Termodinâmica e ondas**. 12 ed. São Paulo, Addison Wesley, 2008.