

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DE MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS PARA INVESTIGAÇÃO EM CAMPO DE FALHAS EM SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO: TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO, GEORADAR (GPR) E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Bibliographical Review of Non-Destructive Methods for Field Investigation of Faults in Waterproofing Systems: Thermography by Infrared, Georadar and Electrical conductivity

Siane Arantes de Oliveira¹, Andrielli Morais de Oliveira², Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter³



PALAVRAS CHAVE:

Ensaio não destrutivo;
Impermeabilização;
Estanqueidade;
Termografia;
GPR.

KEYWORDS:

Non-destructive testing;
Waterproofing;
watertightness;
Thermography;
GPR.

RESUMO: A durabilidade, o desempenho, a eficiência e a vida útil de materiais, sistemas e componentes construtivos podem ser comprometidos por falhas de estanqueidade e de sistemas de impermeabilização. Técnicas não destrutivas (ND) vêm sendo utilizadas para aprimorar investigações em edificações em construção e em uso apresentem problemas relacionados a falta de estanqueidade. Assim, é objetivo apresentar, por meio de revisão da literatura, as técnicas ND de termografia por infravermelho, campo elétrico e tomografia por ondas ultrassônicas para detecção de falhas em campo em sistemas de impermeabilização. Para tanto, a revisão da literatura foi realizada nas bases de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Engineering Village* entre os anos de 2012 a 2022 no âmbito nacional e internacional. Como resultado, a termografia tem uso evidenciado e com êxito na detecção de pontos úmidos, porém pode haver a limitação de temperatura e horários em função da radiação solar. Já a técnica de campo elétrico, apresentou como principal vantagem a complementação do teste de estanqueidade. Com a tomografia por ondas ultrassônicas é possível analisar as descontinuidades, interfaces e defeitos no sistema de impermeabilização. Desta forma, aplicação de técnicas não destrutivas em inspeções de campo para detecção de problemas de estanqueidade é grande e pode minimizar prejuízos financeiros, sociais, ambientais, dentre outros.

ABSTRACT: The durability, performance, efficiency and service life of building materials, systems and components can be compromised by failures in watertightness and waterproofing systems. Non-destructive (ND) techniques have been used to improve investigations in buildings under construction and in use that present problems related to the lack of watertightness. Thus, the aim is to show, through a literature review, the potential of ND techniques, as infrared thermography, holiday detector and ultrasonic wave tomography techniques (Ground Penetration Radar) for field failure detection in waterproofing systems. Therefore, a literature review was carried out in the *Science Direct*, *Scopus* and *Engineering Village* databases between the years 2013 to 2022. As a result, thermography has been used successfully in detecting wet spots, but it can be limitations on temperature and time of day due to solar radiation. The electric field has potential between the substrate and the coated surface, had the main advantage of complementing the tightness test. With the radar technique (GPR) is possible to analyze the discontinuities, interfaces and defects in the waterproofing system. Thus, the potential for applying non-destructive techniques in field inspections to detect leaks is great and can minimize financial, social and environmental damage, among others.

* Contato com os autores:

Publicado em 29 de dezembro de 2023

¹ e-mail: arantessiane@gmail.com (S. A. Oliveira)

Engenheira Civil, Especialista em Construção Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG)

² e-mail: andriellimorais@ufg.br (A. M. Oliveira)

Engenheira Civil, Doutora, Docente do Curso de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) e do curso de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (PPG-GECON/UFG)

³ e-mail: maria_carolina_brandstetter@ufg.br (M. C. G. O. Brandstetter)

Engenheira Civil, Doutora, Docente do Curso de Engenharia Civil e Ambiental (EECA) e do curso de Pós-Graduação em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (PPG-GECON/UFG)

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento que no Brasil, a estanqueidade nas edificações é um desafio em vários contextos, regiões e macro e microclimas locais. Dessa forma, a umidade pode ser um severo agente de deterioração que minimiza a eficiência, a durabilidade, a vida útil e o desempenho de materiais de construção e sistemas construtivos. Normas técnicas brasileiras exibem recomendações e exigências para garantia de salubridade, segurança e conforto do usuário no ambiente construído (ABNT NBR 15575, 2021; NBR 9575, 2010 e NBR 9574, 2008). No entanto, erros durante o processo executivo, especificações de materiais inadequados, tipos de sistema utilizados em locais inapropriados e baixa eficácia da mão de obra são possíveis fontes de erros que comprometem a vida útil do sistema de impermeabilização nas edificações (TEJO, 2018; LONZETTI, 2010). Além disso, isso podem gerar repercussões negativas para a imagem e das empresas e ainda onerar a gestão pós-obra com altos custos de manutenção de acordo com a NBR 5674 (ABNT, 2012; CURPERTINO; BRANDSTETTER, 2015). Adicionalmente, Camargo (2018) menciona que pode ocorrer a liberação de áreas para realizar o sistema de impermeabilização sem as condições apropriadas e sem a compatibilização entre sistemas prediais e sistema de impermeabilização, dentre outros, além da presença de arames, óleo desmoldante de formas de estruturas de concreto e superfícies não limpas e irregulares.

Ao mesmo tempo, limitações na formação de profissionais de engenharia pode ser uma causa dos problemas patológicos relacionados ao tema nas edificações. Apenas algumas universidades, apresentam em sua estrutura curricular disciplinas na graduação ou pós-graduação que tratem em particular do tema com carga horária específica.

Por outro lado, no que tange o envelhecimento das edificações, há a necessidade de maior frequência de vistorias e inspeções para avaliação de manutenções periódicas e da necessidade ou não da substituição de materiais e sistemas em edificações (BURIN et al., 2009; GOMIDE et al., 2009).

Ferreira (2014) relata que problemas de assistência técnica relacionados à impermeabilização podem somar cerca de 8% do custo total na fase no pós-obra. Concomitantemente Severo (2017), constatou em um condomínio horizontal de padrão alto na cidade de Porto Alegre, que os maiores índices de assistência técnica estão relacionados com revestimentos argamassados, instalações hidrossanitárias e impermeabilização. Além disso detectou que as causas de problemas com o sistema de impermeabilização foram associadas a perda de aderência de manta asfáltica ao substrato, falhas durante execução, proteção mecânica degradada e até ausência completa de uma camada impermeabilizante.

Em outro trabalho, os autores Aktas et al. (2021) e Cacciotti (2020) descreveram que umidade é um dos principais fatores de danos aos sistemas prediais, afetando sua durabilidade e seu desempenho higratérmico, danificando outros sistemas, como vedações de pisos e paredes.

Dados de Ribeiro et al. (2021) também confirmam estes resultados e relacionaram falhas na execução do sistema de impermeabilização como uma das causas de problemas em ocupação e pós-obra. Um detalhe a ser refletido em uma intervenção para manutenção é a severidade, complexidade, custo e prioridade relacionada ao risco (CUPERTINO; BRANDSTETTER, 2015). Em especial, segundo estes autores, indicadores com graus de prioridade possibilitam uma visão geral para o risco de manifestações patológicas, na urgência em seu atendimento e na retroalimentação de suas informações para o sistema produtivo dos empreendimentos. A aplicação da técnica ainda permite a categorização por prioridades distintas, quer sejam de severidade, de complexidade de intervenção ou de custos.

De acordo com Silva (2018), custos para implantação de sistemas impermeabilizantes na edificação representam em média 1 a 3% do custo total de uma obra e, caso ocorra necessidade de refazê-la, o custo de manutenção pode chegar em média a 25% do valor total da obra. Isso resulta em aumento de custos e em um desgaste social e ambiental.

A NBR 9575 (ABNT, 2010) e NBR 9574 (ABNT, 2008) tratam respectivamente de projetos e execução de sistemas de impermeabilização. No entanto, algumas premissas e boas práticas de execução são preliminares a esta etapa. Neste sentido, o uso de técnicas não destrutivas (ND) para inspeção e soluções de problemas em campo relacionados à estanqueidade e impermeabilização, tanto no campo preventivo (durante a construção), quanto no campo de reabilitação e recuperação de construções vêm sendo utilizadas. Dentre elas, a termografia por infravermelho (ROCHA et al., 2018, BARBOSA et al., 2021; MORÓN et al., 2019; DAFICO et al., 2022), o radar GPR (*ground penetration radar*) (WU et al., 2019; AGLIATA et al., 2019; DODGE et al., 2013), medidas de descontinuidade elétrica (*holiday detector*) e resistência elétrica (VERGILI et al., 2019; DAFICO, 2021, além de avaliação de umidade superficial (SALOMÃO, 2012; DAFICO, 2021; DAFICO et al., 2022) podem ter um desempenho interessante. Em geral, as técnicas não destrutivas (ND) são as utilizadas para inspeção de sistemas, materiais e equipamentos que não danifiquem ou alterem as características químicas, físicas, mecânicas ou dimensionais e que não interfiram nas condições de uso após o processo de inspeção (ABENDI, 2019).

Dentre essas técnicas, em especial, três técnicas foram selecionadas: a termografia por infravermelho, campo elétrico e tomografia por ondas ultrassônicas. A termografia tem uso conhecido, comum e com êxito em inspeção de danos em fachadas com ou sem drones (BAUER et al., 2014; 2015ab; 2016ab; 2018) e pode verificar problemas de umidade (DAFICO et al., 2022) por diferença de temperatura sem a necessidade de danos e demolições para a inspeção, além de ter uso normatizado no Brasil pela NBR 15424 (ABNT, 2016); NBR 16292 (2016), NBR 16554 (ABNT, 2016) e NBR 16818 (ABNT, 2020) e também com usos em outras áreas de engenharia (elétrica e mecânica) (BR 15763, 2009; NBR 15866, 2010; NBR 15572, 2013).

Outra técnica não destrutiva importante é a de medição da interrupção elétrica pela avaliação da descontinuidade em sistemas de impermeabilização com manta asfáltica, revestimento ou tintas sobre algum tipo de substrato. Além disso, o tomógrafo de ondas ultrassônicas ou ultrassom em fases também potencialidade de detectar diferenças de umidade, porosidade e a presença de defeitos. Este método é bastante utilizado em sondagens e investigações de baixa profundidade em áreas de geotécnicas, geológicas e de engenharia de materiais e mecânica.

Assim, é objetivo do presente artigo apresentar o uso das técnicas não destrutivas de termografia por infravermelho, radar por ondas ultrassônicas e interrupção elétrica em inspeções de campo relacionadas a problemas de impermeabilização nas construções. Para tanto, uma revisão da literatura foi realizada, destacando os princípios das técnicas mencionadas, as vantagens e desvantagens de uso, a normatização existente, os equipamentos utilizados e resultados obtidos.

Um ponto importante da contribuição deste artigo é colaborar com o acréscimo da durabilidade e do desempenho das construções, apresentando a possibilidade do uso de técnicas não destrutivas em inspeções e vistorias durante a construção e mesmo em pós-obras, relacionados a falta de estanqueidade em sistema de impermeabilização.

2. MÉTODO DE PESQUISA

Para elaboração do presente estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica em bases de dados em periódicos nacionais e em banco de dados de teses e dissertações com as palavras chaves: *thermography and waterproofing*, *GPR and waterproofing* e *holiday detector and waterproofing* nos anos de 2012 a 2020. Após isso, foi realizada uma filtragem dos artigos aderentes ao tema do artigo.

3. TÉCNICA DE TERMOGRAFIA POR INFRAVERMELHO (TI)

A termografia por infravermelho é uma técnica que capta por meio de uma câmera termográfica a radiação infravermelha emitida pela estrutura ou sistema construtivo analisado. O resultado é expresso em formato de termograma, que é uma imagem visível com escala de temperaturas, retratada pela radiação. Ainda de acordo com o autor, essa técnica é utilizada nas áreas de agricultura, medicina, veterinária, inspeções industriais, torres de alta tensão e outros (JANKU et al., 2019; LEONI, 2020).

A NBR 15424 (ABNT, 2016) menciona que a temperatura aparente refletida está associada a radiação proveniente de outros objetos, refletida pela superfície do objeto em estudo e detectada pelas câmeras termográficas e esta deve ser calculada segundo os métodos apresentados na NBR 16292 (ABNT, 2014).

Além disso, a termografia infravermelha pode ser utilizada em duas condições em laboratório: passiva e ativa. Na condição passiva, o fluxo de calor no material inspecionado é gerado pelas condições de contorno naturais (GRINZATO; BISON; MARINETTI, 2002), ou seja, não é necessária nenhuma fonte de energia para que a anomalia se torne detectável pela câmera. Já a inspeção termográfica ativa versa na utilização de uma fonte externa de calor para estimular os materiais a serem inspecionados (MALDAGUE, 1993) e na medição do aumento da temperatura da superfície aquecida, conforme o fluxo fornecido (ROSINA; LUDWIG, 1999). Esta condição é necessária quando os materiais a serem estudados estão termicamente estáticos, ou seja, todos os pontos estão a temperatura ambiente, assim, é necessário gerar um fluxo de energia térmica de forma que as propriedades estruturais e termo físicas do material possam crescer ou impedir esse fluxo (THEODORAKEAS, 2013).

O método de análise da termografia infravermelha pode ser dividido em qualitativa e quantitativa. A qualitativa é realizada quando se pretende uma abordagem superficial do problema, por meio de termogramas é estabelecido o intervalo aceitável para cada variável, pode ser uma ferramenta eficaz de manutenção preventiva. Enquanto a quantitativa define o nível de gravidade da anormalidade, seguindo determinados critérios de classificação para posteriormente definir as ações necessárias (FLUKE CORPORATION, 2005).

Para aplicação desta técnica, é necessária uma câmera termográfica e há vários exemplos utilizados na literatura, mesmo em inspeções de campo, como o modelo Flir One Pro Lt que se conecta ao aparelho celular (MACHADO, 2017) e o modelo FLIR T460 (ROCHA et al., 2018), com preços e funcionalidades diferentes variando aproximadamente de R\$ 4.000,00 (US\$ 1.200,00) a R\$ 240.000,00 (US\$ 49.000,00).

Nesta direção, Machado (2017) utilizou câmera termográfica e termômetro infravermelho na detecção de áreas comprometidas em campo, impermeabilizadas com manta asfáltica, após teste de estanqueidade. Ele concluiu que o uso dos dois equipamentos permitiu identificar regiões de emendas de mantas mal executadas e que poderiam permitir o fluxo de água, não apontadas em teste de estanqueidade. O detalhe é que esses pontos foram detectados antes da execução da proteção mecânica da manta asfáltica, isso possibilitou a correção antes das etapas subsequentes. Paralelamente, em outra aplicação de campo, Teixeira (2017) empregou a técnica de termografia por infravermelho para detecção de manifestações patológicas em edificações com o propósito de identificar problemas de estanqueidade.

De acordo com Andrade (2020), a termografia por infravermelho também apresenta como vantagem a aplicação sem contato com o objeto de análise. Isso possibilita utilizar o equipamento em fachadas, reservatórios superiores e locais de longa distância com e sem uso de drones. Outra vantagem desta técnica é a visualização de possíveis pontos úmidos que não são percebidos durante o teste de estanqueidade e inspeção visual. Por outro lado, uma desvantagem é a necessidade de operador do equipamento experiente com formação e experiência adequadas para manusear e interpretar os dados

obtidos, bem como com bons conhecimentos complementares sobre engenharia e ciências para executar um trabalho mais direcionado, completo e preciso (TEIXEIRA, 2017).

Machado (2017) utilizou a técnica de infravermelho (TI) durante a construção de uma casa de máquinas (área de 15 m²), laje de um *deck* descoberto (área de 18 m²) e *spas* privativos (com áreas de 24,5 m²). Após o teste de estanqueidade com duração de 72 horas, ele notou que o horário em que o teste foi finalizado e a água retirada influenciaram no resultado das imagens termográficas. Assim, observou-se possíveis pontos de umidade em rodapés, ralos e piso com mantas asfáltica, possibilitando então o tratamento antes da proteção mecânica (Figura 1). Por fim, o ensaio termográfico juntamente com o teste de estanqueidade indicou locais vulneráveis a falhas no sistema de impermeabilização recém aplicado. Constatou-se também que a temperatura do ambiente e o horário do ensaio influenciaram diretamente no resultado das leituras termográficas. Os melhores horários para se ter bons resultados no teste realizado foram 07:00 às 08:30 horas e 16:00 às 18:00 horas, pois nesses horários a água percolada dificilmente oscilou com a temperatura.

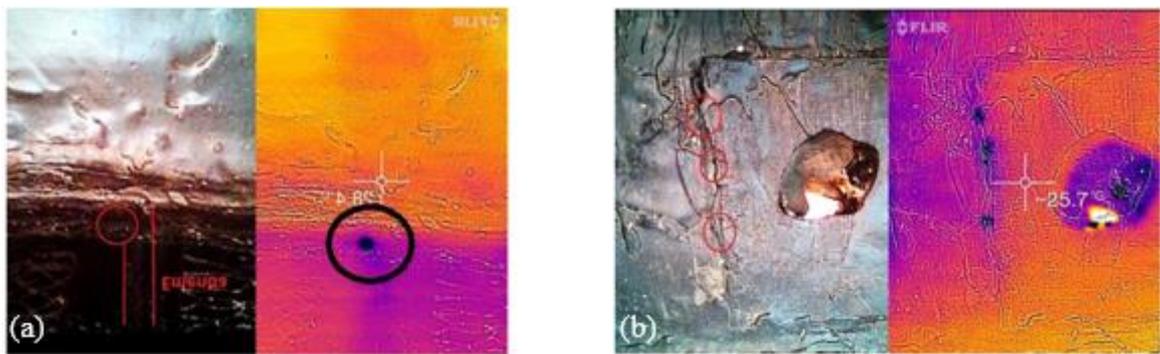


FIGURA 1: Imagens de inspeção com uso de câmera termográfica: (a) pontos de presença de água na emenda de manta asfáltica em rodapé e (b) em ponto de escoamento de água.

FONTE: MACHADO, 2017.

Teixeira também fez inspeção com o uso de câmera termográfica na piscina do Metrópole Shopping Residence (Figura 2).

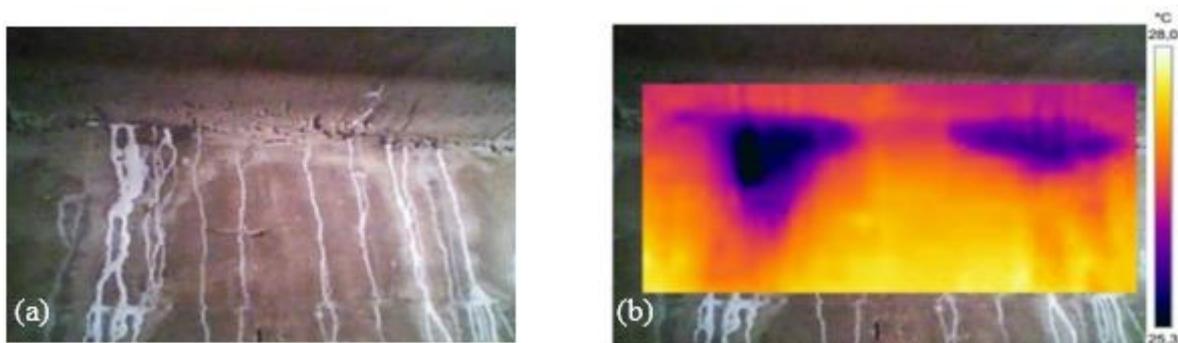


FIGURA 2: Imagens de inspeção em estrutura de piscina em concreto armado: (a) imagem sem câmera termográfica e (b) com câmera termográfica.

FONTE: TEIXEIRA, 2017.

Em outra inspeção de uma edificação em uso (paredes e tetos de aproximadamente 400 m² de salas de laboratórios), Rocha et al. (2018) fizeram imagens com câmera termográfica para detectar umidade nos ambientes internos. As paredes e tetos foram escolhidas por inspeção visual por apresentar possível presença de infiltração. A distância da câmera ao objeto foi testada em 2 metros e 3 metros, como também do horário para medição da temperatura e, também, do foco da câmera, visando ter boa resolução dos termogramas e melhores resultados. Na Figura 3 foi possível verificar que os ensaios termográficos apresentaram boa correspondência com os pontos de umidade.

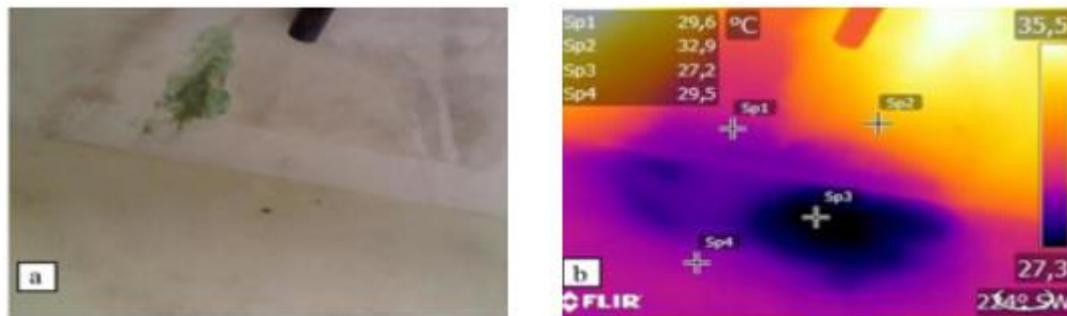


FIGURA 3: Umidade em parede: (a) imagem sem câmera termográfica e (b) com câmera termográfica.
FONTE: ROCHA et al., 2018.

Em outra pesquisa, foram realizados ensaios em laboratório em duas paredes de blocos cerâmicos revestidas com argamassa de cimento com o intuito de diagnosticar umidade por ascensão capilar com a câmera termográfica. Foram verificadas a influência do substrato (placas de concreto e blocos cerâmicos) e do impermeabilizante em relação a presença de umidade. As paredes foram submersas em água em dois reservatórios, construídos com placas de concreto e bloco cerâmico revestidos com argamassa e com aditivo impermeabilizante, dentro de câmara climática quente para verificar a capacidade de evaporação da alvenaria. Os resultados na câmara quente indicaram que após 2 horas já foi possível identificar, por meio de imagens térmicas, um gradiente térmico entre as primeiras fileiras de alvenaria da parede. Apenas após 23 horas, foi possível verificar visualmente essa diferença. Com 119 horas ocorreu a maior diferença térmica entre a região úmida e a região seca. Foi possível a identificação de presença de umidade, logo após o início da percolação, por meio da técnica de termografia, mesmo sem a visão a olho nu e que o gradiente de temperatura estabiliza ou diminua até o fim do ensaio. Outro fator importante é que as diferenças de temperatura e umidade relativa do ar são relevantes e devem ser consideradas na análise dos resultados (DAFICO et al., 2022).

Paralelamente, em outro estudo, realizado por Barbosa et al., (2021), foi utilizado a termografia para detectar a presença de umidade na fachada de uma edificação histórica. Para realizar as medições termográficas, os autores utilizaram a câmera FLIR Therma-CAM b40s com posicionamento do operador fixo a 5 metros da fachada e altura da câmera a 1,4 metros. Com o intuito de compatibilizar o mapa de danos com as imagens termográficas, a fachada do edifício principal com área total de 254,86m² foi transformada em um protótipo virtual, utilizando a ferramenta *Autodesk AutoCad*. As imagens termográficas permitiram elaborar um mapeamento dos danos em imagens de percolação de água e umidade ascendente (Figura 4).



FIGURA 4: Mapeamento dos danos.
FONTE: BARBOSA et al., 2021.

Barbosa et al., (2021) também realizaram uma análise quantitativa para verificar a importância da anomalia na matriz de priorização GUT de forma que foi classificado a gravidade (G), urgência (U) e tendência (T) das manifestações patológicas, variando os coeficientes de 1 a 5, sendo 1 pouco relevante e 5 muito expressivo. Eles calcularam a área afetada por cada tipo de umidade pela Equação 1:

$$DD_{xx} = \frac{\sum AD_{xx}}{TA} \quad \text{Eq. [1]}$$

Sendo:

DD = o grau de degradação;

AD = a área degradada no termograma;

TA = a área total;

xx = o tipo de umidade

4. TÉCNICA DE MEDIDA PARA DETECÇÃO DE DESCONTINUIDADE ELÉTRICA

Segundo a norma ASTM D 4787-13 (2018), a técnica consiste em a detecção de descontinuidades utilizando um testador de faísca de alta tensão usando tensão contínua ou pulsada para verificar as descontinuidades em substratos de concreto. A condutividade da camada impermeabilizante pode variar de acordo com o teor de umidade, presença de barras metálicas, teor e tipo de cimento, tipos de agregado, porosidade e outros.

De acordo com Paes (2016), para uso da técnica, é necessário fazer um aterramento na estrutura a ser analisada e conectar um eletrodo com cabo extensor a um acessório condutor (escova plana, sonda flexível, barramento de alumínio, entre outros). O equipamento conhecido como *holiday detector* é aplicado na superfície a ser investigada e quando há descontinuidades e defeitos, surge faísca e o aparelho emite um sinal sonoro, indicando um possível ponto a ser corrigido. Este ponto deve ser marcado e, caso seja procedente, reparado.

Pinheiro e Silva (2015) mencionaram que esta técnica tem sido mais utilizada para verificar sistemas de proteção e revestimentos anticorrosivos não visíveis à olho nu em cascos de navios. A técnica responde sobre a descontinuidade da película da tinta e proteção, por meio de campo elétrico.

O aparelho *holiday detector* é tratado na norma brasileira NBR 16172 (ABNT, 2014) que divide a classe do aparelho em via úmida e via seca. Via úmida são os equipamentos que estão na faixa de 9 a 90 V e que devem ser utilizadas em revestimentos anticorrosivos com espessuras de até 500 µm. Este equipamento contém haste para suporte de esponja, esponja e fio terra tipo jacaré. Para a via seca, as faixas de potencial são de 500 a 15.000 V e que são utilizadas em revestimento anticorrosivo com espessura acima de 500 µm. Neste caso, o equipamento contém eletrodo de alta tensão com manopla de segurança para vassoura metálica, vassoura metálica, mola metálica e fio terra com garra tipo jacaré.

A Figura 5 apresenta de forma ilustrativa as etapas da técnica *holiday detector*, a inspeção por via elétrica (Figura 5a), o surgimento da faísca ao encontrar a descontinuidade do sistema de impermeabilização (Figura 5b) e a identificação da região para posterior ajuste no sistema de impermeabilização.

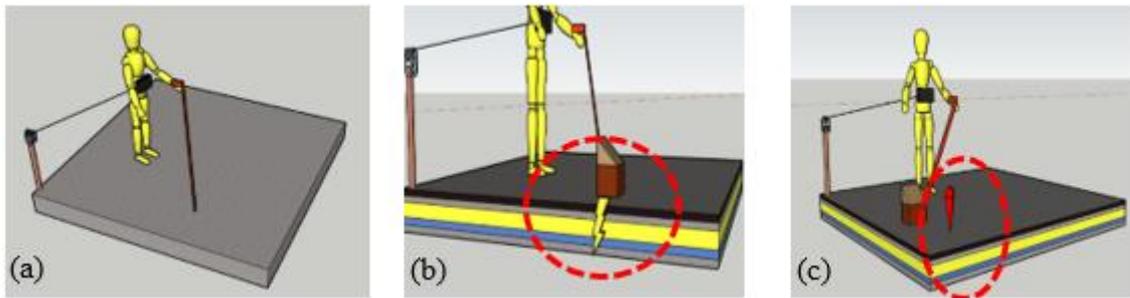


FIGURA 5: Ilustração esquemática da técnica de potencial elétrico (Holiday Detector): (a) inspeção, (b) indicação da faísca elétrica e (c) detalhe da localização de falha para ajustes no sistema de impermeabilização.

FONTE: Baseado na ASTM D 4787-13, 1993.

Ainda de acordo com a ASTM D 4787-13 (2018), o equipamento para aplicação da técnica deve conter (Figura 6):

- um testador de faísca de alta tensão que corresponde a um detector elétrico com uma classificação de tensão superior a 800 V, que consiste em uma fonte de energia elétrica ligada de um lado a um eletrodo que irá verificar a descontinuidade e do outro ao aterramento. este detector deve apresentar um indicador visual ou audível, ou ambos;
- uma fonte de energia elétrica com a voltagem apropriada para o teste;
- um eletrodo com cabo extensor;
- um cabo para realizar o aterramento;
- indicadores visuais ou audíveis para sinalizar o fechamento do circuito e com isso avisar a descontinuidade do sistema;
- um teste de descontinuidade de faísca de alta e baixa tensão, utilizado para localizar descontinuidades.



FIGURA 6: Ferramentas utilizadas para o teste do potencial elétrico (Holiday Detector).

FONTE: <http://www.aprietojato.com.br/venda-de-holiday-detector>.

Como exemplo, o equipamento *holiday detector* do Fornecedor Medtec da Figura 19, tem o valor de venda de R\$ 6.826,60 (US\$ 1,398.89).

Ademais Vergili (2019) utilizou o equipamento *holiday detector* no sistema de impermeabilização de poliureia durante a execução de reparos no sistema de impermeabilização. Foi utilizado o equipamento ETC-AC digital, do fabricante ETCLASS com corrente variando entre 5 e 70 kV. Foram observadas fissuras visíveis e micro furos de ordem 160 μm , praticamente imperceptíveis à olho nu. A figura 7 apresenta uma superfície do substrato íntegra e com furo (VERGILI, 2019), identificado por meio do detector de descontinuidade.

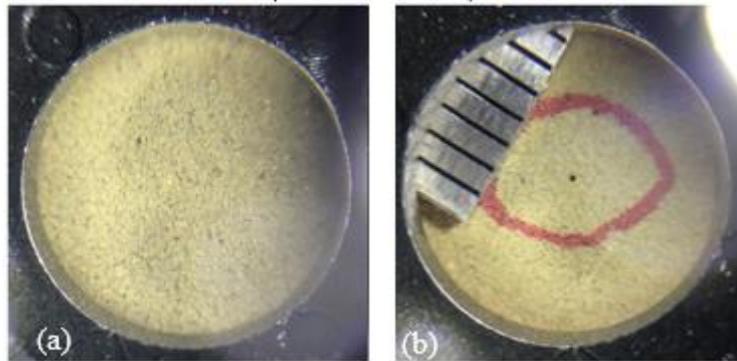


FIGURA 7: Imagem de inspeção com o equipamento para detecção de descontinuidade em sistema de impermeabilização, por meio da técnica de potencial elétrico: (a) superfície íntegra e (b) micro furo.

FONTE: VERGILI, 2019.

Figura 7 - Imagem de inspeção com o equipamento para detecção de descontinuidade em sistema de impermeabilização, por meio da técnica de potencial elétrico: (a) superfície íntegra e (b) micro furo (VERGILI, 2019).

De acordo com Moura (2015), esta técnica apresenta como principal vantagem a complementação do teste de estanqueidade, porém, como limitação existe a dificuldade em treinar a mão de obra para aplicação da técnica.

Em uso de cascos de navio, Pinheiro et al. (2015) fizeram o teste de descontinuidade da película de tinta com o aparelho Holiday detector. Após realizar o aterramento do equipamento, iniciou-se o teste passando uma escova de arame em velocidade de 20 cm/s. As falhas foram demonstradas com faíscas, cujos feixes convergiram ao ponto com falhas e por alarme sonoro. Estes autores mencionaram que no teste via seca, a tensão foi controlável, enquanto na via úmida a tensão foi fixa. Para verificar a voltagem adequada para efetuar o teste, selecionou-se uma superfície a ser testada que fosse isenta de falhas visuais e com espessura idêntica e especificada para o sistema de pintura. Então, iniciou-se passando a escova metálica com uma voltagem mínima de 500 V até uma voltagem máxima de 15.000 V, aumentando-se de 500 V em 500 V até o disparo do alarme. Em uma área mínima de 25 cm², lixou-se superficialmente a superfície, reduzindo 20% a espessura original, diminuindo a voltagem para 500 V e, em seguida, passou-se a escova na região lixada e não lixada, o aparelho regulado soou o alarme na região lixada e não soou na região não lixada.

Em outro estudo, Baião (2016) utilizou o equipamento PCWI *Wet Sponge Porosity Detector* em chapas de aço para construção e reparo naval no Arsenal da Marinha do Rio de Janeiro. Devido à alta taxa de corrosão do aço, principalmente em ambientes marinhos, o autor realizou ensaios com dois tipos de corpos de prova em aço ASTM A 131, um com primer alquídico e outro com primer epóxi à base de fosfato de zinco. Para verificar a efetividade dos *primers* foram utilizados vários ensaios e a técnica *holiday detector* com voltagem 9V e corrente contínua - via úmida. Durante a realização do ensaio, foi possível verificar se a pintura estava ou não com descontinuidade e segundo o autor ambos os *primers* apresentaram resultados satisfatórios se considerados um espaço curto de seis meses. Portanto, ele concluiu que é viável a substituição do primer epóxi na proteção das chapas de aço estocadas temporariamente.

5. GEORADAR (GROUND PENETRATING RADAR – GPR)

Este método baseia-se na propagação de ondas ou pulsos eletromagnéticos de curta duração e alta frequência, geralmente compreendida na faixa de 10 a 3000 MHz que são repetidamente irradiadas por meio de uma antena transmissora. O registro contínuo de traços amostrados, ao longo de uma seção, gera um radargrama, que após a aplicação da rotina de processamento, configura-se em uma seção de alta resolução do meio (PROCEQ, 2023).

De acordo com Campos et al. (2019), Georadar pode ser utilizado para estudar a estrutura do subsolo em diferentes campos, como a geologia, agricultura e engenharia civil. A penetração das ondas no solo é controlada pela condutividade elétrica dos componentes do solo, como argila, matéria orgânica e água. Moreira (2018) adiciona que o uso desta técnica permite realizar o mapeamento de estruturas de concreto com profundidade de até 50 cm para verificar vazios e falhas.

Leonel (2022) utilizou o GPR para verificação da sensibilidade do equipamento para detecção de barras, tubos e defeitos internos à estrutura de blocos e placas de concreto. Ele notou uma boa correlação com defeitos aplicados. No entanto, mencionou a necessidade de histórico prévio da estrutura, concreto e defeitos e de operador experiente com o uso da técnica.

A Figura 8 apresenta de forma esquemática o princípio de medição pela técnica que funciona pela transmissão das ondas por uma antena que envia ondas (Tx) (Figura 8) sobre a superfície a ser analisada e outra que capta as ondas por uma onda receptora (Rx). Devido às descontinuidades no material, limites ou interfaces com diferentes propriedades dielétricas, uma parte é refletida de volta a antena receptora. De acordo com as amplitudes dos ecos detectados e o tempo de chegada, pode-se detectar a descontinuidade (JANKU et al., 2019).

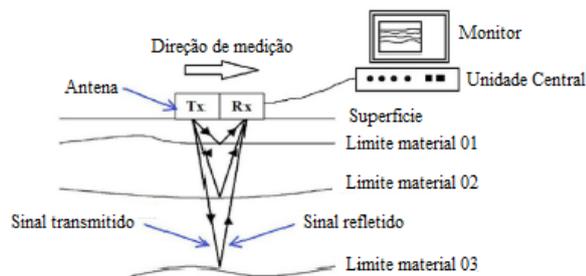
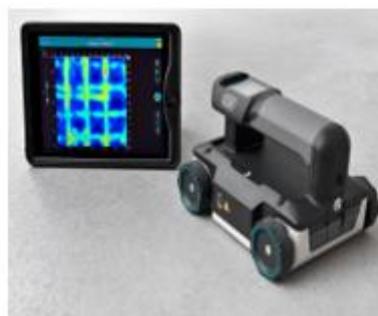


FIGURA 8: Princípio de medição por radar

FONTE: JANKU et al., 2019.

Para aplicação desta técnica pode ser utilizado alguns modelos de GPR, como o 8000, apresentados na figura 9 (a) do fabricante Proceq.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 9: (a) GPR: (a) exemplo de equipamento modelo GPR 8000 (PROCEQ, 2023), (b) e (c) ensaio com radar GPR fazendo varredura em bloco e placa de concreto em laboratório

FONTE: LEONEL, 2022.

O equipamento e *software* do GPR durante 5 anos da Figura 9, tem o valor aproximado atualmente de venda de R\$ 120.000,00 (US\$ 24.590,00).

Dodge et al. (2013) realizaram um estudo utilizando o método GPR para investigar problemas de drenagem em escoamento de águas pluviais e de juntas de dilatação de pavimento asfáltico. Amostras de concreto e de asfalto foram utilizados para calibrar a velocidade das ondas de GPR. Após análise dos resultados do GPR e compatibilização com gráficos de contorno, os autores indicaram regiões vulneráveis a percolação de água. Além disso, a utilização do GPR foi essencial para identificar os pontos que a camada de impermeabilização estava danificada, os locais que as armaduras existentes estavam posicionadas para realizar abertura de novos drenos e identificar os pontos que a água não escoou (Figura 10).

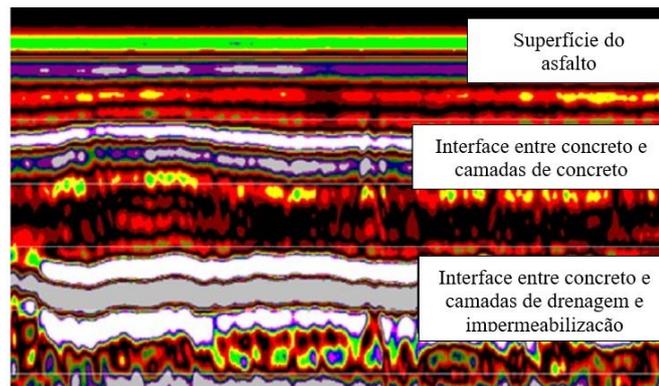


FIGURA 10: Resultado GPR.

FONTE: Dodge et al. (2013).

Janku et al. (2019) utilizaram o GPR com sistema GSSI e HILTI e uma câmera termográfica FLIR modelo A 615 para testes em falhas em campo em uma viga ponte em concreto armado. Os autores indicaram que o GPR não detectou cavidades mais superficiais no teste em campo ao contrário da termografia sob condições ambientais favoráveis. O GPR conseguiu determinar a profundidade de problemas na viga a nível de profundidade. Os autores concluíram que a termografia foi mais eficaz na avaliação da estrutura da ponte por ser rápida, sem requerer acesso direto a estrutura e sem interromper o tráfego da estrada.

Paralelamente Bigman et al. (2021) realizaram um estudo com um pequeno GPR (GP8000), de ondas contínuas em barragem hidroelétrica que apresentou sinais visíveis de fissuras e erosão, lixiviação, eflorescência, ataque de sulfato, reações álcali agregados e outros processos de degradação criaram vazios na estrutura do concreto. Os autores gostariam de verificar como um pequeno GPR se comportaria em uma estrutura tão grande de concreto e se as frequências mais altas podem fornecer imagens mais detalhadas das pequenas fissuras. Como resultado, durante 2,5 dias, foi possível analisar 5.575 m², dividido em 06 seções e foram obtidos mais de 150 vazios. A Figura 11 (a) representa vazios menores do que 60 cm que foram demarcados para teste de martelo, figura 11 (b). Enquanto a Figura 12 (a) apresenta vazios maiores que 60 cm, demarcados com cor vermelha para teste de perfuração, Figura 12 (b).

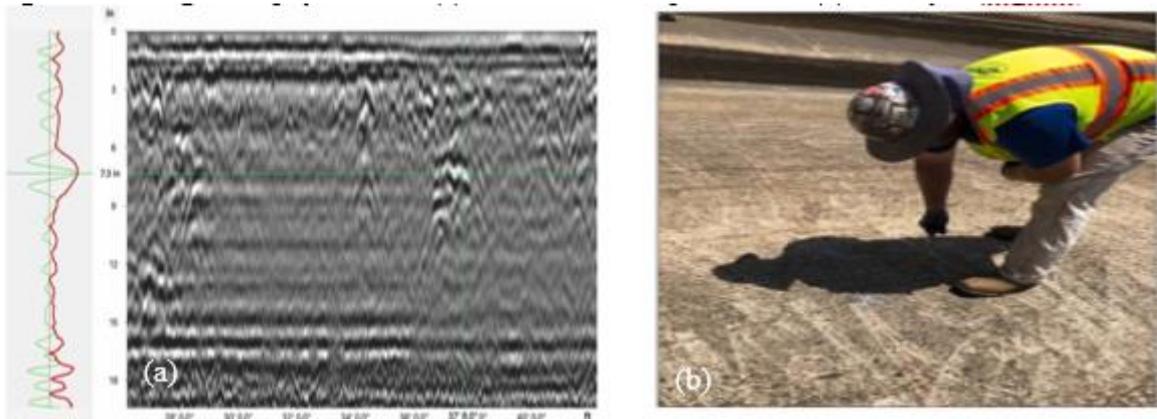


FIGURA 11: Imagem inspeção GPR - (a) vazios menores que 60 cm e (b) marcação.

FONTE: Bigman et al., 2021.

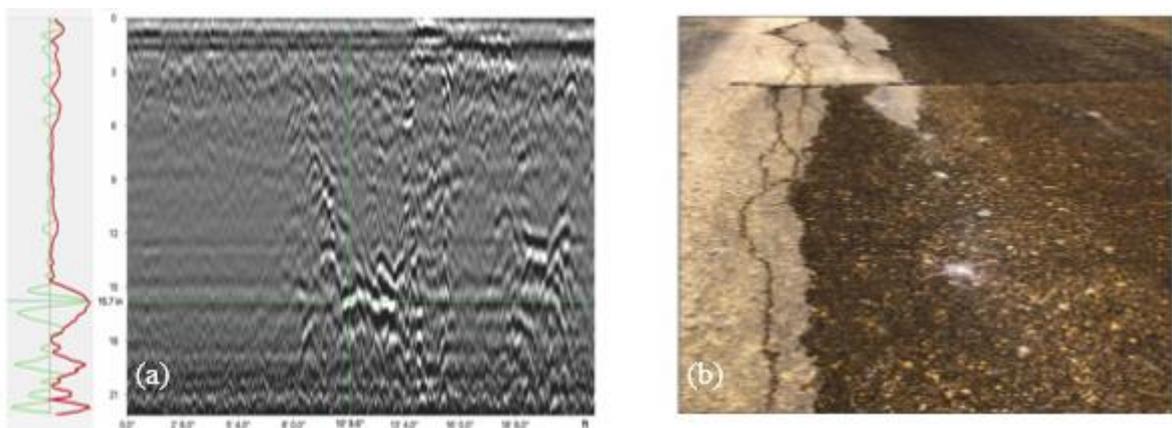


FIGURA 12: Imagem inspeção GPR - (a) vazios maiores que 60 cm e (b) marcação.

FONTE: Bigman et al., 2021.

De acordo com Bigman et al. (2021) a semelhança da velocidade da onda entre o concreto e a rocha causou alta transmissão de sinal e com isso não foi registrado resposta na parte posterior de trás da laje. O tamanho do agregado dificultou a interpretação dos dados devido ao ruído do fundo e as superfícies erodidas em algumas partes do vertedouro, fizeram o odômetro girar a uma taxa inconsistente, apagando traços de alguns perfis. Além disso, seções escorregadias não puderam ser inspecionadas devido à limitação do equipamento. Contudo, o GPR foi capaz de adquirir dados em grande parte do vertedouro e as frequências mais altas proporcionaram alta resolução das imagens.

6. ANÁLISE GLOBAL

O Quadro 1 sintetiza informações das técnicas de Termografia por infravermelho, Técnica medição de descontinuidade elétrica e Georadar - GPR

QUADRO 1: Síntese das técnicas analisadas.

Técnica	Equipamento	Norma	Vantagem	Desvantagem
Termografia por infravermelho	Câmera termográfica	NBR 15424 (ABNT, 2016) e NBR 16554 (ABNT, 2016)	É uma técnica de custo intermediário e pode ser realizada com o acoplamento de drones em locais de difícil acesso. Permite a aquisição de imagens. Técnica bastante utilizada no cenário nacional.	Pode exigir operador experiente. Tem a desvantagem de limitações de horários quando executada de forma passiva.
Técnica medição de descontinuidade elétrica	Holiday detector	ASTM D4787-13 (2018)	Parece responder de forma prática e técnica de forma eficiente.	Técnica menos conhecida e difundida.
Georadar - GPR	Ground penetration radar	-	Possibilita a aquisição de imagens.	São de alto custo, exige operador experiente e tem menos uso na literatura.

FONTE: Autores,2022

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, é possível inferir que o uso acoplado de mais de uma técnica é interessante e recomendado para ter-se um diagnóstico mais completo e assertivo.

As técnicas de GPR e de termografia exigem operadores mais experientes. A técnica de GPR tem custo de equipamento mais elevado. A termografia possui uma grande opção de equipamentos no mercado em uma grande faixa de preços. A técnica de medição de descontinuidades elétricas parece ser bem eficiente para respostas rápidas e imediatas.

As técnicas apresentadas podem ser utilizadas para verificar falhas no sistema de impermeabilização. Além das técnicas mencionadas, medidores de umidade superficial também são interessantes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGLIATA, R.; BOGAARD, T.A.; GRECO, R.; MOLLO, L.; SLOB, E.C., STEELE-DUNNE, S.C. Non-invasive estimation of moisture content in tuff bricks by GPR. **Construction and Building Materials**, v.160, p. 698-706, 2018.

AKTAS, Y.D.; ZHU, H.; AYALA, D.; WEEKS, C. Impact of surface waterproofing on the performance of brick masonry through the moisture exposure life-cycle. **Building and Environment**, v.197, p. 13, 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D 4787-13, 2018: Standard Practice for Continuity Verification of Liquid or Sheet Linings Applied to Concrete Substrates**. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2021.

ANDRADE, R. P. **Uso da termografia infravermelha embarcada em drone como ferramenta para a inspeção de patologias em revestimentos**. (2020). 19 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Web site**. 2022. Disponível em: <http://www.abendi.org.br/abendi/>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15424: Ensaios não destrutivos - Termografia - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2016.

- ABNT_____. **NBR 16292: Ensaios não destrutivos — Termografia — Medição e compensação da temperatura aparente refletida utilizando câmeras termográficas.** Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15572: Ensaios não destrutivos - Termografia - Guia para inspeção de equipamentos elétricos e mecânicos.** Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais - Desempenho. Parte 1 - Requisitos Gerais.** Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15763: Ensaios não destrutivos - Termografia - Critérios de definição de periodicidade de inspeção em sistemas elétricos de potência.** Rio de Janeiro, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15866: Ensaios não destrutivos - Termografia - Metodologia de avaliação de temperatura de trabalho de equipamentos em sistemas elétricos.** Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16172: Revestimentos anticorrosivos - Determinação de descontinuidades em revestimentos anticorrosivos aplicados sobre substratos metálicos.** Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16554: Ensaios não destrutivos - Termografia - Medição e compensação da transmitância de um meio atenuante utilizando câmeras termográficas.** Rio de Janeiro, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16818: Ensaios não destrutivos - Termografia Infravermelha - Procedimento para aplicações do método da termografia infravermelha.** Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574: Execução de impermeabilização.** Rio de Janeiro, 2008
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575: Impermeabilização - Seleção e Projeto.** Rio de Janeiro, 2010.
- BAIÃO, R. G. **Estudo comparativo da eficiência de primas contra corrosão para armazenamento de chapas de aço utilizadas na construção e reparo naval.** (2016). 34 -35 p. Dissertação (Mestrado Profissional). Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.uezo.rj.gov.br/pos-graduacao/dissertacoes/2016/Ricardo%20da%20Gama%20Bai%C3%A3o.pdf>
- BARBOSA, M.T.G.; ROSSE, V.J.; LAURINDO, N. G. Thermography evaluation strategy proposal due moisture damage on building facades. **Journal of Building Engineering**, v.43, 2021.
- BAUER, E.; CASTRO, E. K.; OLIVEIRA FILHO, A. H.; PAVÓN, E. (2014). **Criteria for application of passive infrared thermography as an auxiliary technique in the diagnosis of pathologies of facades of buildings.** Revista Politécnica, v. 21, p. 266-277, 2014a.
- BAUER, E.; PAVÓN, E. ; BARREIRA, EVA ; KRAUS, ELIANE (2016). **Analysis Of Building Facade Defects Using Infrared Thermography: LABORATORY STUDIES.** Journal of Building Engineering, p. 93-103, 2016b.
- BAUER, ELTON; FREITAS, V.P. ; MUSTELIER, N. ; BARREIRA, E. ; FREITAS, S.S. (2015). **Infrared thermography - evaluation of the results reproducibility.** STRUCTURAL SURVEY, v. 33, p. 20-35, 2015a. BAUER, E.; Pavón, E. . Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto & Construção**, v. 79, p. 93-98, 2015b.
- BAUER, ELTON; MILHOMEM, PATRÍCIA MOTA ; AIDAR, LUIZ AUGUSTO GIMENEZ (2018). **Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography.** Journal of Civil Structural Health Monitoring, v. 1, p. 1, 2018.
- BAUER, ELTON; PAVÓN, ELIER ; OLIVEIRA, ELIAS ; PEREIRA, CLAUDIO H. F.(2016). **Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation.** Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 1, p. 2, 2016a.
- BIGMAN, D. P., DAY, D. J. **Ground penetration radar inspection of a large concrete spillway: A case-study SFCW GPR at a hydroelectric dam.** Case Studies in Construction Materials, v.16, p. 2-7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00975>.
- BURIN, E. M.; DANIEL, E.; FIGUEIREDO F. F.; MOURÃO I. C. S.; SANTOS M. S. **Vitorias na Construção Civil: Conceitos e Métodos.** 3ed. São Paulo: PINI, 2019.
- CACCIOTTI, R. **Brick masonry response to wind driven rain.** Engineering Structures, v.224, p. 13, 2020.

CAMARGO, P. E. Casos reais de preparações das superfícies para permitir (ou não) o adequado desempenho da impermeabilização. **Anais do 15º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização**, São Paulo/SP, 2018.

CAMPOS, J. R. R., TORRADO P. V. **Use of ground penetration radar to study spatial variability and soil stratigraphy. Engenharia Agrícola**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39n3p358-364/2019>

CUPERTINO, D., BRANDSTETTER, M. C. G. de O. **Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica**. Ambiente Construído (Online), v. 15, p. 243-265, 2015. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/54259>.

DAFICO, L (2021). **Utilização das técnicas de termografia infravermelha e detecção de umidade por contato para avaliação da percolação da água por ascensão capilar em alvenarias. (2021)**. 77 - 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

DAFICO, L.C.M.; BARREIRA, E.; ALMEIDA, R.M.S.F.; CARASEK, H. **Comparison of Infrared Thermography and Other Traditional Techniques to Assess Moisture Content of Wall Specimens**. Sensors 2022, 22, 3182. <https://doi.org/10.3390/s22093182>

DODGE, E.C.; AARON, R.L. **Waterproofing and elevation profiling of a sub-surface drainage layer**. Construction and Building Materials, v. 38, p.1270-1275, 2013.

FERREIRA, A. P. B. F. **Análise de infiltrações em serviços de pós-obra utilizando a termografia de infravermelho**. (2014). 6 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Católica de Brasília, Brasília. Disponível em: <https://silo.tips/download/pro-reitoria-de-graduacao-curso-de-engenharia-civil-trabalho-de-conclusao-de-curs-5>

FLUKE CORPORATION (2005). **Termography education series. World Pumps, Netherlands - USA, 2005** https://assets.tequipment.net/assets/1/26/Documents/thermalapplication_edu-series.pdf

GOMIDE, T. L. F.; NETO, J.C.P.F; GULLO, M. A. **Normas Técnicas para Engenharia Diagnóstica em edificações**. Editora PINI, 2009.

GRADE CURRICULAR UNESP – disponível em: https://www.feb.unesp.br/Home/Departamentos343/EngenhariaCivil/Grade_Curr_2006.pdf

JANKU, M., CIKRLÉ, P., GROSEK, J., ONDREJ, A., JOSEF, S. **Comparison of infrared thermography, ground-penetrating radar and ultrasonic pulse echo for detecting delaminations in concrete bridges**. Construction and Building Materials, V.225, p. 3-5,2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.320>.

LEONEL, A. C.L. **Estudo das Técnicas de Tomografia Ultrassônica e Radar de Penetração com Contribuição em Metodologia de Inspeção de Obras de Concreto. (2022)**. 213P. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Civil), Escola de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

LEONI, M., FURLAN, C., OLIVEIRA, L., OLIVEIRA, P., SAHADE, R. **Novos Patologistas: Um legado de paixão pela boa engenharia**. E-book. <https://www.doccity.com/pt/ebook-novos-patologistas-um-levado-de-paixao-pela-boa-engenharia/5780037/>

LONZETTI, F. B. **Impermeabilização em subsolos de edificações residências e comerciais**. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MACHADO, M. **A utilização da termografia para complementar o ensaio de estanqueidade em locais impermeabilizados: estudo de caso. (2017)**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Centro Universitário de Brasília, Brasília. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/prefix/13228/1/21356800.pdf>

MOREIRA, K. A. W. Utilização da termografia infravermelha e escaneamento por radar para identificação de infiltrações e vazios em elementos nas construções. **15º Simpósio Brasileiro de Impermeabilização, 2018**. Disponível em: http://ibibrasil.org.br/simposio2018/wp-content/uploads/2018/06/01-04-Kirke-Utiliza%C3%A7%C3%A3o-da-termografia-infravermelha_15_SBI.pdf

MORÓN, C.; FERRÁNDEZ, D.; SAIZ, P.; YEDRA, E. **Measuring system of capillary rising damp in cement mortars. Measurement**, v. 135, p. 252-259, 2019.

MOURA, R. S. L. M. **Catálogo de inovações tecnológicas nas construções civil**. (2015). 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em: <http://www.pec.ufc.br/images/Dissertacoesdefendidas/Dissertao---Rafael-de-Sousa-Leal-Martins-Moura.pdf>

- PAES, A. S. **Proposta de procedimento para estimativa do tamanho de defeitos em tubos de aço perfurados e revestidos com materiais compósitos utilizando shearografia. (2013).** 40 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/122928/325423.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- PINHEIRO, M. A. R., SILVA. R. C. L. **Análise de corrosão e aplicação de revestimentos anticorrosivos em cascos de navios: estudo de caso. (2015).** 62 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso). Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói. https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/797/1/Marcio_e_Renato_Sem_Assinatura.pdf
- PROCEQ. Quick Start Guide & Product Certificates. 2022. Disponível em: https://media.screeningeagle.com/asset/Downloads/Proceq_GP8800%20%26%20GP8000_GP8100_200x140_Multilingual_DIGITAL_20210915.pdf. Acesso em: nov.2022.
- ROCHA, J.H.A., SANTOS, C. F., OLIVEIRA, J.B.; ALBUQUERQUE, L.K. dos S. PÓVOAS, Y.V. **Deteção de infiltração em áreas internas de edificações com termografia infravermelha: estudo de caso.** Ambiente construído, V.18, p. 1-12, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212018000400308>.
- SALOMÃO, M. C. F. **Estudo da Umidade Ascendente em Painéis de Alvenaria de Blocos Cerâmicos.** 2012. 193 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Civil, 2012.
- SEVERO T.S. **Oportunidades de melhoria na assistência técnica: Estudo de caso em empresa construtora-incorporadora.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2017.
- SILVA, F. J. R., MATUTI B. B. **Estudo da impermeabilização de patologias com a utilização de material betuminoso em alvenarias: estudo de caso. (2018).** 4p. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário do Norte, Manaus.
- TEIXEIRA, B. **Utilização de termografia para detecção de manifestações patológicas em edificações. (2017).** 13-24p. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário de Brasília, Brasília. Disponível em: <https://repositorio.ucb.br:9443/jspui/bitstream/123456789/10808/1/BrunodeSousaTeixeiraTCCGraduacao2017.pdf>.
- TEJO, F. A. C. **Análise das principais patologias pós obra por um setor de assistência técnica de uma construtora de pequeno porte. 2018.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- VERGILI R. A. C. **Um olhar para a cobertura,** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. (2019). 79-80p.
- WU, K.; RODRIGUEZ, G.A.; ZAJC M.; JACQUEMIN, E.; CLÉMENT, M.; COSTER, A.; LAMBOT, S. **A new drone-borne GPR for soil moisture mapping.** Remote Sensing of Environment, v.235, 2019.
- GRINZATO, E.; BISON, P. G.; MARINETTI, S. **Monitoring of ancient buildings by the thermal method. Journal of Cultural Heritage,** [s.l.], v. 3, p. 21-29, 2002, DOI: 10.1016/01443619866543.
- MALDAGUE, X. P.V. **Ndestructive Evaluation of Materials by Infrared Thermography.** 1ª edição. Londres: Springer-Verlag, 1993. 206 p., DOI: 10.1007/978-1-4471-1995-1.
- ROSINA, E. LUDWIG, N. **Optimal thermographic procedures for moisture analysis in building materials.** In: EUROPTO CONFERENCE ON DIAGNOSTIC IMAGING TECHNOLOGIES AND INDUSTRIAL APPLICATIONS, 1999, Munique, Alemanha. Proceedings... [s.l.]: SPIE, junho de 1999. v. 3827. p. 22-33.
- THEODORAKEAS, P. I. **Quantitative Analysis and Defect Assessment Using Infrared Thermographic Approaches.** 2013. 257 f. Dissertação de PhD. National Technical. University of Athens. School of Chemical Engineering, Atenas, 2013.