



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

THAMÍRES SAMPAIO LEITE

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À INSPEÇÃO DE
EDIFÍCIOS**

PALMAS-TO

2023

THAMÍRES SAMPAIO LEITE

**TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À INSPEÇÃO DE
EDIFÍCIOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro
Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Orientador: Prof. Dr. Moacyr Salles Neto

PALMAS-TO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

L533t Leite, Thamíres Sampaio
Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios / Thamíres
Sampaio Leite. – Palmas, TO, 2023.
60 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, Palmas, TO, 2023.

Orientador: Dr. Moacyr Salles Neto

1. Patologias. 2. Imagem Térmica. 3. Câmera Termográfica. I. Neto,
Moacyr Salles. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e
pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

THAMÍRES SAMPAIO LEITE

TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA APLICADA À INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS

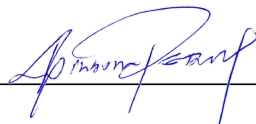
Trabalho de conclusão de curso apresentado
à Coordenação do curso de Engenharia Civil
Instituto Federal do Tocantins - Campus
Palmas, como exigência à obtenção do grau
em Engenheiro Civil.

Aprovado em: 02/06/2023

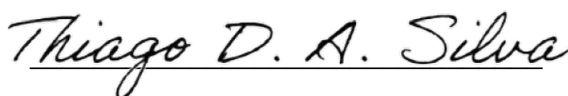
BANCA AVALIADORA



Prof. Dr. Moacyr Salles Neto
Orientador



Prof. Dr. Gilson Marafiga Pedroso
Avaliador 1



Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva
Avaliador 2

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu noivo, que me apoiaram e incentivaram em todos os momentos. A minha gratidão é eterna e o amor que sinto por vocês é infinito.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus, por ter me dado forças para seguir em frente e superar todos os desafios.

Aos meus pais, agradeço por todo o amor, incentivo e apoio incondicional que me deram ao longo da minha vida e especialmente durante a faculdade. Vocês foram meus maiores exemplos e minha maior inspiração. Sem a ajuda de vocês, eu não teria chegado até aqui.

Ao meu noivo, por estar sempre presente em todas as etapas da minha vida acadêmica.

Aos meus amigos e colegas de curso, agradeço por todos os momentos inesquecíveis, pela ajuda e pelo incentivo que vocês me deram. Juntos, superamos desafios e alcançamos nossos objetivos.

Aos meus professores, minha eterna gratidão. Agradeço pela dedicação, paciência e conhecimento compartilhado, que contribuíram para meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Em especial, gostaria de agradecer ao Prof. Dr. Moacyr Salles Neto, por sua orientação e sabedoria na condução do meu trabalho de conclusão de curso. Seu conhecimento e experiência foram fundamentais para a realização deste projeto.

Enfim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho, minha eterna gratidão. Obrigado por serem parte dessa jornada e por torná-la inesquecível.

“Para acompanhar a alta velocidade da tecnologia;
precisamos atualizar a cabeça todo dia , com três
palavras: aprender , atualizar e adaptar.”

Delson Jacinto Vieira

RESUMO

A termografia infravermelha é um método não invasivo e não destrutivo que envolve a aquisição e análise de dados por meio de dispositivos de imagem térmica. Neste estudo, nosso objetivo foi analisar a eficácia da termografia infravermelha como uma ferramenta de diagnóstico de patologias em edifícios e identificar os principais desafios enfrentados na aplicação dessa técnica. Para tanto, em um primeiro estudo, verificou-se a eficácia da câmara, observando os padrões de temperatura apresentados quando há escoamento percolação de água por tubulações de esgoto. Por fim, realizou-se a captura de imagens de focos de umidade e infiltração no subsolo de uma edificação Institucional. Dessa forma, observou-se que com a câmara termográfica foi possível mapear infiltrações e focos de umidade em edifícios, bem como mapear tubulações em painéis de alvenaria, ainda que de forma parcial, uma vez que em locais com revestimento mais espesso não foi possível mapear completamente as tubulações na alvenaria. Em suma, a câmara termográfica tem se revelado uma ferramenta eficiente e complementar durante as inspeções, proporcionando a identificação precisa de áreas com focos de umidade e infiltrações, e mapeamento de tubulações em alvenaria com revestimento de pequena espessura.

Palavras-chave: Termografia Infravermelha. Patologias. Imagem Térmica. Câmera Termográfica.

ABSTRACT

Infrared thermography is a non-invasive and non-destructive method that involves data acquisition and analysis using thermal imaging devices. In this study, our objective was to analyze the effectiveness of infrared thermography as a diagnostic tool for pathologies in buildings and to identify the main challenges faced in the application of this technique. Therefore, in a first study, the effectiveness of the chamber was verified, observing the temperature patterns presented when there is water percolation flow through sewer pipes. Finally, images were captured of moisture and infiltration in the basement of an institutional building. Thus, it was observed that with the thermographic camera it was possible to map infiltrations and moisture spots in buildings, as well as to map pipes in masonry panels, albeit partially, since in places with thicker coating it was not possible to map completely the pipes in the masonry. In short, the thermographic camera has proven to be an efficient and complementary tool during inspections, providing the precise identification of areas with foci of moisture and infiltration, and mapping of pipes in masonry with thin coating.

Keywords: Infrared Thermography. Pathologies. Thermal Imaging. Thermographic Camera.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Origem e evolução da Termgrafia Infravermelha	31
Figura 2 - Representação esquemática do processo de captação de uma câmera termográfica infravermelha e os fatores influenciadores. Radiação emitida pelo: (1) meio adjacente; (2) objeto; (3) atmosfera. E detalhes da: (4) câmara termográfica e, (5) termograma.....	33
Figura 3 - Espectro Eletromagnético	35
Figura 4 - Identificação de tubulação de água quente embutida em alvenaria.....	39
Figura 5 - Detecção de destacamento em fachada de edifício no período da tarde.....	39
Figura 6 - Identificação de fissuras em fachadas com revestimento em argamassa e pintura	40
Figura 7 - Presença de umidade no teto com uso da imagem termográfica (b), imagem real (a)	41
Figura 8 - Presença de umidade na parede não perceptível visualmente: (A) situação, (B) termograma.....	41
Figura 9 - Presença de umidade pouco perceptível: (A) situação; (B) termograma	41
Figura 10 - Aquecimento de disjuntores de baixa tensão.....	42
Figura 11 - Identificação do sistema construtivo	42
Figura 12 - Fluxograma de execução da etapa 1	44
Figura 13 - Fluxograma de execução da etapa 2	45
Figura 14 - Edifício do Tribunal de Contas do Estado do Tocantins, localizado em Palmas .	45
Figura 15 - Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas	46
Figura 16 - Localização IFTO - Campus Palmas	46
Figura 17 - Localização edifício multifamiliar (605 sul)	47
Figura 18 - Localização do residencial unifamiliar (405 Norte)	47
Figura 19 - Localização do edifício do TCE-TO.....	48
Figura 20 - Câmera termográfica utilizada na pesquisa	50
Figura 21 - Termo-Higrômetro Digital HTH-913 utilizado na pesquisa	50
Figura 22 - Termômetro eletrônico TP300 utilizado na pesquisa	51
Figura 23 - Equipamento banho-maria digital.....	52
Figura 24 - Imagem termográfica do experimento teste	52
Figura 25 - Temperaturas determinadas pelo dispositivo Termo-Higrômetro Digital.....	53
Figura 26 - Uso do equipamento termômetro digital TP300.....	53
Figura 27 - Importar imagens da câmera.....	54
Figura 28 - Seleção das imagens	55

Figura 29 - Adicionar pontos de medições no termograma	55
Figura 30 - Adicionar parâmetros determinados pelo termo-higrômetro.....	56
Figura 31 - Visualizar todas as imagens termográficas no computador.....	56
Figura 32 - Mapeamento das tubulações embutidas na parede do laboratório.....	57
Figura 33 - Imagem térmica e real do ralo do laboratório, registradas simultaneamente	58
Figura 34 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente na pia da cozinha	59
Figura 35 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente no lavatório do BWC.....	59
Figura 36 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente no ralo do BWC.....	59
Figura 37 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente na pia da área de lazer	60
Figura 38 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente no lavatório da área de lazer	61
Figura 39 - Imagem térmica e real registradas de outro ângulo no lavatório da área de lazer	61
Figura 40 - Imagem térmica e real registradas no lavatório do banheiro social.....	62
Figura 41 - Identificação de tubulações embutidas no banheiro suíte.....	62
Figura 42 - Presença de materiais refletivos.....	63
Figura 43 - Focos de umidade na área de jardinagem do subsolo do TCE-TO.....	64
Figura 44 - Presença de infiltração na parede do subsolo do TCE-TO	64
Figura 45 - Focos de umidade na parede do subsolo do TCE-TO	65
Figura 46 - Presença de infiltração na parede do subsolo do TCE-TO	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Normas da ABNT sobre Termografia.....	34
Quadro 2 - Fatores de Emessividade para materiais comuns.....	36
Quadro 3 - Dados dos edifícios estudados	49

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
ABENDI	Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção
IV	Radiação Infravermelha
IRT	Infrared Radiation Thermography
MXV	Multi-Spectral Dynamic Imaging
CCD	Charge-coupled device
BWC	Bathroom Water Closet

LISTA DE SÍMBOLOS

W	Taxa de emissão de energia radiante
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
ε	Emissividade do objeto
T	Temperatura absoluta do objeto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	28
1.1 Problema de Pesquisa.....	29
1.2 Justificativa	29
1.3 Objetivos.....	30
1.3.1 Objetivo Geral	30
1.3.2 Objetivos Específicos	30
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	30
2.1 Histórico.....	30
2.2 Termografia Infravermelha.....	31
2.3 Câmeras Termográficas	34
2.4 Emissividade	35
2.4 Temperatura de Ponto de Orvalho	37
2.5 Temperatura de Bulbo Úmido.....	37
2.6 Aplicação Civil	38
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	44
3.1 Etapas da Pesquisa	44
3.2 Métodos e Materiais	46
3.3 Técnica	49
3.3.1 Etapa 1: Levantamento das informações	49
3.3.2 Etapa 2 : Avaliação e Identificação das imagens termográficas.....	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
4.1 Mapeamento de Instalações Hidrossanitárias	57
4.1.1 Localização A.....	57
4.1.2 Localização B	58
4.1.2 Localização C	60
4.2 Focos de Umidade e Infiltrações	63
4.2.1 Localização D.....	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
REFERÊNCIAS	68
ANEXOS	71

1 INTRODUÇÃO

A inspeção de edifícios é um processo fundamental para garantir a segurança e o conforto dos usuários, bem como a durabilidade das edificações. A identificação de manifestações patológicas em edifícios, tais como umidade, infiltrações, fissuras e vazamentos, é essencial para orientar as intervenções necessárias. Dessa forma, na área de diagnóstico de patologias, a utilização de ferramentas não destrutivas é priorizada devido ao incômodo causado por técnicas destrutivas, especialmente em edifícios habitados (Freitas et al., 2014).

A partir disso, o método de termografia infravermelha é uma técnica não invasiva e não destrutiva que consiste na aquisição e análise de dados por meio de dispositivos de imagem térmica (Barreira et al., 2016), e segundo Santos et al. (2019) esse método oferece vantagens para aplicação em inspeções, já que pode fornecer resultados rápidos sem a necessidade de contato físico com o objeto analisado, além de detectar danos invisíveis a olho nu e apresentar resultados em tempo real.

Apesar de sua utilidade, a termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios ainda enfrenta alguns desafios. Um dos principais desafios é a incorreta interpretação das imagens termográficas, que exigem conhecimento técnico e experiência por parte do inspetor. O resultado da medição de temperatura é registrado em um termograma (imagem), porém é necessário ter conhecimento dos diversos parâmetros específicos do equipamento para se obter uma análise precisa dos dados. Também é importante saber avaliar o significado de cada heterogeneidade apontada no termograma (BAUER; PÁVON, 2015). Além disso, a variação das condições ambientais, tais como a umidade e a temperatura ambiente, podem afetar os resultados da termografia, tornando necessário o controle destas variáveis durante a inspeção.

Destacam-se outros desafios relacionados à realização da inspeção termográfica, como: a limitação na detecção apenas das temperaturas superficiais de objetos e sujeitos, e a dificuldade na interpretação de imagens de determinados materiais devido à sua emissividade (SILVA et al., 2015). Além disso, a presença de obstáculos, como vegetação e equipamentos, pode dificultar a realização da inspeção.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a eficácia da termografia infravermelha como ferramenta de diagnóstico de patologias em edifícios e identificar as principais dificuldades enfrentadas na aplicação da técnica. Para tanto, serão analisados estudos teóricos que abordam aplicação da termografia infravermelha na inspeção de edifícios.

Por fim, será realizado um estudo de caso para identificação de patologias relacionadas às infiltrações e umidades no estacionamento do subsolo do prédio do Tribunal de Contas do Estado e na identificação do fluxo de água em tubulações de esgoto embutidas em painéis de alvenaria com diferentes características.

1.1 Problema de Pesquisa

O principal desafio enfrentado na aplicabilidade da termografia infravermelha é a incorreta interpretação das imagens termográficas, o que pode gerar resultados de inspeção equivocados. Além disso, para diagnóstico de manifestações patológicas a ferramenta possui algumas limitações quanto ao seu uso. Dessa forma, a pergunta que norteia este estudo é: Quais as possibilidades que a termografia oferece como ferramenta no diagnóstico das manifestações patológicas existentes em obras civis e quais as dificuldades oferecidas na interpretação dos seus resultados?

1.2 Justificativa

Mediante os problemas citados, nota-se que a termografia infravermelha é uma ferramenta útil para identificação de algumas manifestações patológicas, uma vez que é uma técnica não destrutiva e não invasiva. Por meio do uso de termovisores, que coletam e medem a intensidade da radiação nas superfícies dos objetos, é viável analisar as diferentes temperaturas presentes em uma fachada, por exemplo, permitindo a identificação de possíveis patologias, tubulações ou mesmo a diferenciação da alvenaria de um elemento estrutural (BARREIRA; DE FREITAS, 2007).

A partir disso o uso da termografia infravermelha apresenta diversas vantagens em relação a outras técnicas de diagnóstico, como a detecção de problemas invisíveis a olho nu, na agilidade na identificação das patologias, e também a não necessidade de contato físico com a superfície, consequentemente não é necessário danificar a estrutura do edifício. Ademais, há a possibilidade de identificação de problemas em áreas de difícil acesso com ajuda de drones.

Em relação ao aspecto financeiro, a aplicação da termografia infravermelha apresenta um custo-benefício interessante, pois a realização de inspeções com a técnica é relativamente rápida e não é necessário paralisar as atividades do edifício. Já em relação ao equipamento há diferentes modelos, assim a demanda a ser resolvida resultará em um equipamento com maior ou menor custo.

Apesar das inúmeras vantagens da termografia infravermelha, ainda é comum a subutilização dessa técnica em inspeções de patologias em edifícios. Isso pode ser explicado

pela falta de conhecimento sobre a técnica por parte de alguns profissionais da construção civil e pela falta de investimento em equipamentos e treinamentos especializados. Mediante ao exposto, esse trabalho corrobora para auxiliar a comunidade acadêmica a utilizar de forma correta e assertiva as informações geradas pela termografia infravermelha.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar uma revisão da literatura sobre a termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios, destacando os principais desafios enfrentados e as soluções propostas pelos autores para superá-los, bem como, um estudo de caso.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Baseado em estudos científicos identificar as principais dificuldades enfrentadas na aplicação da técnica em decorrência da variação de temperatura, condições climáticas, reflexão de calor, inexperiência na interpretação das imagens;
- Identificar e avaliar a eficácia da termografia infravermelha como ferramenta de diagnóstico de patologias relacionadas a umidade e infiltrações localizado no estacionamento do subsolo do prédio do Tribunal de Contas do Estado e na identificação do fluxo de água da pia do laboratório do IFTO e das residências da 605 sul e 405 norte , ambos localizados na cidade de Palmas - TO.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico

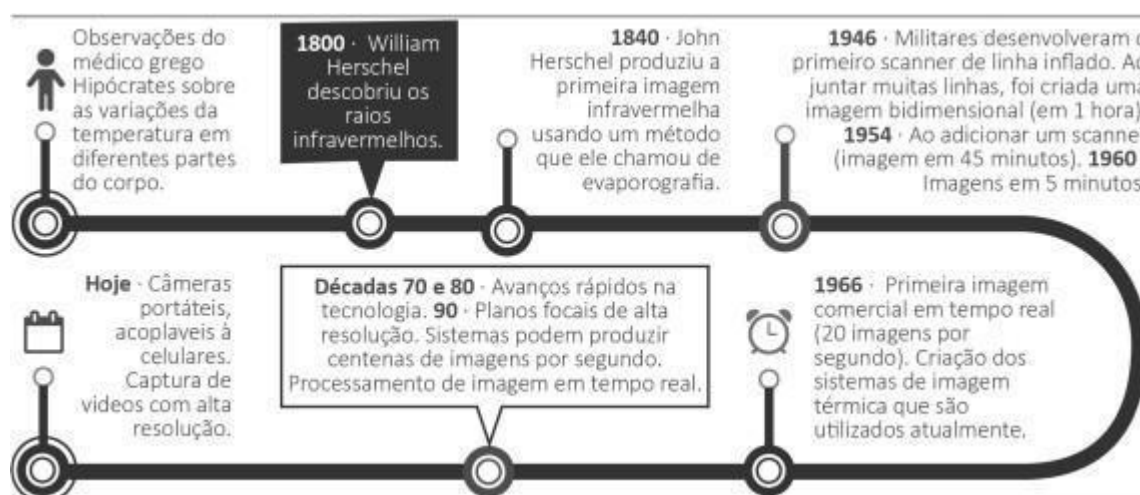
A termografia infravermelha tem sua origem relacionada às observações realizadas pelo médico, filósofo e pesquisador grego Hipócrates, que identificou variações de temperatura corporal por meio da alteração das características da argila utilizada como instrumento de avaliação (BRIOSCHI; MACEDO; MACEDO, 2003).

Segundo Mendonça, Amaral e Catarino (2010), o astrônomo inglês William Herschel descobriu os raios infravermelhos ao investigar qual faixa do espectro era responsável pelo aquecimento de objetos. Ele demonstrou que tais raios estavam presentes em um comprimento de onda acima do visível, dividindo-os em ondas curtas (2-5 μm) e ondas longas (8-14 μm). Ou seja, descobriu que a radiação infravermelha poderia ser usada para medir a temperatura dos objetos.

Mais tarde, a termografia surge, quando Willians e John Herschel produziram as primeiras imagens termográficas utilizando o sistema infravermelho através da técnica evaporográfica, que envolve a evaporação do álcool presente em uma superfície pintada com carbono (HOLST, 2000).

Durante a Segunda Guerra Mundial, por volta de 1940, tanques alemães usaram um sistema chamado de Visão Noturna para invadir a Rússia. Isso levou os Aliados a agirem e desenvolverem o sistema "FLIR - Foward Looking Infra Red" (traduzido como "Visão Avante por Infravermelhos"), que foi utilizado pelos norte-americanos para detectar inimigos. Em 1946, o scanner de infravermelho foi criado, permitindo gerar um termograma em algumas horas (MENDONÇA; AMARAL; CATARINO, 2010). Na figura abaixo apresenta os principais acontecimentos do desenvolvimento deste método.

Figura 1 - Origem e evolução da Termgrafia Infravermelha



Fonte: Elaborado pelos autores com base em Brioschi, Macedo e Macedo (2003) e Holst (2000).

Porém, durante as décadas de 1970, 1980 e 1990, houve grandes progressos tecnológicos na técnica, com destaque para o surgimento de sistemas de alta resolução que tinham a capacidade de gerar centenas de imagens por segundo e realizar o processamento dessas imagens em tempo real. (HOLST, 2000). Nos dias atuais, existem vários tipos de termovisores disponíveis no mercado, tais como modelos profissionais, compactos e adaptados para smartphones e até mesmo para drones. Essa diversidade torna a técnica termográfica mais acessível e visível.

2.2 Termografia Infravermelha

A termografia infravermelha é uma técnica de medição que utiliza a radiação

infravermelha para detectar a temperatura de objetos e superfícies. Essa detecção é realizada por um equipamento que capta a radiação infravermelha e a transforma em uma imagem térmica denominada termograma, assim, a imagem ilustra as variações de temperatura por meio de um espectro de cores, que não são visíveis a olho nu (CERDEIRA et al., 2011; MOBLEY, 2002; SILVA, 2017). Hoje em dia essa técnica é amplamente utilizada em diversas áreas, como na indústria, medicina, engenharia, inspeção predial e na pesquisa científica.

Uma das fórmulas mais utilizadas é a lei de Stefan-Boltzmann, que relaciona a radiação emitida por um corpo negro (objeto ideal que absorve toda a radiação que incide sobre ele) com sua temperatura. A Lei de Stefan-Boltzmann corresponde a equação 1:

$$W = \varepsilon \times \sigma \times T^4 \quad (1)$$

Onde:

W = taxa de emissão de energia radiante (W/m^2);

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

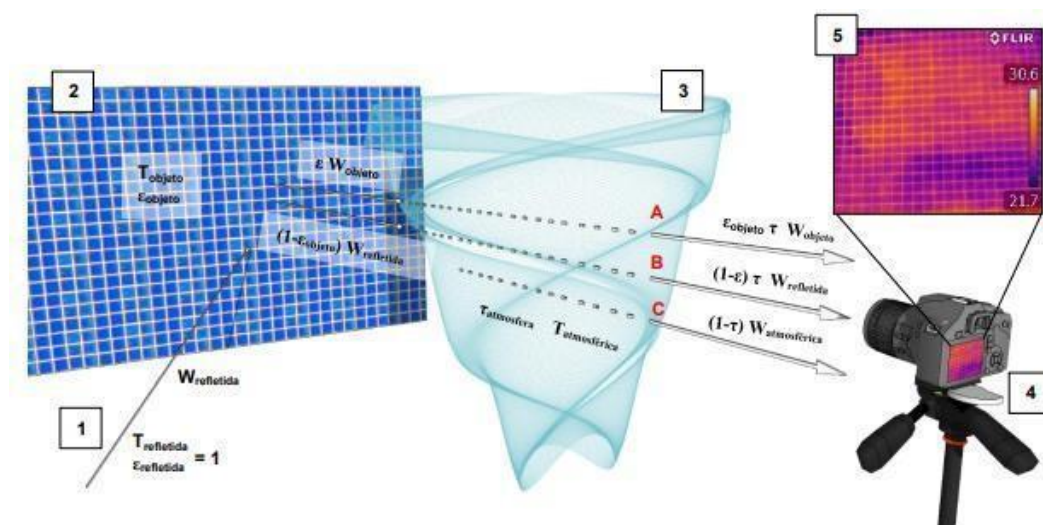
ε = emissividade do objeto (que varia de 0 a 1 e representa a capacidade de um objeto de emitir radiação infravermelha em relação a um corpo negro);

T = temperatura absoluta do objeto (em kelvin).

A prática da termografia infravermelha envolve o uso de câmeras termográficas, também chamadas de termovisores. São equipamentos que permitem a captura das ondas, detectando o infravermelho em uma escala do espectro eletromagnético (FLIR, 2016). Dessa maneira, os termovisores capturam a energia infravermelha emitida pelo objeto, transformando-a em valores de temperatura e gerando o termograma, na qual as diferentes temperaturas são representadas por cores diferentes.

Na figura 02, podemos observar um esquema do processo de captação de radiação por um termovisor. A partir disso, percebe-se que durante uma inspeção termográfica, a câmera não capta apenas a radiação emitida pelo objeto sob observação, mas também a radiação refletida pelo ambiente circundante e a radiação atmosférica. Além de contribuir com parte da radiação captada, a atmosfera também atenua a radiação emitida pelo objeto e pelo ambiente. Por isso, é importante que o operador realize a calibração da câmera utilizando os valores de emissividade e transmitância adequados para cada inspeção. Segundo FLIR (2011), os manuais das câmeras termográficas costumam incluir tabelas com valores de referência para ajudar o operador do equipamento.

Figura 2 - Representação esquemática do processo de captação de uma câmera termográfica infravermelha e os fatores influenciadores. Radiação emitida pelo: (1) meio adjacente; (2) objeto; (3) atmosfera. E detalhes da: (4) câmara termográfica e, (5) termograma



Fonte: adaptado de FLIR, 2011.

Podemos dividir a técnica termográfica em dois níveis de aplicação: passiva e ativa. Na termografia passiva, os objetos analisados possuem armazenamento interno de energia térmica ou são aquecidos naturalmente, como pela energia solar. Já na termografia ativa, os objetos são submetidos a uma fonte artificial de aquecimento ou resfriamento, com o objetivo de provocar o fluxo de calor necessário para a geração da imagem térmica (Maldague, 2001).

Além disso, podemos classificar a técnica termográfica em análise qualitativa e quantitativa. Na análise qualitativa, os termogramas gerados são comparados com padrões térmicos para identificar anomalias nos perfis analisados. Já na análise quantitativa, as medições de temperatura são utilizadas para determinar a magnitude da anomalia e para definir as medidas de reparação necessárias (DINIS, 2009).

No que diz respeito ao uso da técnica no mercado brasileiro, a Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção (ABENDI), em colaboração com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), foi responsável pela criação de normas relacionadas a ensaios não destrutivos. Essas normas abrangem várias áreas, incluindo a aplicação da termografia infravermelha.

Quadro 1- Normas da ABNT sobre Termografia

Normas em vigor
ABNT-NBR-16292:2014 Ensaaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas
ABNT-NBR-15572:2013 Ensaaios não destrutivos — Termografia — Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos
ABNT-NBR-15866:2010 Ensaio não destrutivo — Termografia — Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos
ABNT-NBR-15763:2009 Ensaaios não destrutivos - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência
ABNT-NBR-15718:2009 Ensaaios não destrutivos — Termografia — Guia para verificação de termovisores
ABNT-NBR-15424:2006 Ensaaios não destrutivos - Termografia - Terminologia

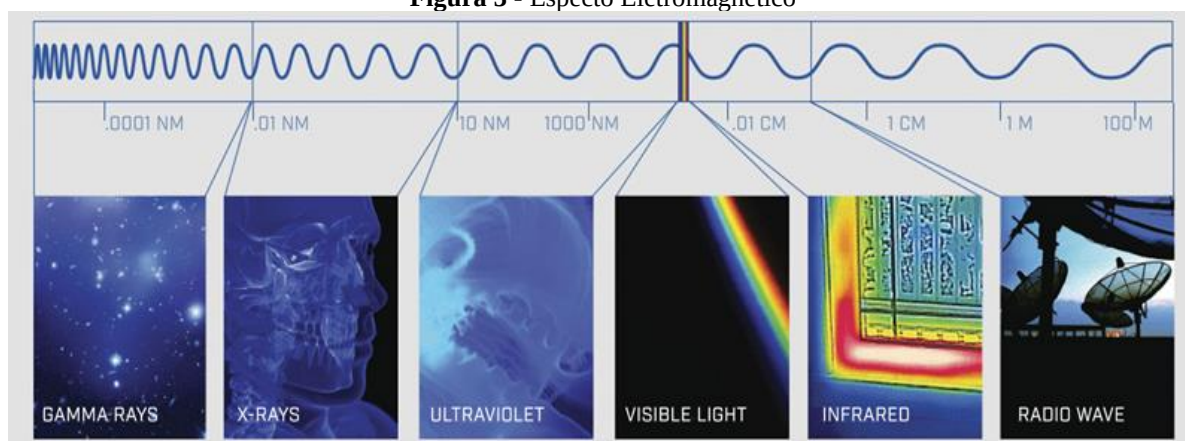
Fonte: Kersul, 2014.

Os documentos brasileiros que regulamentam a aplicação da técnica termográfica no mercado estão principalmente focados na inspeção de sistemas elétricos. No entanto, a padronização das nomenclaturas técnicas através das normas NBR 15424/2016, NBR 16292/2014 e NBR 16485/2016 pode ser aproveitada de maneira limitada no campo da construção civil. Existe uma escassez de material normativo específico para a aplicação da termografia na otimização dos subsídios necessários para inspeção e diagnóstico de edificações, destacando a necessidade de desenvolvimento científico da técnica nesse setor.

2.3 Câmeras Termográficas

A termografia é uma técnica de medição passiva e sem contato direto que utiliza o registro fotográfico dos padrões de calor emitidos por um objeto específico. A partir dos recursos técnicos disponíveis, é possível obter o termograma, que representa visualmente a distribuição térmica desse corpo (SILVA et. al, 2015).

Assim, o dispositivo utilizado para realizar a captura é conhecido como câmera termográfica, pois é capaz de detectar o espectro infravermelho em uma faixa específica do espectro eletromagnético (aproximadamente 900-14.000 nanômetros ou 0,9-14 μm), como mostrado na figura 03. Essas câmaras são compostas por sensores de radiação que amplificam os sinais e os processam através de um processador.

Figura 3 - Espectro Eletromagnético

Fonte: Silva et. al, 2015.

Em relação ao modo de usar, as câmeras termográficas funcionam de maneira inversa ao da captura de imagem fotográfica convencional, pois esta necessita de raios de luz refletindo sobre o objeto. Já as câmeras termográficas capturam as imagens a partir da radiação térmica emitida através da movimentação das moléculas do material.

Segundo Silva et. al, (2015, p. 3):

As termo câmeras convertem a energia do comprimento de onda infravermelha em imagens de luz visível, onde os objetos acima do zero absoluto emitem energia infravermelha térmica sendo que o espectro e quantidade de radiação térmica depende da temperatura da superfície do objeto.

No geral, as câmeras termográficas desempenham um papel fundamental na identificação e solução de problemas térmicos, proporcionando insights valiosos para a manutenção preditiva, inspeções de qualidade e tomada de decisões informadas em uma ampla gama de aplicações.

2.4 Emissividade

De acordo com Barreira (2004), a emissividade (ϵ) de uma superfície é determinada pela relação entre a radiância dessa superfície e a radiância de um corpo negro. Entretanto, a emissividade é influenciada por vários fatores, como comprimento de onda, ângulo de visão em relação à superfície em estudo e a própria temperatura da superfície. Na termografia infravermelha, a emissividade é um parâmetro importante a ser considerado, pois ela afeta diretamente a precisão da medição de temperatura.

As câmeras termográficas utilizam a emissividade para determinar a temperatura da superfície de um objeto. Elas medem a radiação infravermelha emitida pela superfície e, em seguida, aplicam um fator de correção de emissividade para obter a temperatura correta. Isso

acontece porque diferentes materiais têm diferentes valores de emissividade, e se a câmera assumir um valor de emissividade incorreto, a temperatura medida será imprecisa.

De acordo com Madding (2002), a condição da superfície do componente é um fator que afeta a emissividade, que corresponde à habilidade de uma superfície em emitir radiação em diferentes quantidades. É importante destacar que, como os termovisores não medem diretamente a temperatura, mas sim a radiação emitida pela superfície, a leitura de temperatura obtida por esses equipamentos pode ser consideravelmente influenciada pela emissividade da superfície. O valor da emissividade é adimensional e varia entre 0 e 1, e nos materiais de construção correntes apresenta valores elevados.

O valor da emissividade é adimensional e variam de 0, para um refletor perfeito, a 1, para um emissor perfeito, como o Corpo Negro (GAUSSORGUES, 1994). De acordo Anhas (2018), para uma boa parte dos materiais de construção apresenta valores de emissividade altos. O Quadro 2 abaixo serve como orientação para ajustar a emissividade da termocâmera.

Quadro 2 - Fatores de Emissividade para materiais comuns

Material	Emissividade	Material	Emissividade
Asfalto	0.90 a 0.98	Pano (preto)	0.98
Concreto	0.94	Pele (humana)	0.98
Cimento	0.96	Couro	0.75 a 0.80
Areia	0.90	Carvão (pó)	0.96
Terra	0.92 a 0.96	Laca	0.80 a 0.95
Água	0.92 a 0.96	Laca (fosco)	0.97
Gelo	0.96 a 0.98	Borracha (preta)	0.94
Neve	0.83	Plástico	0.85 a 0.95
Vidro	0.90 a 0.95	Madeiras	0.90
Cerâmica	0.90 a 0.94	Papel	0.70 a 0.94
Mármore	0.94	Óxidos de Cromo	0.81
Gesso	0.80 a 0.90	Óxidos de Cobre	0.78
Argamassa	0.89 a 0.91	Óxidos de Ferro	0.78 a 0.82
Tijolo	0.93 a 0.96	Texteis	0.90

Fonte: FLIR TG165 User Manual.

A determinação da emissividade de um material ou superfície é uma tarefa importante e pode ser realizada por meio de experimentos ou consultando tabelas de emissividade. Algumas câmeras termográficas possuem a capacidade de medir a emissividade de uma superfície diretamente, o que torna a medição de temperatura ainda mais precisa.

Conforme Santos (2012) Recomenda-se que o termografista observe a superfície analisada de um ângulo mais perpendicular, a fim de evitar erros na emissividade decorrentes

do ângulo de visão. A partir disso é importante ressaltar que a emissividade pode variar com a temperatura e outras condições e, portanto, sua medida deve ser cuidadosamente realizada.

2.4 Temperatura de Ponto de Orvalho

O ponto de orvalho é a temperatura na qual o ar úmido se torna saturado e começa a condensar em forma de gotículas de água. Essa temperatura é influenciada pela quantidade de vapor de água presente no ar e pela pressão atmosférica. Quando a temperatura da superfície de um objeto cai abaixo da temperatura do ponto de orvalho, ocorre uma condensação da umidade presente no ar sobre a superfície.

Para Schneider, (2012, p. 20):

Ponto de orvalho é a temperatura na qual o vapor d'água satura e condensa. Logo, a 100 % de UR a temperatura do ar iguala-se à temperatura de orvalho. Quanto mais longe a temperatura de orvalho está da temperatura ambiente menor é o risco de condensação e mais seco será o ar.

A termografia infravermelha é uma técnica que permite a medição da temperatura da superfície de objetos sem contato físico, utilizando câmeras termográficas que capturam a radiação infravermelha proveniente dos objetos. A técnica é amplamente utilizada em diversas áreas, incluindo a indústria, a construção civil, a medicina e a agrícola.

A relação entre a temperatura do ponto de orvalho e a termografia infravermelha está relacionada ao fato de que a condensação da umidade sobre a superfície de um objeto pode alterar a emissividade térmica do material e, consequentemente, afetar as medidas de temperatura que ocorrem pela câmera termográfica. De acordo com a tese da Anhas (2018) “A umidade é um dos principais fatores que influencia a emissividade de um corpo.”

Para evitar esses problemas, é importante realizar a correção das medidas de temperatura evoluídas pela câmera termográfica levando em conta a temperatura do ponto de orvalho e outras variáveis ambientais, como a temperatura e a umidade relativa do ar.

Em resumo, a temperatura do ponto de orvalho é um parâmetro importante a ser considerado na termografia infravermelha, pois a umidade presente no ar pode afetar as medidas de temperatura decorrentes da câmera termográfica. A correção das medidas é necessária para garantir a precisão dos resultados obtidos pela técnica.

2.5 Temperatura de Bulbo Úmido

A temperatura de bulbo úmido é uma medida da temperatura do ar úmido que leva em conta a umidade relativa do ar. Ela é obtida por meio de um termômetro com um

pano úmido envolvido em seu bulbo. A água evaporando do pano reduz a temperatura do bulbo, que é influenciada pela umidade do ar. Quanto mais úmido o ar estiver, menor será a evaporação da água e menor será a diferença de temperatura entre o bulbo seco e úmido.

Para Schneider, (2012, p. 20):

Tradicionalmente essa é a temperatura indicada pelo termômetro cujo bulbo está mergulhado numa mecha úmida. As temperaturas de bulbo úmido e seco (do ar) são usadas para o cálculo da UR ou do ponto de orvalho. Alternativamente, tabelas e cartas podem ser usadas.

A temperatura de bulbo úmido é usada para calcular a umidade relativa do ar e para avaliar o desconforto térmico em condições quentes e úmidas. Quando a temperatura do bulbo úmido é igual à temperatura do bulbo seco, a umidade relativa é de 100%. Quando a temperatura do bulbo úmido é significativamente menor do que a temperatura do bulbo seco, a umidade relativa é baixa. Ao realizar uma inspeção termográfica em edifícios, é importante medir a temperatura de bulbo úmido para avaliar a umidade relativa do ar. Isso porque a umidade afeta a capacidade do ar de transportar calor e, portanto, pode influenciar na temperatura das superfícies. Além disso, a umidade pode afetar a eficácia de isolamento térmico de materiais, aumentando a perda de calor ou favorecendo o aparecimento de pontos frios nas superfícies.

Dessa forma, a medição da temperatura de bulbo úmido é uma ferramenta útil para auxiliar na interpretação dos resultados obtidos por meio da termografia infravermelha em edifícios.

2.6 Aplicação Civil

A termografia infravermelha vem conquistando seu espaço em aplicações nas diferentes áreas da construção civil, especialmente, em aplicações para inspeção.

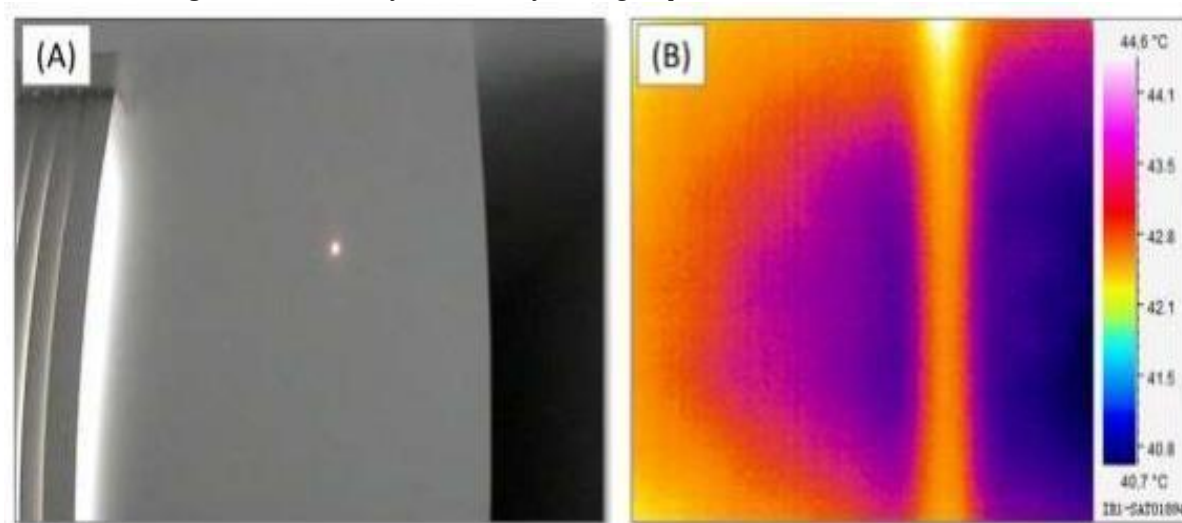
Para Mendonça (2005):

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 compõem (estruturais, de vedação, elétrico, entre outros).

Uma das aplicações mais comuns é a identificação de vazamentos em tubulações hidráulicas e sistemas de aquecimento. Na Figura 04 é possível observar com clareza uma tubulação com passagem de água quente embutida na alvenaria. Na qual os tons mais claros (indo para o tom do amarelo), a temperatura obtida é mais alta, e em locais onde os tons são

mais escuros (indo para o tom azul), a temperatura é mais baixa.

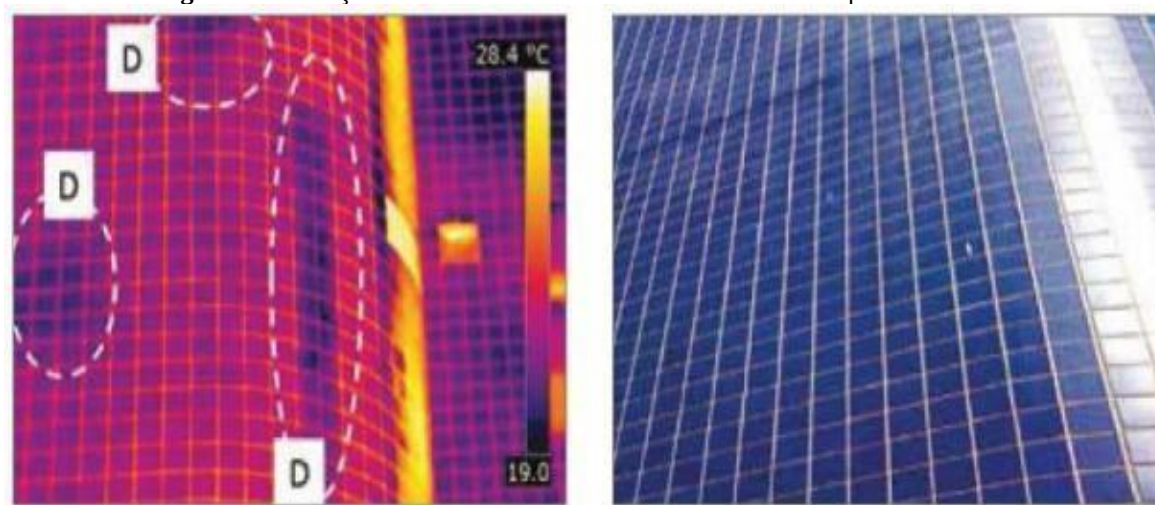
Figura 4 - Identificação de tubulação de água quente embutida em alvenaria



Fonte: Burity Filho, 2019.

Outra aplicação da termografia infravermelha é a localização de infiltrações de ar em edifícios que podem detectar pontos onde o ar frio entra, permitindo que sejam tomadas medidas para aumentar sua eficiência energética. Além disso, a técnica pode detectar pontos onde há perda de calor, indicando áreas onde o isolamento térmico pode ser melhorado. Ademais, a termografia também pode ser utilizada para detectar destacamentos (como observado na Figura 05) nas fachadas de edifícios, que podem ser causados por problemas de aderência, falhas na instalação ou outros fatores. Isso permite que sejam tomadas medidas corretivas, tais como a aplicação de novos revestimentos.

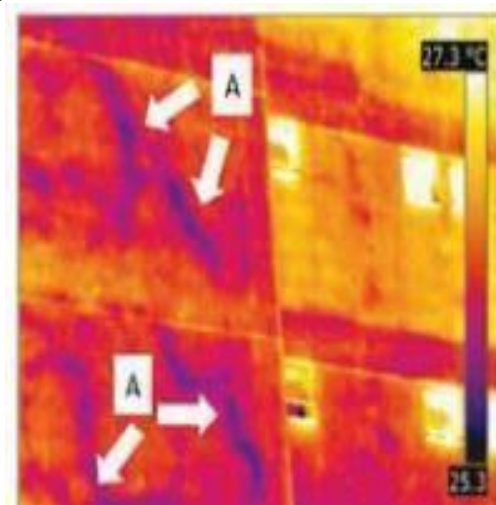
Figura 5 - Detecção de destacamento em fachada de edifício no período da tarde



Fonte: Bauer e Pávon, 2015.

As fissuras são manifestações patológicas mais comuns e que podem ocorrer por diversas razões, tais como movimentação do solo, problemas na estrutura, variações térmicas e ação do tempo. Essas fissuras podem ser um sinal de problemas estruturais e devem ser tratadas imediatamente para evitar agravamento dos danos e riscos à segurança dos ocupantes do edifício. A partir disso, com uso da termografia infravermelha é possível detectar fissuras nas fachadas dos edifícios tornando uma ferramenta essencial para que sejam tomadas medidas preventivas e corretivas.

Figura 6 - Identificação de fissuras em fachadas com revestimento em argamassa e pintura

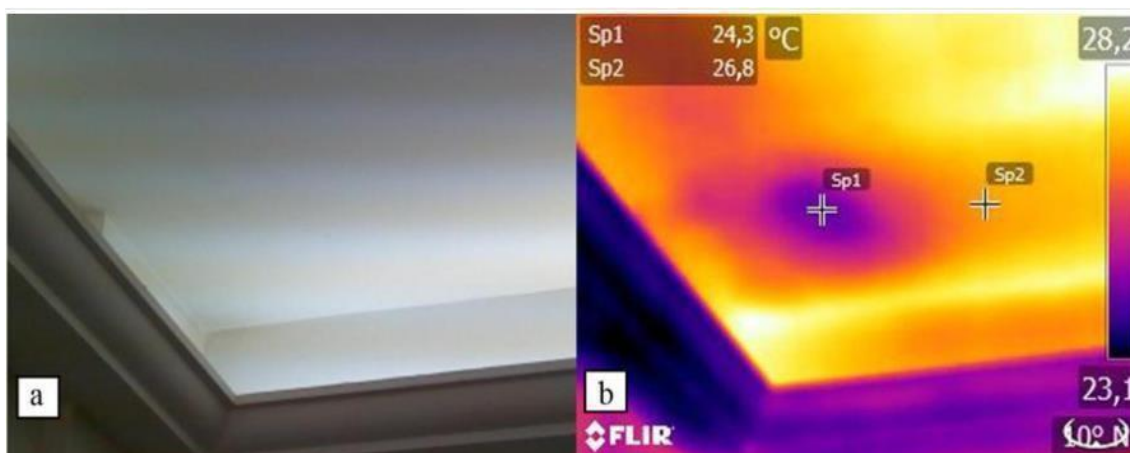


Fonte: Bauer e Pávon, 2015.

A detecção de focos de umidade e infiltrações em paredes e tetos é outra aplicação da termografia infravermelha na construção civil. A técnica pode identificar pontos onde há umidade, permitindo que sejam tomadas medidas para evitar danos estruturais e de saúde.

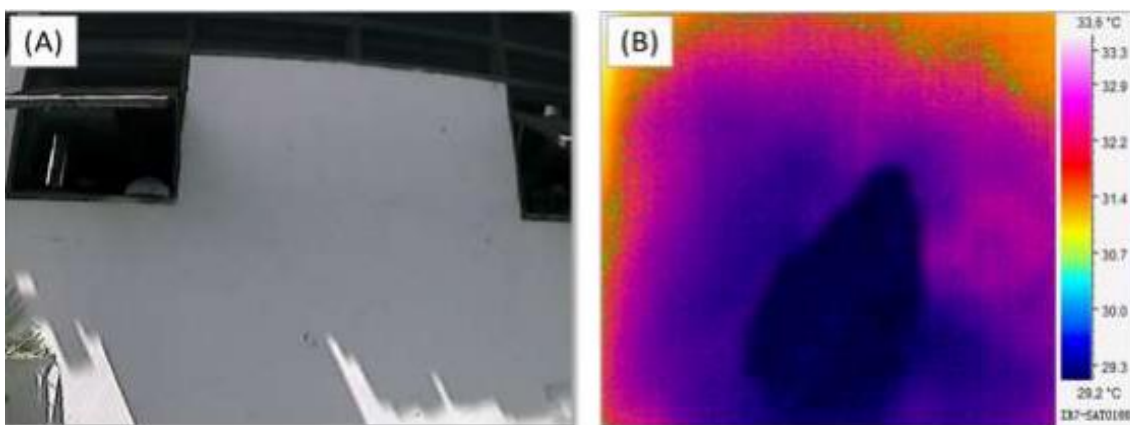
Conforme observamos nas figuras 07 e 08 ao aplicar a metodologia IRT, apresentou como resultados imagens que identificaram áreas úmidas não perceptíveis. De acordo com Barreira et al. (2016) e Al Alam et al. (2016) também constataram que, por meio da fotografia convencional, não há evidências de manifestações patológicas, e a parede aparenta estar em seu estado original. No entanto, nas imagens termográficas, é possível detectar a variação de temperatura resultante da presença de áreas úmidas.

Figura 7- Presença de umidade no teto com uso da imagem termográfica (b), imagem real (a)



Fonte: Rocha, 2018.

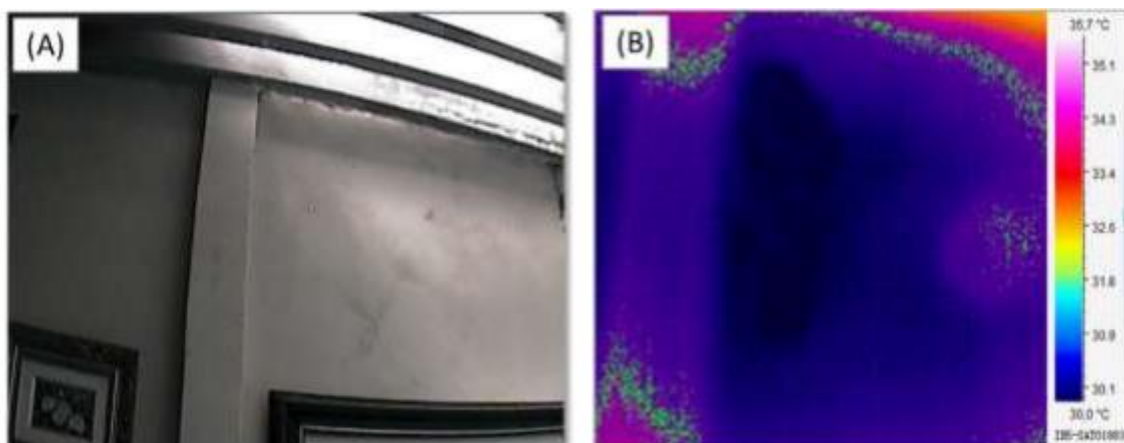
Figura 8 - Presença de umidade na parede não perceptível visualmente: (A) situação, (B) termograma



Fonte: Burity Filho, 2019.

Muitas vezes, infiltrações em paredes ou tetos podem não ser facilmente identificadas a olho nu, especialmente quando os sinais visuais são sutis (como mostrado na figura 09) ou quando a umidade está localizada em áreas de difícil acesso.

Figura 9 - Presença de umidade pouco perceptível: (A) situação; (B) termograma



Fonte: Burity Filho, 2019.

A termografia infravermelha também pode ser usada para inspecionar instalações elétricas de baixa, alta tensão e até mesmo de painéis solares. A técnica pode detectar pontos de aquecimento anormal em elementos elétricos quando comparados com as especificações do fabricante, indicando um possível problema elétrico. Na figura a seguir, podemos identificar quais dispositivos estão sobrecarregados.

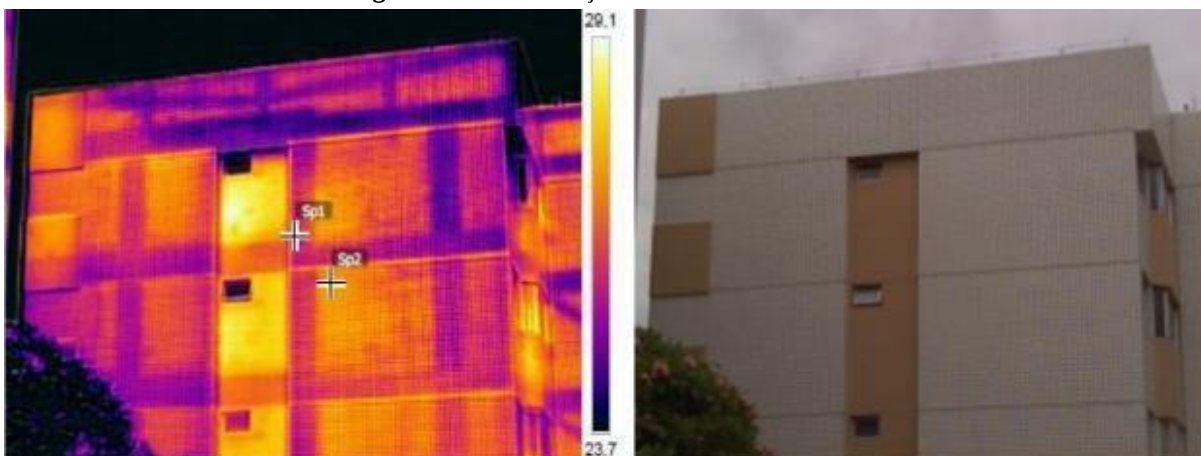
Figura 10 - Aquecimento de disjuntores de baixa tensão



Fonte: Kersul, 2014.

Com o uso da termografia também é possível identificar sistemas construtivos que contemplam a edificação, como mostrado na figura 11. Essa informação é relevante, principalmente quando se trata de edifícios antigos e que não possuem o projeto de estrutura.

Figura 11 - Identificação do sistema construtivo



Fonte: Kersul, 2014.

Dessa forma, a termografia infravermelha é uma técnica valiosa na construção. Ela

permite a detecção de anomalias que não são visíveis a olho nu, permitindo a realização de reparos antes que ocorram danos mais graves. A técnica tem se mostrado especialmente útil na avaliação da eficiência energética de edifícios, ajudando a identificar pontos onde o isolamento térmico pode ser melhorado e onde há perda de calor. Ademais, ajuda a identificar regiões com presença de vazamentos e infiltrações a olho nu. A termografia infravermelha vem ganhando força na indústria civil, sendo amplamente utilizada por profissionais da área para a detecção de problemas em edifícios e outras estruturas.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

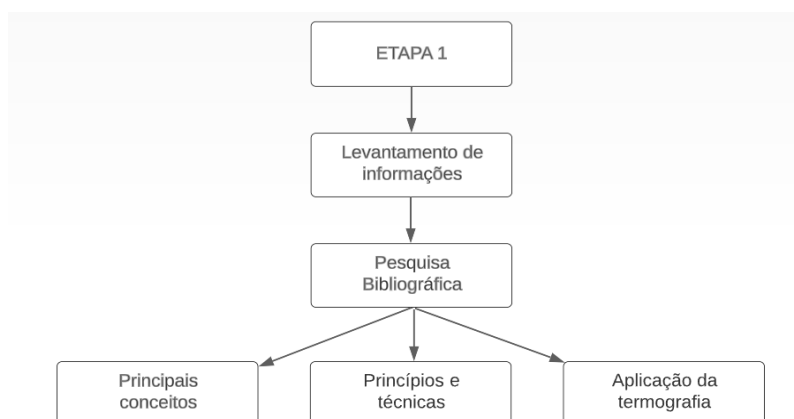
O estudo em questão é classificado como pesquisa aplicada, conforme a definição de Lakatos e Marconi (2011), visa à produção de conhecimentos com aplicação prática, direcionada à resolução de problemas específicos e com foco em verdades e interesses locais. Dessa forma, o trabalho visa apresentar informações sobre aplicabilidade da termografia infravermelha para inspeção de edifícios, consequentemente, ajudar a identificar possíveis limitações e desafios para a utilização da técnica, bem como propor melhorias de sua aplicação.

Na inspeção será aplicada a técnica passiva (fluxo radiativo da estrutura física da edificação estimulado apenas pela energia do sol) e ativa (fluxo radiativo estimulado por sistema mecânico de aquecimento). Quanto às abordagens, utilizou-se a pesquisa qualitativa dos termogramas, ou seja, verificação da presença de anormalidades no subsolo do prédio do Tribunal de Contas do Estado e para identificação de tubulações embutidas nas pias do laboratório do IFTO e das residências escolhidas.

3.1 Etapas da Pesquisa

A pesquisa segmenta-se em duas etapas, etapa I - Levantamento; etapa II - avaliar e identificar. A etapa de levantamento (Figura 12) apresenta como base teórica e metodológica uma pesquisa bibliográfica, visando aprofundar sobre os principais conceitos, princípios e técnicas relacionados à aplicação da termografia infravermelha na inspeção de edifícios, elaborada a partir de materiais já publicados que abordam o assunto - termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios. Nessa etapa, compreendeu-se as principais dificuldades enfrentadas na aplicação da técnica da termografia infravermelha, da utilização do equipamento e como interpretar os resultados analisadas.

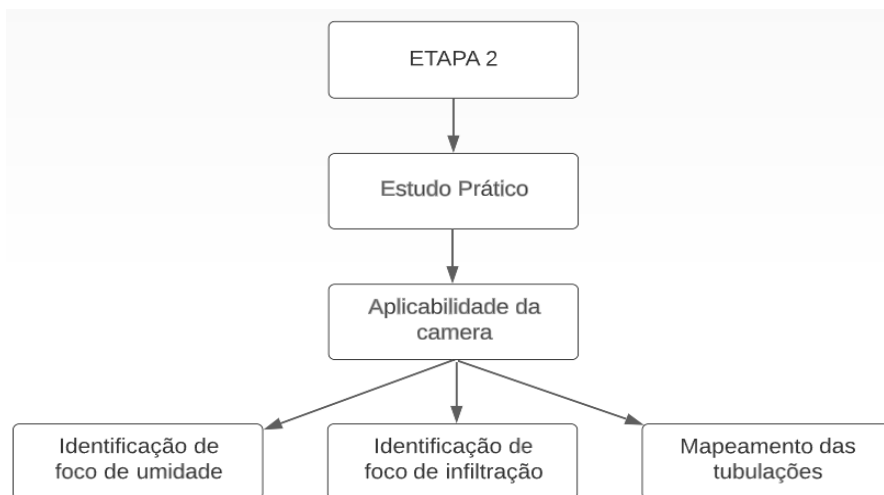
Figura 12 - Fluxograma de execução da etapa 1



Fonte: autor, 2023.

Já na segunda etapa (Figura 13) terá como objetivo avaliar a aplicabilidade da câmera termográfica na identificação dos focos de umidade e de infiltrações no estacionamento do subsolo do prédio do Tribunal de Contas do Estado e também na identificação do mapeamento das tubulações embutidas nas pias do laboratório do IFTO e das residências escolhidas das quadras da 605 sul e 405 norte, localizado na cidade de Palmas - TO.

Figura 13 - Fluxograma de execução da etapa 2



Fonte: autor, 2023.

Nas figuras 14 e 15 apresentam os edifícios públicos que serão inspecionados para realização da pesquisa.

Figura 14 - Edifício do Tribunal de Contas do Estado do Tocantins, localizado em Palmas



Fonte: Portal Amaral, 2022.

Figura 15 - Instituto Federal do Tocantins - Campus Palmas



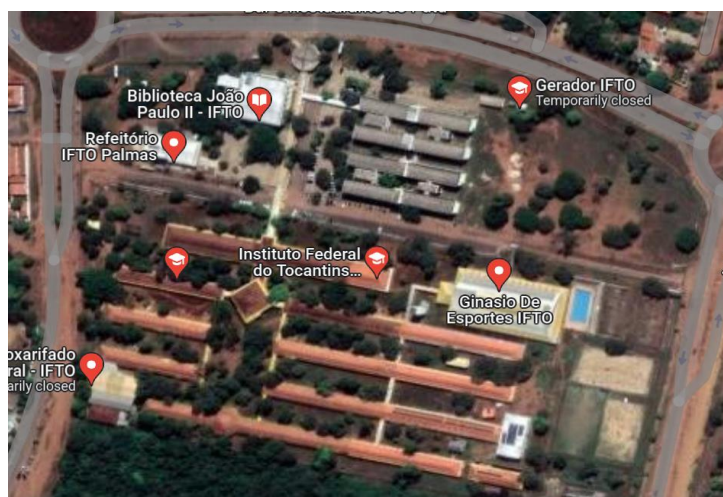
Fonte: Portal IFTO, 2016.

Dessa forma, a etapa II se baseará na captura de imagens termográficas em áreas com focos de umidade e em tubulações embutidas para acompanhamento do fluxo de água registrados em diferentes dias para obtenção de uma análise precisa e clara quanto ao uso da técnica.

3.2 Métodos e Materiais

Para obtenção dos dados deste trabalho, realizou-se o levantamento de informações nas seguintes localidades: edificação A localizada na quadra AE 310 Sul Avenida NS 10, sendo o local o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas (como mostrado na Figura 16).

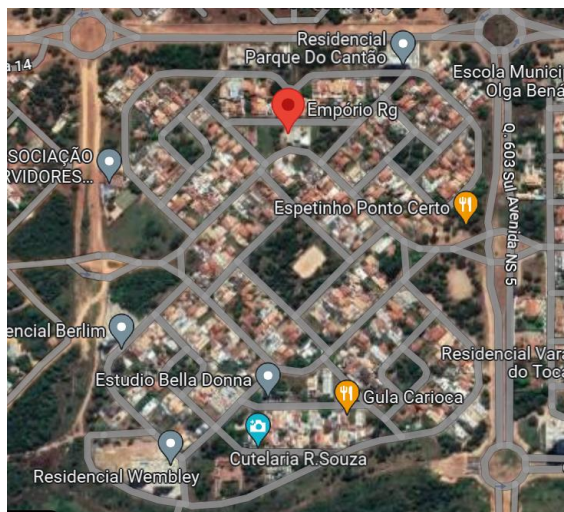
Figura 16 - Localização IFTO - Campus Palmas



Fonte: Google Maps.

Já na edificação B localizada na Arso 62 (605 sul) trata-se de um residencial multifamiliar contendo dois quartos, um banheiro, cozinha, lavanderia e uma sala de jantar e TV. O experimento foi realizado no apartamento do primeiro pavimento em uma tarde ensolarada. Na figura abaixo podemos observar a localização do residencial, destacado em vermelho.

Figura 17 - Localização edifício multifamiliar (605 sul)



Fonte: Google Maps.

A edificação C localizada na 405 Norte (Arno 42) trata-se de um sobrado residencial unifamiliar contendo dois quartos, uma suíte, cozinha, sala de Jantar e TV, localizados no pavimento superior. Além de uma área de lazer incluído cozinha, banheiro e lavanderia presentes no térreo, o experimento foi realizado em uma manhã ensolarada.

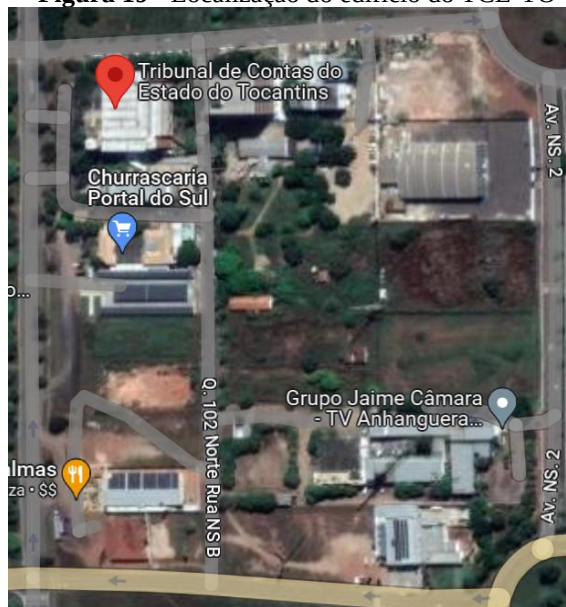
Figura 18 - Localização do residencial unifamiliar (405 Norte)



Fonte: Google Maps.

Por fim, a edificação D trata-se do prédio Ruy Barbosa onde fica situado o estacionamento do subsolo do Tribunal de Contas do Estado do Tocantins, cujo endereço é na 102 norte (Figura 19). Ambas localidades citadas acima são localizadas na cidade de Palmas, no estado do Tocantins.

Figura 19 - Localização do edifício do TCE-TO



Fonte: Google Maps.

O primeiro experimento foi feito no laboratório de materiais do Instituto Federal, no qual o ambiente era controlado para melhor exatidão dos resultados. Dentro do laboratório, o experimento foi conduzido na pia do laboratório. O sistema construtivo do laboratório é de estruturas metálicas com alvenaria de vedação de blocos cerâmicos contendo revestimento cerâmico tanto nas paredes quanto no chão. Por fim, a idade da edificação é de aproximadamente vinte anos.

Já em relação à edificação B foi construída com alvenaria estrutural com bloco de concreto, e a idade entre dois a cinco anos. Nessa localidade o experimento foi conduzido na pia da cozinha e no lavatório do banheiro, ambos os ambientes possuem revestimento cerâmico.

O sistema construtivo da edificação C trata-se de concreto armado com fechamento de bloco cerâmico, e a idade é de dezoito anos. Nessa localidade o experimento foi conduzido na pia da cozinha e no lavatório da área de lazer também no lavatório do banheiro social do pavimento superior, o único ambiente que não possui revestimento cerâmico e na parede da cozinha.

Por fim, no subsolo do Tribunal de Contas do Estado, o experimento foi

conduzido de forma a identificar focos de umidade e infiltrações. O sistema construtivo do local é de concreto armado e vedação de blocos cerâmicos. No quadro abaixo podemos analisar os dados de cada edificação.

Quadro 3 - Dados dos edifícios estudados

Edifício	Localização			
	A	B	C	D
Tipo	Laboratório de MACO*	Residencial multifamiliar	Residencial unifamiliar	Subsolo do TCE
Endereço	310 Sul	605 Sul	405 Sul	102 Norte
Estrutura	Aço Estrutural	Alvenaria Estrutural	Concreto Armado	Concreto Armado
Bloco	Cerâmico de Vedação	Concreto Estrutural	Cerâmico de Vedação	-
Revestimento	Argamassa + Litocêramica	Argamassa + Cerâmica	Argamassa + Cerâmica	Argamassa + Tinta Epóxi (em parte)
* Laboratório de materiais de construção				

Fonte: autor, 2023.

3.3 Técnica

3.3.1 Etapa 1: Levantamento das informações

Realizou-se visita in loco para levantamento das informações: condições climáticas, distância entre a câmera e o objeto analisado, emessividade, materiais refletivos, focos de umidade e infiltrações e temperaturas de ponto de orvalho e bulbo úmido. Tais variáveis foram levantadas para posterior avaliação na eficiência da câmera termográfica.

A câmera termográfica utilizada foi a FLIR C2 (como observado na Figura 20) possui as seguintes características técnicas: sensibilidade térmica $< 0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$, resolução e IR de 80 60 (4.800 pixels), faixa de temperatura de -10 a $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, e câmera visual com resolução de 640x480 pixels (307.200 pixels). Além disso, a câmera FLIR C2 oferece três modos de imagem: Infravermelho (IV), Digital (CCD) e MSX (Imagem Dinâmica Multiespectral), que permite a combinação da imagem térmica com detalhes da imagem visual em tempo real. Ela sobreposta a imagem visual de alta resolução com informações de borda e textura extraídas da imagem térmica, criando uma imagem composta mais nítida e rica em detalhes.

Os termogramas gerados pela câmera termográfica foram avaliados com auxílio de uma ferramenta computacional específica, o qual possibilitou a criação de relatórios de inspeção contendo inúmeras informações para o tratamento das imagens.

Figura 20 - Câmera termográfica utilizada na pesquisa



Fonte: autor, 2023.

Ademais, foi utilizado o instrumento termo-higrômetro (Figura 21) que é capaz de medir a temperatura interna/externa e umidade relativa do ar no ambiente onde trabalha, além de mensurar as temperaturas de ponto de orvalho e bulbo úmido. Apartir dessas informações é possível realizar o tratamento das imagens e gerar resultados mais precisos.

A utilização termo-higrômetro digital é relativamente simples, uma vez que ao colocá-lo no local em que se deseja medir a temperatura e umidade, e ligá-lo, automaticamente mostrará os valores no visor em tempo real. Antes de realizar a medida, é importante constatar se o equipamento está devidamente calibrado conforme as instruções do fabricante e esperar aproximadamente cinco segundos para fazer a leitura.

Figura 21 - Termo-Higrômetro Digital HTH-913 utilizado na pesquisa



Fonte: autor, 2023.

Além disso, para realização da inspeção nas residências foi necessário o uso do termômetro eletrônico (Figura 22) para aferir a temperatura da água utilizada para ser despejada tanto nas pias das cozinhas quanto nos lavatórios dos banheiros.

Figura 22 - Termômetro eletrônico TP300 utilizado na pesquisa



Fonte: autor, 2023.

Para promover a agitação das moléculas elevando sua temperatura para aumentar energia infravermelha térmica dos materiais e consequentemente facilitar a leitura na câmera, utilizou-se a temperatura da água nas seguintes temperaturas: 50°C, 75°C e 90°C que foram auferidas com o termômetro eletrônico TP300.

Com o uso da câmera termográfica foi realizada a inspeção no laboratório de materiais do Instituto Federal com a finalidade de identificar o fluxo de água passando nas tubulações de esgoto da pia do laboratório. Para medir temperaturas de forma precisa a câmera foi calibrada para os seguintes parâmetros de medição: emissividade (ϵ) de 0,95 para propriedades de superfície mate; temperatura refletida de 29°C e distância de 1,50 m (entre o objeto e a lente frontal da câmara).

Em primeiro momento, esquentou-se um volume de água em um equipamento banho-maria digital a uma temperatura de 93°C (como mostrado na Figura 23).

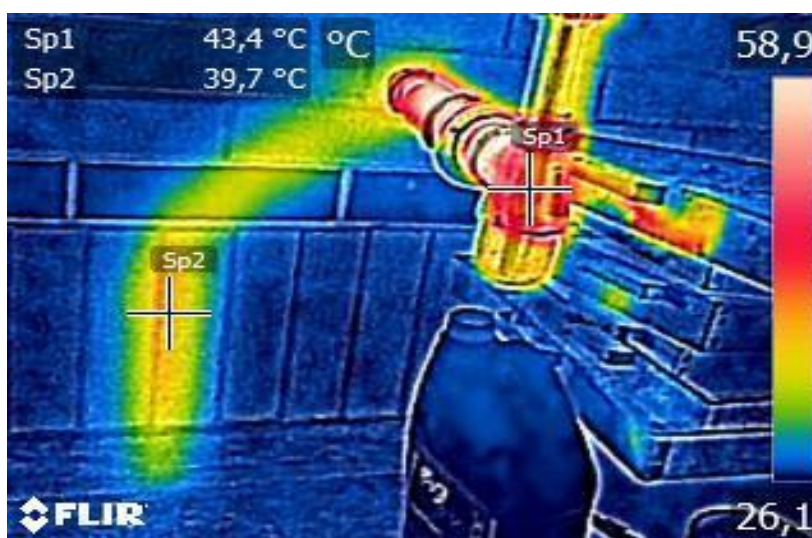
Figura 23 - Equipamento banho-maria digital



Fonte: autor, 2023.

Logo em seguida foi depositado com auxílio de um recipiente pequenas quantidades dessa água na pia do laboratório, assim, foi possível visualizar com o uso da câmara termográfica o fluxo de água quente passando pelo sifão até as tubulações da parede (Figura 24).

Figura 24 - Imagem termográfica do experimento teste



Fonte: autor, 2023.

Além disso, utilizou o termo-higrômetro digital para aferir a umidade relativa do ar e das temperaturas de ponto de orvalho e bulbo úmido, assim, ajudando a garantir que as medições sejam corretas e confiáveis. Na figura 25 é possível identificar (a) umidade relativa

do ar de 24,8°C; (b) ponto de orvalho de 17,5°C; e (c) temperatura de bulbo de úmido de 19,5°C, aferidas no momento da inspeção do laboratório de materiais.

Figura 25 - Temperaturas determinadas pelo dispositivo Termo-Higrômetro Digital



Fonte: autor, 2023.

Para as localidades das residências escolhidas nas quadras 605 sul (localização B) e 405 norte (localização C) foram utilizadas a mesma metodologia, porém com variação de temperatura de 50°C, 70°C e 90°C (como observado na Figura 26) para cada ambiente analisado.

Figura 26 - Uso do equipamento termômetro digital TP300



Fonte: autor, 2023.

Já na localidade D, a metodologia utilizada se baseou apenas em encontrar focos de umidade e infiltrações aplicada à técnica passiva, ou seja, o fluxo radiativo da estrutura foi

estimulado apenas pela energia do sol.

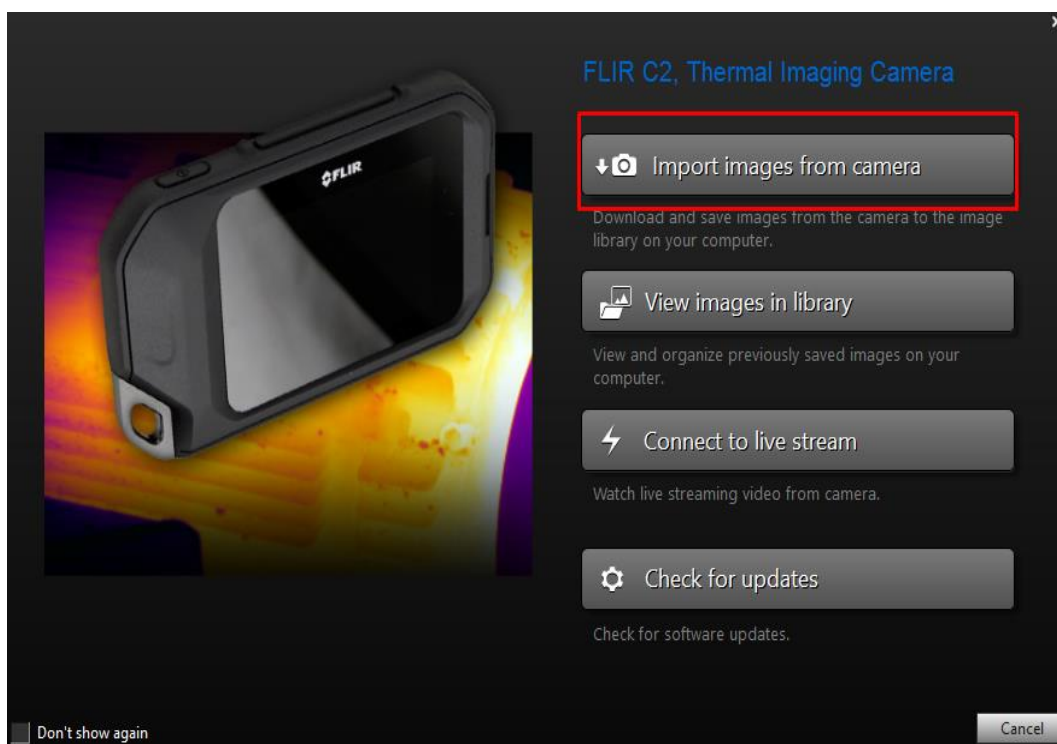
3.3.2 Etapa 2 : Avaliação e Identificação das imagens termográficas

Após o levantamento dos dados avaliou-se e identificou-se as imagens termográficas a partir da importação e do tratamento das imagens com ajuda do software FLIR Tools.

Para isso, realizou-se os seguintes procedimentos:

1. Depois do software instalado é preciso cadastrar uma conta no FLIR Tools e só depois conectar a câmera via USB enquanto o FLIR Tools estiver com a conta logada, uma tela de inicialização aparecerá.
2. Clique no botão para importar imagens da Câmera. (Figura 27).

Figura 27 - Importar imagens da câmera

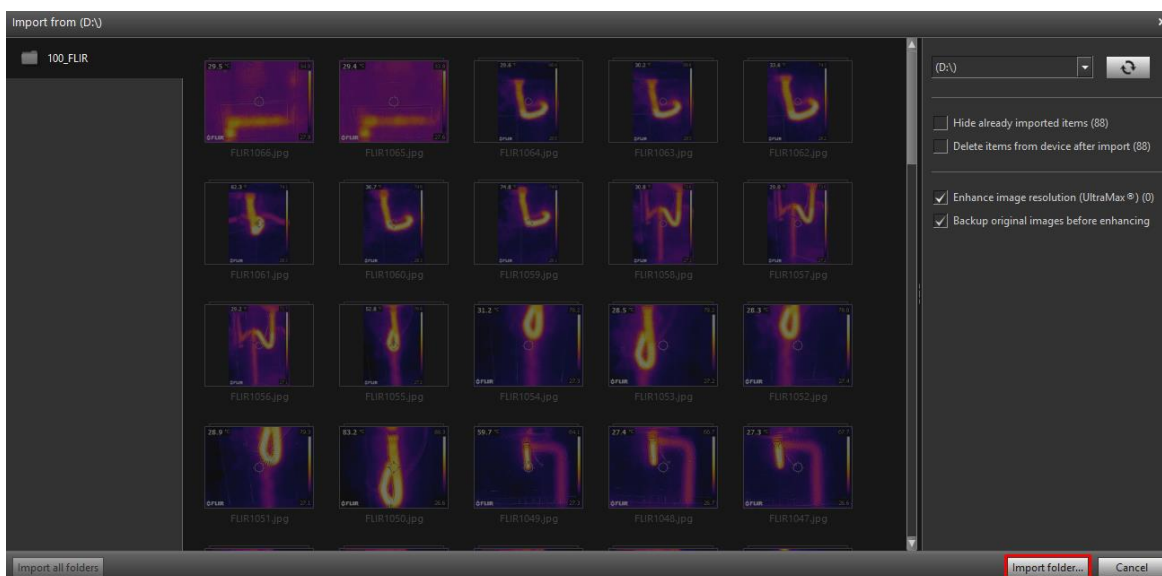


Fonte: autor, 2023.

3. Exibir imagens na biblioteca fechará a tela de inicialização e mostrará a biblioteca de imagens.
4. Depois é só escolher no canto direito da tela em “Import all” ou “Import selected”, traduzindo para o português “Importar tudo” ou “Importar arquivos selecionados”.
5. As imagens UltraMax podem ser aprimoradas automaticamente quando importadas da câmera. Dessa forma, pode deixar selecionadas “(V)” como mostradas no canto superior

direito da figura 28.

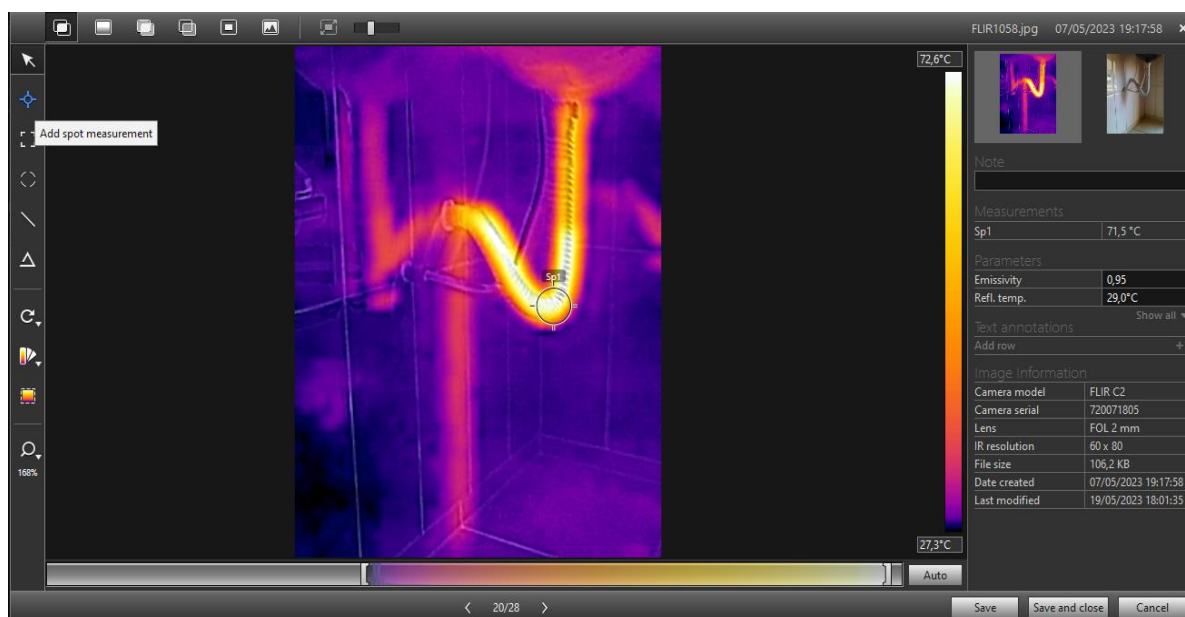
Figura 28 - Seleção das imagens



Fonte: autor, 2023.

6. A próxima etapa é selecionar uma pasta de destino ou criar uma nova pasta e clicar em importar para concluir a transferência do arquivo.
7. Em seguida, selecionar as imagens na quais devem ser tratadas, adicionar (figura 29) ou retirar pontos de medição (Sp) e entre outras funções presentes no software.

Figura 29 - Adicionar pontos de medições no termograma

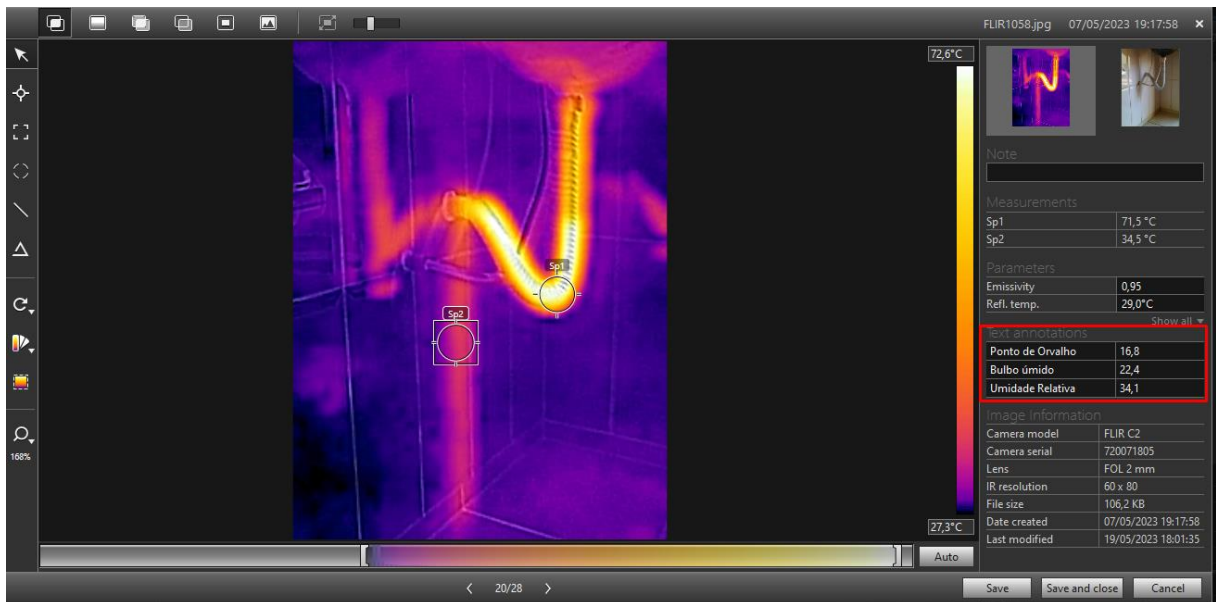


Fonte: autor, 2023.

8. Cada imagem tratada/modificada será necessário salvá-la antes de fechar.
9. O software permite gerar relatórios de inspeção. A partir disso é possível adicionar novos

parâmetros de medição não determinados pela câmera, além de notas (Figura 30).

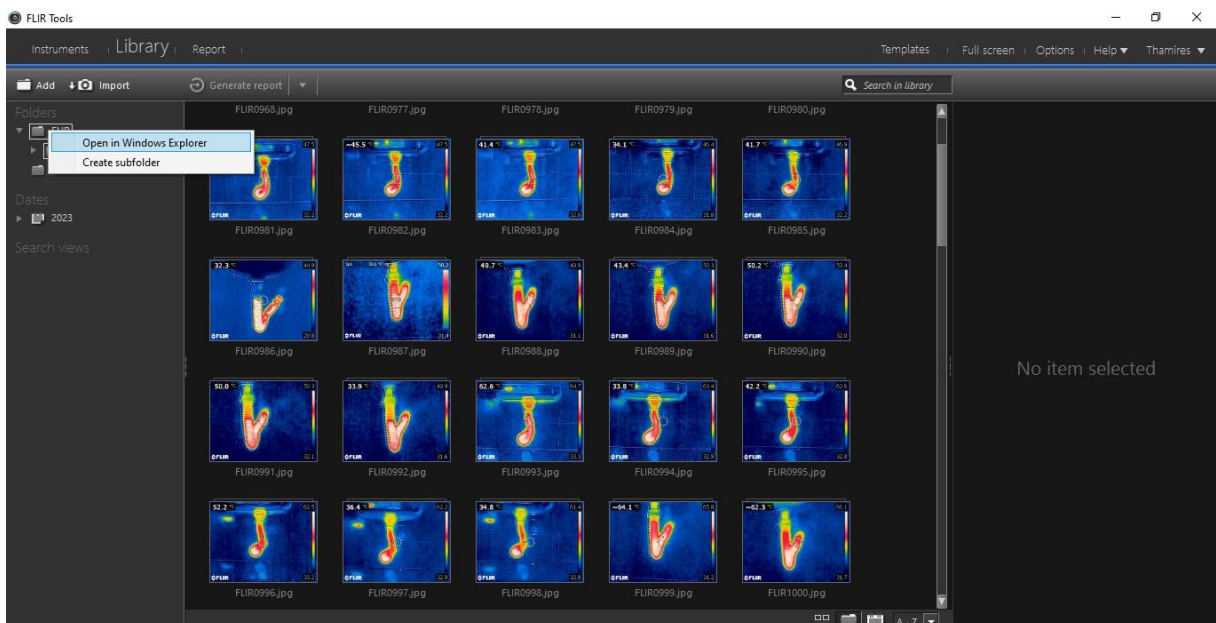
Figura 30 - Adicionar parâmetros determinados pelo termo-higrômetro



Fonte: autor, 2023.

10. Após o tratamento de cada imagem é só apertar com o botão direito do mouse da pasta salva e será direcionado para todas as imagens termográficas no computador (como observado na figura 31).

Figura 31 - Visualizar todas as imagens termográficas no computador



Fonte: autor, 2023.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

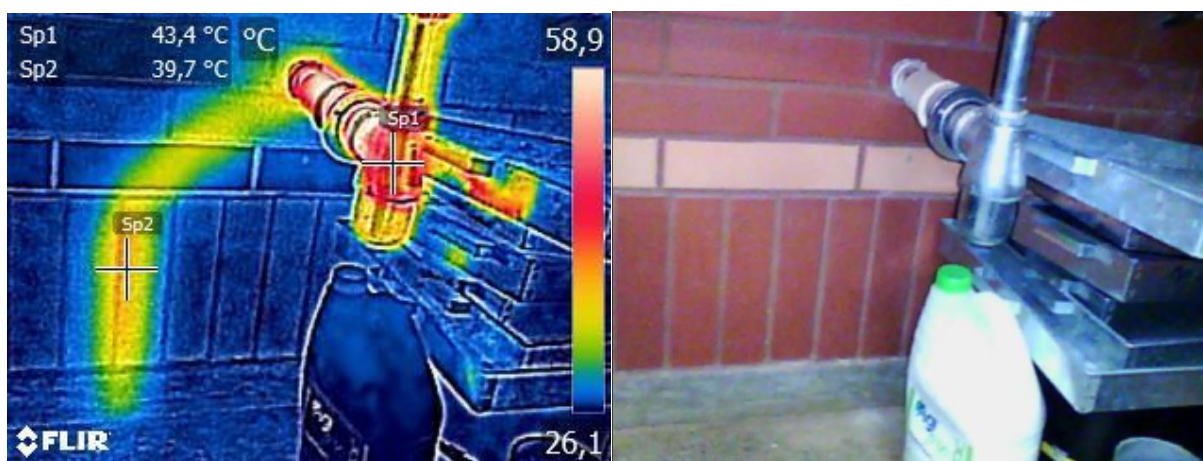
A seguir serão apresentados os resultados das inspeções realizadas nos locais: A, B, C e D, onde serão discutidas as limitações da aplicação da câmara termográfica infravermelha para identificação das instalações hidrossanitárias embutidas na alvenaria presentes tanto no laboratório do IFTO quanto na edificação residencial. Além disso, foi identificado as infiltrações e focos de umidade nas instalações do subsolo do Tribunal de Contas do Estado Tocantins. Os resultados vão ser apresentados em duas partes, divididos no mapeamento de instalações hidrossanitárias e focos de umidade e infiltrações.

4.1 Mapeamento de Instalações Hidrossanitárias

4.1.1 Localização A

No local A através do experimento realizado pode-se identificar o mapeamento das tubulações embutidas da pia do laboratório aparente invisíveis a olho nu. Dessa forma, na figura 32 podemos observar o fluxo da água quente passando do sifão em direção a parede. Ademais, percebemos no termograma como materiais refletivos podem acabar prejudicando a análise, como é o caso das formas de alumínio.

Figura 32 - Mapeamento das tubulações embutidas na parede do laboratório



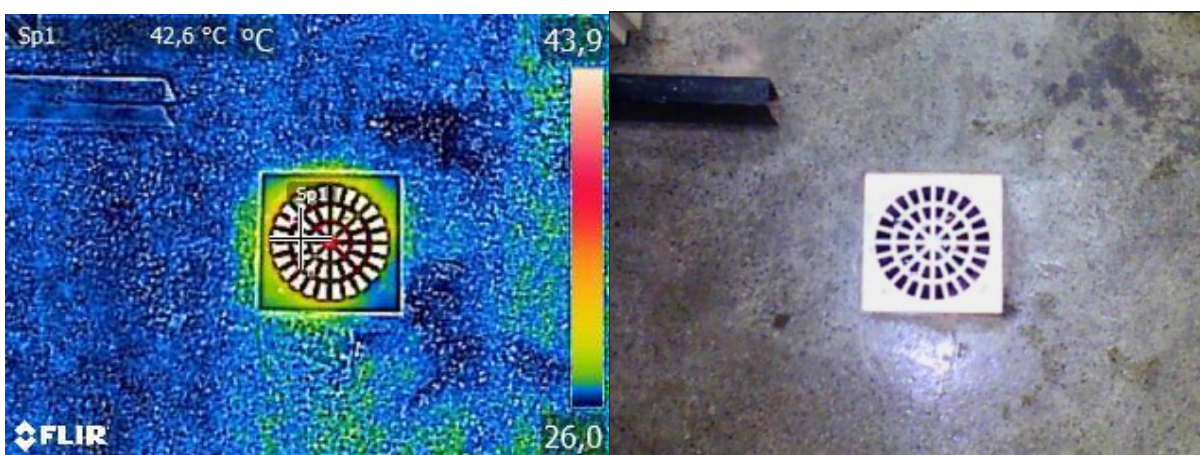
Fonte: autor, 2023.

Foi observado neste experimento inicial que a vazão da pia do laboratório era baixa, o que resultou em um atraso de alguns instantes para que o gradiente de cores fosse visualizado no termograma.

Na figura 33 podemos observar a energia emitida pelo ralo após água quente chegar no local, porém não apresentou variações de temperaturas que mostrassem a localização

precisa das tubulações embutidas no piso do laboratório. Nesse contexto, a técnica termográfica apresenta limitações na identificação de tubulações embutidas em grandes profundidades. Conforme mencionado por Andrade (2020), a técnica não demonstrou capacidade de detectar falhas em profundidades altas, mesmo que sejam fornecidas condições específicas de indução térmica. No entanto, é bastante efetiva detecção de falhas em profundidades de 1 e 4 centímetros.

Figura 33 - Imagem térmica e real do ralo do laboratório, registradas simultaneamente



Fonte: autor, 2023.

Sendo assim, não foi possível identificar o mapeamento no piso. Com base nisso, podemos constatar que com o uso da ferramenta não é possível a identificação de objetos (tubulações) muito abaixo do solo.

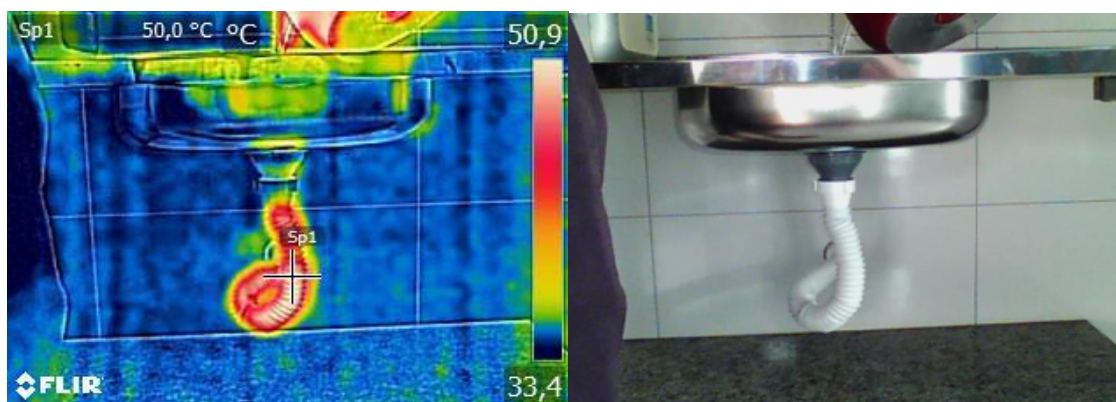
4.1.2 Localização B

Na localização B, o experimento foi realizado em uma residência multifamiliar. O sistema construtivo do local trata-se de alvenaria estrutural de bloco de concreto e possui revestimento cerâmico tanto na parede da pia da cozinha quanto na parede do lavatório do banheiro, ambientes analisados. Na figura 34 podemos observar o momento em que foi despejada a água quente na pia da cozinha, sendo possível verificar na imagem termográfica a diferenciação de temperatura por onde a água percorre. Nesse local não foi possível a identificação das tubulações na parede.

De acordo com Barreira (2004) e Barreira e Freitas (2007), os materiais cerâmicos possuem propriedades peculiares, como refratariedade e baixa condutividade térmica, o que requer um período de contato mais longo para que sua temperatura se altere. Essa característica pode explicar a falta de resposta na termografia quando expostos a um breve acionamento por água, que pode não ser suficiente para gerar um gradiente térmico significativo

e detectável.

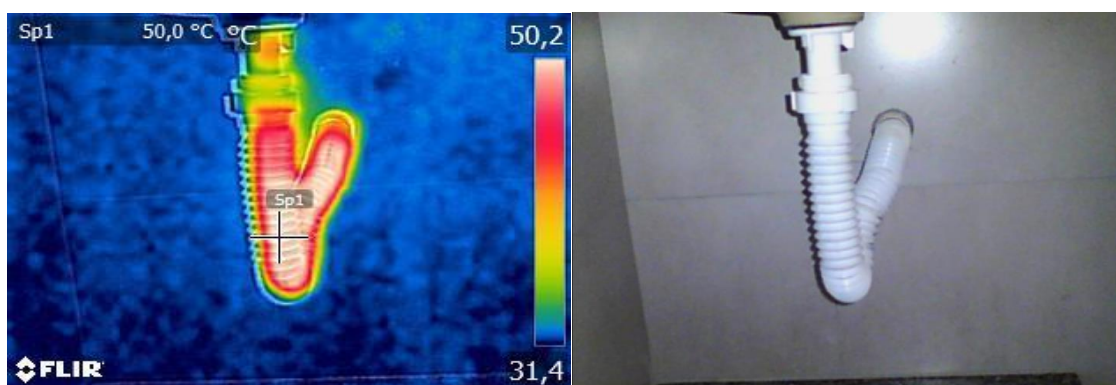
Figura 34 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente na pia da cozinha



Fonte: autor, 2023.

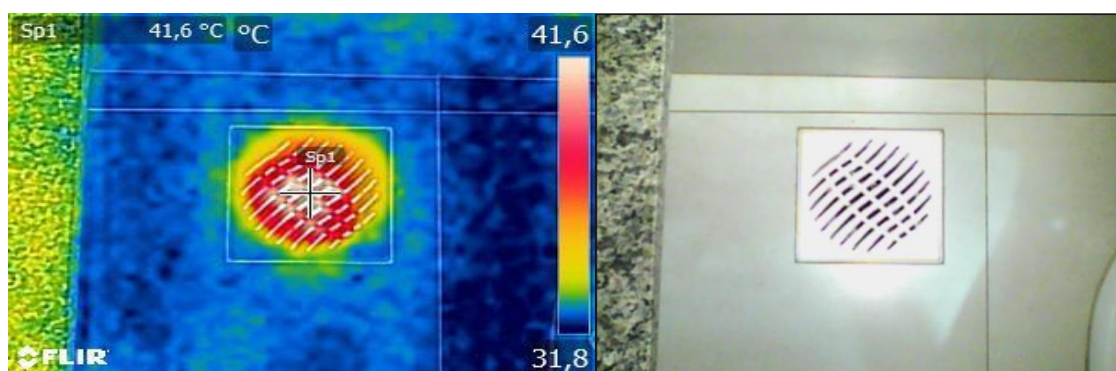
No termograma abaixo visualizou-se a diferenciação de temperatura apenas na localidade do sifão e do ralo, não sendo possível a verificação do mapeamento das tubulações na parede e no piso, como demonstrado na figura 35 e 36. A partir disso, o sistema construtivo e o revestimento cerâmico podem ter influenciado na análise do resultado quando comparada com experimento da localidade A e C.

Figura 35 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente no lavatório do BWC



Fonte: autor, 2023.

Figura 36 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente no ralo do BWC



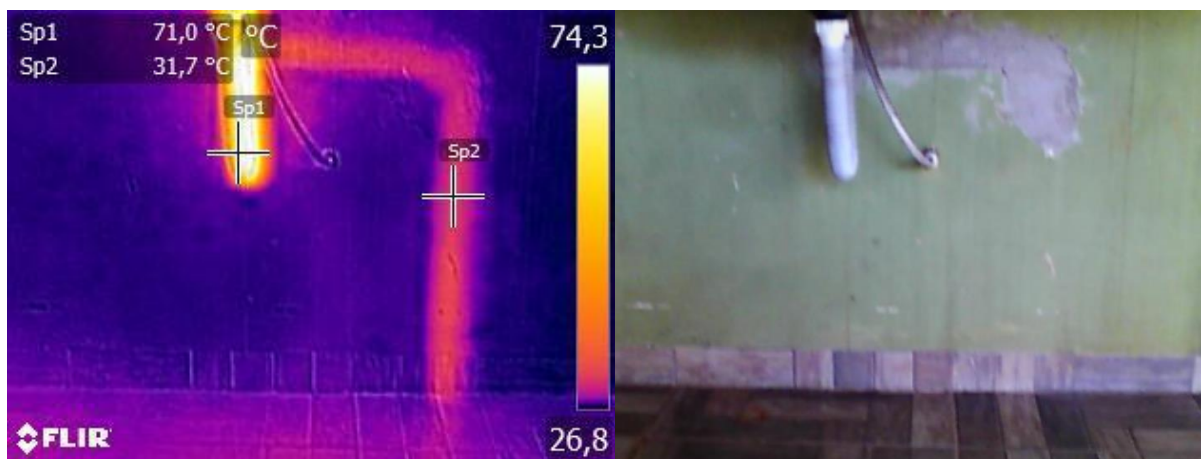
Fonte: autor, 2023.

Apesar de Rocha et al. (2018) e Santos et al. (2019) terem constatado a possibilidade de identificar infiltrações mesmo em paredes com revestimento cerâmico, eles mencionam que esse revestimento pode impedir a captação direta da radiação emitida da parede pela câmera, resultando na redução dos gradientes térmicos detectados. Em outras palavras, esses estudos indicam que a presença do revestimento cerâmico e o tipo do sistema construtivo impossibilita ou dificulta a detecção da radiação térmica da parede, tornando desafiadora a aplicação adequada da metodologia IRT para investigar tais fenômenos no interior de alvenaria revestida com cerâmica.

4.1.2 Localização C

Na localização C, foi possível observar o mapeamento das instalações hidrossanitárias nas paredes da pia da cozinha e dos lavatórios dos banheiros, porém não sendo possível a identificação das tubulações presentes no piso. O fechamento dos banheiros 1 e 2 trata-se de bloco cerâmico juntamente com revestimento cerâmico. Já em relação ao ambiente da cozinha não possuía revestimento cerâmico (Figura 37).

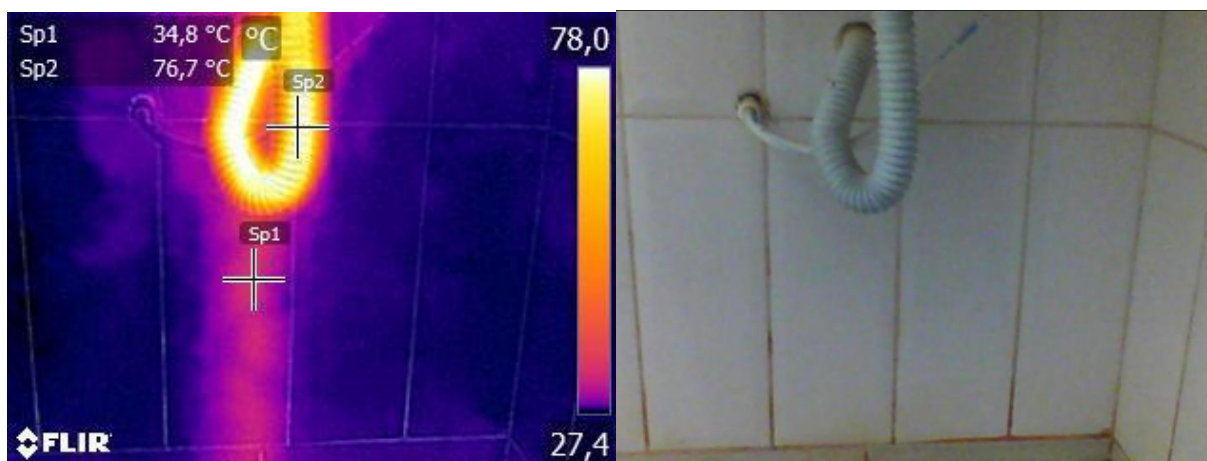
Figura 37 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente na pia da área de lazer



Fonte: autor, 2023.

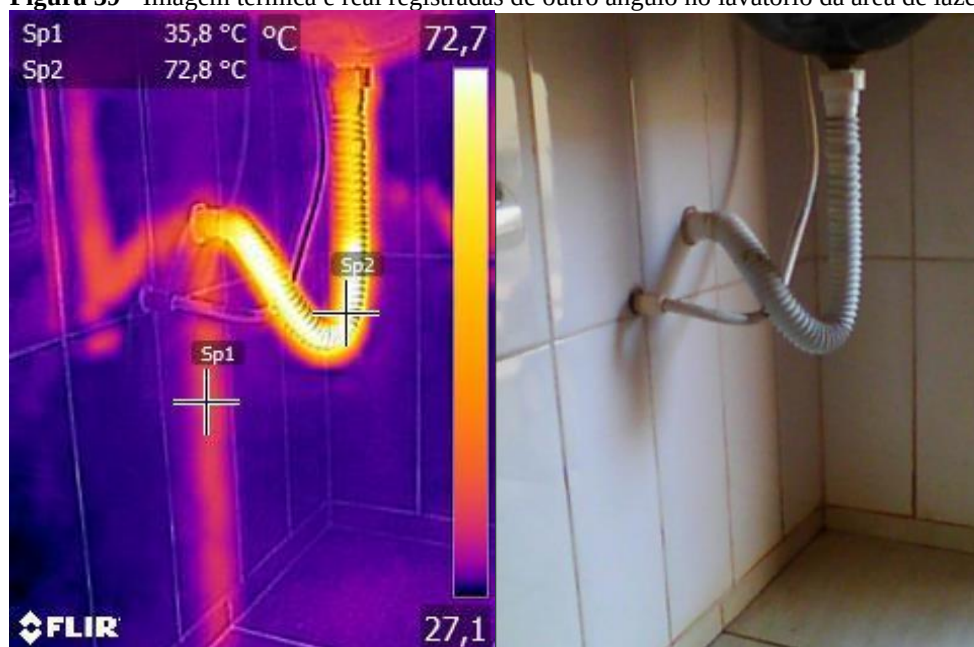
Nas figuras a seguir podemos identificar por dois ângulos o mapeamento da tubulação de esgoto na parede, onde a temperatura irradiada do sifão e da parede chega, respectivamente, a 76,7°C (Sp2) e 34,8°C (Sp1) na figura 38 e depois de um certo período de tempo, na figura 39 a temperatura chega em torno dos 73°C (Sp2) e 35,8°C (Sp1). Evidentemente a transferência de calor total da tubulação para o revestimento e consequentemente para a placa cerâmica é mais demorada, por isso se dá o aumento da temperatura.

Figura 38 - Imagem térmica e real registradas simultaneamente no lavatório da área de lazer



Fonte: autor, 2023.

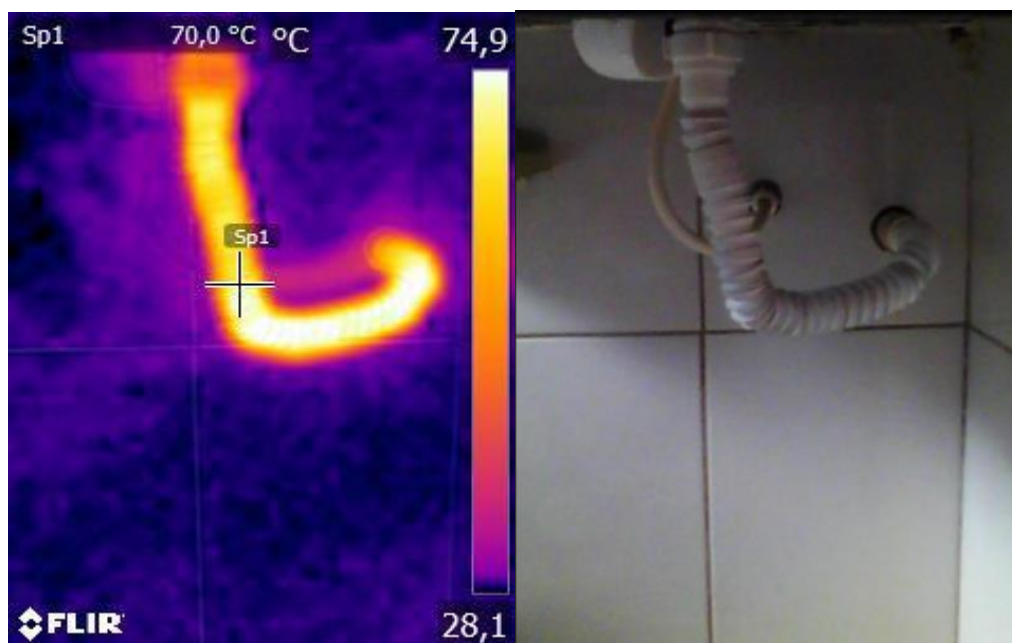
Figura 39 - Imagem térmica e real registradas de outro ângulo no lavatório da área de lazer



Fonte: autor, 2023.

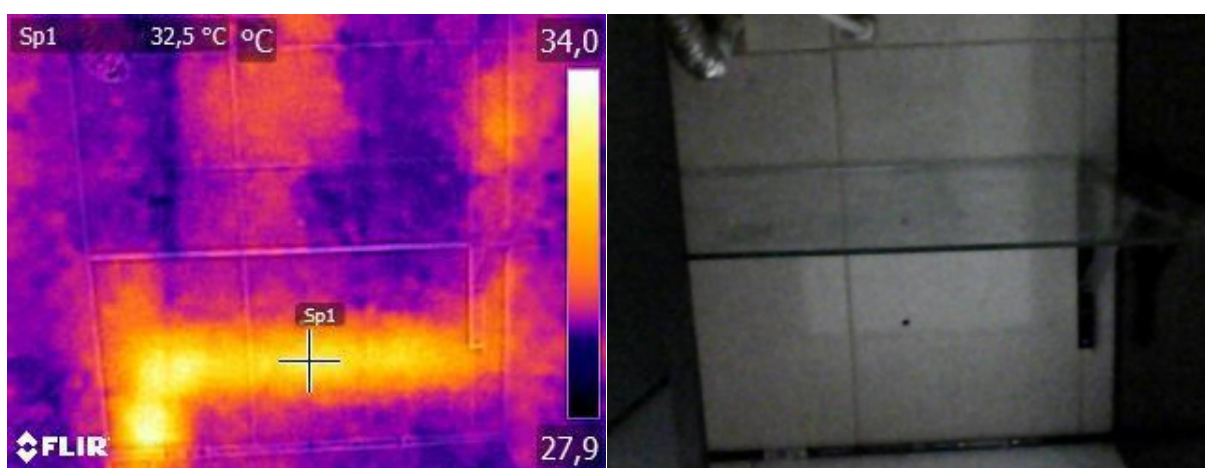
No primeiro momento, a inspeção do banheiro social não se mostrou eficaz mesmo contendo todas as características construtivas do banheiro da área de lazer. Mas após conversar com o responsável executivo da obra verificou-se que as tubulações do banheiro estavam do lado oposto da parede e por isso não foi possível visualizar as tubulações no primeiro experimento, ou seja, a construção apresentava não-confirmdades. Na figura 40 pode-se perceber a radiação térmica advinda apenas do elemento hidrossanitário (sifão). Já na figura 41, após conversar com o executante da obra é possível verificar o mapeamento da tubulação do banheiro social no lado oposto da parede.

Figura 40 - Imagem térmica e real registradas no lavatório do banheiro social



Fonte: autor, 2023.

Figura 41 - Identificação de tubulações embutidas no banheiro suíte

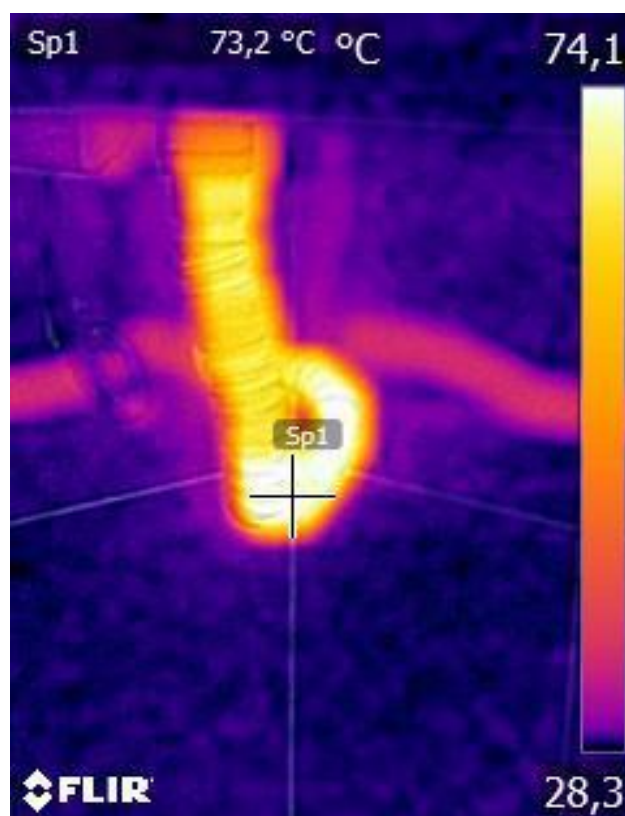


Fonte: autor, 2023.

Dessa forma, a presença de soluções improvisadas em sistemas hidrossanitários pode dificultar a detecção de problemas por meio da termografia infravermelha. Essas soluções inadequadas, como conexões mal feitas, reparos mal executados ou tubulações desviadas, podem criar fluxo de água irregular, que pode não ser facilmente identificados na termografia.

Na figura 42 observa-se como superfícies altamente refletivas, por exemplo as placas cerâmicas, podem refletir a radiação infravermelha incidente, causando distorções ou espelhamento na imagem termográfica. Isso pode dificultar a interpretação correta e a identificação de problemas subjacentes.

Figura 42 - Presença de materiais refletivos



Fonte: autor, 2023.

A temperatura em locais onde a vazão foi consideravelmente alta não sofreu interferência no grau de temperatura, como realizado nas residências. No entanto, nos locais onde a vazão foi baixa, a temperatura tornou-se um fator decisivo, uma vez que a descida da água ao longo da tubulação era mais lenta, resultando em um aquecimento mais demorado, e consequentemente, afetando na análise do termograma em relação ao tempo que a água chega nas instalações.

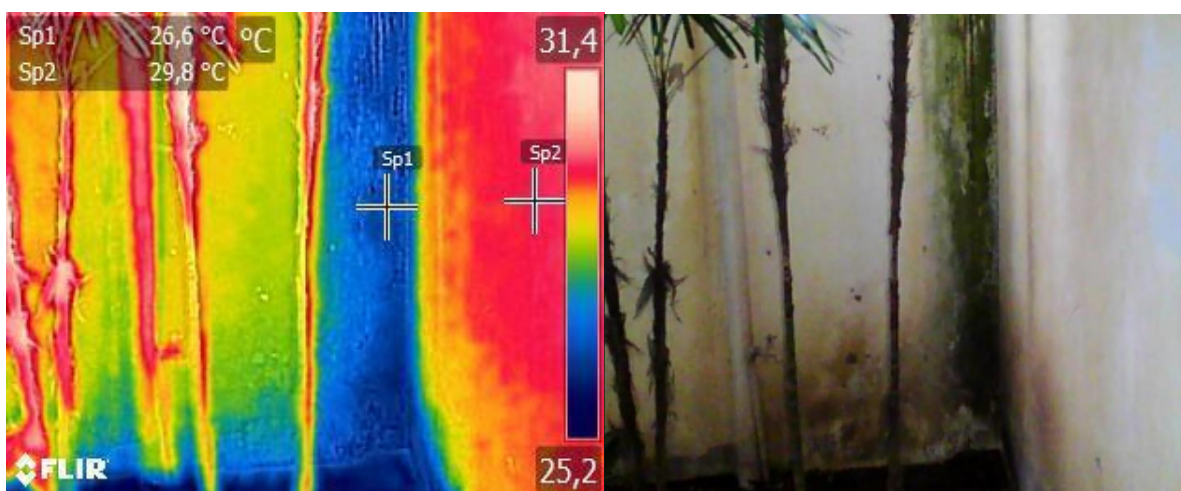
Por fim, a falta de estudos sobre a detecção de tubulações embutidas em diversos sistemas construtivos torna difícil a análise desse comportamento. No entanto, os resultados apresentados por Santos et al. (2019) fornecem insights para entender que, após um determinado período de aplicação, a água aquecida pode gerar gradientes de temperatura significativos. Isso ocorre devido à maior emissão de radiação na região da alvenaria, o que altera a inércia térmica do material de revestimento simples.

4.2 Focos de Umidade e Infiltrações

4.2.1 Localização D

Na localização D, foi possível observar focos de umidade e infiltração em algumas áreas do subsolo do prédio do Tribunal de Contas do Estado do Tocantins. O sistema construtivo do edifício trata-se de concreto armado com revestimento argamassado nas paredes. Na figura 43 mostra-se uma área com infiltração onde se passa uma tubulação de água fria.

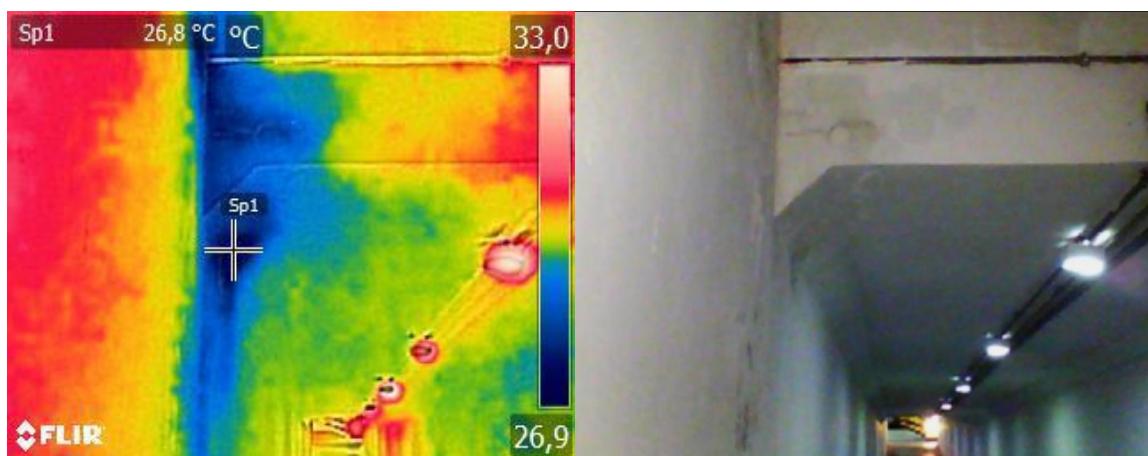
Figura 43 - Focos de umidade na área de jardinagem do subsolo do TCE-TO



Fonte: autor, 2023.

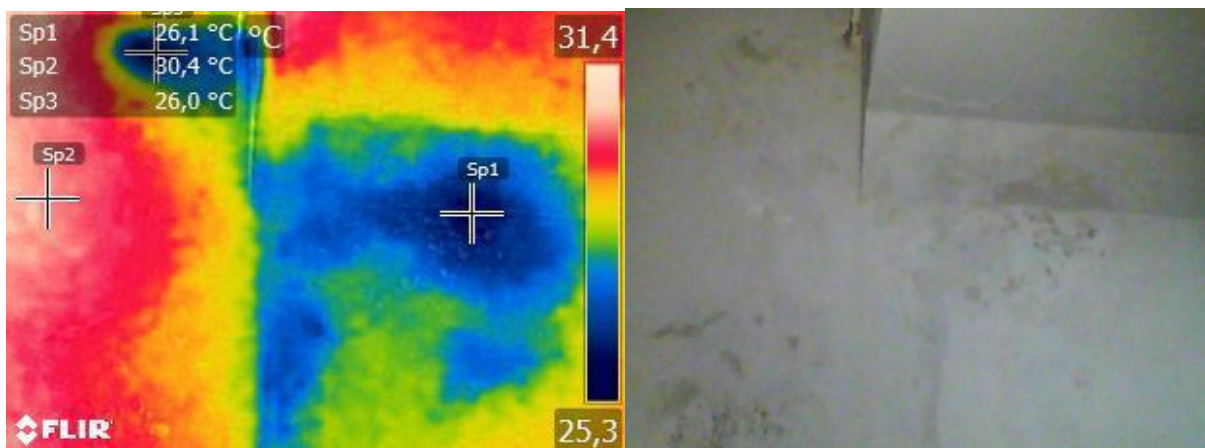
Nas figuras 44 e 45, foram identificados, por meio de dois ângulos diferentes, focos de infiltração que mostram claramente pontos úmidos na imagem digital. Esses pontos úmidos provavelmente são resultado de vazamentos presentes na conexão da tubulação de água fria. O termograma registrado revela uma temperatura máxima de 33°C e mínima de 26,9°C, corroborando a presença dos pontos úmidos.

Figura 44 - Presença de infiltração na parede do subsolo do TCE-TO



Fonte: autor, 2023.

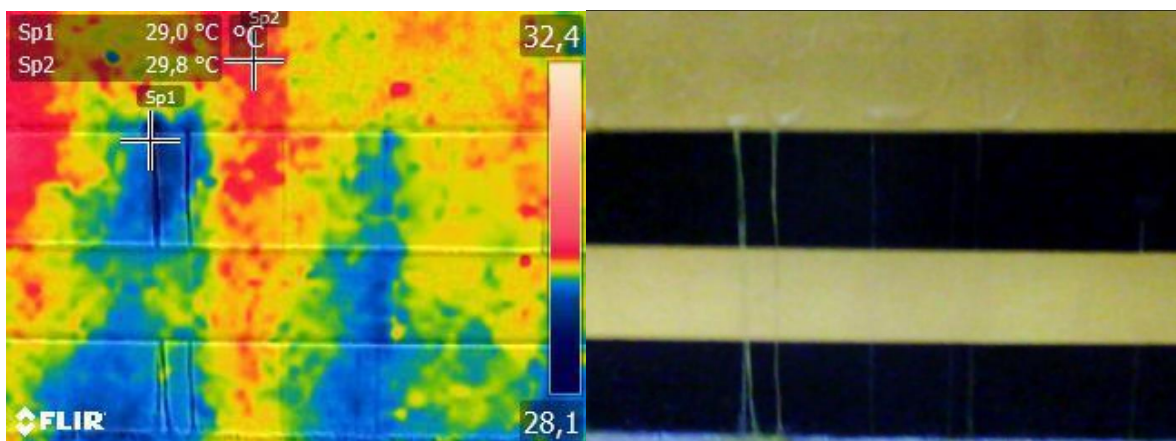
Figura 45 - Focos de umidade na parede do subsolo do TCE-TO



Fonte: autor, 2023.

Na figura 46, é evidente a presença de uma parede completamente infiltrada, com bolsões de água retidos na pintura. Através da termografia, é possível analisar a diferenciação de temperatura. Nessa imagem, a paleta de cores destaca tons de azul onde apresentam pontos mais úmidos (temperatura menores), enquanto tons mais claros indicam pontos mais quentes (temperaturas maiores).

Figura 46 - Presença de infiltração na parede do subsolo do TCE-TO



Fonte: autor, 2023.

Desse modo, a técnica termográfica tem se mostrado uma ferramenta eficaz na inspeção para a detecção de focos de umidade e infiltrações. A Câmera termográfica possibilita a visualização de discrepâncias de temperatura relacionadas a esses problemas, viabilizando a identificação de áreas problemáticas de maneira não intrusiva.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A câmera termográfica, em conclusão, tem se mostrado uma ferramenta altamente eficaz e complementar durante inspeções, tanto para a identificação de focos de umidade e infiltrações, quanto para o mapeamento de tubulações embutidas em painéis de alvenaria de pequena espessura. Sua capacidade de capturar imagens térmicas permite visualizar diferenças de temperatura, possibilitando a localização de áreas problemáticas de forma não invasiva, fornecendo informações mais abrangentes do que uma inspeção a olho nu.

No entanto, é importante destacar que a utilização da câmera apresentou limitações na identificação de tubulações hidrossanitárias embutidas em alvenaria estrutural. Mesmo com o uso de água quente para potencializar o aumento do gradiente de temperatura entre a tubulação e a parede, medir as temperaturas internas desse sistema construtivo se mostrou desafiador. Consequentemente, não foi possível mapear as tubulações em áreas específicas das edificações onde essa situação estava presente.

Por outro lado, a câmera foi capaz de mapear com sucesso áreas das edificações onde o revestimento aparentemente possuía uma espessura menor presentes em sistemas de vedação de bloco cerâmico com ou sem revestimento cerâmico. Nesses casos, ao utilizar água quente para aumentar o gradiente de temperatura entre a tubulação e a parede, foi viável realizar o mapeamento das tubulações. Esse método se mostrou eficiente e eficaz na localização dessas tubulações embutidas.

Vale ressaltar que a câmera utilizada na inspeção foi a FLIR C2, com resolução 80×60 (4800 pixels de medição), considerada uma câmera com média resolução quando comparadas com outras no mercado profissional. É importante mencionar que câmeras com resoluções mais altas podem proporcionar informações mais detalhadas, dependendo das necessidades específicas de busca. No caso em questão, a câmera C2 não foi capaz de buscar e detalhar o mapeamento de tubulações em painéis de alvenaria com características de bloco de concreto de espessura maior.

O desafio encontrado no Tribunal de Contas com o uso da ferramenta da termografia infravermelha foi encontrar elementos invisíveis a olho nu, uma vez que a radiação adjacente proveniente do sol não era direta com o sistema construtivo do subsolo. Isso dificultou a visualização de certas infiltrações e umidades invisíveis a olho nu.

A distância da lente da câmera ao teto do subsolo do Tribunal de Contas também foi um dos fatores que impediram a visualização das infiltrações presentes no teto. Além disso, a variação de temperatura no subsolo dificultou a leitura da câmera termográfica.

Já em relação à dificuldade encontrada com o uso da ferramenta de termografia infravermelha em residências, não foi possível identificar o mapeamento das tubulações em

elementos muito profundos ou onde esses elementos estavam inseridos em painéis de alvenaria muito espessos, como por exemplo, alvenaria estrutural de bloco de concreto. Também não foi possível identificar tubulações de esgoto provenientes do piso.

Outra dificuldade encontrada foi a indisponibilidade dos projetos de instalação hidrossanitária das residências. Isso tornou desafiador compreender as soluções inadequadas relacionadas à instalação de esgoto nas edificações, o que, por vezes, impossibilitou visualizar adequadamente o mapeamento dessas tubulações.

Durante o ensaio realizado no laboratório de materiais do Instituto Federal do Tocantins, verificou-se que a vazão da pia influenciou na análise da câmera termográfica infravermelha, uma vez que o escoamento da água pela tubulação foi lento.

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se avaliar a aplicação da ferramenta e a interpretação dos resultados em painéis confeccionados com elementos posicionados em diferentes profundidades. Isso permitiria verificar até que profundidade a ferramenta apresenta efetividade no retorno da informação termográfica, a fim de melhor compreender suas limitações e possibilidades.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Helgner Borges Araújo. **Termografia Infravermelha**. 2014. Monografia - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Rio Verde, Goiás, 2014.
- ANHAS, F. V. L. **Emissividade de Materiais de Construção: Métodos de determinação e influência da humidade**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2018.
- BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. **Evaluation of building materials using infrared thermography**. Construction and Building Materials, v. 21, n. 1, p. 218–224, janeiro de 2007.
- BARREIRA, E., Almeida, R. M. S. F.; Delgado, J. M. P. Q. (2016). **Infrared thermography for assessing moisture related phenomena in building components**. Construction and Building Materials, 110 (1), 251–269. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.026>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da termografia ao estudo do comportamento higrotérmico dos edifícios**. 2004. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- BAUER, Elton; PÁVON, Elier. **Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios**. Concreto & Construções: Requisitos de projeto, normalização e execução para estruturas com longa vida ÚTIL, São Paulo, v. 3, p.93-98, jul.-set. 2015.
- BRIOSCHI, M. L.; MACEDO, J. F; MACEDO, R. de A. C. Termometria cutânea: novos conceitos. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 2, p. 151-60, 2003.
- CERDEIRA, F. et al. **Applicability of infrared thermography to the study of the behaviour of stone panels as building envelopes**. Energy and Buildings, v. 43, n. 8, p. 1845-1851, 2011.
- DINIS B. **Termografia aplicada à física das construções**. 2009. 73 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade de Fernando Pessoa, Porto, 2009.
- FREITAS, J. G. de; Carasek, H.; Cascudo, O. (2014). **Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura**. Ambiente Construído, 14(1), 57–73. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000100006>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2023.
- FLIR Systems. **FLIR TG165 User Manual**. Wilsonville: FLIR Systems, FLIR Systems, 2017. 32 p.
- FLIR Systems. **User's manual: FLIR Exx series**. Wilsonville: FLIR Systems, 2011. 206 p.
- FILHO, Roberto Lopes Burity. Aplicação da termografia na identificação de infiltrações e tubulações para condução de água fria e água quente embutidas em alvenaria. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. 1-11, junho, 2021. Disponível em: [file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/17480-Article-220956-1-10-20210713%20\(6\).pdf](file:///C:/Users/CLIENTE/Downloads/17480-Article-220956-1-10-20210713%20(6).pdf).

Acesso em: 20 de fevereiro de 2023.

GAUSSORGUES, G.; **Infrared Thermography**; Microwave Technology Series 5; Chapman & Hall, 1994.

HOLST, G. C. Common Sense approach to thermal imaging. Winter Park (FL): **JCD Publishing**, 2000. 377p.

KERSUL, Guilherme Marques. **Uso da termografia para inspeções e manutenção predial - Estudo de caso**. 2014. 34 e 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Brasília, 2014.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 6.edição, São Paulo, Atlas, 2011.

MADDING, Robert; “Emissivity Measurement and Temperature Correction Accuracy Considerations”; Infrared Training Center 2002.

MALDAGUE, X; MOORE, P. O. **Nondestructive Testing Handbook: Infrared and Thermal Testing**. 3 ed. Columbus: NDT, 2001.

MENDONÇA, L. V.; AMARAL, M. M. do; CATARINO, P. S. **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 20 de mar de 2023.

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

SANTOS, C. F. dos; ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. (2019). **Utilização da termografia infravermelha para detecção de focos de umidade em paredes internas de edificações**. Ambiente Construído, 19(1), 105-127. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212019000100296>. Acesso em: 15 de março de 2023.

ANDRADE, Renan Pereira de. **Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos aderidos de fachada**. 2020. 237 f. Dissertação (Mestrado e Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2020.

ROCHA, J. H. A.; SANTOS, C. F. dos; OLIVEIRA, J. B. de; ALBUQUERQUE, L. K. dos S.; PÓVOAS, Y. V. **Deteção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 329-340, out./dez. 2018.

SANTOS, L. **Classificação e Modelagem de Fatores de Influência sobre inspeções Termográficas em Ambientes Desabrigados**. 161 f. Dissertação (Doutor em Ciências em Engenharia Elétrica). 2012.

SCHNEIDER, Paulo Smith. **Medições Térmicas – Termometria e Psicrometria**.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012.

SILVA, Júlio César R. P. da; TARALLI, Cibele H.; MELZ, Simone P. M. Termograma: A imagem térmica como instrumento de diagnóstico rápido no design. In: Fourth International Conference on Integration of Design, Engineering and Management for innovation. **Anais...** Florianópolis, SC, Brasil: 2015.

ANEXOS - Dados Técnicos da Câmera FLIR C2

P/N: 72001-010 Rev.: 41167	
Dados óticos e de imagem	
NETD	100 mK
Campo de visão	41° × 31°
Distância mínima de focagem	- Térmica: 0,15 m (0,49 pés) - MSX: 1,0 m (3,3 pés)
Distância focal	1,54 mm (0,061 pol.)
Resolução espacial (IFOV)	11 mrad
Número F	1,1
Frequência da imagem	9 Hz
Focagem	Focagem fixa
Dados do detetor	
Matriz do plano focal	Microbolómetro não refrigerado
Gama espectral	7,5-14 µm
Inclinação do detetor	17 µm
Tamanho do sensor de IV	80 × 60
Apresentação da imagem	
Ecrã (a cores)	3 pol. 320 × 240 píxeis
Ecrã, relação de aspeto	4:3
Orientação automática	Sim
Ecrã tátil	Sim, capacitativo
Ajuste da imagem (calibração do alinhamento)	Sim
Modos de apresentação da imagem	
Imagem de infravermelhos	Sim
Imagem visual	Sim
MSX	Sim
Galeria	Sim
Medição	
Amplitude de temperatura do objeto	-10 °C a 150 °C (14 a 302 °F)
Precisão	±2 °C (±3,6 °F) ou 2%, o que for superior, a 25 °C (77 °F) nominal.
Análise da medição	
Medidor de pontos	Ligado/Desligado
Correção de emissividade	Sim; mate/semimate/semibrilhante + valor personalizado
Correção de medições	- Emissividade - Temperatura refletida aparente

Configuração	
Paletas de cores	• Ferro • Arco-íris • Arco-íris HC • Cinzento
Comandos de configuração	Adaptação local das unidades, idioma, formatos de data e de hora
Idiomas	Árabe, checo, dinamarquês, neerlandês, inglês, finlandês, francês, alemão, grego, húngaro, italiano, japonês, coreano, norueguês, polaco, português, russo, chinês simplificado, espanhol, sueco, chinês tradicional, turco.
Lâmpada	
Saída de potência	0,85 W
Campo de visão	60°
Funções de serviço	
Atualização do software da câmara	Utilizar o FLIR Tools
Armazenamento de imagens	
Suportes de armazenamento	Memória com capacidade mínima para 500 conjuntos de imagens
Formato do ficheiro de imagem	• JPEG padrão • Dados de medição de 14 bits incluídos
Transmissão de vídeo	
Transmissão de vídeo por IV não radiométrico	Sim
Transmissão de vídeo visual	Sim
Câmara digital	
Câmara digital	640 × 480 píxeis
Câmara digital, focagem	Focagem fixa
Interfaces de comunicação de dados	
USB, tipo de conetor	USB Micro-B: transferência de dados de e para o PC
USB, padrão	USB 2.0
Sistema de alimentação	
Tipo de bateria	Bateria de polímeros de iões de lítio recarregável
Tensão da bateria	3,7 V
Autonomia da bateria	2 h
Sistema de carregamento	Carregamento no interior da câmara
Tempo de carregamento	1,5 h
Funcionamento com alimentação externa	• Adaptador de CA, entrada de 90-260 V CA • Saída de 5 V para a câmara
Gestão da alimentação	Encerramento automático
Dados ambientais	
Amplitude de temperatura de funcionamento	-10 °C a +50 °C (14 a 122 °F)
Amplitude de temperatura de armazenamento	-40 °C a 70 °C (-40 a 158 °F)
Humidade (de funcionamento e de armazenamento)	IEC 60068-2-30/24 h, humidade relativa de 95% 25 °C a 40 °C (77 °F a 104 °F)/2 ciclos

Dados ambientais	
Humidade relativa	95% de humidade relativa 25 °C a 40 °C (77 °F a 104 °F) não condensada
EMC	• WEEE 2012/19/CE • RoHS 2011/65/CE • C-Tick • EN 61000-6-3 • EN 61000-6-2 • FCC 47 CFR Parte 15 Classe B
Campos magnéticos	EN 61000-4-8
Regulamentos relacionados com a bateria	UL 1642
Encapsulação	Estrutura e lente da câmara: IP 40 (IEC 60529)
Choques	25 g (IEC 60068-2-27)
Vibração	2 g (IEC 60068-2-6)
Dados físicos	
Peso (incl. bateria)	0,13 kg (0,29 lb.)
Tamanho (C × L × A)	125 × 80 × 24 mm (4,9 × 3,1 × 0,94 pol.)
Montagem do tripé	Não
Material da estrutura	• PC e ABS, cobertura parcial com TPE • Alumínio
Cor	Preto e cinzento
Informação de transporte	
Embalagem, tipo	Caixa de cartão
Lista de conteúdos	• Câmara de infravermelhos • Fita • Fonte de alimentação/carregador com fichas para a UE, Reino Unido, EUA, China e Austrália • Documentação impressa • Cabo USB
Embalagem, peso	0,53 kg (1,17 lb.)
Embalagem, tamanho	175 × 115 × 75 mm (6,9 × 4,5 × 3,0 pol.)
EAN-13	4743254001961
UPC-12	845188010614
País de origem	Estónia

Fonte: FLIR, 2017.