



**Coordenação de Iniciação Científica, Monitoria e Extensão**  
**Curso de Engenharia Civil**

**Influência do Teor de Umidade no Módulo de Elasticidade**  
**Dinâmico de Corpos de Prova de Concreto**

**Francisca Lilian Cruz Brasileiro**

Fortaleza - CE

2019

Influencia do Teor de Umidade no Módulo de Elasticidade Dinâmico de Corpos de Prova  
de Concreto

Francisca Lilian Cruz Brasileiro

Projeto de Iniciação Científica do Curso de  
Engenharia Civil da Faculdade Ari de Sá.

Fortaleza-CE

2019

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	JUSTIFICATIVA	5
3	OBJETIVOS	6
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
5	METODOLOGIA	17
6	CRONOGRAMA	19
	REFERÊNCIAS	20

## RESUMO

No atual cenário da construção civil é notório o grande índice de estudos em relação a longevidade das estruturas de concreto, considerando-se que a durabilidade do concreto leva em consideração entre diversos fatores: as patologias que nele são desenvolvidas e como interferir nelas de modo a não causar problemas futuros. Dentre os males das patologias que vem a desenvolver-se, a umidade é um dos fatores que mais acarreta o surgimento destas, acarretando o desenvolvimento de diversos problemas à estrutura do material pelo fato do alto grau de saturação que é desenvolvido. Ensaios não-destrutivos são técnicas de análise que permitem ao técnico que opera o equipamento fornecer dados que servem como fatores para mapear, monitorar e estabelecer formas de interferir na estrutura sem causar dano algum. O aparelho de ultrassom é um dos equipamentos que utiliza a propagação de ondas ultrassônicas para determinar as condições do concreto em cada local específico onde será realizado o ensaio. Diante disso, esta pesquisa tem como objetivo verificar a influência do teor de umidade na velocidade de propagação ultrassônica e assim relacionar com o efeito que ela causa no Módulo de elasticidade Dinâmico do concreto convencional. Essa pesquisa será aplicada para resistências de 20, 30 e 50 MPa. Para isso, foi adotado uma pesquisa exploratória e abordagem quantitativa dos dados, onde serão utilizadas técnicas estatísticas e recursos como tabelas e gráficos para serem alimentadas com os resultados de ensaios de absorção de água no concreto seguindo parâmetros da NBR 9778:2005 e da velocidade de pulso ultrassônico utilizando o aparelho de ultrassom segundo a NBR 8802:2013, para o cálculo do Módulo de Elasticidade Dinâmico foi adotado o procedimento da norma britânica BS- 1881 Part 203:1986.

**Palavras-chave:** Módulo de Elasticidade Dinâmico, Umidade, Ultrassom, Ensaio-não-destrutivos.

## 1. INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, o homem vem modificando o seu modo de construir edifícios sempre buscando diminuir futuras manifestações patológicas decorrentes de erros de projeto ou até mesmo de execução.

A umidade está relacionada com alguns destes erros, pois com o passar do tempo ela pode comprometer a estrutura que aparentemente está em perfeito estado de conservação, mas que internamente já vem apresentando algumas características que venha beneficiar a aceleração da anomalia e conseqüentemente um sinistro.

Segundo PARISI JONOV et. al (2013), as manifestações patológicas podem ser causadas pela frequência da umidade na edificação e conseqüentemente ser um dos maiores problemas a serem analisados. Esse tipo de transtorno pode estar relacionado a vários fatores, como o tempo de vida da útil da construção, a variação climática no local da edificação, as matérias-primas utilizadas e procedimentos construtivos empregados juntamente com o controle de qualidade.

Os ensaios-não-destrutivos (END) são ainda pouco empregados no âmbito da construção civil quando comparados com os ensaios tradicionais destrutivos, mas são de grande importância para determinação de algumas propriedades em materiais e estruturas da construção civil. Um desses procedimentos, o ultrassom destaca-se pode ser, um método não destrutivo de monitoramento físico e mecânico da peça a ser analisada, sem que precise danificar a estrutura para coleta de dados.

Segundo Lorenzi (2003) entre as aplicações de END disponíveis para análise de edificações de concreto, o ensaio de ultrassom pode ser apontado como um dos mais promissores pois proporciona a inspeção do concreto, realizando uma avaliação da uniformidade da estrutura.

Assim, esse trabalho busca conciliar a avaliação não destrutiva com o ultrassom para verificar a influência da umidade em medições ultrassônicas e conseqüentemente determinar o nível de atuação da umidade em termos quantitativa no resultado da peça ensaiada e por fim relacionar os dados obtidos com a influencia que o fator da umidade exerce no módulo de elasticidade dinâmico.

Neste trabalho, o programa experimental abrange o método para velocidade de pulso ultrassônico utilizando o aparelho de ultrassom em corpos de prova cilíndricos de concreto com variadas dosagens de resistência. Os teores de umidade relativa dos CP foram variados para que pudesse observar o comportamento da VPU na obtenção dos resultados e conseqüentemente, se buscar uma relação entre as duas variáveis com o objetivo de verificar a influência do teor de umidade em medições de VPU nas peças de concreto a serem ensaiadas e após relacionar o fator umidade com o Módulo de Elasticidade Dinâmico.

## **2. JUSTIFICATIVA**

Estruturas de concreto se desgastam com o tempo e uso no decorrer da sua vida útil, podendo até chegar a um colapso e conseqüentemente ocorrer algum tipo de sinistro. Por isso devem ser feitas inspeções periódicas para detectar qualquer tipo de imperfeição ou alguma alteração nas suas características físicas e mecânicas.

Vários tipos de manifestações patológicas estão relacionados a presença de umidade, que com o decorrer do tempo podem ser irreparáveis. Para isso é de grande importância avaliar estruturas de concreto e determinar suas características através de ensaios. Com isso pode-se qualificar a estrutura pelos resultados encontrados e avaliar com propriedade todos os efeitos que podem apresentar.

A detecção de umidade em estruturas de concreto é de grande importância para se identificar as causas de alguns tipos de patologias decorrentes do teor de saturação da peça.

Por isso é de grande importância buscar um novo método de avaliação não destrutiva que possa determinar a presença da umidade em peças de concreto sem que haja uma dificuldade avaliar a amostra e que tem um resultado

preciso. Por isso o método ultrassônico para detecção de umidade é um estudo inovador por sua facilidade de avaliação e sem que haja deterioração na estrutura analisada.

O aparelho de ultrassom é utilizado nas vistorias de engenharia para detecção da velocidade do pulso ultrassônico em peças de concreto, sendo um ensaio não destrutivo muito empregado para avaliar a resistência do concreto e até mesmo estimar seu módulo de elasticidade do material. Esse aparelho é de grande importância para uma avaliação qualitativa do concreto utilizado na estrutura da edificação para medições de velocidade do pulso ultrassônico, com isso, a presença da água altera os resultados do aparelho, majorando o valor real de VPU do material influenciando em avaliações incorretas dependendo do grau de saturação da peça ensaiada.

Esse estudo tem por finalidade avaliar essa influência do teor de umidade relativa em medições ultrassônicas e posteriormente relacionar com os resultados do módulo de elasticidade dinâmico, buscando evitar análises imprecisas com alteração no resultado real causado pela saturação da peça ensaiada.

### **3. OBJETIVOS**

#### **Objetivo geral**

- Avaliar a influência o teor de umidade relativa em peças de concreto para diferentes dosagens utilizando método ultrassônico e assim relacionar a influencia que a mesma causa nas velocidades ultrassônicas e posteriormente no módulo de elasticidade dinâmico.

#### **Objetivos específicos**

- Determinar teor de umidade em corpos de prova de concreto seguindo parâmetros da NBR 9778:2005.
- Verificar a velocidade de pulso ultrassônicos segundo a NBR 8802:2013 em corpos de prova saturado e seco.
- Verificar a influencia causada pelo teor de umidade no módulo de elasticidade dinâmico do material

### **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A umidade no concreto é um fator que com o passar do tempo poderá causar patologias de grande preocupação para os engenheiros e arquitetos da edificação. Essas manifestações são sinais que o concreto está apresentando enfraquecimento ou alterações na sua estrutura, modificando sua eficiência em suportar cargas prevista no projeto.

Para Perez (1985), a umidade nas construções reproduz um das problemáticas mais complexa de serem reparadas no âmbito das edificações. Os resultados da permanência de água nos materiais da edificação podem ter início desde da construção ou até mesmo ao longo período da construção.

Conforme Verçozza (1991), as causas da umidade nas edificações de concreto são provenientes da execução da construção (umidade dos materiais), por capilaridade, pela chuva, por vazamentos nas instalações hidrossanitárias e condensação.

#### **4.1. Construção**

Verçozza (1991) comenta que a umidade permanece nos poros dos materiais da edificação como água para os concretos, argamassas e até mesmo na execução de pinturas. Mas com um período médio de 6 meses ela vai diminuindo gradativamente, ocorrendo até seu desaparecimento total.

A umidade na construção de uma edificação é oriunda inicialmente de materiais que apresentam água na sua fabricação, como as tintas, concreto e argamassas, com isso essa umidade se distribui rapidamente nos materiais que serão envolvidos para composição de uma estrutura ou até mesmo em uma parede como mostra a Figura 1 a seguir.



Figura 1 – Umidade na construção

Fonte: (Pedreira, 2015)

## 4.2 Capilaridade

A capilaridade também pode agir em outra direção, que não o vertical, mas sempre se caracteriza pela passagem da água através de poros. No entanto, o sentido do fluxo influi muito. No caso de capilaridade de cima para baixo (Figura 2) a gravidade aumenta a força de penetração; e de baixo para cima, a diminui. Quando a base de uma peça com tubos capilares é o caso dos tijolos, argamassas e concretos porosos, encosta em uma superfície úmida, a água sobe até atingir o equilíbrio, que varia em cada canal. No caso de paredes de tijolos ou concreto, a umidade geralmente sobe até 70-75 cm. Em casos especiais, entretanto, pode alcançar alturas bem maiores. (VERÇOZA, 1987).

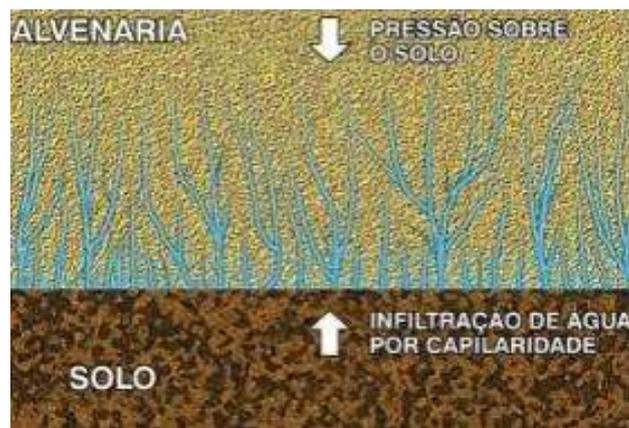


Figura 2 - Infiltração por capilaridade

Fonte: VEDACIT, 2010.

## 4.3 Chuva

A chuva é o agente mais frequente para apresentar infiltrações nos materiais da edificação, acarretando manifestações patológicas devido a sua permanência na estrutura, e conseqüentemente apresentará problemas na construção caso não tenha uma devida manutenção na estrutura.

A penetração de água pela envoltória do edifício está associada, fundamentalmente, a dois fatores climáticos: chuva e vento. Sem o vento, a chuva cairia verticalmente e pouco molharia as paredes de um edifício; sem o vento, haveria pouca ou nenhuma diferença de pressão entre o interior e exterior do edifício (PEREZ, 1988).

Na Figura 3 são mostrados o percurso da umidade oriunda da chuva:

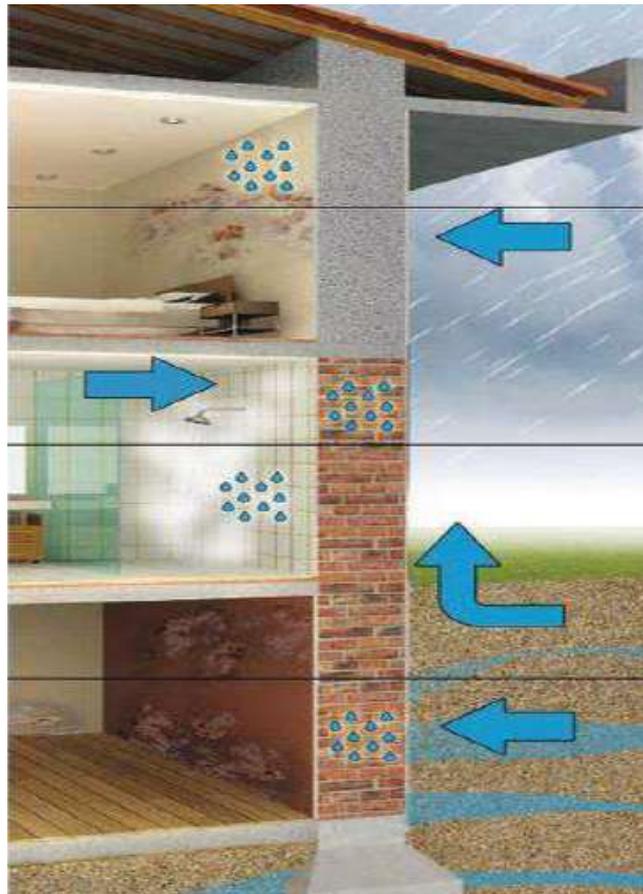


Figura 3 – Infiltração decorrente da chuva e vento

Fonte: Casa e Construção (2016)

#### 4.4 Vazamentos em redes hidráulicas

Conforme Verçosa (1991), a origem dos vazamentos da rede hidrossanitária é de difícil identificação e são complicadas as regularizações que deverão ser feitas, pois muitas das vezes as tubulações estão envolvidas pela construção, sendo que o não reparo do local afetado configure em defeitos na estrutura da edificação. Como mostra a Figura 4 abaixo.



Figura 4 – Infiltração por vazamentos em redes hidráulicas

Fonte: Pet Engenharia civil UFJF (2014)

#### 4.5 Condensação

Quando a temperatura de condensação é atingida, variando-se para cada grau de pressão e umidade atmosférica, o gás condensa-se em névoa e em seguida atinge o ponto de orvalho, assim surgindo o fenômeno de condensação. A umidade por condensação ocorre em ambientes com uma alta taxa de concentração de umidade no ar e a existência de superfícies com temperatura de condensação (OLIVEIRA, 2015).

De acordo com a NBR 9575 (2010), a umidade tem-se origem na condensação de vapor d'água presente no ambiente sobre a superfície de um elemento construtivo deste ambiente.

Essa condensação em estruturas onde a temperaturas menores e não se tem ventilação local é muito propício para que aja um acúmulo de umidade, como mostra na Figura 5, ocorrendo geralmente em banheiros, saunas, frigoríficos, etc.



Figura 5 – Infiltração por condensação

Fonte: Blog Reform Reparos & Reformas (2017)

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 Verçoza (1991) a umidade não é apenas uma causa de patologias, ela age também como um meio necessário para que grande parte das patologias em construções ocorra. Ela é fator essencial para o aparecimento de eflorescências, ferrugens, mofo, bolores, perda de pinturas, de rebocos e até a causa de acidentes estruturais.

O conhecimento das manifestações e suas anomalias devido a umidade são de extrema importância para uma elaboração e correção de um diagnóstico correto, que permite identificar, reparar ou remediar as respectivas causas e propor soluções adequadas para quais quer tipo de impermeabilização (HENRIQUE, 1994).

#### **4.7 Ensaios não destrutivos**

Os END são ensaios que não alteram características 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 (AMARAL K., 2018).

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. Dada sua natureza predominantemente não invasiva, os ensaios tipo END se constituem em uma das principais ferramentas de controle da qualidade de materiais e produtos, e já

são amplamente utilizados em diversas atividades, tais como na indústria aeroespacial, no ramo automobilístico, no ramo elétrico e na construção naval (CHO Y. S., 2003).

De maneira geral, existem duas classes de métodos de ensaios não destrutivos 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).

No âmbito da construção civil, os END podem ser usados tanto para avaliação de estruturas novas quanto de já existentes. Para novas estruturas, as principais aplicações são relativas ao controle de qualidade ou a resolução de dúvidas sobre a qualidade dos materiais ou a construção. Em estruturas já existentes, os END geralmente estão relacionados a uma avaliação da integridade ou adequação estrutural (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 2002).

#### **4.8 Ultrassom**

Ondas ultrassônicas são um tipo de onda mecânica, ou seja, necessitam de um meio para se propagar (não se propagam no vácuo). Tem a mesma natureza dos sons audíveis pelo homem, porém com frequências mais elevadas. O campo de frequência de ondas audíveis pelo homem é entre 20 Hz e 20 KHz. Qualquer onda com frequência abaixo disso é chamada de infrassom, enquanto as ondas com frequência acima disso são chamadas de ultrassom (ANDREUCCI, 2011).

Dentre os métodos de ensaios não destrutivos disponíveis para avaliação de estruturas de concreto, o ensaio de ultrassom (Figura 6) 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).



Figura 6 - Equipamento utilizado no ensaio de ultrassom

Fonte: Autor

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 explica a norma americana ASTM E 114-95 (ASTM, 1995).

Para a realização deste ensaio em estruturas de concreto recomenda-se utilizar aparelhos com frequência entre 20 e 150 kHz, sendo geralmente mais usada em concreto a frequência mais baixa uma vez que a heterogeneidade do material acabaria por dissipar a energia durante a propagação de ondas com frequências mais elevadas. Desta forma, quanto maior a frequência, menor deve ser a distância entre os pontos em estudo, isto permite relacioná-la com as propriedades elásticas do concreto (SANTOS, 2008 apud CHOQUEPUMA, 2011)

#### **4.9 Velocidade de propagação de ondas ultrassônicas**

A técnica com ultrassom 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 velocidade de propagação das ondas ultrassônicas. 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).

As primeiras publicações sobre medições de velocidade de pulsos mecanicamente gerados apareceram nos Estados Unidos em meados de 1940. Constatou-se que a velocidade depende das propriedades elásticas do material e quase não depende da sua geometria (BUNGEY, 1989).

A velocidade de ondas ultrassônicas transitando em um material sólido depende da densidade e das propriedades elásticas desse material (BUNGEY, 1989, Pundit Manual, 1994). Como pode ser visto na Equação 1 e 2.

$$V = \sqrt{\frac{KE_d}{\rho}}$$

(Eq. 1)

$$K = \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

(Eq. 2)

Onde:

V = velocidade da onda, km/s

E<sub>d</sub> = módulo de elasticidade dinâmico, kN/mm<sup>2</sup>

ρ = massa específica, kg/m<sup>3</sup>

ν = coeficiente de Poisson dinâmico

A velocidade da onda depende principalmente dos seguintes fatores: módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, e massa específica do concreto, e também da presença de armadura (BUNGEY, 1989, POPOVICS et al,1995).

O ensaio consiste na medição, por meio eletrônico, do tempo de propagação de ondas ultrassônicas através do concreto, entre o emissor e o receptor. Durante o ensaio pelo modo de transmissão direto, a distância entre os transdutores pode ser facilmente determinada, e o tempo de percurso da onda ultrassônica é fornecido pelo ensaio. Com estes dois valores (tempo e distância) pode ser calculada a velocidade da onda nesse ponto, substituindo estes valores na Equação 3 (MALHOTRA,1984).

$$V = \frac{X}{T}$$

(Eq. 3)

Onde:

$V$  = Velocidade da onda ultrassônica

$X$  = Distância entre os transdutores (emissor e receptor do sinal)

$T$  = Tempo de percurso da onda ( $\mu\text{s}$ )

#### 4.10 Esquema de ensaio

O pulso ultrassônico é criado aplicando uma rápida mudança de potencial do equipamento de ultrassom para o elemento de transformação piezoelétrico (presente no transdutor transmissor) que faz com que ele vibre em sua frequência natural. O transdutor é colocado em contato com o material para que as vibrações sejam transferidas para o material analisado e o percorram até serem recebidas pelo transdutor receptor. A velocidade da onda é calculada usando o tempo gasto pelo pulso para percorrer a distância medida entre o transmissor e o receptor (KEWALRAMANI; GUPTA, 2006).

O esquema que o equipamento de ultrassom utiliza é representado na Figura 7.

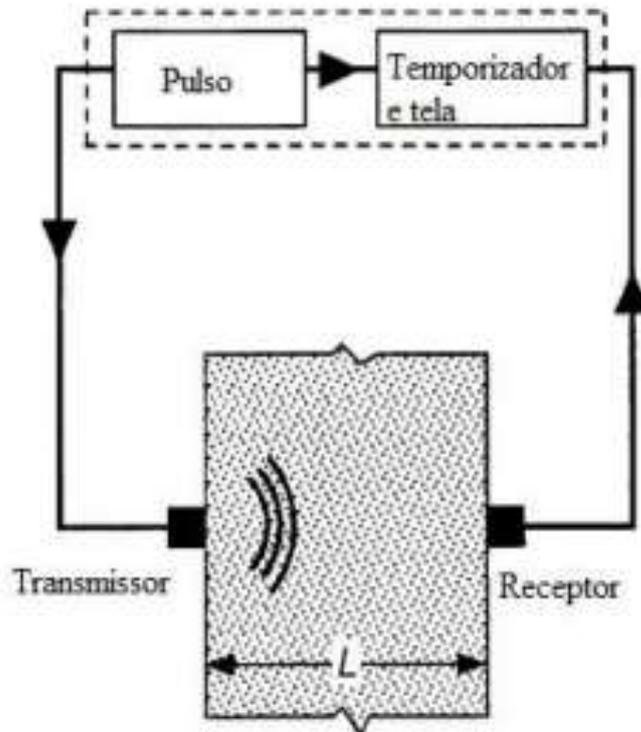


Figura 7 - Esquema de funcionamento do aparelho de ultrassom

Fonte: ACI 228.1R, 2003

Em resumo, o gerador de pulsos excita o transdutor transmissor para que a onda mecânica seja gerada, e ao mesmo tempo aciona o medidor de tempo dando início a contagem. A onda, emitida pelo transdutor transmissor viaja pelo material até chegar ao transdutor receptor que converte o impulso de onda recebido em um estímulo elétrico e repassa ao dispositivo receptor, o qual dá comando ao medidor de tempo para encerrar a contagem. Todo esse processo é bastante rápido, na ordem de microssegundos. O medidor de tempo repassa então a informação para o mostrador de tempo, o qual mostra essa informação no display, e – caso seja informada pelo operador a distância entre os transdutores – também mostra a velocidade de propagação da onda (ALVES, 2017).

O esquema representado na Figura 7 é o mais usual, porém a configuração de transmissão, ou seja, o arranjo dos transdutores pode variar conforme a necessidade, pois em alguns casos não é possível acessar as duas faces do material (ALVES, 2017).

O esquema representado na Figura 8 mostra as possíveis configurações dos transdutores para realizar a medição no material:

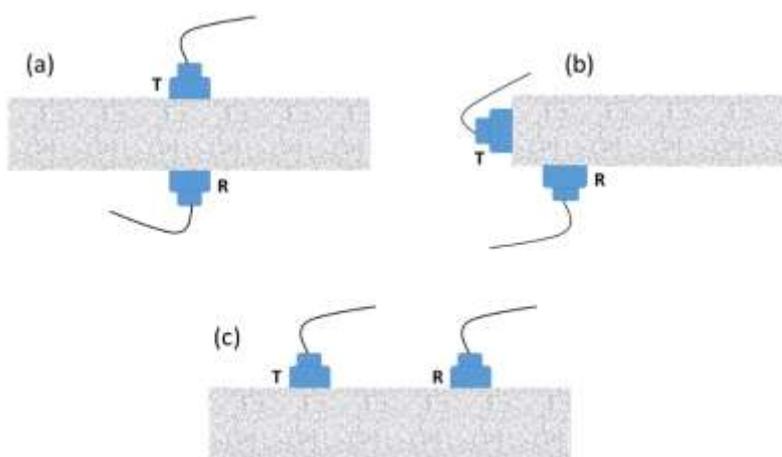


Figura 8 – Arranjo de transdutores

a) Transmissão direta; b) Transmissão indireta; c) Transmissão semidireta

Fonte: Autor

O esquema utilizado na pesquisa, para corpos de prova de concreto, será a configuração de transmissão direta, pois é de melhor utilização para amostras cilíndricas de faces retificadas. Os transdutores são de superfícies lisas e niveladas, com isso será mais usual realizar as medições com o arranjo adequado para a utilização nas duas faces do corpo de prova e para que não venha alterar de forma significativa a medição, apresentando um valor real e não modificado por certa variação de inclinação das faces.

#### **4.11 Umidade no material ensaiado**

Conforme a resolução da ACI 228 (1989), a velocidade da onda ultrassônica, no ensaio utilizando o concreto saturado, pode elevar até 5% em comparação com a amostra seca, mostrando ter sua velocidade mais alta do que no mesmo corpo de prova em condições normais. Embora que essa variação seja menor em concretos de alta resistência, comparando com concretos de baixa resistência.

Sturup, Vecchio, Caratin (1984) elaboraram pesquisas que produziam corpos de provas de argamassa e de concreto em condições úmidas e secas para analisarem os resultados de ensaios de resistência a compressão e velocidade de propagação das ondas ultrassônicas nas próprias amostras. Com isso, verificaram que para as mesmas resistências à compressão, os resultados de velocidade de propagação da onda alteravam entre as amostras em condições úmidas com as secas.

Conforme Silva et al. (2013) já foram realizadas várias pesquisas que comprovam que a umidade no material ensaiado com o ultrassom, apresentam valores maiores do que as mesmas amostras na condição seca. Na pesquisa de Berriman et al. (2004), foram moldadas várias amostras de concreto com relação água/cimento constante e proporções diferentes de agregado graúdo em condições diversas de umidade. De acordo com os resultados analisados da pesquisa, foi constatado que o teor de umidade na amostra apresenta com correlação direta com a velocidade da onda ultrassônica.

Como é possível verificar pela análise dos trabalhos anteriormente citados, o teor de umidade altera a velocidade da onda ultrassônica. Mas fica a dúvida em relação ao quantitativo, como verificar o grau de saturação da peça utilizando o ultrassom. Com base nas pesquisas anteriormente citadas, o teor de umidade apresenta uma correlação direta com o valor de velocidade da onda ultrassônica, com isso a pesquisa procura desvendar essa incógnita de que o ultrassom pode verificar a influência do teor de umidade em qualquer tipo de material, como as argamassas e concretos em geral, tendo como base tal informação o estudo tem por fim determinar a porcentagem na qual o teor de umidade influencia no módulo de elasticidade dinâmico.

### **5. METODOLOGIA**

O traço de concreto é calculado seguindo parâmetros da ABCP- Associação Brasileira de Cimento Portland, utilizando materiais como: agregado graúdo, miúdo, cimento e água. Conseqüentemente utilizando a NBR 5738 para moldar os corpos de prova cilíndricos de concreto utilizando o traço determinado anteriormente com dimensões 10x20 centímetros.

Após os 28 dias de cura imersa, os corpos de prova devem ser retificados para que os transdutores do ultrassom possam realizar uma leitura de VPU correta. Segundo Naik, Malhotra, Popovics (2004), um dos fatores que alteram a velocidade de pulso ultrassônico é o contato irregulares entre os transdutores e superfícies no concreto analisado.

A retificação consiste na remoção, por meios mecânicos, de uma fina camada de material do topo a ser preparado. Esta operação é normalmente executada em máquinas especialmente adaptadas para essa finalidade, com a utilização de ferramentas abrasivas. A retificação deve ser feita de tal forma que se garanta a integridade estrutural das camadas adjacentes à camada removida, e proporcione uma superfície lisa e livre de ondulações e abaulamentos, conforme item 9.4.1.1 da NBR 5738 (ABNT, 2015).

Na sequência, são realizados ensaios para determinar características físicas dos corpos de prova como peso, índice de vazios, massa específica e absorção, seguindo parâmetros da NBR 9778.

Para proceder com os ensaios, as amostras devem ser saturadas conforme explica o item 6.2 da NBR 9778 (ABNT, 2005):

1. A amostra deve ser mantida com 1/3 de seu volume imerso nas primeiras 4 h e 2/3 nas 4 h subsequentes, sendo completamente imerso nas 64 h restantes.
2. Determinar a massa, decorridas 24 h, 48 h e 72 h de imersão. As determinações devem ser efetuadas após enxugar-se a superfície da amostra com toalha absorvente.

Em sequência com os resultados da pesagem da amostra saturada, será realizada a medição utilizando o ultrassom, seguindo parâmetros da NBR 8802, para determinação da velocidade de pulso ultrassônico (VPU) no corpo de prova conforme a Figura 9.



Figura 9 – Ensaio para medição do VPU utilizando o ultrassom.

Fonte: Autor

Depois da primeira medição, foram realizadas outras medições na sequência, mas com diferentes teores de umidade, variando a quantidade de água absorvida em cada corpo de prova, para isso, foi utilizada a estufa no período de 1 hora antes de cada pesagem e continuando com a medição com o ultrassom, conforme Figura 10. Com isso, determinando a velocidade de pulso ultrassônica (VPU) para cada teor de umidade encontrado até haja a última medição com o corpo de prova totalmente seco.



Figura 10 - Procedimento para a determinação da velocidade do pulso ultrassônico nos CP.

Fonte: Autor

Serão geradas 7 medições de velocidade do pulso ultrassônico nos 8 corpos de prova, sendo que em cada medição será alterado o teor de umidade no concreto, com isso determinando 56 resultados de VPU e teores de umidade. Esse processo tem como finalidade gerar uma relação no plano cartesiano entre o VPU e a teor de umidade do corpo de prova, para verificar se há uma relação significativa entre as duas variáveis e conseqüentemente estimar a influência do teor de umidade em medições com o ultrassom nos corpos de prova cilíndricos de concreto.

## 6. CRONOGRAMA

Atividades	Semestre								
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar
Revisão de literatura									
Coleta de dados / experimento									
Análise dos dados									
Redação do Relatório									
Divulgação dos resultados da Pesquisa (em eventos científicos e/ou revistas científicas)									

## RECURSOS

Detalhar os recursos dos quais necessitará para desenvolver a pesquisa. Eles podem ser:

- Aparelho não-destrutivo Ultrassom
- Estufa
- Vaselina para usar como acoplante no Transdutor
- Cimento Portland CP-II-Z-32
- Areia Lavada de Rio
- Brita 0, 1 e 2.
- Corpos-de-prova 40 moldes.
- Balança de Alta precisão para 10 kg.
- Betoneira.
- Jogo de peneira para agregado graúdo.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. L. S. **Proposição de um Método de Caracterização de Alvenarias de Edificações Históricas por Meio de Avaliação Ultrassônica**. 2017. 89 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Estadual do Vale do Acaraú, Sobral, 2017.

AMARAL K. **Influência do teor de umidade relativa do concreto na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas**. Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. Campo Grande, 2018.

ANDREUCCI, R. **Ensaio por ultrassom**. Associação Brasileira de Ensaios Não Destrutivos e Inspeção, 2011.

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. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento**. 2015. NBR 12655. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8802: Concreto endurecido – Determinação de velocidade de propagação de onda ultrassônica**, Rio de Janeiro, 2013.

BUNGEY, J. H. **The testing of concrete in structures**, 2 ed. Surrey University Press. London, 1989.

CARINO, N. J. Nondestructive test methods. In: NAWY, E. G. (Ed.). **Concrete Construction Engineering Handbook**. Boca Raton: CRC Press, 1997.

CHO Y. S. **Non-destructive Testing of High Strength Concrete using Spectral Analysis of Surface Waves**, NDT&E International 36, 2003. pp. 229-235.

HENRIQUES, Fernando M. A. **Humidade em paredes**. 4. ed. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Guidebook on non-destructive testing of concrete structures**. Vienna: IAEA, 2002.

KEWALRAMANI, M. A.; Gupta, R., **Concrete compressive strength prediction using ultrasonic pulse velocity through artificial neural networks**, Automation in Construction, 15, (2006).

LORENZI, A. **Utilização de ultrassom para monitoramento de estruturas de concreto**. Pan American Conference for Nondestructive Testing. Anais... ABENDI, Rio de Janeiro, 2003.

MALHOTRA & CARINO. **Handbook of Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. Boca Ranton, CRC Press, 2004.

NAIK, T. R.; MALHOTRA, V. M.; POPOVICS, J. S. **The ultrasonic pulse velocity method.** In MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on nondestructive testing of concrete. 2. ed. CRC Press, 2004.

OLIVEIRA, M. **Avaliação das causas e consequências das patologias dos sistemas impermeabilizantes – um estudo de caso.** Trabalho de Conclusão de Curso – da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista. 2015. p. 19.

PARISI JONOV, C. M.; NASCIMENTO, N. O.; PAULO E SILVA, A. **Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação.** Ambiente construído, Porto Alegre, 2013.

PEREZ, A. R. **Umidade nas Edificações: recomendações para a prevenção de penetração de água pelas fachadas.** In: Tecnologia de edificações. São Paulo: Ed. Pini, IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, 1988.

POPOVICS, J. S.; SONG, W.; GHANDEHARI, M.; SUBRAMANIAM, K.V.; ACHENBACH, J. D.; SHAH, S. P. (2000), **Application of surface wave transmission measurements for crack depth determination in concrete.** ACI Materials Journal.

SILVA T.; FERREIRA G.; DIAS J.F. **Influência de variáveis nos resultados de ensaios não destrutivos em estruturas de concreto armado.** Jornal Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal, p. 103 – 113, 2013.

STURRUP, V. R.; VECCHIO, F. J.; CARATIN, H. **Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength. In Situ/Nondestructive Testing of Concrete.** American Concrete Institute SP-82, Detroit, p. 201-228, 1984.

VERÇOZA, E. J. **Patologia das Edificações.** Porto Alegre, Editora Sagra, 1991. 172p.