Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções - CBPAT 2018

Abril de 2018

INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE RELATIVA DO CONCRETO NA VELOCIDADE DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS ULTRASSÔNICAS

INFLUENCE OF THE CONCRETE RELATIVY HUMIDITY ON WAVE ULTRASONIC VELOCITY PROPAGATION

K. AMARAL
Graduando Engenharia Civil
NUTEC / UNIFOR
Ceará; Brasil
kaique_alih@hotmail.com

E. ALEXANDRE
Graduando Engenharia Civil
CENTRE-FAS
Ceará; Brasil
eduardoalexandre03@gmail.com

D. GOMES
Graduando Engenharia Civil
NUTEC
Ceará; Brasil
davi.gomes@nutec.ce.gov.br

M. SILVA
Engenheira Civil
NUTEC
Ceará; Brasil
maria.silva@nutec.ce.gov.br

A. BERTINI
Professor, Dr
UFC
Ceará; Brasil
bertini@ufc.br

E. MESQUITA
Professor, PhD
CENTRE – FAS / NUTEC
Ceará; Brasil
mesquita.e@outlook.com

RESUMO

A umidade relativa do concreto pode alterar características físico-mecânicas dos elementos estruturais e, potencialmente induzir ao erro de interpretação de ensaios não destrutivos, dentre os quais pode-se citar o ensaio de ultrassom, que é uma técnica baseada na emissão de um pulso de onda ultrassônica e medição da velocidade que esta onda apresenta para percorrer um determinado meio material. Este trabalho tem como objetivo avaliar a influência do teor de umidade relativa na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas no método de medição direta em corpos de prova cilíndricos de concreto com dimensões 10 centímetros de diâmetro e 20 centímetros de altura. Foram realizadas medições da velocidade de propagação de onda ultrassônica para diferentes condições de umidade relativa. A partir dos valores obtidos, foram estudadas as relações entre teor de umidade relativa e velocidade de propagação de onda ultrassônica para diferentes tipos de medição. Os resultados mostraram que o teor de umidade relativa apresenta significativa influência no comportamento da onda ultrassônica no interior de peças de concreto.

Palavras-chave: Teor de umidade relativa. Ultrassom. Concreto. Ensaio não destrutivo.

ABSTRACT

Concrete relative humidity can present influence on physic-mechanical characteristics of the structural elements and potentially the error of interpretation of non-destructive tests. Ultrasound is a non-destructive technique based on the emission of an ultrasonic wave pulse and measurement of the wave propagation velocity through a specific material. This paper aim to evaluate the influence of the relative humidity on the velocity of propagation of ultrasonic waves in direct, indirect and semi - direct measurement on concrete specimens of 10 cm x 20 cm. Ultrasonic wave propagation velocity measurements were carried out for different relative humidity conditions. From the values found, the relation between relative humidity and ultrasonic propagation velocity were studied for diferent measurement method. The results showed that the moisture content has a significant influence on the behavior of the ultrasonic wave inside concrete.

Keywords: Relative humidity. Ultrasound. Concrete. Non-destructive rehearsal.

1. INTRODUÇÃO

Objetivando-se a estudar a variação da velocidade de pulso ultrassônico (VPU) com diferentes teores de umidade relativa no concreto para a obtenção de uma expressão que determine se há ou não umidade em peças de concreto que serão ensaiadas com o ultrassom para verificar sua homogeneidade, módulo de elasticidade e até mesmo resistência à compressão.

O VPU para concreto saturado é maior do que para o concreto seco. A umidade geralmente tem menor influência sobre a velocidade em concreto de alta resistência do que em menor resistência devido à diferença na porosidade (MALHOTRA; NAIK; POPOVICS, 2004). Em resumo a umidade relativa altera o VPU no concreto, pois a água preenche os vazios do material analisado, consequentemente os resultados em amostras saturadas apresentaram alterações em relação as amostras secas.

O ensaio não destrutivo (END) utilizando o ultrassom para avaliação das edificações de estruturas de concreto busca o monitoramento da integridade física e mecânica da construção. Os END's são ensaios que não alteram caracteristicas físicas, mecânicas, químicas e dimensionais das estruturas analisadas, evitando qualquer tipo dano para o concreto. Na construção civil do Brasil esses tipos de ensaios são pouco utilizados, mas suas avaliações são eficientes em relação aos seus resultados.

De maneira geral, existem duas classes de métodos de ensaio não destrutivo para aplicação em estruturas de concreto. A primeira consiste em métodos usados para estimar a resistência do material, tais como o ensaio de dureza superficial (esclerometria), resistência à penetração, ensaios de arrancamento e método da maturidade. A segunda classe inclui os métodos que medem outras características e defeitos internos do concreto por meio de propagação de ondas e termografia infravermelha. Além desses métodos, existem outros que fornecem informações sobre a armadura, como a localização das barras de aço, seu diâmetro e o potencial de corrosão (MALHOTRA; CARINO, 2004).

Dentre os métodos de ensaios não destrutivos disponíveis para avaliação de estruturas de concreto, o ensaio de ultrassom pode ser considerado como um dos mais promissores pois possibilita realizar um exame da homogeneidade do material. Através da sua utilização consegue-se realizar um controle total da estrutura, podendo-se levar em conta, inclusive, as variações das propriedades com o tempo. Pode-se, por exemplo, através da análise das variações na velocidade de propagação de uma onda ultrassônica, verificar a compacidade de uma estrutura ou detectar regiões heterogêneas no interior da mesma (LORENZI et al., 2003).

O método baseia-se no fato de que a velocidade de propagação das ondas é influenciada pela qualidade do concreto. O ensaio consiste na medição, por meio eletrônico, do tempo de propagação de ondas ultra-sônicas através do concreto, entre o emissor e o receptor. O comprimento percorrido entre os transdutores dividido pelo tempo de propagação, resulta na velocidade média de propagação da onda (MALHOTRA,1984).

No caso particular do concreto, a relação entre velocidade de propagação de onda ultrasônica e resistência à compressão não é muito confiável, pois o número de variáveis que afetam a resistência do material é grande, incluindo, por exemplo, a relação água-cimento, o tamanho e tipo do agregado, o procedimento de moldagem, o tamanho da amostra e o tipo de cimento. Apesar disto, o ensaio ultrasônico é um indicativo útil e pode ser aplicado com segurança para avaliar a uniformidade do concreto em uma estrutura, como afirmam Landis et al (2002).

Em função da sensibilidade a estes fatores, os ensaios ultrassônicos servem para caracterizar um determinado material, sua integridade e outras propriedades físicas, tornando-se uma técnica bastante usada para o controle de qualidade, detecção de defeitos, medição de espessuras ou caracterização dos materiais constituintes do concreto, segundo a norma americana ASTM E 114-95 (ASTM, 1995).

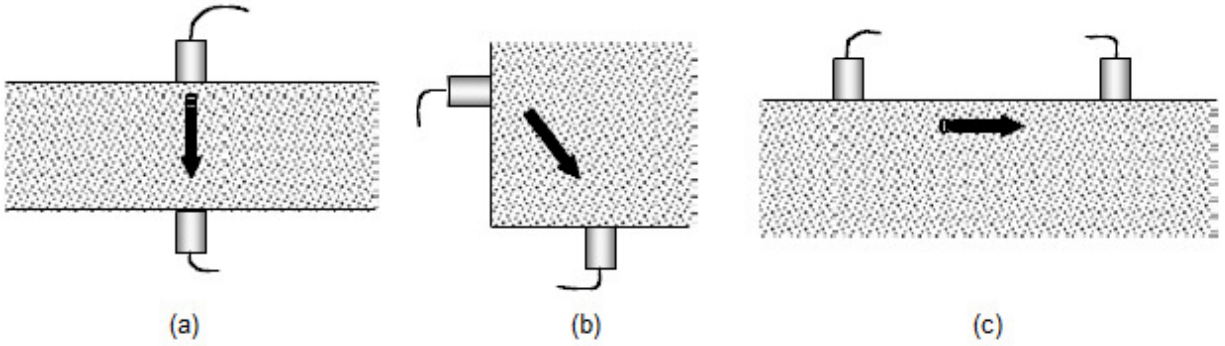
A técnica se baseia na medição do tempo de percurso de uma onda ultrassônica que atravessa o material analisado num determinado comprimento e o resultado final é expresso geralmente em termos de VPU. Esta onda mecânica que viaja através do material é influenciada pelas características e propriedades internas do concreto que determinam sua rigidez elástica e resistência mecânica. Quando uma região de

baixa compactação, vazios ou material danificado está presente no concreto testado, ocorre uma variação da velocidade dos pulsos e da amplitude das ondas o que permite que sejam detectadas as imperfeições (IAEA, 2002).

Em resumo, o equipamento emite um pulso ultrassônico através de um transdutor transmissor que é colocado em contato com o material a ser analisado, para que esse pulso por meio de vibrações com frequencia natural, seja transferiada para o material e transite até serem captadas por meio do transdutor receptor. Com esse tempo de propagação da onda ultrassônica no material e as distância entre os transdutores, o equipamento informa a velocidade dessa onda no meio material.

A norma NBR 8802 (ABNT, 2013) estabelece 3 tipos de configuração para a localização dos transdutores para a realização de medições, pois nem sempre é possivel efetuar nas duas faces opostas do material. O esquema representado na Figura 1 demonstra as possíveis posições dos transdutores para realizar a medição no material.

Figura 1 – Arranjo de transdutores
a) Transmissão direta; b) Transmissão semidireta; c) Transmissão indireta.



Fonte: (Adaptado: MALHOTRA; NAIK; POPOVICS, 2004).

Observa-se que inúmeros pesquisadores estão se dedicando ao estudo da durabilidade das edificações. Tal interesse é devido à grande quantidade de danos que estão ocorrendo nas estruturas de concreto, principalmente através do efeito combinado da agressividade ambiental com os problemas de ordem estrutural que interagem nas mesmas, juntamente com o emprego de práticas executivas inadequadas durante as diversas etapas do processo construtivo (ARANHA,1994).

Segundo Silva (1998), para avaliar a durabilidade das estruturas de concreto armado é essencial o conhecimento da natureza e da distribuição de poros neste material devido aos mecanismo de transporte de substâncias ao interior do concreto e as condições ambientais que definem o grau de agressividade a que estas estruturas estão expostas.

O termo durabilidade foi introduzido no Brasil pela NBR 6118 (ABNT, 2014), que apresenta os requisitos básicos exigidos para projetos de estruturas de concreto em todo o país. Com isso o ensaios relacionados a caracterização do concreto são de grande importância para que se tenha uma análise real da qualidade e integridade da estrutura.

2. METODOLOGIA

Com o objetivo de determinar a influência do teor de umidade em medições, com transmissão direta, de velocidade de propagação de onda ultrassônica, foram preparados 8 corpos de prova de concreto com dimensões 10x20 cm. Para a moldagem foi utilizado um traço com proporções 1:2,48:2,79 (cimento:areia:brita) e com relação água/cimento de 0,60. Após completado 28 dias de idade imerso em água, primeiramente foi feita a pesagem dos mesmos saturados e consequentemente foram realizados os testes de ultrassom utilizando transdutores de ondas longitudinais de 54 kHz, modelo PUNDIT da marca Proceq como observa-se na Figura 2.

Figura 2– Execução do ensaio para determinação da VPU

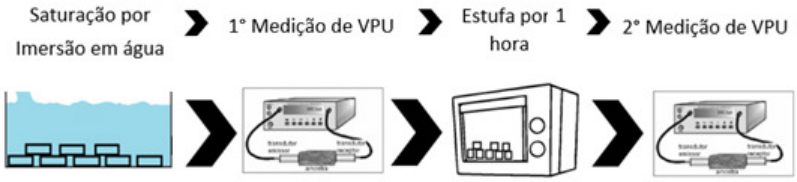


Fonte: Autor.

Após preparação da amostras, foi realizado a primeira medição nos CP totalmente saturados. Depois as amostras foram para a estufa de modo que ocorresse variação na umidade para que fossem realizada novas medições e assim sucessivamente até que o corpo de prova apresentasse constâcia no peso.

Esse processo de secagem dos CP foi realizado de forma que a amostra ficasse 1 hora em estufa antes de cada medição, em uma temperatura de 110 graus e depois as amostras foram resfriadas naturalmente por um periodo de 60 minutos em um local de fácil circulação de vento, para a realização de uma nova pesagem das amostras e por fim uma nova medição, conforme a Figura 3.

Figura 3– Procedimento para a determinação da velocidade do pulso ultrassônico nos corpo de prova



Fonte: Autor.

Esse processo de ensaios, por fim, gerou 6 medições para as 8 amostras totalizando 48 resultados de velocidade de pulso ultrassônico para diferentes valores de umidade relativa.

3. RESULTADOS

Esse tópico apresenta os resultados dos ensaios descritos na metodologia, tendo como primeira fase o ensaio de absorção, índice de vázios e massa específica do concreto com 28 dias de idade e cura sob imersão em água. Os resultados desta primeira etapa são descritos na Tabela 1. Nota-se que as propriedades de cada CP são bem semelhantes, provando que a variação destas propriedades foi pequena.

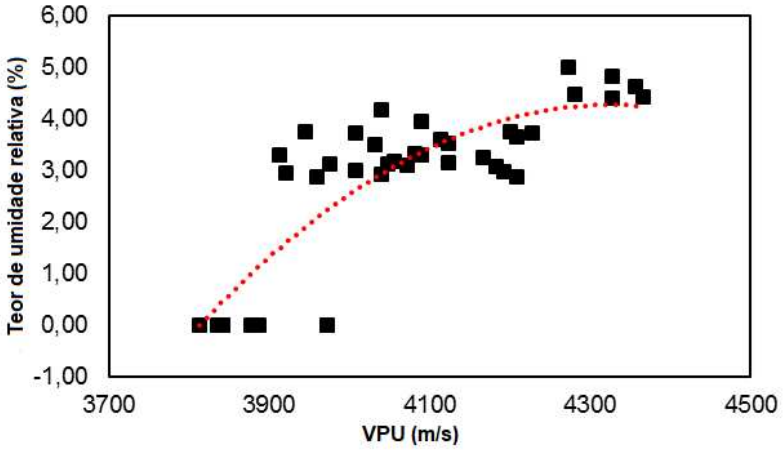
Tabela 1 – Resultados dos ensaios

Amostra	Absorção (%)	Índice de vázios (%)	Massa específica (g/cm³)
1	4,46	10,08	2,26
2	5,00	11,10	2,22
3	4,61	10,37	2,25
4	4,39	9,94	2,26
5	4,81	10,61	2,21
6	4,51	10,19	2,26
7	4,42	9,99	2,26
8	4,47	10,03	2,24
Média	4,58	10,29	2,25
Desvio Padrão	0,20	0,37	0,02

Fonte: Autor.

A segunda fase do trabalho teve como objetivo determinar o VPU na mesma amostra analisada anteriormente. Esse ensaio segue os parâmetros da NBR 8802 (ABNT, 2013) que determina a VPU em concreto endurecido utilizando o ultrassom. A metodologia de ensaio adotada teve como objetivo determinar as velocidades para os diferentes teores de umidade nos 8 corpos de prova. Com esses resultados, foi feito uma correlação entre esse dois parâmetros por meio do Gráfico 1, e na Tabela 2 identifica-se a variação entre os resultados da VPU no concreto seco e saturado.

Gráfico 1 – Teor de umidade relativa x VPU.



Fonte: Autor.

Tabela 2 – Comparação entre a VPU no concreto seco e saturado

CP	VPU amostra seca (m/s)	VPU amostra totalmente saturada (m/s)	Variação VPU (m/s)	Variação VPU (%)
1	3972	4503	531	13
2	3878	4272	394	10
3	3842	4356	514	13
4	3842	4328	486	13
5	3887	4328	441	11
6	3972	4414	442	11
7	3813	4366	553	15
8	3835	4281	446	12
Média	3880	4356	476	12
Desvio padrão	61	75	54	1

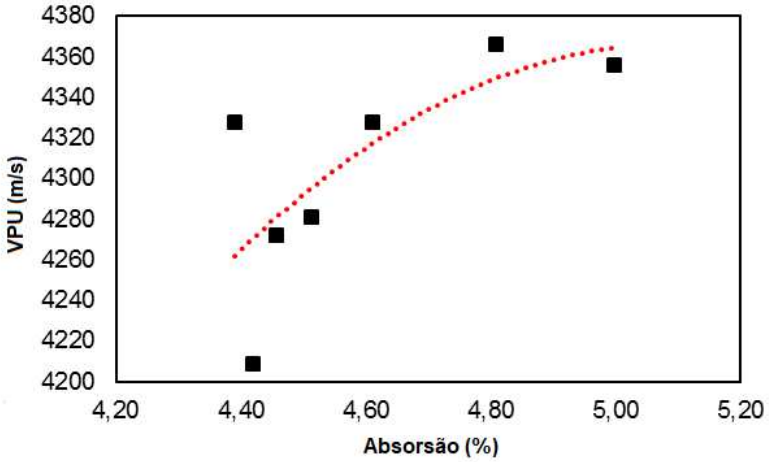
Fonte: Autor.

A partir do Gráfico 1 e da Tabela 2, nota-se que a umidade no concreto tem influência na VPU, pois seus resultados em corpo de prova totalmente saturado aprensentam uma variação média de 476 m/s em relação ao ensaio no corpo de prova seco. Essa variação média de 12% se dar ao preenchimento da água em locais que estão ocupados de ar no concreto, facilitando o meio de propagação do pulso ultrassônico sem que haja a dispersão da onda.

Outro fato a se observar no Gráfico 1, é demostração que no intervalo de 0 a 3% de teor de umidade relativa apresenta um regime linear na linha de tendência polinomial, enquanto a partir de 4% aponta que há uma estabilização.

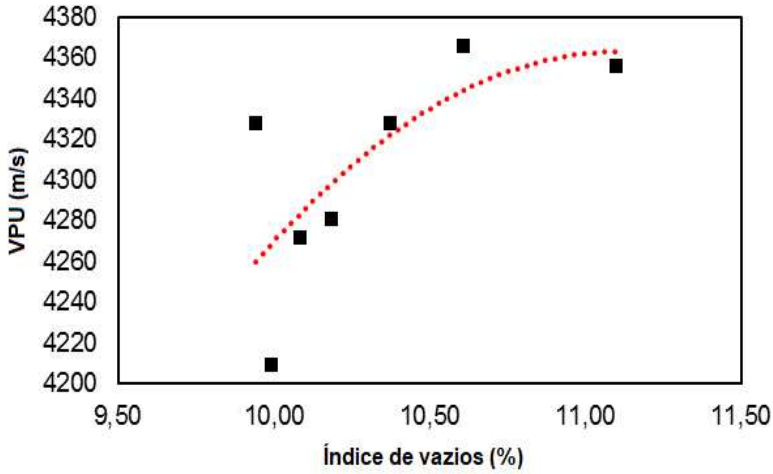
A próxima etapa foi gerar gráficos correlacionando os resultados dos ensaios de absorção, índice de vázios e massa específica com valores de velocidade de pulso ultrassônico com as amostras totalmente saturadas. As correlação são apresentadas nos gráficos 2, 3 e 4 respectivamente.

Gráfico 2 – VPU x absorção nas amostras saturadas.



Fonte: Autor.

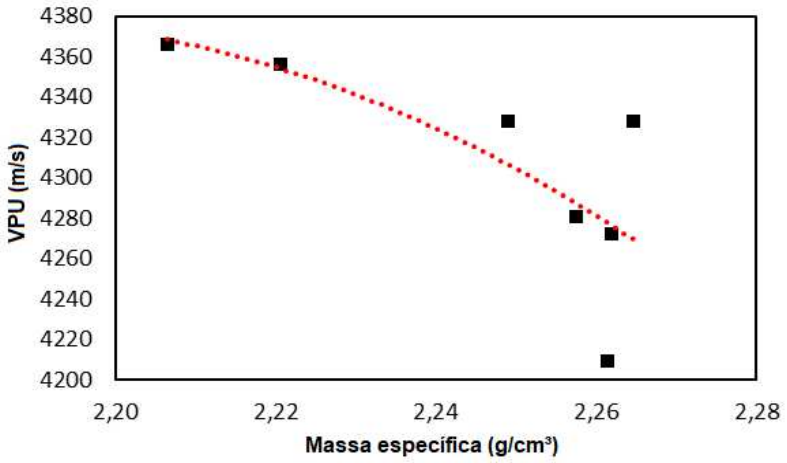
Gráfico 3 – VPU x índice de vazios nas amostras saturadas.



Fonte: Autor.

Os gráficos 2 e 3 com linha de tendência polinomial demostram que há uma correlação da velocidade de propagação de ondas ultrassônicas com a absorção e o índice de vazios, apresentando seus coeficientes de correlação (R^2) de 0,51 e 0,49 respectivamente. Então quanto maior a absorção de água ou índice de vazios do concreto maior será sua VPU nos ensaios realizados em amostras saturadas, mostrando que são diretamente proporcionais.

Gráfico 4 – VPU x massa específica nas amostras saturadas.



Fonte: Autor.

No gráfico 4, como todos os CP são da mesma amostra, espera-se que eles tenham a mesma massa específica (ou bastante próxima). Pelo gráfico verifica-se que a variação da massa espedífica é de 0,06 g/cm³, o que é uma variação praticamente não significativa. O mesmo acontece com a VPU com variação de aproximadamente 100 m/s, o que é muito baixo. Logo não é possível concluir através desse gráfico que a massa específica é inversamente proporcional a VPU.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do teor de umidade no concreto por meio do método de determinação da velocidade de pulso ultrassônico através de análises experimentais em corpos de prova cilíndricos de concreto com dimensões de 10x20 cm. Tal abordagem gerou informações essenciais para demonstrar que há influência da umidade relativa no concreto na velocidade de pulso ultrassônico em medições diretas. Foi possível observar a existência de uma correlação da VPU diretamente proporcional ao teor de umidade relativa do concreto ensaiado, exibindo uma alteração do pulso ultrassônico de aproximadamente 500 m/s em uma variação de 5% do teor de umidade na amostra ensaiada.

É importante salientar, que nas relações da velocidade de pulso ultrassônico com teor de umidade relativa foi verificado que dependendo das amostras ensaiadas, os resultados que o ultrassom irá fornecer, poderá haver contradições. Pois a peça poderá está saturada e apresentar uma velocidade mais alta do que a real.

A pesquisa está limitada ao programa aplicado, por apresentar coeficiente de correlação abaixo do esperado, por isso é de grande importância a realização de trabalhos futuros voltado a esse tema, para entender melhor o comportamento do teor de umidade relativa, absorção, índice de vazios e massa específica no ensaio de velocidade de pulso ultrassônico.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Engenharia Civil da Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC) e à UNIFOR – Universidade de Fortaleza pelo apoio e confiança.

6. REFERÊNCIAS

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS, **Standard Practice for Ultrasonic Pulse-Echo Straight-Beam Examination by the Contact Method**. Vol. 03.03 Nondestructive Testing. West Conshohocken: ASTM E 114-95, 1995, 920 p., p. 12-15.

ARANHA, P.M.S. **Contribuição ao Estudo das Manifestações Patológicas nas Estruturas de Concreto Armado na Região Amazônica**. Porto Alegre, 1994. 144 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802:** Concreto endurecido — Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica. ABNT, 2013.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaios não Destrutivos.** [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. IAEA, Training course series 17. **Guidebook on nondestructive testing of concrete structures**. Vienna, 2002.

LANDIS, E., PETERSON, E., SELLECK, S., SHAH, S., LI, Z., ZDUNEK, A., PRINE, D., **Developments in NDE of Concrete.** Northwestern University Center for Advanced Cement-Based Materials e BIRL Industrial Research Laboratory.

LORENZI, A., CAETANO L. F., DRUNN M. T., SILVA L. C. P. **Utilização de ultrassom para monitoramento de estruturas de concreto**. Pan American Conference for Nondestructive Testing. Anais... ABENDI, Rio de Janeiro, 2003.

MALHOTRA, V. M., CARINO, N. J. "**Handbook on nondestructive testing of concrete**". Vol. 2, Ed. Boca Raton, Flórida – Estados Unidos da América, 2004.

MALHOTRA, V. M**. In Situ** / **Nondestructive Testing of Concrete - A Global Review, In Situ/Nondestructive Testing of Concrete**, Special Publication SP-82, American Concrete Institute, Detroit, pp. 1-16, 1984.

MALHOTRA, V.M.; NAIK, T.R; POPOVICS, J.S. **The Ultrasonic Pulse Velocity Method.** In: MALHOTRA, V.M.; CARINO, N.J. **Handbook on Nondestructive Testing of Concrete**, 2 ed. Boca Raton: CRC Press, 2004.

RAMIREZ, F. C. **Detecção de Danos em Estruturas de Concreto por meio de Tomografia Ultrassônica.** 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, T. J. **Predicción de la Vida Útil de Forjados Unidireccionales de Hormigón Mediante Modelos Matemáticos de Deterioro.** Catalunya: 1998. 327 fl. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universitat Politécnica de Catalunya, Espanha, 1998.