



CENTRO UNIVERSITÁRIO SENAI CIMATEC
MBA Executivo em Gestão Portuária

GUILHERME FERREIRA OLIVEIRA

**EMPREGO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO
AUXÍLIO ÀS INSPEÇÕES EM PÍERES DE CONCRETO
ARMADO EXPOSTOS AO AMBIENTE MARINHO**

Salvador (BA)
2019



GUILHERME FERREIRA OLIVEIRA

**EMPREGO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO
AUXÍLIO ÀS INSPEÇÕES EM PÍERES DE CONCRETO
ARMADO EXPOSTOS AO AMBIENTE MARINHO**

Artigo apresentado ao MBA
Executivo em Gestão Portuária do
CENTRO UNIVERSITÁRIO
SENAI CIMATEC como requisito
parcial para obtenção do título de
Pós-graduado em Gestão
Portuária.

Orientador: Prof. Dr. Carlos César
Ribeiro Santos

Salvador (BA)
2019

EMPREGO DA TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA NO AUXÍLIO ÀS INSPEÇÕES EM PÍERES DE CONCRETO ARMADO EXPOSTOS AO AMBIENTE MARINHO

USING INFRARED THERMOGRAPHY FOR SUPPORTING INSPECTIONS IN THE REINFORCED CONCRETE PIERS EXPOSED TO MARINE ENVIRONMENT.

OLIVEIRA, Guilherme Ferreira ¹

RESUMO

O setor portuário é estratégico para a economia nacional, por essa razão a forma como os portos são geridos impacta diretamente no crescimento do Brasil. A manutenção da funcionalidade das estruturas de acostagem é necessária para garantia da operação dos portos. As inspeções em píeres são, de maneira geral, de difícil execução, o que resulta em avaliações incertas. Quando construídas de concreto armado e em ambiente marinho, a imprecisão nos diagnósticos de comportamentos patológicos pode resultar em redução da vida útil do equipamento, além do aumento dos custos das intervenções. Este artigo tem por objetivo estudar os ganhos da aplicação do ensaio da termografia infravermelha na avaliação de píeres quando construídos sob as referidas circunstâncias. Realizou-se o levantamento e análise da literatura existente, sendo o presente artigo caracterizado como uma pesquisa bibliográfica. O ensaio da termografia infravermelha apresenta características que tornam bastante oportuna a sua aplicação no reconhecimento das patologias presentes nessas estruturas. Os aspectos típicos do ambiente marinho produzem um meio extremamente agressivo às estruturas de concreto armado. A simplicidade de execução, a não degradação da estrutura, a dispensa de contato físico e a viabilidade de análise de áreas ao invés de pontos ou linhas são as grandes vantagens do método da termografia infravermelha. É necessário que os parâmetros de leitura do equipamento e as condições ambientais como a radiação solar, vento e a umidade sejam bem avaliadas antes da execução do ensaio a fim garantir a confiabilidade dos resultados.

Palavras-chave: Termografia infravermelha; Concreto armado; Manifestações patológicas; Corrosão em ambiente marinho.

ABSTRACT

The port department is strategic for the national economy, therefore, the way as the ports are managed impacts directly on Brazil's growth. The maintenance of dock structures functionality is necessary to ensure the port operations. Pier inspections are generally difficult to execute, resulting in uncertain assessments. When constructed of reinforced concrete and in the marine environment, imprecision in the diagnosis of pathological behavior can result in shortening the life of the equipment, as well as raising the costs of the interventions. This article aims to study the gains of the application of the infrared thermography test in the evaluation of piers when constructed under those circumstances. A research and analysis of the existing literature was effectuated, the present article being characterized as a bibliographical research. The infrared thermography test has characteristics that make its application very suitable for the recognition of the pathologies present in these structures. Typical aspects of the marine environment produce an extremely aggressive conditions to reinforced concrete structures. The simplicity of execution, the non-degradation of the structure, the unnecessary physical contact and the feasibility of analyzing areas instead of points or lines are the great advantages of the infrared thermography method. Equipment reading parameters and environmental conditions such as solar radiation, wind and humidity are required to be well evaluated before the test starts to ensure reliability of the results

Keywords: Infrared thermography; Reinforced concrete; Pathological manifestation; Marine corrosion.

¹Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia.

1. INTRODUÇÃO

O setor portuário é estratégico para a economia brasileira, exemplo disso é o fato de que mesmo em meio à crise pela qual o país tem passado nos últimos anos, dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários mostram que houve um crescimento de 8,3% na quantidade de cargas movimentadas nos portos brasileiros em 2017 (ANTAQ, 2018). Entretanto, embora os resultados sejam positivos, a participação do modal aquaviário no total de cargas transportadas no país é de somente 13%, estando o Brasil utilizando apenas cerca de 20 mil dos aproximadamente 42 mil quilômetros de vias navegáveis (CNT, 2018), demonstrando que esse setor possui um considerável potencial inutilizado.

Diante desse cenário, a gestão dos portos no Brasil possui papel fundamental não só para garantir a manutenção desse quadro de crescimento, mas também para impulsionar outros setores da economia. Valois (2009, p. 30) define gestão portuária como sendo o conjunto de programas e práticas administrativas aplicadas a atividades realizadas no porto e em seu entorno, levando em consideração aspectos que trarão confiabilidade nos serviços prestados e, conseqüentemente, competitividade, contemplando os três principais elementos de um porto ou terminal portuário: operação, organização e infraestrutura.

Sob o ponto de vista da infraestrutura, muitos dos portos brasileiros possuem estruturas de acostagem compostas por píeres de concreto armado. Essas são estruturas transversais à costa ou à margem e, segundo D'oliveira (2011, p. 25), este tipo de solução é usualmente composto por um sistema de plataformas apoiadas sobre estacas, apresentando uma interface com retroárea apenas no encontro do acesso à estrutura com o terreno. Diante disso, a boa gestão dessas estruturas se mostra fundamental principalmente pelo fato de que sua degradação, que está diretamente ligada à agressividade do ambiente marinho, pode comprometer o ciclo da operação portuária.

Deste modo, um modelo de gestão portuária que promova inspeções periódicas nas estruturas desses píeres de concreto é fundamental para garantir a funcionalidade e perenidade, bem como a segurança das operações sobre elas.

Ocorre que, as dificuldades encontradas pelos profissionais responsáveis pela realização dessas atividades contribuem para que essas estruturas tenham seu

desempenho reduzido, seja pela dificuldade de acesso à parte inferior da estrutura, seja pela escassez de tecnologia no auxílio às avaliações, uma vez que, em muitos casos, o único método disponível é a inspeção visual. Soma-se a isso o fato de que o surgimento de manifestações patológicas nesse tipo de estrutura é agravado pela condição do local em que ela está inserida, pois, quando em ambiente marinho, verifica-se que a exposição à água salgada é particularmente agressiva às estruturas de concreto armado.

De acordo com ABNT (2014), a agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto está classificada entre forte e muito forte, significando que o risco de deterioração da estrutura varia de grande a elevado, respectivamente. Essa separação ocorre em razão do ambiente marinho apresentar perfis de ataque diferenciados que, de acordo com Lima e Lencioni (2007, p. 2), se caracterizam pelas distintas formas com que a água e o oxigênio entram em contato com a estrutura. Como resultado, a ação da água do mar sobre as estruturas promove o surgimento de manifestações patológicas, sendo, segundo Morelli e Lima (2004, p. 4), a corrosão das armaduras uma das patologias mais preocupantes, tanto do ponto de vista estrutural quanto econômico.

Dessa forma, há uma constante preocupação com relação à durabilidade dos elementos de concreto expostos ao ambiente marinho, dado que a degradação dessas estruturas pode ocorrer em um curto intervalo de tempo (VAYSBURD, 2000 *apud* ARAUJO, 2010, p. 2). Por sua vez, a detecção precoce de comportamentos anômalos pode evitar uma deterioração acelerada e aumentar a vida útil das estruturas (AGGELIS et al., 2010, WAN e LEUNG, 2007 *apud* ROCHA et al., 2017, p. 59). À vista disso, a implementação de métodos investigativos que forneçam resultados mais detalhados, dispensando a necessidade de proximidade para sua realização e que não sejam lesivos à estrutura dos píeres, permitem o planejamento de intervenções de maneira mais adequada e assertiva.

Assim, este artigo científico apresenta o seguinte problema de pesquisa: *Como o uso de ferramentas não normatizadas utilizadas nas inspeções de píeres de concreto armado expostos ao ambiente marinho impactam na gestão dos portos brasileiros?*

É nesse cenário que se aplica o ensaio da termografia infravermelha. A ABNT (2006, p. 4) define a termografia como a técnica de medição de temperatura e

formação de imagens térmicas de um componente, equipamento ou processo, a partir do sensoriamento remoto da radiação infravermelha emitida pelos corpos em função da sua temperatura. Tal aferição é realizada utilizando câmeras infravermelhas, que começaram a ser produzidas de maneira comercial na década de 60 (BARREIRA, 2013 *apud* GARCIA, 2014, p. 3). Contudo, embora tenha-se quase 30 anos desde que essas câmeras passaram a ser desenvolvidas voltadas para a aplicação na engenharia civil, e que o uso da termografia seja bastante difundido em vários países, principalmente nos do continente europeu, no Brasil a utilização dessa técnica ainda é relativamente nova (CORTIZO *et al.*, 2011 *apud* FREITAS *et al.*, 2014, p. 58).

Assim, a presente pesquisa tem como objetivo geral analisar a viabilidade da implementação da termografia infravermelha no auxílio das inspeções em píeres com estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho brasileiro. Para isso, definiu-se como objetivos específicos investigar as especificidades do ambiente em que os píeres estão inseridos; indicar as principais vantagens da utilização da termografia infravermelha no diagnóstico de manifestações patológicas nessas estruturas e analisar os fatores que interferem na difusão desse método.

Por conseguinte, além da difusão e promoção de novas técnicas de investigação de manifestações patológicas, este trabalho colabora para o aperfeiçoamento das análises subsidiárias das programações de manutenção em estruturas de concreto, possibilitando intervenções mais precisas e melhor dimensionadas que, por sua vez, resultam em reduções de custo.

Nessa esteira, o presente trabalho é estruturado em cinco seções, de modo que inicialmente é feita uma introdução acerca do problema de pesquisa dentro do âmbito da gestão portuária. Posteriormente, é apresentado o referencial teórico, onde são abordadas as condições ambientais sob as quais estão expostos os píeres de concreto construídos em ambientes marinhos, bem como explicitado como se dá o avanço das manifestações patológicas nessas estruturas. Além disso, é explicado também o histórico e os princípios que embasam o ensaio da termografia infravermelha. Em seguida, se discorre sobre o referencial metodológico, descrevendo-se a metodologia de pesquisa utilizada no presente artigo, assim como são apresentados outros métodos de pesquisa que também podem ser empregados no estudo do tema em questão. Após apresentar os referenciais teóricos e metodológicos que fundamentam essa pesquisa, é apresentada a análise de dados,

abordando-se o problema de pesquisa e os objetivos geral e específicos. Por fim, são apresentadas, na última seção, as conclusões obtidas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. ATUAÇÃO DO AMBIENTE MARINHO SOBRE AS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

De acordo com a ABNT (2014), as estruturas de concreto devem atender às exigências mínimas de qualidade no que concerne à capacidade resistente, ao desempenho em serviço e à durabilidade. Os dois primeiros requisitos estão relacionados à capacidade da estrutura em resistir às solicitações a ela impostas, mantendo-se em condições plenas de utilização ao longo de sua vida útil. No que tange à durabilidade, este é um conceito relativamente novo, pois, de acordo com Souza e Ripper (1998 *apud* ROCHA, 2015, p. 1),

Durante muito tempo, o concreto chegou a ser considerado um material praticamente eterno, de durabilidade ilimitada. Tanto é que, até o final de década de 1980, muitas normas e regulamentos referentes ao projeto e execução de estruturas de concreto, nas mais diferentes regiões do mundo, haviam sido concebidos com a preocupação dominante de garantir a obtenção da mais adequada resistência mecânica para as diversas peças estruturais.

Segundo Medeiros *et al.* (2011, p. 3) esse “[...] é um conceito incorporado há mais de 35 anos no âmbito das edificações, tardiamente incorporado às normas de estruturas de concreto no Brasil pela ABNT NBR 6118:2003”. Atualmente a durabilidade é definida como a “[...] capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e pelo contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto” (ABNT, 2014, p. 13).

A fim de demonstrar qualitativamente o quão agressivo são os ambientes para as estruturas de concreto, a ABNT (2014, p. 17) apresenta uma divisão por classes, conforme a figura 1:

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Figura 1 - Classes de agressividade ambiental (CAA)

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

O ambiente marinho pode apresentar uma classe de agressividade III ou IV, que, por sua vez, representa que o risco de deterioração da estrutura varia de grande a elevado. De acordo com Lencioni (2005, p. 78), em razão da água do mar apresentar características diferenciadas de ataque às estruturas de concreto, é usual a divisão de ambiente marinho em diferentes zonas, sendo que cada zona “[...] se caracteriza pelo distinto acesso de Oxigênio e umidade (forma com que a água entra em contato com a estrutura)” (MORELLI e LIMA, 2004, p. 5), conforme pode ser visto na figura 2.

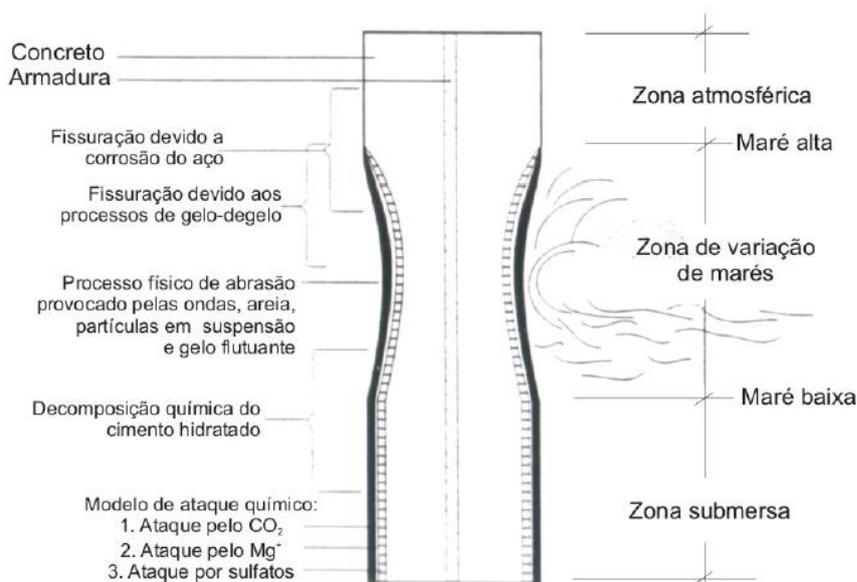


Figura 2 - Apresentação das distintas regiões (zonas) de agressividade às estruturas de concreto armado

Fonte: MEHTA, 1980 apud MORELLI e LIMA, 2004

Segundo Lima e Lencioni (2007, p. 4), cada uma dessas zonas possui características de agressividade próprias, que sofrem influências de diferentes fatores como, por exemplo, a temperatura e o vento. De acordo com o GEHO-CEB (1993, apud Nadalini e Bispo, 2017, p. 7) um incremento de 10°C dobra a velocidade das reações químicas de degradação, o que confere aos ambientes tropicais características mais agressivas que outros climas, como o do norte da Europa. No tocante à influência do vento, verifica-se que ele atua transportando os sais, de modo que, segundo Lima et al. (2006 apud Serra, 2012, p. 19), torna-se um catalizador da degradação das estruturas, pois, nos ciclos de molhagem/secagem, contribui para a penetração de sais no interior dos materiais.

Diante da agressividade do ambiente marinho, as estruturas de concreto armado imperiosamente apresentam, em diferentes graus e momentos, manifestações patológicas que contribuem para a sua degradação. A ABNT (2014, p. 16) lista diferentes mecanismos de deterioração, tanto os relacionados ao concreto, como a lixiviação e as expansões por sulfato e por reações álcali-agregado, quanto aqueles referentes à armadura, como as corrosões devido à carbonatação e aos cloretos.

Todavia, embora os diferentes mecanismos de deterioração resultem no comprometimento da vida útil dessas estruturas, verifica-se que, de acordo com Morelli e Lima (2004, p. 4), a maioria dos estudos sobre a durabilidade das estruturas de concreto expostas ao ambiente marinho concentram-se nos temas de corrosão de armaduras ou ataque por sulfatos. No caso da corrosão das armaduras, sua importância deriva não só do fato desse ser o fenômeno mais recorrente nas estruturas de concreto em ambiente marinho (NADALINI e BISPO, 2017, p. 10), mas também devido a sua ocorrência afetar diretamente a segurança estrutural, além de haver grande dificuldade e elevado custo para a sua recuperação (Bastos e Miranda, 2017, p. 98).

O mecanismo da corrosão tem início com a despassivação do aço, ou seja, a destruição da película passivante formada por óxidos de ferro na superfície do aço. Essa destruição, de acordo com Coutinho (1998 apud Serra, 2012, p. 29), pode ser originada pela redução da alcalinidade do concreto, isto é, pela redução do pH para abaixo de 9,5, ou pela penetração de íons de cloreto no concreto em quantidade suficiente para provocar danos à camada passivante. Dessa forma, a destruição da

película passivadora permite o surgimento do óxido de ferro hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), composto que apresenta características de expansão que, segundo Corrosão (1998, *apud* LIMA e LENCIONI, 2007, p. 7) pode atingir uma ordem de 6 a 10 vezes o volume inicial, o que, por seu turno, provoca pressões internas no concreto que podem chegar a 15MPa, que são suficientes para fraturá-lo. Por fim, “como consequência do processo de corrosão ocorrem as fissuras e posterior deslocamento do cobrimento de concreto” (NADALINI e BISPO, 2017, p. 15), de modo que, de acordo com Bastos e Miranda (2017, p. 98), a continuidade desse fenômeno promove a total destruição da armação, pondo em risco a integridade da estrutura, conforme pode ser visto na figura 3.

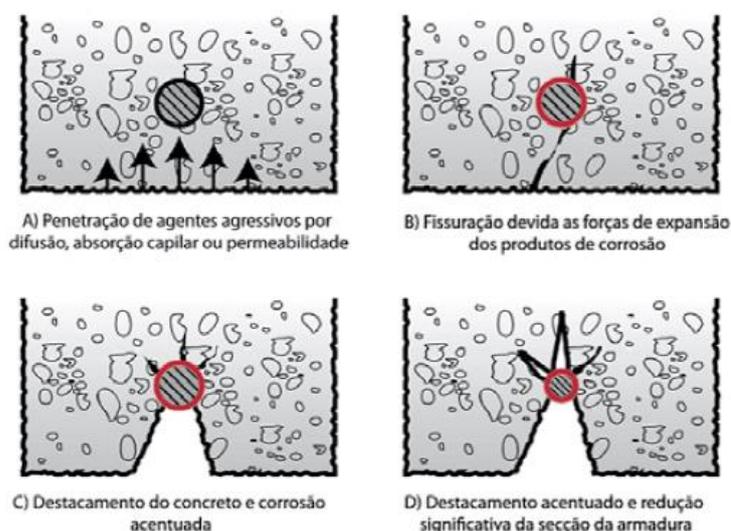


Figura 3 - Evolução esquemática da deterioração de estruturas de concreto por corrosão de armaduras

Fonte: HELENE, 1986 *apud* MEDEIROS et al., 2011

2.2. HISTÓRICO E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DA TERMOGRAFIA

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 pelo astrônomo William Herschel que, ao reproduzir a experiência realizada por Newton de decomposição da luz solar através de um prisma, introduziu um termômetro e verificou um aumento gradual das temperaturas, desde a cor violeta até ao vermelho, sendo que para além do vermelho, isto é, para além do visível, as temperaturas continuavam a aumentar. Herschel denominou essa nova porção do espectro eletromagnético de “espectro termométrico”, sendo hoje conhecida com infravermelho (FLIR SYSTEM, 2011 *apud* Santos, 2014, p. 5).

Os raios infravermelhos integram o espectro eletromagnético que, por sua vez, é composto por diferentes comprimentos de onda. Estes variam de pequenos comprimentos, como os raios gama, a grandes comprimentos, como as ondas de rádio. Os raios infravermelhos têm seu comprimento situado entre 0,75 e 1000 μm , dividindo-se em ondas curtas (0,75 a 1,5 μm), médias (1,5 a 20 μm), e longas (20 a 1000 μm) (BARREIRA *et. al*, 2013; HELLIER, 2003 *apud* GARCIA, 2014, p. 5). A configuração do espectro eletromagnético está representada na Figura 4 abaixo:

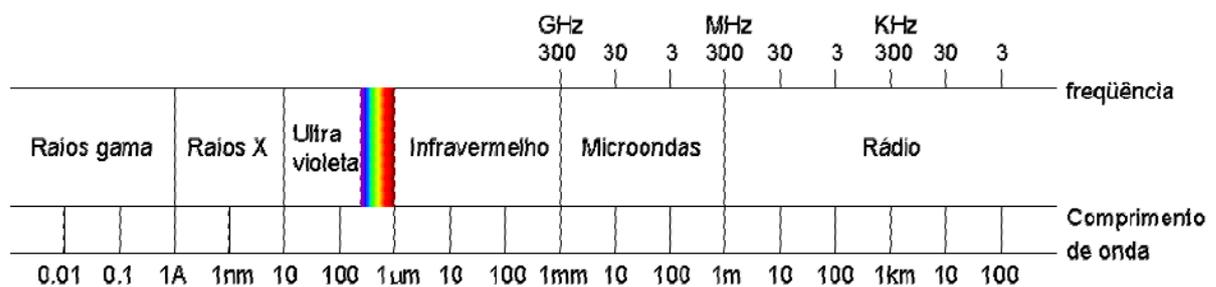


Figura 4 – Espectro eletromagnético

Fonte: adaptado de DORNELLES, 2008 *apud* BRIQUE, 2016

De acordo com Santos (2014, p. 5), em 1884 o físico Ludwig Boltzmann demonstrou como a lei empírica do corpo negro de Stefan, formulada em 1879, poderia ser derivada de princípios físicos termodinâmicos. Essa descoberta permitiu mensurar a quantidade total de radiação emitida por um corpo, a partir do conhecimento de sua temperatura e da emissividade da superfície, sendo essa relação conhecida como a Lei de Stefan-Boltzmann, demonstrada pela equação (1) abaixo:

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

Onde R_t é a radiação total emitida pelo corpo (W/m^2), ε é a emissividade da superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann que possui o valor 5.67×10^{-8} ($\text{W m}^{-2}\text{K}^{-4}$) e T é a temperatura absoluta (K).

Segundo Santos (2014, p. 9), a emissividade pode ser definida como a capacidade que um corpo tem em emitir radiação. Por sua vez, “a radiação é a energia térmica emitida por toda a matéria que se encontra a uma temperatura acima do zero absoluto (-273°C) (GARCIA, 2014, p. 5). Baseado nesses princípios desenvolveu-se o ensaio da termografia infravermelha, que consiste na determinação da radiação infravermelha emitida por um objeto através da utilização da equação de Stefan-Boltzmann, usando para tal um detector infravermelho de uma câmera específica,

dispensando-se, assim, a necessidade de contato com o objeto. (CLARK; MCCANN; FORDE, 2003; WASHER, 2012; ACI, 2013; WATASE *et al.*, 2015 *apud* ROCHA e PÓVOAS, 2017, p. 202)

De acordo com Garcia (2014, p. 3), as primeiras câmeras comerciais capazes de realizar esse ensaio foram desenvolvidas na década de 60, tornando acessível uma técnica que por muito tempo ficou restrita à comunidade científica e ao uso militar. No âmbito da Engenharia Civil, o primeiro trabalho experimental documentado sobre o uso da termografia infravermelha para determinar anomalias presentes no concreto foi publicado em 1973, pelo Ministério dos Transportes e Comunicação de Ontário, Canadá (Caldeira, 2016, p. 80). Segundo Mendonça (2005, p. 1), essa técnica de ensaio é amplamente utilizada na América do Norte, tanto em inspeções estruturais quanto em investigações de outras manifestações patológicas da construção. Do mesmo modo, Cortizo *et al.* (2011, *apud* Freitas *et al.*, 2014, p. 58) justificam que, para o caso dos países europeus, a difusão desse método está relacionada ao grande acervo histórico existente.

Com relação à aplicação da termografia infravermelha na área da engenharia civil no Brasil, verifica-se que essa ainda é recente, entretanto pode-se citar as pesquisas de Barreira (2004, *apud* Caldeira, 2016, p. 79), que utilizou a termografia para a identificação de deficiências de isolamento térmico e umidade na estrutura de um edifício; Altoé e Filho (2012, *apud* Caldeira, 2016, p. 79), que vistoriaram uma edificação utilizando a referida técnica a fim de, dentre outras ações, detectar patologias construtivas; Brique (2016), que aplicou a termografia infravermelha para verificar falhas de aderência em revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios; e Caldeira (2016), que empregou essa técnica para identificar danos na aderência entre o concreto e polímeros reforçados com fibras.

A aplicação da termografia para a identificação de comportamentos patológicos está baseada no princípio de que gradientes de temperatura são formados pela presença de irregularidades na estrutura, de modo que:

O conceito da termografia infravermelha aplicado para a inspeção é baseado nos vazios, defeitos ou anomalias do concreto que afetam as propriedades térmicas de transferência de calor da estrutura. Conforme a temperatura sobe durante o dia, as áreas onde estão os defeitos interrompem a transferência de calor no interior do concreto, aquecendo rapidamente e isto é porque os defeitos são enchidos com

ar ou água, que têm uma condutibilidade térmica diferente do concreto. Pelo contrário, à noite, quando as temperaturas caem, as áreas onde estão os defeitos são resfriadas mais rápido do que áreas sem problemas. (Maser e Roddis, 1990; Washer; Fenwick; Bolleni, 2010; Sham; Lo; Memon, 2012; ACI, 2013; Gucunski et al., 2013; Farrag; Yehia; Qaddoumi, 2016; Rehman et al., 2016; Vemuri e Atadero, 2017, apud Rocha e Póvoas, 2017, p. 205).

Desse modo, ao se realizar um ensaio de termografia infravermelha, de acordo com Rocha *et al.* (2017, p. 59), “[...]a câmera termográfica realiza uma leitura do segmento da radiação eletromagnética na faixa infravermelha da superfície do objeto, relacionada com o processo de transferência de calor ou variações de temperatura[...]”. Assim, segundo Bauer *et al.* (2014, apud Lorenzi, 2016, p. 6), uma área com defeito, por possuir uma condutividade térmica diferente do material íntegro, se apresentará no termograma, isto é, na imagem de calor gerada, como uma área com manchas quentes ou resfriadas, a depender do período do dia em que seja realizado o ensaio. Desta maneira, devido as imagens térmicas se apresentarem em uma escala em que cada cor corresponde a uma gama de temperaturas, é possível a identificação das zonas com variação de temperatura de maneira extremamente objetiva. (GARCIA, 2014, p. 2). As figuras 5 e 6 ilustram esse processo de identificação.

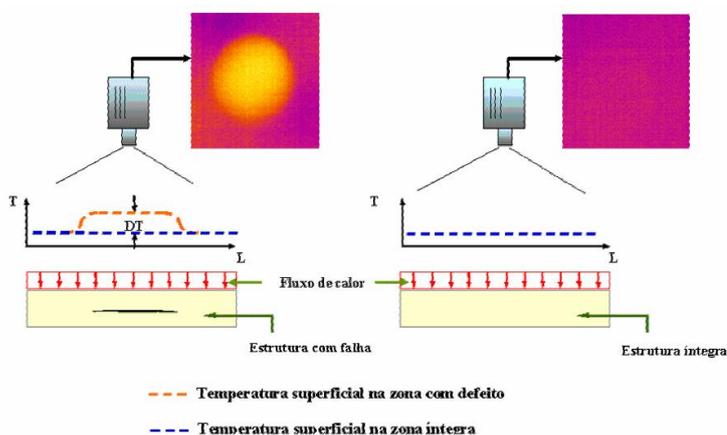


Figura 5 – Perfil de temperatura em amostras com e sem presença de falha

Fonte: Andrade (2000 apud Tavares, 2006)

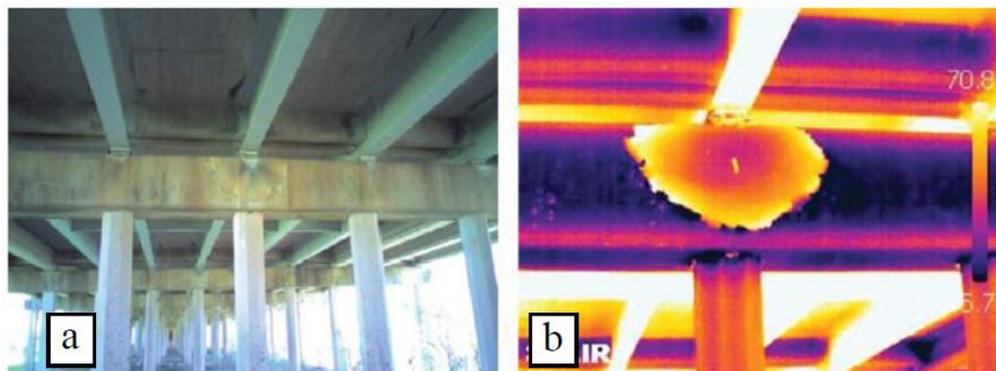


Figura 6 – a) Fotografia digital e b) Termograma

Fonte: Washer (2012 apud Rocha e Póvoas, 2017)

De acordo com Maldague (2000 apud Tavares, 2006, p. 23), à luz da estimulação térmica, o ensaio de termografia infravermelha pode ser classificado como passivo, quando utilizado somente a radiação solar como fonte de calor, e ativo, quando se faz uso de fonte térmica artificial. Segundo Caldeira (2016, p. 73), a aplicação da técnica da termografia infravermelha passiva depende apenas da distribuição do calor natural do meio na superfície do corpo em estudo, de modo que são utilizadas no ensaio somente as condições de contorno naturais. Assim, para esse tipo de ensaio, deve haver uma diferença de temperatura entre o objeto a analisar e o ambiente em que ele está inserido, no qual, normalmente, o objeto apresenta uma temperatura superior à temperatura ambiente. (SOUZA, 2010; CORTIZO, 2007 apud GARCIA, 2014, p. 11).

Na termografia infravermelha ativa, por sua vez, “[...] um estímulo externo é indispensável para induzir os contrastes térmicos na amostra, capazes de identificar falhas ou defeitos” (MALDAGUE, 2001 apud BAUER e PAVÓN, 2015, p. 94). Vários são os tipos de metodologia de excitação térmica que podem ser utilizados, todavia, a escolha do tipo de estímulo térmico a ser empregado está relacionada com as características da superfície a ser estudada, assim como com o tipo de informação requerida. (Maldague, 2000; Carlomagno e Meola, 2002 apud Tavares, 2006, p. 3).

Há também uma diferenciação de acordo com o tipo de medições e análises dos dados. Para esse caso Pereira (2014 apud Brique, 2016) estabelece que:

Numa análise termográfica, há dois princípios diferentes de investigação: o qualitativo e o quantitativo. Basicamente, a termografia qualitativa debruça-se na análise de padrões térmicos para revelar a localização e a existência das anomalias, enquanto a termografia

quantitativa utiliza medições de temperatura como um critério para determinar a gravidade de uma anomalia e conseguir delinear prioridades de reparação (p. 51).

De acordo com Pettres (2011, p. 28), a análise termográfica qualitativa é aquela que se baseia em padrões comparativos para verificar a existência de uma anormalidade térmica e, conseqüentemente, localizar esta anomalia. Por sua vez, a análise quantitativa possibilita a classificação da anomalia de acordo com sua dimensão e gravidade.

3. REFERENCIAL METODOLÓGICO

O presente artigo possui elementos que permitem caracterizá-lo como uma pesquisa bibliográfica, quando categorizada levando-se em consideração os procedimentos, e do tipo descritiva, quando enquadrada pelo critério dos objetivos. Seu intuito é estudar os ganhos obtidos através da implementação da termografia infravermelha no auxílio das inspeções em pieres com estruturas de concreto armado expostos ao ambiente marinho.

Na concepção de Gil (2002 apud Garcia, 2016, p. 291) a pesquisa bibliográfica é “o procedimento racional e sistemático que tem como objetivo proporcionar respostas aos problemas que são propostos”. Nessa esteira, Manzo (1971 apud Lakatos e Marconi, 2003, p. 183), afirma que não somente os problemas já conhecidos podem ser resolvidos pela pesquisa bibliográfica, como também é possível enveredar por novas áreas onde estes ainda não se consolidaram o suficiente. Por sua vez, quanto ao levantamento bibliográfico ou revisão bibliográfica, Pizzani et al. (2012, p. 54) define como a revisão da literatura sobre as principais teorias que orientam o trabalho científico, e que pode ser realizada em livros, teses, periódicos, artigo de jornais, sites da Internet, dentre outras fontes. Sobre esse tema, Lima e Miotto (2007), salientam que:

Ao tratar da pesquisa bibliográfica, é importante destacar que ela é sempre realizada para fundamentar teoricamente o objeto de estudo, contribuindo com elementos que subsidiam a análise futura dos dados obtidos. Portanto, difere da revisão bibliográfica uma vez que vai além da simples observação de dados contidos nas fontes pesquisadas, pois imprime sobre eles a teoria, a compreensão crítica do significado neles existente. (p. 44)

Por sua vez, uma pesquisa descritiva, de acordo com Lakatos e Marconi (2003, p. 187), tem como objetivo principal a análise ou delimitação das características de fatos ou fenômenos, a avaliação de programas ou a relação entre variáveis. Além disso, segundo Andrade (2002 *apud* Raupp e Beuren, 2006, p. 81), “[...] a pesquisa descritiva preocupa-se em observar fatos, registrá-los, analisá-los, classificá-los e interpretá-los, e o pesquisador não interfere neles”.

Deste modo, este artigo foi desenvolvido através de levantamento e análise de material bibliográfico, realizando consultas em artigos, livros, periódicos, normas, dissertações e teses relacionados à área de estudo. Tal material foi coletado fazendo-se uso de leituras sucessivas como principal técnica, de modo que inicialmente foram realizadas leituras de reconhecimento, a fim de selecionar obras alusivas ao tema; posteriormente leituras exploratórias, cuja finalidade consiste em verificar se as informações apresentadas interessam para o assunto; leituras seletivas, com o propósito de selecionar as informações mais relevantes; leituras críticas, a fim de ordenar o material colhido; por fim a leitura interpretativa, objetivando relacionar as informações com a temática de estudo.

Insta salientar a existência de outros métodos de pesquisa, como aqueles classificadas como exploratórios e experimentais. Segundo Raupp e Beuren (2006, p. 80) a pesquisa exploratória possibilita a compreensão de conceitos preliminares a respeito de um tema que não haviam sido abordados de maneira satisfatória quando analisados. Deste modo, há um aprofundamento sobre o assunto que permite desenvolver questões importantes para a condução do trabalho. Por outro lado, as pesquisas tipificadas como experimentais são aquelas que, segundo Lakatos e Marconi (2003, p. 189), baseiam-se em investigações de pesquisas empíricas a fim de testar hipóteses que se referem a relações de causa-efeito.

Especificamente para o caso da utilização da termografia infravermelha aplicada à análise de comportamentos patológicos, a utilização de pesquisas experimentais se mostra bastante apropriado, uma vez que há a necessidade de validações de pressuposições sobre uma série de condições de contorno.

4. ANÁLISE DE DADOS

Segundo Serra (2012, p. 21), a primeira etapa a cumprir em uma intervenção a uma estrutura, a fim de se conhecer o seu real estado de conservação, é a inspeção visual. Essa técnica, juntamente com a inspeção física, permite a obtenção de um diagnóstico, mesmo que ainda de maneira superficial. Entretanto, para a realização da inspeção física faz-se necessário o acesso aos elementos da estrutura, uma vez que, de acordo com o DNIT (2006, p. 64), os comportamentos patológicos já instalados, mas não visíveis, necessitam de, por exemplo, leves batidas de pequenos martelos para serem detectados. Contudo, em estruturas de concreto armado sobre o mar, como os píeres, a aproximação a determinadas áreas é trabalhosa, muitas vezes impraticável sem o auxílio de estruturas ou equipamentos específicos, de modo que a realização de inspeções físicas se torna quase que inviável.

Deste modo, não obstante a inspeção visual proporcione uma investigação limitada, uma vez que a análise qualitativa é feita de forma subjetiva, dependente dos critérios do inspetor (JAIN e BHATTACHARJEE, 2011 apud ROCHA e PÓVOAS, 2017, p. 202) ela é, em boa parte dos casos, o único método utilizado. À vista disso, se apresenta o seguinte questionamento como problema de pesquisa: Como o uso de ferramentas não normatizadas utilizadas nas inspeções de píeres de concreto armado expostos ao ambiente marinho impactam na gestão dos portos brasileiros?

É diante desse cenário que os ensaios não destrutivos têm se consolidado como uma tendência mundial, pois, de acordo com Lorenzi et al. (2016, p. 4), “o uso de métodos de END é uma maneira de viabilizar a inspeção e a avaliação do estado de conservação de construções civis, de forma econômica e eficiente”.

De acordo com Caldeira (2016, p. 36), ensaios não destrutivos são técnicas de investigação que não deterioram a estrutura, variando desde a inspeção visual, que depende exclusivamente capacidade de identificação do profissional envolvido, até procedimentos mais complexos, como a utilização de raios-X, ensaios ultrassônicos e termografia infravermelha, que dependem de equipamentos e conhecimentos específicos. Contudo, embora exista uma considerável variedade de ensaios não destrutivos, a termografia infravermelha é um dos que têm adquirido mais relevância, graças a união de características essenciais para a aplicação em larga escala. Por essa razão é que essa pesquisa se propõe, como objetivo geral, analisar a viabilidade

da implementação da termografia infravermelha no auxílio das inspeções em píeres com estruturas de concreto armado expostas ao ambiente marinho brasileiro.

Segundo Mendonça (2005, p. 6), qualquer tipo de ensaio que visa a análise de uma estrutura, para ter a sua utilização difundida, deve apresentar como características: precisão, confiabilidade, eficiência, economicidade, não ser destrutivo e não provocar inconvenientes para os utilizadores. Deste modo, a termografia infravermelha não só abarca todas as características mencionadas como também se apresenta como uma técnica que tem sido aperfeiçoada durante os últimos 30 anos, se credenciando como uma interessante ferramenta no auxílio às inspeções em estruturas de concreto.

A despeito da técnica já ser utilizada a algumas décadas em outros países, de não existirem restrições à sua aplicação e de ser notório que os ganhos com seu emprego são bastante significativos, verifica-se que a aplicação da termografia infravermelha, principalmente no âmbito da engenharia civil do Brasil, ainda é relativamente recente. Com relação a esse quadro, uma análise visando identificar fatores que interferem na difusão desse método direciona para duas razões que se destacam: o elevado custo das câmeras e a ausência de normatização voltada para a área.

A câmera infravermelha, também chamada de termovisor, é a ferramenta que possibilita a realização do ensaio da termografia infravermelha. Esse equipamento, de acordo com Caldeira (2016, p. 52), “[...] é capaz de detectar a radiação infravermelha emitida por um objeto e convertê-la em imagem visível atribuindo-lhe leituras de temperatura”, sendo esse processo realizado, segundo Silva (2012 apud Brique, 2016, p. 33), sem que seja necessário aguardar um período para que as temperaturas se estabilizem, tampouco ter contato físico com o objeto estudado. Como resultado, essas câmeras, que passaram a ser produzidas comercialmente a partir da década de 60, mas que só tiveram o desenvolvimento de equipamentos aplicáveis ao ramo da engenharia civil nos anos 90 (BARREIRA, 2013 apud GARCIA, 2014, p. 3), ainda apresentam um custo relativamente alto.

Contudo, a redução de custos com manutenções e perdas por interrupções em processos têm justificado, ao menos para alguns setores da indústria, o investimento. Como exemplo, Sanor (2001 apud Tavares, 2006, p. 23) apresenta o caso da setor da aviação, no qual a termografia infravermelha tem sido utilizada em planos de

manutenção, apontando a existência de um relação custo-benefício da ordem de 1/4, podendo chegar a 1/20 quando levada em consideração as perdas por paradas de produção.

Além de um equipamento adequado para que se obtenha informações precisas a partir do ensaio da termografia infravermelha, é necessário um operador qualificado, que é chamado de termografista. De acordo com Bauer e Pavón (2015, p. 94) “a obtenção e a correta interpretação dos termogramas vão depender da adequada aquisição da imagem pelo termografista e do conhecimento e mensuração das variáveis envolvidas nas medições termográficas”. Todavia, no Brasil, a termografia infravermelha aplicada a engenharia civil ainda não possui normas que padronizem procedimentos para a aplicação do método, o que, por sua vez, reflete no trabalho desenvolvido pelo operador do equipamento.

De acordo com Brique (2016, p. 55), a normatização de procedimentos é o caminho para que os resultados fornecidos pela termografia possam ter um tratamento sistêmico e serem repetidos de maneira confiável. Nesse sentido, a partir de 2006 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) passou a publicar algumas normas relativas ao tema, porém, estas normas são principalmente voltadas para sistemas elétricos, limitando a sua aplicação à engenharia civil (BRIQUE, 2016; CALDEIRA, 2016).

Dessa forma, embora o elevado custo das câmeras infravermelhas e a ausência de normatizações específicas ainda sejam entraves para a difusão desse método entre os engenheiros civis, há a expectativa de avanços. Segunda Veratti (2003 apud Tavares, 2006, p. 16) devido à crescente necessidade de controles em programas de manutenção preventiva e preditiva mais eficientes, a perspectiva é de uma ampliação no número de aplicações da termografia, o que resultaria no barateamento dos sistemas infravermelhos. Por seu turno, a disponibilidade de equipamentos a preços mais acessíveis fatalmente acarretará em uma maior utilização do método nas mais diversas áreas. Ademais, a publicação de normas técnicas voltadas ao tema demonstra a sua relevância, sendo provável a normatização do ensaio aplicado a engenharia civil. Tudo posto, verifica-se que os ganhos obtidos com o uso da técnica, aliado à expectativa de uma mudança de cenário para um patamar mais favorável, tornam a utilização da termografia

infravermelha no âmbito da engenharia civil, incluindo a avaliação de estruturas de concreto, perfeitamente viável.

Os ganhos de precisão em diagnósticos propiciado pela aplicação da termografia infravermelha -TI, especialmente nas avaliações de estruturas de pilares de concreto armado que são expostos ao ambiente marinho, são bastante significativos. Para esse caso específico, a investigação do ambiente em que essas estruturas estão inseridas evidencia as especificidades que o transforma em um ambiente fortemente agressivo. De acordo com Lima (2005 apud Bastos e Miranda, 2017, p. 98) a água salgada é o maior agente de degradação das estruturas, pois ela é composta por vários elementos químicos que causam a deteriorações físicas, químicas e biológicas. Mehta e Monteiro (1994 apud Morelli e Lima, 2004, p. 1) explicam que esse potencial de agressividade está ligado ao fato de que na água do mar são encontrados, em proporções variadas, todos os elementos naturais conhecidos da tabela periódica.

Outra característica importante do ambiente marinho está relacionada com a forma com que a água entra em contato com as estruturas, sendo essa classificada por zonas. De acordo com Beeby (1989 apud Serra, 2012, p. 7) o ambiente marinho é dividido em 4 zonas distintas, as quais se situam em posições que dependem da distância ao nível médio da água do mar, sendo divididas em: zona atmosférica marítima; zona de rebentação; zona entre marés; zona submersa. De acordo Lima e Lencioni (2007, p. 3) na zona atmosférica marítima tem-se uma exposição aos sais presentes na névoa criada pelo vento; para a zona de rebentação, verifica-se que o contato da água com a estrutura é feito através das ondas e dos respingos; para a zona entre marés, a variação do nível d'água devido a alternância entre a preamar e a baixa-mar promove uma quase que constante saturação do concreto; nas zonas submersas há o contato permanente com a água.

Deste modo, verifica-se que o ambiente marinho proporciona várias formas de interação entre a água e o concreto, possibilitando que outros agentes atuem de forma a intensificar o poder agressivo dos elementos da água, citando-se, como exemplo, a forte influência da ação do vento, na zona atmosférica, e dos microrganismos, nas zonas entre marés e submersas. Com relação à influência do vento, verifica-se que, além de funcionar como um mecanismo de transporte dos sais, ele colabora para a secagem do concreto, acelerando os ciclos secagem-molhagem. Destaca-se também

a ação da umidade que, quando presente no interior dos poros do concreto, interfere na velocidade de corrosão (LIMA, 2011 apud NADALINI e BISPO, 2017, p. 7), e quando se encontra no ar próximo a 65%, contribui para propiciar condições críticas para o desenvolvimento da corrosão (HELENE, 1986 apud LIMA e LENCIONI, 2007, p.10). A temperatura, por sua vez, quando alta, atua como uma fonte de energia que acelera o início e o desenvolvimento dos mecanismos de degradação do concreto (SERRA, 2012, p. 10). Deste modo, a ocorrência desses agentes atuando de maneira simultânea, aliadas aos efeitos das ondas e das marés, expõem partes da estrutura a ciclos de molhagem/secagem e aquecimento/resfriamento que são capazes de destruir o mais resistente dos materiais (MORELLI e LIMA, 2004, p. 6).

Dentro de um ambiente tão agressivo, os píeres de concreto armado necessitam ter sua condição estrutural monitorada de maneira precisa, pois as manifestações patológicas tendem a se desenvolver de maneira mais acelerada que em outras situações. Diante desse cenário, o uso da termografia infravermelha possibilita tornar os diagnósticos mais assertivos e, embora a utilização de outros ensaios também proporcione esse ganho, a opção pelo método em questão tem se apresentado mais oportuna por apresentar uma série de vantagens.

Inicialmente, o uso da termografia infravermelha se destaca por poder ser realizado com a estrutura em uso, permitindo analisá-la sob condições reais de utilização. Outra característica relevante está relacionada ao fato de que esse é um ensaio não destrutivo que, de acordo com Mendonça (2005, p. 12), diferentemente dos testes invasivos, não produz destruição em nenhuma região da estrutura durante o ensaio, conseqüentemente, não gera detritos e tampouco prejudica a estética. A respeito desse aspecto, Lorenzi et al. (2016, p. 4) destaca que a utilização de END é uma estratégia interessante por não provocar danos que podem ter um custo de correção alto ou que crie uma zona na estrutura mais vulnerável à deterioração.

Dentre o grupo dos ensaios não destrutivos, o uso da termografia infravermelha apresenta como diferencial o fato de não necessitar do contato direto com o objeto analisado sendo que, segundo Tavares (2016, p. 17), a distância entre a área de observação e o equipamento pode variar de alguns milímetros a quilômetros. Em se tratando de píeres de concreto armado em que, quando possível, o acesso a algumas partes da estrutura depende não só de barco como também da maré, a possibilidade de dispensa da proximidade é, certamente, uma vantagem que deve ser levada em

consideração. Garcia (2014, p. 12) explica que, apesar da distância ser um critério que carece de atenção, o fato de não haver necessidade de contato direto entre o equipamento e a superfície em estudo permite a análise de locais de difícil acesso ou potencialmente perigosos para o equipamento e, principalmente, para o termografista.

Outro aspecto relevante referente à utilização da termografia infravermelha diz respeito ao mecanismo de análise do ensaio. De acordo com Mendonça (2005, p. 14), “a TI é o único método de ensaio não destrutivo que abrange áreas em vez de pontos ou linhas”, deste modo, possibilita-se a inspeção e análise de grandes áreas em pequenos intervalos de tempo, o que, para o caso dos píeres de concreto, que são habitualmente grandes estruturas, representa uma vantagem bastante significativa. Ademais, salienta-se também a possibilidade de obtenção de diagnósticos prévios de maneira instantânea, uma vez que as imagens são geradas em tempo real (TARPANI, 2009 apud FARIA et al. 2015, p. 4), possibilitando uma intervenção imediata, caso a situação exija (BARREIRA, 2004; MENDONÇA et al., 2013 apud GARCIA, 2014, p. 12). Tal característica está relacionada com o fato de que, para a realização da TI, é necessário somente uma câmera termográfica, tornando o ensaio relativamente mais simples quando em comparação a outros métodos, mas que não dispensa uma posterior análise das informações de maneira mais detalhada.

Todavia, como todo ensaio, a aplicação da termografia por infravermelhos necessita que parâmetros sejam levados em consideração antes da inspeção ser iniciada, a fim de assegurar a confiabilidade dos resultados obtidos. Basicamente, o ensaio da termografia infravermelha consiste na utilização de uma câmera infravermelha para medir a radiação emitida pelo corpo em análise, de modo que, a correta determinação da emissividade do material configura-se uma etapa fundamental para o sucesso do método, uma vez que a radiação é muito dependente dessa propriedade (CALDEIRA, 2016, p. 64).

De acordo com Garcia (2014, p. 7), um dos erros mais importantes verificados durante a realização do ensaio diz respeito a definição do valor da emissividade da área analisada. Essa complexidade pode ser atribuída ao fato de que o valor desse parâmetro pode variar de acordo com o comprimento de onda, ângulo de observação e com a temperatura. Todavia, segundo Ocaña (2004, apud Garcia, 2014, p. 7), o fato de a maioria dos materiais utilizados na construção civil apresentarem valores de emissividade de 0,85 a 0,95, promove uma atenuação da influência desse parâmetro.

Outro ponto importante a ser observado antes do início da realização da termografia infravermelha está relacionado às condições climáticas. De acordo com Barreira (2004 apud Caldeira, 2016):

As condições climáticas são fatores limitantes para a definição do dia de uma inspeção termográfica externa. A lista de limitações ambientais é bem extensa. Por exemplo, precisa-se de um dia que possua radiação solar significativa (quando é necessário o aquecimento por aquecimento solar), ausência de precipitação, orvalho ou geada e o mínimo possível de vento. Sugere-se que o início da inspeção ocorra após certo período após o pôr do sol, mas isso pode variar de acordo com o material inspecionado, umidade, etc. O tempo necessário dependerá da dissipação do calor armazenado, que dependerá por sua vez da superfície do corpo e do ambiente (p. 66).

Quanto a radiação solar, Craveiro (2008 apud Caldeira, 2016, p. 68) explica que essa pode interferir de duas maneiras: através da elevação da temperatura dos corpos promovida pelo carregamento solar e pelo reflexo da luz do sol, que ocasiona uma medição equivocada da radiação emitida pela superfície. Para esse caso, Mendonça (2005, p. 11) propõe que o ensaio seja realizado em períodos do dia ou da noite no qual a radiação solar, ou a sua ausência, produza o mais rápido aquecimento, ou resfriamento, da superfície da estrutura.

Já para o caso da interferência do vento sobre os resultados do ensaio, verifica-se que, quando com uma velocidade significativa, possuem o efeito de arrefecimento, o que, por sua vez, promove a redução das temperaturas superficiais do objeto (MENDONÇA, 2005, p. 11). Ademais, de acordo com Brique (2016, p. 60), o fluxo de ar que incide sobre a superfície externa reduz a resistência térmica superficial, sendo esse efeito mais intenso nos cantos, posto que a velocidade do vento é maior nestas áreas, afetando assim os termogramas. A fim de evitar interferências durante o ensaio, a ASTM C 1060-11a (American Society for Testing and Materials, 2011 apud Freitas et al., 2014, p. 59) que estabelece diretrizes referentes às condições ambientais sob as quais devem ser realizadas as medições com TI em edificações típicas encontradas nos Estados Unidos, recomenda que a velocidade do vento seja inferior a 6,7 m/s.

Por fim, pode-se citar a influência da atenuação atmosférica e da umidade. A primeira é, segundo Barreira (2004 apud Brique, 2016, p. 60), um dos fatores que mais

causam interferências nas imagens termográficas, pois a atmosfera presente entre a fonte emissora e o equipamento pode ocasionar alterações na medição. Além disso, a qualidade da imagem também pode ser afetada devido a alteração do índice de refração do ar causado pelos gradientes térmicos e pela turbulência. De outra ponta, a umidade, segundo Mendonça (2013, p. 12) “[...]tende a dispersar o calor na superfície e a “esconder” os diferenciais térmicos”. Para este caso, Craveiro (2008 apud Caldeira, 2016, p. 67) explica que a umidade resfria a superfície do objeto em análise, dificultando a detecção e, por consequência, a avaliação e o diagnóstico da patologia. Dessa maneira, quanto maiores os índices de umidade, mais propensos a interferências negativas estarão os resultados.

5. CONCLUSÃO

A termografia infravermelha apresenta características que tornam a sua utilização, especialmente na engenharia civil, bastante promissora. Quando analisado o caso específico das estruturas de concreto expostas ao ambiente marinho, a aplicação da TI se mostra oportuna por se tratar de uma tecnologia que não provoca destruição à estrutura, por poder ser realizada a distância, além de permitir a análise de áreas. Quanto as consequências do método de realização desse ensaio, pode-se ressaltar o fato de não haver degradação da estrutura, o que, por sua vez, não compromete a estética dos piores e tampouco a sua vida útil. Ademais, a não necessidade proximidade para sua realização evita a exposição dos operadores a situações de risco.

Contudo, a necessidade de condições climáticas adequadas se constitui como limitador para a aplicação da termografia infravermelha, principalmente quando analisado o ambiente marinho. Por ser sensível à influência da radiação solar, do vento, da configuração da atmosférica local e da umidade, a confiabilidade dos resultados obtidos depende essencialmente dos conhecimentos técnicos do termografista. Além disso, para a obtenção de melhores resultados, verifica-se a necessidade de monitoramento diário das condições climáticas para a garantia de condições de realização do ensaio na data prevista.

Ressalta-se que, embora o ensaio da termografia infravermelha necessite de condições específicas para a sua realização, isso não se configura como um fator

impeditivo a sua aplicação. Por sua vez, os benefícios obtidos a partir do seu método simples de execução, possibilitam, de fato, a obtenção de diagnósticos mais precisos a respeito das manifestações patológicas detectadas em píeres de concreto expostos ao ambiente marinho. Além do mais, destaca-se também a viabilidade de análises preliminares, uma vez que as imagens são geradas em tempo real.

Apesar do presente artigo ter sido elaborado a partir de um levantamento e análise da literatura existente, a pesquisa bibliográfica não permite exaurir todas as questões relativas à aplicação da termografia infravermelha em píeres de concreto armado expostos ao ambiente marinho. Sobre essa questão, verifica-se como bastante apropriada a utilização de pesquisas experimentais, principalmente na análise do comportamento dos termogramas sob as condições climáticas proporcionadas pelos ambientes marinhos brasileiros, e sobre a viabilidade de utilização de uso conjunto com outras tecnologias, como drones, por exemplo.

6. AGRADECIMENTOS

CODEBA – Companhia das Docas do Estado da Bahia.

7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS – ANTAQ. **Movimentação de carga no setor portuário cresce 8,3%**. 2018. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/index.php/2018/02/15/movimentacao-de-carga-no-setor-portuario-cresce-83/>>. Acesso em: 02 out. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15424**: Ensaio não destrutivo – Termografia – Terminologia. Rio de Janeiro. 2006.

_____. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

ARAUJO, A. de. PANOSSIAN, Z. **Durabilidade de estruturas de concreto em ambiente marinho: estudo de caso**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO, INTERCORR 2010, 2010, Fortaleza. Anais... Fortaleza: ABRACO, 2010. 40 p.

BASTOS, H. C. do N.; MIRANDA, M. Z. **Principais Patologias em Estruturas de Concreto de Pontes e Viadutos: Manuseio e Manutenção das Obras de Arte Especiais**. Revista Construindo Belo Horizonte, v. 9, Ed. Esp. de Patologia, p. 93 – 101, 2017.

BAUER, E.; PAVÓN, E. **Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios.** Revista Concreto & Construção, v. 79, p. 93-98, 2015.

BRIQUE, Samara Katyana. **Emprego da termografia infravermelha no diagnóstico de falhas de aderência de peças cerâmicas utilizadas em fachadas de edifícios.** Florianópolis. 2016. 176 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

Caldeira, Mariana Martino. **Aplicação da termografia infravermelha para identificação de danos na aderência entre concreto e polímero reforçado com fibras.** 2016. 230 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

CNT. **Pesquisa Aquaviária – Boletim estatístico.** Brasília: Confederação Nacional do Transporte. Disponível em:<www.cnt.gov.br >. Acesso em: 09 out. 2018.

DNIT. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias.** Publicação IPR - 709. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação do Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004.

D'OLIVEIRA, R. C. D. **Aspectos relevantes sobre estruturas de acostagem.** Revista Obras Civis, Rio de Janeiro-RJ, p. 21 - 28, 01 dez. 2011.

FARIA, F.; SILVA, D.; MONTEIRO, E. C. B. **Utilização de termografia na manutenção predial na estrutura de um hotel em pernambuco.** In: CIRMARE 2015 IV Congresso Internacional na Recuperação, Manutenção e Recuperação de Edifícios, Rio de Janeiro, 2015.

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

GARCIA, Elias. **Pesquisa bibliográfica versus revisão bibliográfica – uma discussão necessária.** Línguas & Letras (Online), v. 17, p. 312-316, 2016.

GARCIA, João Ricardo Rodrigues. **Potencialidades da termografia para o diagnóstico de patologias em edifícios.** 2014. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2014.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica.** São Paulo: Atlas, 5ª ed., 2003.

LENCIONI, Julia Wippich. **Proposta de Manual Para Inspeção de Pontes e Viadutos em Concreto Armado – Discussão Sobre a Influência dos Fatores Ambientais na Degradação de Obras-de-Arte Especiais.** 2005. 187f. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeroportuária – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

LIMA, M. G. de ; LENCIONI, J. W. . **A problemática da corrosão e da durabilidade das construções em ambientes agressivos - o caso do ambiente marinho urbano e das estruturas de concreto.** In: IV Simpósio Internacional de Ciências Integradas da UNAERP Campus Guarujá, 2007. v. 1. p. 1-16.

LIMA, T. C. S. de; MIOTO, R. C. T. **Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica.** Rev. katálysis [online]. 2007, vol.10, n.spe, pp.37-45.

LORENZI, A.; REGINATO, L. A.; LORENZI, L. S.; SILVA FILHO, L. C. P. **Emprego de ensaios não destrutivos para inspeção de estruturas de concreto.** Revista de Engenharia Civil IMED, v. 3, p. 3-13, 2016.

MEDEIROS, M. H. F., ANDRADE, J. J. O., HELENE, P. **Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto.** In: Geraldo C. Isaia. (Org.). Concreto: Ciência e Tecnologia. 1ed.São Paulo: IBRACON, 2011, v. I, p. 773-808.

MENDONÇA, L. V. **Termografia por Infravermelhos: Inspeção de Betão.** Revista Engenharia & Vida, Lisboa, v. 1, n. 16, p. 53-57, 2005.

MORELLI, F.; LIMA, M. G. de. **Caracterização da agressividade do ambiente marinho às estruturas de concreto.** In: SEMENGO, 2004, Rio Grande. Anais [CD Rom]. Rio Grande, FURG, 2004.

NADALINI, A. C. V.; BISPO, A. de O. **Patologia em estruturas de concreto armado em ambiente marítimo.** In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias, Paraná, p. 01 -25, 2017.

PETTRES, Roberto. **Reconhecimento de padrões de defeitos em concreto a partir de imagens térmicas estacionárias e redes neurais artificiais.** 2011. 103 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

PIZZANI, L.; SILVA, R.C.; BELLO, F.S.; HAYASHI, M.C.P.I., **Arte da pesquisa bibliográfica na busca do conhecimento.** Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação, Campinas, v. 10, n. 1, p. 53-66, jul./dez. 2012.

RAUPP, F.M.; BEUREN, I.M. **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais.** In. BEUREN, I.M. (Org.). Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. 3.ed. São Paulo: Atlas, 2006. Cap.3, p.76-97.

ROCHA, Ivan. **Corrosão em estruturas de concreto armado.** Revista Especialize On Line, Goiânia, v. 01, n. 10, p. 1-26, dez. 2015.

ROCHA, J. H. A.; PÓVOAS, Y. V. **A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: Revisão do estado da arte.** Revista ALCONPAT, 7 (3), pp. 200-214, 2017.

ROCHA, J. H. A.; SILVA, M. T. A.; PÓVOAS, Y. V. T.; MONTEIRO, E. C. B. **Análise da Profundidade de Fissuras em Concreto com Termografia Infravermelha.** Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 2, p. 58-65, 2017.

SANTOS, Maria da Conceição Formoso Nobre. **Uso da termografia para caracterizar qualitativamente fachadas de edifícios.** 2014. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2014.

SERRA, Armindo Henrique Garrido Ferreira. **Análise de patologias em estruturas construídas em ambiente marítimo.** 2012. 155 p. Dissertação de Mestrado Integrado, Engenharia Civil. Área de Especialização de Construções. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto, Porto. 2012.

SILVA, A. J. da; VIÉGAS, D. J. A.; PÓVOAS, Y. V. **O uso da termografia infravermelha para detecção de manifestações patológicas.** In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

TAVARES, S.G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação da integridade de obras de arte.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.

VALOIS, N. A. L. de; **Proposição do uso de indicadores ambientais na avaliação de desempenho dos portos brasileiros.** 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2009.