

**O ESTADO DA ARTE DAS TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS
DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Aprovado em: 11/12/2020

Prof. Me. Cleidson Carneiro Guimarães
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Membro interno - Orientador

Prof. Dr. Renê Medeiros de Souza
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Membro interno - Banca examinadora

Prof. Me. Sérgio Santos de Jesus
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
Membro interno - Banca examinadora

Beatriz Gonçalves Pereira

Beatriz Gonçalves Pereira
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB
Graduanda em Engenharia Civil

O ESTADO DA ARTE DAS TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVAS DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO

Beatriz Gonçalves Pereira

<<https://orcid.org/0000-0003-2000-3834>>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / Cruz das Almas [BA] Brasil

Cleudson Carneiro Guimarães

<<https://orcid.org/0000-0002-9608-5947>>

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia / Cruz das Almas [BA] Brasil

RESUMO

O concreto é o material mais utilizado na construção de estruturas, superando alternativas, também viáveis, como a madeira e o aço. Contudo, apesar da boa durabilidade do material, percebeu-se que esse sistema estava sujeito a danos significativos e frequentes ocasionados por manifestações patológicas. Por conta disso, foi necessário buscar métodos capazes de detectar esses danos. Nesse sentido, o presente trabalho procura apresentar, com base em uma pesquisa detalhada da literatura, o estado da arte das técnicas de avaliação em estruturas de concreto por meio de ensaios não destrutivos. Vale dizer que o conhecimento acerca das técnicas de ensaios não destrutivos, além de possibilitar o monitoramento da qualidade e das propriedades mecânicas do material - por meio de ensaios que não provocam nenhum dano ou pouco dano à estrutura -, contribui para maior durabilidade das edificações e reduz os custos de reparo. No entanto, é necessário conhecer acerca dos diversos métodos de ensaio e suas peculiaridades, para que se possa fazer uma investigação mais ampla da estrutura e a análise correta dos resultados.

PALAVRAS-CHAVE

Concreto armado. Durabilidade. Manifestações patológicas. Termografia Infravermelha. Ultrassom. Pacometria.

THE STATE OF THE ART OF NON-DESTRUCTIVE ASSESSMENT TECHNIQUES OF CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT

Concrete is the most used material in the construction of structures, overcoming alternatives, also viable, such as wood and steel. However, despite the good durability of the material, it was noticed that this system was subject to significant and frequent damages caused by pathological manifestations. Because of this, it was necessary to look for methods capable of detecting such damages. In this sense, the present work seeks to present, based on a detailed research of the literature, the state of the art of evaluation techniques in concrete structures by means of non-destructive tests. It is worth saying that the knowledge about non-destructive testing techniques, besides enabling the monitoring of the quality and mechanical properties of the material - by means of tests that do not cause any damage or little damage to the structure - contributes to greater durability of buildings and reduces repair costs. However, it is necessary to know about the various test methods and their peculiarities, so that a broader investigation of the structure and the correct analysis of the results can be made.

KEYWORDS

Reinforced concrete. Durability. Pathological manifestations. Infrared Thermography. Ultrasound. Pacometry.

1. Introdução

Desde a antiguidade, as estruturas em concreto têm o seu papel de destaque na sociedade, pois, além de ser o material mais utilizado na construção civil, é um material versátil, que revolucionou a arte de projetar e construir por meio de obras grandiosas e duráveis (HELENE; ANDRADE, 2010). De acordo com a NBR 15575 (ABNT, 2013), o termo durabilidade é normalmente utilizado como qualitativo, para expressar a condição em que a edificação mantém o seu desempenho pré-estabelecido durante a sua vida útil; para estruturas de concreto, o tempo mínimo para a vida útil é de 50 anos. No entanto, obras como o Panteão em Roma - construído em concreto simples em 126 d.C. - e o Edifício de Hennebique - a primeira obra feita em concreto armado, que já garantiu mais de 100 anos de vida útil - demonstram a força desse material, superando ao menos o dobro da vida útil pré-estabelecida.

Nos dias atuais, apesar do grande avanço tecnológico voltado para a área da construção civil, o envelhecimento precoce devido, sobretudo, ao surgimento de manifestações patológicas em edificações, tem se tornado constante, comprometendo a segurança, a durabilidade e a funcionalidade da estrutura (BRITO, 2017). Por conta disso, a durabilidade das construções é um tema que tem chamado a atenção da comunidade científica, já que, com novas tecnologias e materiais mais resistentes, a durabilidade das edificações deveria crescer proporcionalmente, no entanto, frequentemente isso não tem acontecido.

Para Brito (2017), além da deterioração natural por envelhecimento, alguns fatores podem interferir de forma direta na degradação prematura das estruturas de concreto, como utilização de material de má qualidade, falha de projeto, erro de execução e, principalmente, falta de manutenção preventiva. De acordo com Aranha (1994), o número de estruturas que apresentaram manifestações patológicas associadas as causas supracitadas é tão elevado, que foi necessário um ramo da engenharia dedicado a investigar esses danos, denominado de Patologia das Construções.

Para Helene (1992), as manifestações patológicas mais frequentes nas estruturas de concreto são manchas superficiais, fissuras, eflorescências, ninhos de concretagem e corrosão de armadura; e, apesar das manchas serem mais recorrentes, os problemas causados pela corrosão das armaduras ou pelas fissuras de flexão são mais relevantes e graves do ponto de vista estrutural.

Nesse contexto, observa-se a importância das estratégias preventivas e de monitoramento e controle das manifestações patológicas, já que a identificação do problema em estágios avançados gera reparos relativamente mais caros, além de colocar em risco a segurança, o conforto e a habitabilidade. Algumas técnicas foram propostas nesse tipo de monitoramento, incluindo os ensaios destrutivos, não destrutivos e semi destrutivos, e, em alguns casos, podendo utilizar não apenas uma técnica, mas sim a combinação de várias técnicas de avaliação, a fim de obter informações mais precisas sobre as condições do concreto nas estruturas (ROMANO; BRITO; RODRIGUES, 2013).

Dentre as técnicas de avaliação, destacam-se as não destrutivas – como esclerometria, termografia, pacometria, ultrassom, etc. - para o auxílio da identificação de possíveis danos patológicos em estruturas de concreto. De acordo com Evangelista (2002), esses ensaios permitem avaliar as condições do elemento ensaiado, sendo possível verificar e diagnosticar as irregularidades que podem acometer a durabilidade, causando nenhum dano ou pouco dano à estrutura, não afetando a resistência do elemento. A confiabilidade das avaliações desses ensaios está diretamente relacionada com o profissional que o realiza, já que é necessário um profissional habilitado para executá-las (MACHADO; SHEHATA; SHEHATA, 2009).

Dessa forma, considerando a importância do concreto para a indústria civil, bem como as manifestações patológicas as quais ele está sujeito, percebe-se a necessidade da criação e realização de planos de manutenção nas edificações, sejam elas preventivas ou corretivas. As manutenções, além de garantir segurança e conforto aos usuários, são fundamentais para a conservação da estrutura, garantindo bom desempenho e prolongando sua vida útil. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma visão do estado da arte sobre a utilização de técnicas não destrutivas na avaliação de estruturas de concreto.

2. Metodologia

Para a realização deste trabalho, inicialmente, foi realizada uma pesquisa por meio dos sites de busca acadêmica Periódico CAPES e Google Acadêmico, além da utilização de algumas normas da ABNT. No portal de Periódico CAPES, foram utilizadas as bases: Web of Science, Science Direct e ICE. Em todas essas bases, foram utilizados os seguintes termos: “non-destructive testing of concrete structures inspection”, e a preferência foram pelos artigos publicados nos últimos vinte anos, nos idiomas inglês, português e espanhol.

Por meio da busca, foi possível encontrar uma grande quantidade de artigos nas bases utilizadas na plataforma da CAPES, conforme ilustra a Tabela 1, a qual foi dividida em três períodos de tempo: os artigos publicados nos últimos 20 anos, nos últimos 05 anos e no ano de 2020. Devido à grande quantidade de artigos, a preferência para análise foi dos artigos publicados nos últimos cinco anos.

BASE	2000 - 2020	2015 – 2020	2020
Web of Science	225	121	19
ICE	943	208	37
Science Direct	3281	1693	373

Tabela 1. Quantidade de artigos encontrados pela plataforma Periódico CAPES.

Fonte: Autora, 2020.

Os artigos selecionados passaram por um processo de filtragem que foi dividido em três etapas, com o intuito de estabelecer os artigos mais relevantes para o trabalho, o que pode ser observado abaixo, na Figura 1. A primeira seleção foi feita a partir do título e das palavras chaves, de modo que todos os artigos que apresentaram palavras chaves associadas ao tema da pesquisa foram selecionados para a segunda filtragem.



Figura 1. Fluxograma para seleção de artigos.

Fonte: Autora, 2020.

Utilizando as palavras-chaves e os títulos, foram selecionados foi realizada a leitura do resumo de cada artigo. Os artigos cujo resumo descrevia uma pesquisa com metodologia e resultados associados ao estado da arte das técnicas de avaliação não destrutivas das estruturas de concreto foram selecionados para a próxima etapa. Posteriormente, foi realizada a etapa três, a qual se deu da seguinte forma: a partir dos artigos relacionados com o presente trabalho, foi realizada a leitura minuciosa para análise do conteúdo, em virtude da qual foram estruturados mapas mentais de cada um desses artigos, para melhor organização das ideias. A partir disso, foram escolhidas as técnicas de avaliação não destrutivas mais recorrentes nas pesquisas para serem discutidas e apresentadas no capítulo seguinte.

A realização do trabalho e o acesso às plataformas de pesquisa foram possíveis graças à parceria entre a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB) e o acervo de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento da Pessoal de Nível Superior (CAPES).

3. Resultados e Discussões

3.1. Técnicas de avaliação não destrutivas

As técnicas de avaliação não destrutivas são aquelas que não provocam nenhum dano ao elemento ensaiado ou, quando causam algum dano, estes podem ser reparados sem prejudicar a capacidade resistente do elemento. Os ensaios não destrutivos podem ser utilizados tanto em novas estruturas - para avaliar a evolução da resistência do material ou averiguar a qualidade do concreto -, quanto para estruturas já existentes – a fim de averiguar a integridade da estrutura -. Além disso, os ensaios permitem avaliar diversas propriedades do concreto como, por exemplo, a massa específica, o módulo de elasticidade, a resistência à compressão, a dureza superficial, a permeabilidade, entre outras (TEODORO; CASCUDO; CARASEK, 2018).

Atualmente, é possível encontrar inúmeras técnicas não destrutivas diferentes no mercado que possibilitam avaliar as estruturas de concreto, como a esclerometria, ultrassom, termografia, georadar, dentre outros. Essas técnicas, além de serem utilizadas de forma separada, podem ser utilizadas de forma conjugada, utilizando dois ou mais ensaios para a obtenção de resultados mais precisos.

3.1.1. Técnica da termografia

A termografia infravermelha é um método rápido e não destrutivo que permite detectar manifestações patológicas em estruturas de concreto através de imagens de superfície. Ela pode ser utilizada na engenharia preventiva e é capaz de localizar danos ainda não visíveis, mas já embrionários nas estruturas, conforme pode ser observado na Figura 2. Por meio de pesquisas realizadas, constatou-se que a influência da distância da câmera ao objeto, a cor, a reflexão e o gradiente de temperatura são fatores que podem interferir, no momento de execução do ensaio, e acarretar análise incorreta dos resultados ou, ainda, impossibilitar a visualização de algum dano na estrutura (SAKAMOTO; FIORITI, 2017).

De acordo com Qu, Jiang e Zhang (2020), a termografia é um ensaio que tem cada vez mais aplicações na engenharia, usado, por exemplo no diagnóstico de danos e, conseqüentemente, auxilia na prolongação da vida útil nas estruturas. Por meio de um estudo realizado, Qu, Jiang e Zhang (2020) concluíram que o ensaio termográfico está em constante evolução, tornando-se cada vez mais preciso tanto no processamento de obtenção de informações quanto em seus resultados. Ou seja, o ensaio termográfico não realiza apenas uma análise qualitativa, como antes, e sim uma detecção quantitativa dos resultados. Além disso, a quantidade de parâmetros do sistema de imagem térmica tem aumentado, o que favorece resultados cada vez mais precisos e com menor chance de erros.

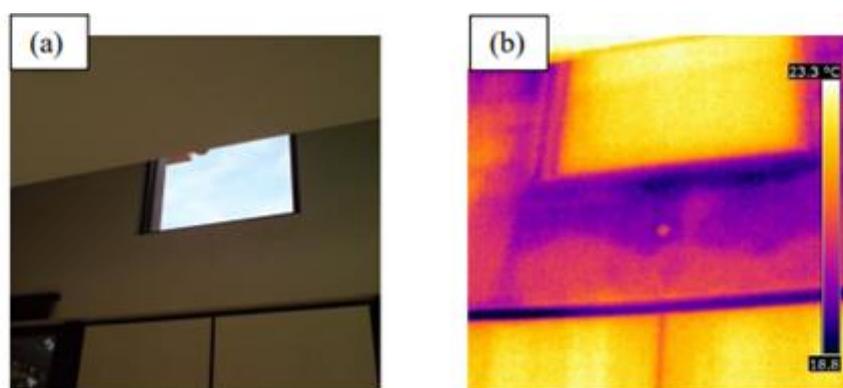


Figura 2. (a) Infiltração não visível a olho nu; e (b) Imagem termográfica indicando região úmida, representada por cores mais escuras.

Fonte: Adaptado de Amaral, Freire e Carasek (2016 apud Mendonça, Amaral e Catarino, 2010)

Zhang et. al. (2017) afirmam que este método de ensaio tem grande potencial e é capaz de gerar bons resultados, pois além de ser um método de inspeção realizado em um curto intervalo de tempo, possui boa

sensibilidade e boa resolução espacial devido à capacidade das câmeras infravermelhas que existem no mercado, as quais são capazes de identificar danos internos nas estruturas por meio da diferença térmica, já que as superfícies que possuem algum defeito irão apresentar diferentes intensidades de temperatura.

Rocha e Tavares (2017) constataram que o ensaio através da câmera termográfica é uma ferramenta útil para inspeções de pontes e locais de difícil acesso, já que o método pode ser realizado à distância e sem contato direto. Além disso, percebeu-se que esta técnica permite detectar diferentes tipos de manifestações patológicas, como vazios, destacamentos e deslocamentos; e que quanto melhor a qualidade da câmera termográfica, melhor a detecção dessas anomalias.

Para Mendonça (2005), a termografia é o ensaio não destrutivo mais eficaz, econômico e de maior precisão. Além de detectar causas patológicas como infiltrações ou fugas de água, fendas estruturais, vazios, corrosão de armaduras, entre outros agentes ocultos responsáveis por patologias visíveis, é um importante instrumento na engenharia preventiva, já que permite a identificações de danos nas edificações em fase inicial, possibilitando intervenções, evitando maiores danos nas estruturas.

Embora a termografia seja um método que apresente inúmeras vantagens, ela também traz algumas limitações, como a dificuldade na detecção de danos que estejam à certa profundidade, a possibilidade de influência direta das variações climáticas no momento da análise e a interferência do horário na coleta de dados (ROCHA; TAVARES, 2017). Além desses fatores, é interessante se atentar à escolha do equipamento utilizado na realização do ensaio - já que a maioria das câmeras termográficas são relativamente caras, principalmente as que possuem maior resolução -, e à experiência do operador para a interpretação dos resultados, pois esses resultados possuem alto nível de subjetividade (GARRIDO; LAGÜELA; OTERO; ARIAS, 2020).

De maneira geral, para Garrido et. al. (2020), bons resultados têm sido obtidos na análise quantitativa e qualitativa nas inspeções quando se utiliza a termografia. Além disso, tem-se buscado cada vez mais melhorias para superar as limitações presentes no ensaio. Vale ressaltar que a combinação do ensaio termográfico com outras técnicas, sejam elas destrutivas ou não, pode garantir melhor avaliação da estrutura e oferecer resultados mais satisfatórios e compensar as limitações desta técnica.

3.1.2. Técnica da ultrassonografia

De acordo com a NBR 8802 (ABNT, 2019), o ensaio de ultrassom é um método que, através de pulsos ultrassônicos, permite determinar a velocidade de propagação de ondas longitudinais em um elemento estrutural de concreto. Ainda segundo a mesma norma, o método possibilita acompanhar as variações que podem vir a acontecer no concreto ao longo de sua vida útil provenientes da agressividade do meio em que se encontra. O método permite, também, averiguar a homogeneidade do concreto, além de conseguir detectar possíveis falhas internas de concretagem, bem como profundidade de fissuras e outras anomalias.

Para Carvalho et. al. (2017), a boa compacidade do concreto é o fator mais importante para evitar que ele seja acometido por ataques de agentes agressivos. A verificação dessa compacidade pode ser feita através do ensaio de ultrassom, responsável pela identificação de defeitos ou descontinuidades internas no componente em análise, a partir da observação das velocidades de ondas ultrassônicas. Carvalho et. al. (2017) ainda afirmam que quanto maior a velocidade de propagação das ondas, melhor produzido está o concreto, conforme pode ser observado na Tabela 2.

Velocidade da onda ultrassônica (m/s)	Qualidade do concreto
> 4500	Excelente
3500 a 4500	Bom
3000 a 3500	Regular
2000 a 3000	Ruim
< 2000	Péssimo

Tabela 2. Critérios de avaliação do concreto com base na velocidade de onda ultrassônica proposta pela norma BS EN 12504-4 de 2000.

Fonte: Teodoro, Cascudo e Carasek, 2018.

De acordo com a NBR 8802 (ABNT, 2019), este ensaio pode ser realizado de três formas diferentes, conforme ilustra a Figura 3, a depender da situação em análise, podendo variar a posição dos transdutores. Quando os transdutores se encontram em faces opostas do material, o arranjo é chamado de transmissão direta, e é o mais recomendado para determinar a velocidade de propagação de ondas em um determinado meio, já que dessa forma as ondas são recebidas com maior intensidade. Existem ainda os tipos de transmissão indireta – quando os transdutores são posicionados na mesma face - e semidireta – quando os transdutores são posicionados nas faces adjacentes -, ambos utilizados quando não se tem acesso a uma das faces do elemento.

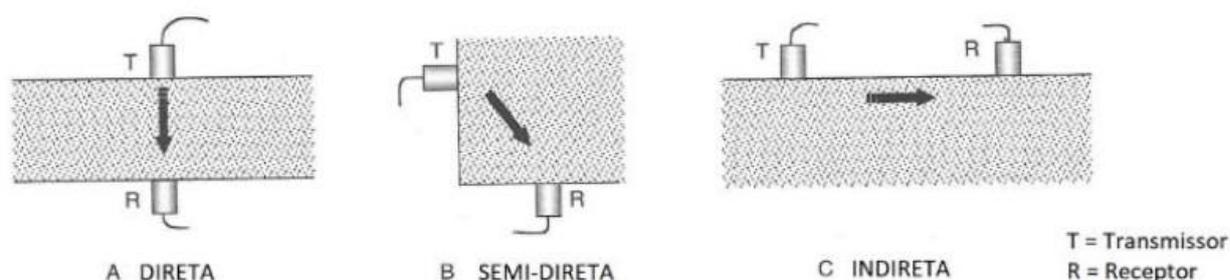


Figura 3. Tipos de transmissão em ensaio ultrassônico

Fonte: Adaptado de Ramos, 2019.

A vantagem da utilização desse método é que, além de não causar nenhum dano à superfície, ele permite avaliar o elemento estrutural em concreto em toda sua espessura, verifica sua homogeneidade por meio de parâmetros estatísticos, permite monitorar as variações do concreto ao longo dos anos e ainda estima a resistência à compressão. Além das vantagens que o método oferece, o equipamento para a realização do ensaio não apresenta dificuldade de operação e é de fácil portabilidade (LEMOS, 2017).

Embora o ensaio ultrassônico apresente inúmeras vantagens, ele também possui algumas limitações, como a dificuldade na interpretação dos dados de forma isolada. As discontinuidades presentes no elemento estrutural, quando existirem, podem interferir de forma negativa na correlação da velocidade da onda e a resistência do elemento. Fatores como o grau de hidratação do concreto, a presença de armaduras, a distância entre os transdutores, a quantidade e o tipo de agregado e as condições de umidade podem interferir diretamente nos resultados (LEMOS, 2017).

3.1.3. Técnica da pacometria

A técnica de pacometria é um método que permite a identificação e localização da armadura de aço no concreto armado, além de estimar o diâmetro da barra de aço e a espessura de cobrimento do concreto da estrutura em análise, por meio da leitura de correntes eletromagnéticas (SOUZA; MEDEIROS, 2017). Souza e Medeiros (2017) acreditam que a utilização desta técnica em inspeções preliminares seja favorável, devido aos bons resultados na utilização do método, aliados à leveza e facilidade de uso do equipamento.

O ensaio é realizado com a ajuda de um pacômetro, este, por sua vez, é arrastado sobre a estrutura de concreto e os resultados podem ser observados no visor do equipamento, conforme ilustra Figura 4 (RAMOS, 2019). As medições podem ser influenciadas por fatores como: cruzamentos e alta concentração de barras de aço na área ensaiada; presença de diferentes tipos de aço na estrutura; e presença de pregos, arames ou outros elementos metálicos próximo à superfície do concreto (SOUZA; MEDEIROS, 2017).



Figura 4. Exemplo de aplicação do ensaio de pacometria.

Fonte: Carvalho et. al., 2017.

Para Barbosa e Nóbrega (2017), o ensaio de pacometria é uma técnica eficiente e amplamente utilizada para a detecção de armaduras em estruturas de concreto, já que com os avanços tecnológicos, os pacômetros – também chamados de detectores de armaduras – estão cada vez mais acessíveis. Os autores evidenciaram que a grande vantagem do método está no custo, quando comparado com outros métodos de ensaio; na rapidez de obtenção dos resultados; e no aspecto não destrutivo. Apesar das vantagens oferecidas, é importante destacar que a proximidade entre barras de aço e a espessura de cobrimento - quando maior que 7 a 10 cm - podem causar distorções nos resultados. Por conta disso, os autores ressaltam a importância de um profissional com experiência e conhecimento técnico para a execução e interpretação dos resultados.

Carvalho et. al. (2017) utilizaram o método de ensaio não destrutivo com o auxílio do pacômetro, a fim de localizar as armaduras no concreto e, depois, eliminar a interferência das barras de aço na leitura dos resultados do ensaio feito com o uso do ultrassom, o que possibilitou o melhor posicionamento dos transdutores. Além disso, utilizou-se o método para verificar se os cobrimentos das barras estavam executados conforme estabelecidos no projeto estrutural. Os autores evidenciaram que o estudo utilizando os ensaios não destrutivos, com auxílio do pacômetro e ultrassom, permitiram a obtenção de resultados qualitativos favoráveis, proporcionando maior durabilidade e vida útil às estruturas.

Para Mesquita (2012), dentre as vantagens da utilização da técnica de avaliação das estruturas de concreto com o auxílio do pacômetro estão a possibilidade de avaliação do estado de conservação das estruturas; e a facilidade de utilização do ensaio em qualquer fase da vida do concreto, seja para a manutenção seja para o reparo das edificações. Além disso, o autor destaca a importância da realização do ensaio na etapa construtiva da obra para fins de controle de qualidade de execução. Além disso, na realização do ensaio, o profissional deve se atentar à execução em todas as faces do elemento estrutural em análise, já que foram identificadas diferentes espessuras de cobrimentos em faces distintas de um pilar ensaiado conforme ilustra a figura abaixo, no qual percebe-se valores maiores de cobrimentos nas faces A e B do pilar.

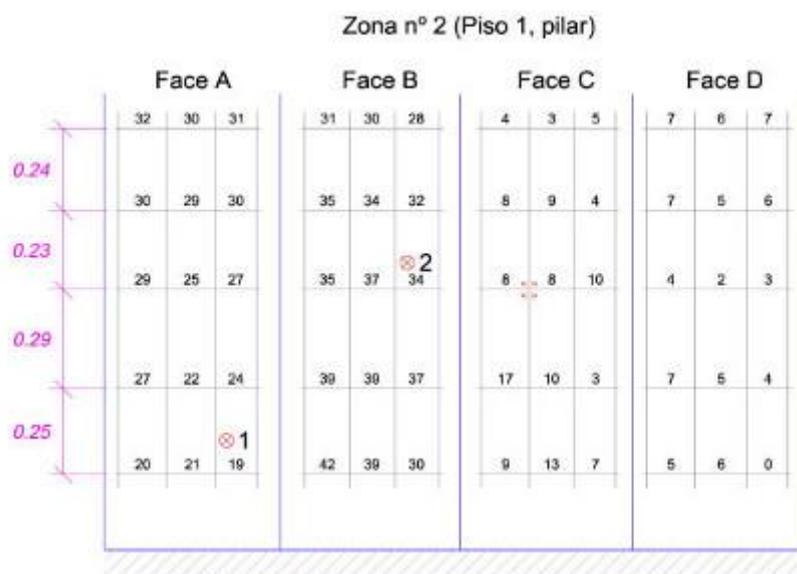


Figura 5. Representação esquemática da disposição das malhas de armaduras num pilar, detectadas com o pacômetro, com indicação dos valores de cobertura.

Fonte: Adaptado de Mesquita, 2012.

4. Conclusão

O presente trabalho demonstra a importância da realização das técnicas de avaliação não destrutivas em estruturas de concreto, para o auxílio na identificação de manifestações patológicas que podem acometer esse sistema e comprometer sua segurança e durabilidade. Por conta disso, inspecionar, analisar e diagnosticar esses problemas são atividades fundamentais que devem ser realizadas periodicamente para preservação da vida útil das estruturas.

Os ensaios não destrutivos estão sendo cada vez mais utilizados nas análises de estruturas de concreto, já que oferecem diversas vantagens, dentre elas destacam-se redução de custos - já que a identificação tardia de danos nas estruturas pode acarretar reparos bastante caros, além de colocar a segurança estrutural em risco -; rapidez e abrangência das avaliações; e pouco ou nenhum dano à estrutura ensaiada. Além disso, são vantajosos os ensaios não destrutivos, porque os equipamentos para coleta e análise de informações estão em contínua evolução, o que justifica o interesse dos profissionais e demonstra a eficácia dos ensaios.

No entanto, a limitação mais comum dos métodos analisados é o custo dos equipamentos, que são relativamente caros, e a influência direta do profissional para a realização do ensaio, uma vez que tal profissional deve ser capacitado para a execução e interpretação adequada dos resultados. Além disso, destaca-se a importância de conhecer os diversos métodos de ensaios de avaliação que podem ser utilizados nas inspeções, já que a combinação de mais de um método para análise da estrutura pode garantir a obtenção de resultados mais precisos e confiáveis.

5. Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde, força e disposição para acreditar no meu sonho e lutar por aquilo que acredito. Sem Ele, nada disso seria possível. Agradeço aos meus pais, Rosângela e Sidney, que sempre foram minha maior fonte de inspiração e por acreditarem e apoiarem meu sonho, dando apoio e força nos momentos mais difíceis. Sou grata também aos meus amigos, Lanny, Luana, Mateus e tantos outros que não me deixaram ser vencida pelo cansaço. Obrigada ao meu namorado que me estimulou durante todo o tempo e compreendeu minha ausência pelo tempo dedicado aos estudos. Em especial, agradeço ao meu orientador Prof. Cleidson Guimarães Carneiro pela dedicação e paciência e, acima de tudo, pelo incentivo e auxílio, sempre que foram necessários.

6. Referências

Amaral, Gabriel Martins; Freire, Guilherme Giorgi Jácomo; Carasek, Helena. *Uso da termografia infravermelha na identificação de umidade em elementos de vedação de edifícios*. 2016. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiás, 2016.

Aranha, Paulo Márcio da Silva. *Contribuição ao estudo das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado na região amazônica*. 1994. 162 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15575. *Desempenho de edificações habitacionais*. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 8802. *Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica*. Rio de Janeiro, 2019.

Barbosa, Claudius S.; Nóbrega, Petrus Gorgônio B. da. Ensaio não destrutivo para identificação de armaduras em elementos de concreto armado. *IBRACON: CONCRETO & Construções*, [S.L.], v. 86, p. 98-103, 2017. Abr- jun.

Brito, Thaís Farias de. *Análise de manifestações patológicas na construção civil pelo método GUT: estudo de caso em uma instituição pública de ensino superior*. 2017. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

Carvalho, Emanuella de Araújo; Sena, Caroline Silva; Rocha, Mikaele Tavares de Almeida; Carvalho, Carlos Henrique. Utilização de Ensaio Não Destrutivo, Ultrassom e Pacômetro, como Métodos de Verificação da Resistência e Qualidade do Concreto em um Edifício em Aracaju – Sergipe. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 28-37, 28 ago. 2017. *Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada*. <http://dx.doi.org/10.25286/rep.v2i3.682>.

Evangelista, Ana Catarina Jorge. *Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos*. 2002. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

Garrido, I.; Lagüela, S.; Otero, R.; Arias, P.. Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: a review.:post-processing procedures. *Applied Energy*, [S.L.], v. 266, p. 114857, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114857>.

Helene, Paulo Roberto do Lago. *Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto*. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992. 213 p.

Helene, Paulo & Andrade, Tibério. *Concreto de Cimento Portland*. Cap. 29. In: ISAIA, G. C. (Ed.). *CONCRETO. Ensino, Pesquisa e Realizações*. São Paulo, Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON. 2010.

Lemos, Andressa Rolim. *Métodos não destrutivos e semi-destrutivos na avaliação de estruturas de concreto armado*. Brasília: Centro Universitário de Brasília, 2017. 64 p. <https://doi.org/10.5102/pic.n2.2016.5526>

Machado, M. D.; Shehata, L. C. D.; Shehata, I. A. E. M.. Curvas de correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, [S.L.], v. 2, n. 2, p. 100-123, jun. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-41952009000200001>.

Mesquita, Carlos. (2012). *Metodologias de inspeção e ensaios para avaliação do estado de conservação de estruturas afetadas por corrosão de armaduras*. *Corrosão e Protecção de Materiais*, 31(2), 39-48. Recuperado em 18 de novembro de 2020, de http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-11642012000200002&lng=pt&tlng=pt.

Qu, Zhi; Jiang, Peng; Zhang, Weixu. Development and Application of Infrared Thermography Non-Destructive Testing Techniques. *Sensors*, [S.L.], v. 20, n. 14, p. 3851, 10 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s20143851>.

Ramos, David Henrique. *Avaliação de ensaios não destrutivos aplicados ao concreto armado*. 2019. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Engenharia de Estruturas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Romano, Pedro; Brito, Paulo S.D.; Rodrigues, Luiz. Monitoring of the degradation of concrete structures in environments containing chloride ions. *Construction And Building Materials*, [S.L.], v. 47, p. 827-832, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.042>.

Rocha, Joaquin Humberto Aquino; Tavares, Yêda Vieira Póvoas. A termografia infravermelha como um ensaio não destrutivo para a inspeção de pontes de concreto armado: revisão do estado da arte. *Revista Alconpat*, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 200-214, 29 set. 2017. Revista ALCONPAT. <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i3.223>.

Sakamoto, Camila Akemi; FIORITI, Cesar Fabiano. Estudo de parâmetros relevantes na obtenção de termogramas para diagnóstico de problemas patológicos. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 0-0, 15 abr. 2017. Universidade Federal de Goiás. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v13i2.44793>.

Souza, D. J. de, & Medeiros, M. H. F. de. (2017). Análise da eficiência de localizadores de armadura eletromagnéticos: um estudo comparativo. *REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil*, 14(1). <https://doi.org/10.5216/reec.v14i1.45786>

Teodoro, Rodrigo; Cascudo, Oswaldo; Carasek, Helena. (2018). *Uso de pulso ultrassônico para avaliação de concretos contendo diferentes tipos de metacaulim de alta reatividade*.

Zhang, Hong; Yang, Ruizhen; He, Yunze; Foudazi, Ali; Cheng, Liang; Tian, Guiyun. A Review of Microwave Thermography Nondestructive Testing and Evaluation. *Sensors*, [S.L.], v. 17, n. 5, p. 1123, 15 maio 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s17051123>.