

Simulação de manifestações patológicas em parede diafragma através de propagação de ondas ultrassônicas

R. R. C. Silva^{1*} , C. Bertoldo² 

* Autor de Contato: rodrigorogerioudorador@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.564>

Recepção: 01/11/2021 | Aceitação: 19/02/2022 | Publicação: 01/05/2022

RESUMO

O objetivo dessa pesquisa foi simular manifestações patológicas em parede diafragma através de concretos produzidos com diferentes adições de polímero sintético, propondo obter modelos de predição de resistência e rigidez através de propagação de onda de ultrassom. Foram realizados ensaios de compressão para determinação da resistência e rigidez, assim como ensaios de ultrassom pelo método direto e indireto em concretos produzidos com diferentes concentrações de polímero sintético. Os resultados obtidos indicaram queda nas propriedades mecânicas e acústicas do concreto com o aumento da concentração de polímero sintético em sua confecção. Os modelos gerados pelo ensaio ultrassônico foram estatisticamente significativos, ao nível de confiança em 95%, podendo, as correlações estabelecidas em concreto, serem utilizadas na detecção de manifestações patológicas in loco.

Palavras-chave: parede diafragma; propagação de ondas ultrassônicas; resistência e rigidez.

Citar como: Silva, R. R. C., Bertoldo, C. (2022), "*Simulação de manifestações patológicas em parede diafragma através de propagação de ondas ultrassônicas*", Revista ALCONPAT, 12 (2), pp. 200 – 209, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v12i2.564>

¹ Laboratório de Ensaios Não Destrutivos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas/SP, Brasil.

Contribuição de cada autor

Neste trabalho, Silva, R. R. C., contribuiu com a aquisição de financiamento atividade, metodologia, investigação, preparação do programa experimental das amostras, redação de rascunho e original, Pedrosa, C. B. contribuiu com a conceituação, metodologia, supervisão e análise de dados.

Licença Creative Commons

Copyright (2022) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

Discussões e correções pós-publicação

Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no primeiro número do ano 2023, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do terceiro número do ano de 2022.

Simulation of pathological manifestations in diaphragm wall through ultrasonic wave propagation

ABSTRACT

This research aimed to simulate pathological manifestations in diaphragm wall using concrete produced with different additions of synthetic polymer, in order to obtain models of strength and stiffness prediction through ultrasound wave propagation. Compression tests were performed to determine strength and stiffness, as well as ultrasound tests by direct and indirect method on concrete produced with different concentrations of synthetic polymer. The results suggested a decrease in the mechanical and acoustic properties of concrete with the increase in the concentration of synthetic polymer. The models generated by the ultrasonic test were statistically significant, at 95% confidence level, and the correlations established in concrete can be applied in the detection of pathological manifestations in loco.

Keywords: diaphragm wall; ultrasonic wave propagation; strength and stiffness.

Simulación de manifestaciones patológicas en muro pantalla mediante propagación de pulso ultrasónico

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue simular manifestaciones patológicas en muros pantalla a través de hormigones elaborados con diferentes adiciones de polímero sintético, proponiendo obtener modelos de predicción de resistencia y rigidez a través de la propagación de ondas de ultrasónica. Se realizaron ensayos de compresión para determinar resistencia y rigidez, así como ensayos de ultrasonido por el método directo e indirecto sobre hormigones producidos con diferentes concentraciones de polímero sintético. Los resultados obtenidos indicaron una disminución de las propiedades mecánicas y acústicas del hormigón con el aumento de la concentración de polímero sintético en su confección. Los modelos generados por la prueba ultrasónica fueron estadísticamente significativos, con un nivel de confianza del 95%, y las correlaciones establecidas en concreto pueden ser utilizadas en la detección de manifestaciones patológicas in loco.

Palabras clave: muros pantalla; propagación de pulso ultrasónico; fuerza y rigidez.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

Com o grande crescimento das construções civis nas últimas décadas, vem se estudando maneiras de facilitar a execução de grandes obras que encontram dificuldades devido à instabilidade dos solos em que estão situadas. Segundo Hachich et al. (2019) uma das alternativas para auxiliar na escavação dos solos, é a utilização de sistema de contenção com parede diafragma, que consiste em trincheiras abertas no terreno preenchidas com concreto armado, mantidas estáveis através do sintético da utilização de fluidos poliméricos ou lama bentonítica.

A utilização de polímero sintético em escavações, apresenta grandes vantagens em relação às formas tradicionais de estabilização dos solos, como por exemplo na utilização da bentonita. Segundo Mota (2010), podemos citar como vantagem o aspecto econômico, a utilização dos polímeros apesar de apresentarem um custo mais elevado, na aquisição por metros cúbicos, em comparação com a aquisição da lama bentonítica, seu uso em termos de quantidade é menor, ou seja, utiliza-se menos para se obter rendimentos melhores do que as formas tradicionais. De acordo com Mota (2010), podemos citar o fator ambiental em questão, o emprego de polímeros como estabilizantes em escavações não gera bioacumulações para o meio ambiente devido a alguns fatores como, alta solubilidade, sensibilidade química e ações de raios ultravioletas que acabam fragmentando suas cadeias poliméricas e não gerando acúmulos (Mota 2010).

Estudos realizados por Mota (2010) constataram que o polímero sintético altamente concentrado, pode ser utilizado especificamente para interagir quimicamente com todos os tipos de solo, como base de sua estabilização. A sua estrutura molecular permite-lhe ser completamente solúvel na água, sem alterar a sua função primária de ligação química ativa na estabilização das partículas de solo.

A utilização deste polímero durante as escavações deve seguir as recomendações da ABNT-NBR 6122 (2019), com concreto de densidade entre 2,1 á 2,8 g/cm³ e consumo mínimo de cimento de 400 kg/m³, e fluido estabilizante como polímero com pH da água entre 9 e 12, densidade 1,005 g/cm³ a 1,10 g/cm³ e teor de areia até 4,5%. Segundo Djelal et al. (2020) uma das patologias decorrentes da parede diafragma está relacionada a mistura do fluido polímero durante a concretagem, aumentando a infiltração das águas subterrâneas do maciço de solo após a execução dos painéis, comprometendo a capacidade do concreto de receber esforços.

Uma das dificuldades é o controle das paredes diafragma *in loco*, para verificar se a qualidade do concreto não foi comprometida através da mistura com o polímero sintético. Segundo Silva (2020) um dos ensaios utilizados que não causam danos ao sistema de contenção de concreto, são os não destrutivos, como o ensaio de ultrassom. Estudos realizados por Savaliya et al. (2014), através de ensaio de ultrassom em estruturas de concreto, demonstram que o método é preciso para a detecção de patologias, com sensibilidade para detectar os defeitos e permitir melhor localização do mesmo após ter sido detectado.

Tendo em vista o que foi apresentado, nesse projeto foi empregado ensaios não-destrutivos de propagação de ondas ultrassônicas, de forma direta e indireta, simulando inspeção *in loco*, com o intuito de verificar sua sensibilidade na previsão das propriedades mecânicas (resistência e rigidez) e física (absorção de água) de concretos confeccionados com diferentes concentrações de polímero sintético.

Diante dos aspectos mencionados, o objetivo da presente pesquisa foi simular manifestações patológicas em parede diafragma com diferentes adições de polímero sintético junto ao concreto, propondo modelos de predição de resistência e rigidez obtidos em ensaios de propagação de ondas de ultrassom, para avaliação deste sistema de contenção *in loco*.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para a pesquisa foram confeccionados concretos com proporções de cimento tipo CPII-F com especificações segundo ABNT-NBR 11578 (1997), areia média e brita 01 (1:1,8:2,5), sendo o cimento medido em massa, os agregados em volume e relação água-cimento de 0,6, conforme especificado o traço para estruturas de concreto do tipo parede diafragma (ABNT- NBR 6122, 2019). Considerando o traço padrão foi adicionado, em relação à massa de cimento, diferentes porcentagens de polímero sintético 0%, 20%, 40% e 60%, do tipo aniônico granulado, e alto peso molecular > 21 milhões e de cadeias longas utilizado para floculação (Figura 1a). A caracterização dos agregados foi realizada segundo as recomendações das normas para agregado miúdo NBR (NM 248, 2003; NM 52, 2009; NM 45, 2006) e agregado graúdo NBR (NM 248, 2003, NM 53, 2003, NM 45, 2006). As amostras foram submetidas aos 28 dias, ao ensaio de absorção por imersão, conforme especificações da ABNT-NBR 9778 (2015).

De acordo com a Tabela 1 a caracterização dos agregados, encontra-se dentro dos limites de aceitabilidade, de acordo à ABNT - NBR 7211 (2009).

Tabela 1. Resultados da caracterização física dos agregados miúdos e graúdos.

Agregado	Massa específica (kg/m ³)	Massa unitária (kg/m ³)	Diâmetro máximo (mm)	Módulo de finura
Granito	2650	1500	25	6,75
Areia	2590	1310	4,8	1,89

A adição do polímero sintético apresentou comportamento similar gerado pela adição de água ao concreto, quando avaliamos a trabalhabilidade (valores de Slump Test) e a densidade, ou seja, o aumento das adições de polímero ocasionou aumento na trabalhabilidade e redução na densidade (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de *Slump Test* e de densidade média dos concretos produzidos com diferentes adições de polímero sintético.

Adições	Slump Test (mm)	Densidade média (kg.m ⁻³)
0%	180	2223
20%	210	2097
40%	250	1934
60%	260	1900

Após os ensaios de slump test, para cada traço foram moldados 12 corpos de prova cilíndricos (100 mm de diâmetro e 200 mm de comprimento) e 1 corpo de prova prismático (400 x 400 x 300 mm³) simulando parte de uma parede diafragma após a execução, totalizando 48 corpos de prova cilíndricos e 4 prismáticos. As amostras cilíndricas foram ensaiadas por ultrassom, aos 28 dias, pelo método direto de propagação de ondas (Figura 1b) e as prismáticas pelo método indireto (Figura 1c), representando a avaliação de inspeção *in loco*.

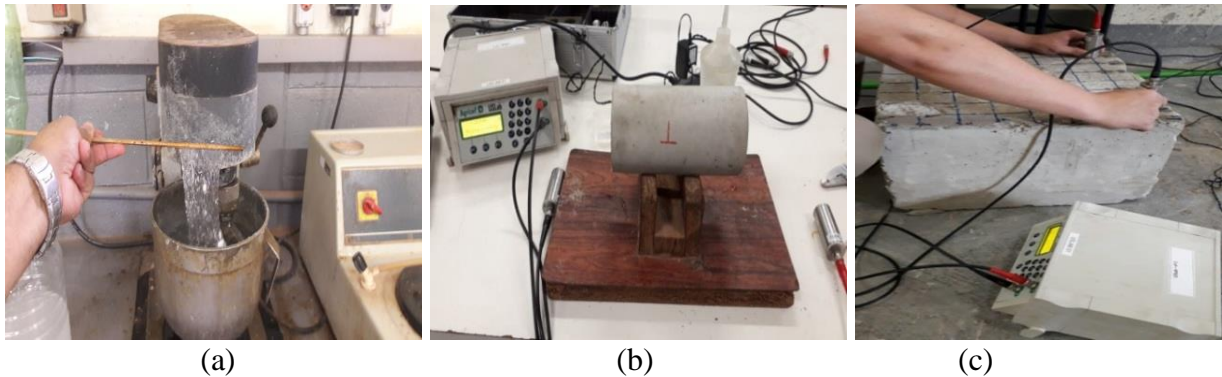


Figura 1. (a) Polímero sintético, (b) amostras cilíndricas submetidas ao ensaio direto de ultrassom (c) amostras prismáticas submetidas ao ensaio indireto de ultrassom. Fonte: autores (2021).

Para os ensaios foram utilizados equipamento de ultrassom (USLAB, Agricef, Brasil) e transdutores longitudinais de faces planas de 45 KHz de frequência. De posse dos tempos de propagação das ondas (t) de ultrassom foi possível calcular, para cada distância entre transdutores (L), a velocidade direta de propagação das ondas de ultrassom (V_D), através da equação proposta pela ABNT NBR 8802 (2019), conforme equação (1).

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Após 28 dias, também foi determinada a massa de cada corpo de prova através de balança de precisão, e com auxílio de paquímetro digital foi obtida suas dimensões para cálculo do volume e posteriormente da densidade. Da posse da velocidade direta e da densidade do concreto (ρ) foi determinado o coeficiente de rigidez (2).

$$C_{LL} = \rho \cdot V_D^2 \quad (2)$$

As amostras prismáticas, que representam a avaliação da viabilidade de inspeção de uma parede diafragma após a instalação utilizando o método indireto de propagação de ondas, foram ensaiadas seguindo metodologia de cálculo proposto pela norma ABNT-NBR 8802 (2019). A norma brasileira propõe uma forma de cálculo da velocidade de propagação ultrassônica pelo modo de transmissão indireta (V_I), cujo procedimento consiste em calcular a velocidade por meio de um gráfico de tempo de propagação versus distância entre transdutores Figura (2).

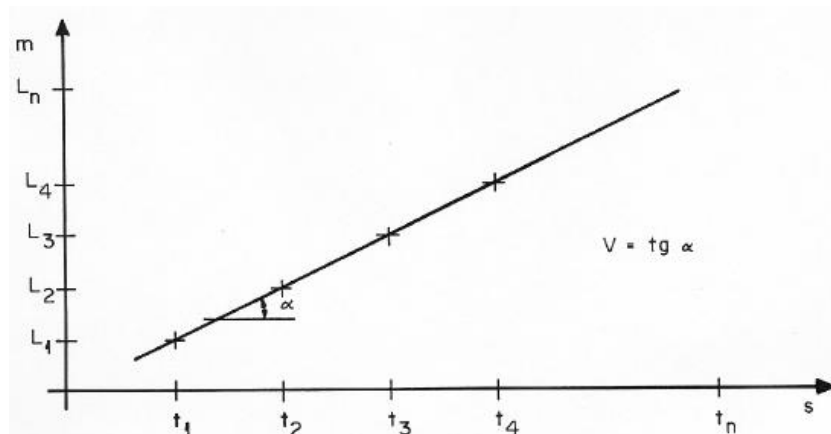


Figura 2. Determinação da velocidade de propagação de ondas de ultrassom pelo método indireto. Fonte: ABNT-NBR 8802 (2019).

Os corpos de provas foram então submetidos à ensaio de compressão instrumentada em máquina de ensaio (EMIC) para determinação da resistência (f_c - ABNT-NBR 5739, 2018) e do módulo de elasticidade (E_{ci} - ABNT-NBR 8522, 2017). Os resultados dos ensaios foram utilizados na geração de modelos de predição das propriedades mecânicas a partir das velocidades de propagação de ondas de ultrassom.

De posse dos resultados de f_c e E_{ci} e dos parâmetros de propagação de ondas de ultrassom velocidade (V_D), (V_I) e (C_{LL}), foram analisadas regressões para verificar a existência de modelos estatisticamente significativos entre as propriedades mecânicas e as propriedades acústicas, obtidas por meio dos ensaios de propagação de ondas de ultrassom.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As propriedades mecânicas (f_c e E_{ci}) e acústicas (C_{LL} , V_D e V_I) do concreto também reduziram a medida que as adições de polímeros aumentaram, fato ocasionado pelo aumento da porosidade (quantidade de vazios) do concreto, a tabela (3), informa os ensaios realizados nas 12 amostras de concreto para cada traço realizado.

Tabela 3. Valores mínimos, máximos e médios de resistência (f_c), elasticidade (E_{ci}), Coeficiente de rigidez (C_{LL}) velocidade direta (V_D) e indireta (V_I) para os traços produzidos com diferentes adições de polímero.

Adição	f_c (MPa)	E_{ci} (GPa)	C_{LL} (GPa)	V_D (m.s ⁻¹)	V_I (m.s ⁻¹)
	Min. Max. Média	Min. Max. Média	Min. Max. Média	Min. Max. Média	Min. Max. Média
0%	16,9 20,5 17,41	19,58 27,80 23,28	27,23 34,38 30,16	3485 3885 3680	2437 2855 2639
20%	8,32 9,6 8,80	11,44 16,13 13,10	19,87 22,42 21,26	3095 3230 3185	2421 2628 2520
40%	5,53 6,78 6,17	5,80 9,85 7,48	9,81 17,29 13,14	2386 2788 2615	1886 2518 2127
60%	4,13 4,96 4,60	2,03 3,13 2,95	7,88 15,69 12,83	2040 2858 2528	804 1085 935

Para evitar a dispersão utilizou-se as médias dos resultados dos parâmetros de resistência, rigidez e acústicos para as análises estatísticas. Os modelos de regressão lineares avaliados via análise de variância (ANOVA), foram estatisticamente significativas ao nível de confiança de 95% com (P-valor < 0,05), sendo que os melhores modelos de previsão das propriedades de resistência (f_c) e de rigidez (E_{ci}) do concreto foram obtidos a partir do coeficiente de rigidez (C_{LL}) (Tabela 4).

Os modelos encontrados seguem dentro das faixas de coeficientes de determinação encontrados na literatura entre ensaios mecânicos e propagação de ondas. Para a predição de f_c os coeficientes de determinação (R^2) nos estudos realizados por Mohamad *et al.*, (2016), Silva *et al.* (2020), variaram entre 60 e 98% e, para E_{ci} entre 50 e 96%, (Giacon *et al.*, 2010; Mohamed *et al.*, 2016 e Silva *et al.*, 2020). Correlações entre os parâmetros de rigidez (C_{LL}) e as propriedades mecânicas de resistência (f_c) e de módulo de elasticidade (E_{ci}) obtidos em ensaios de ultrassom e de compressão, respectivamente, foram encontrados por Giaccon *et al.*, 2010 e Silva (2020), com modelos lineares e valores de R^2 na faixa de 85% a 97% para E_{ci} e de 79% a 95% para f_c .

Valores de erro absoluto da resistência e do módulo de elasticidade do concreto variam de 25% a 50% quando baseados em modelos com parâmetros de propagação de ondas (Bungey e Millard;

2006). Nessa pesquisa os erros absolutos encontrados (9,70% a 20% - Tabela 4), estão abaixo dos encontrados na literatura, indicando que os modelos de predição da resistência e da rigidez são válidos na avaliação da qualidade de concretos utilizados em paredes diagrama, utilizando parâmetros de acústicos de propagação de ondas.

Tabela 4. Modelos de correlação entre parâmetros de velocidade direta (V_D), velocidade indireta (V_I) e coeficiente de rigidez (C_{LL}) com a resistência a compressão (f_c) e o Módulo de Elasticidade inicial (E_{ci}).

Parâmetro	Modelo	P-Valor	R ² (%)	Erro de estimativa	Erro absoluto* (%)
$f_c \times V_D$	$f_c = -20,34 + 0,0098 * V_D$	0,03	92,81	1,70	18,40
$f_c \times V_I$	$f_c = -5,25 + 0,0068 * V_I$	0,04	81,65	1,87	20,30
$f_c \times C_{LL}$	$f_c = -3,96 + 0,68 * C_{LL}$	0,025	97,46	1,57	9,70
$E_{ci} \times V_D$	$E_{ci} = -35,13 + 0,015 * V_D$	0,01	96,91	1,83	18,90
$E_{ci} \times V_I$	$E_{ci} = -11,68 + 0,012 * V_I$	0,04	89,00	1,90	20,60
$E_{ci} \times C_{LL}$	$E_{ci} = -8,56 + 1,05 * C_{LL}$	0,020	97,97	2,14	12,37

*relação entre o erro estimado e o valor médio.

Na Tabela 5, são apresentados os resultados obtidos de absorção por imersão e a velocidade longitudinal das amostras ensaiadas após a saturação. Através dos resultados obtidos, nota-se que a adição de polímero sintético aumentou a absorção de água (Tabela 5), deixando maiores quantidades de vazios (poros) após o processo de secagem. Isso ocorre devido a liberação da água de cura interna, que leva ao desinchamento das partículas de polímero, ocasionando mudanças na estrutura porosa dos materiais cimentícios (Araújo e May, 2019).

Tabela 5. Valores de absorção por imersão e velocidade direta média (V_D), para os traços produzidos com diferentes adições de polímero sintético.

Amostra	Absorção (%)	V_D (m.s ⁻¹)
0%	12,0	3087
20%	12,4	2777
40%	17,3	2291
60%	18,4	1846

Devido a alteração na quantidade absorvida de água, nota-se alterações nas propriedades acústicas (Tabelas 3 e 5), observa-se que as velocidades de propagação do som diminuem conforme se aumenta a quantidade de polímero utilizado, os poros vazios existentes no concreto seco representam um fator significativo na transmissão das ondas sonoras, uma vez que a velocidade de pulso ultrassônico é menor no ar do que no sólido (Godinho, *et al.*, 2020), com isso, é explicado o fato do polímero aumentar a quantidade de poros, reduzindo a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas nos corpos de prova.

A regressão entre a velocidade de ultrassom e a absorção apresentou modelo com R² de 92% (Figura 3) e P-Valor de 0,04, menor que 0,05, demonstrando existir uma relação estatisticamente significativa entre os parâmetros, com nível de confiança de 95,0%, obtidos pela análise estatística ANOVA. Os resultados obtidos indicam que a técnica de propagação de ondas é sensível ao aumento do ter de água dentro das amostras de concreto, ocasionado pelo aumento da porosidade

após a secagem do polímero sintético dentro da matriz cimentícia, diminuindo sua velocidade de ultrassom. Dessa maneira, o concreto terá um aumento de vazios (poros) e está sujeito a maiores absorções de água e menores densidade e propriedades mecânicas. A água atua como o principal transportador do meio erosivo nos concretos, portanto o seu desempenho, enquanto barreira para diminuição do transporte de agentes potencialmente causadores de corrosão das armaduras, está relacionado com a sua porosidade (Dudhal, 2016; Liu *et al.*, 2020; Matiko, 2000).

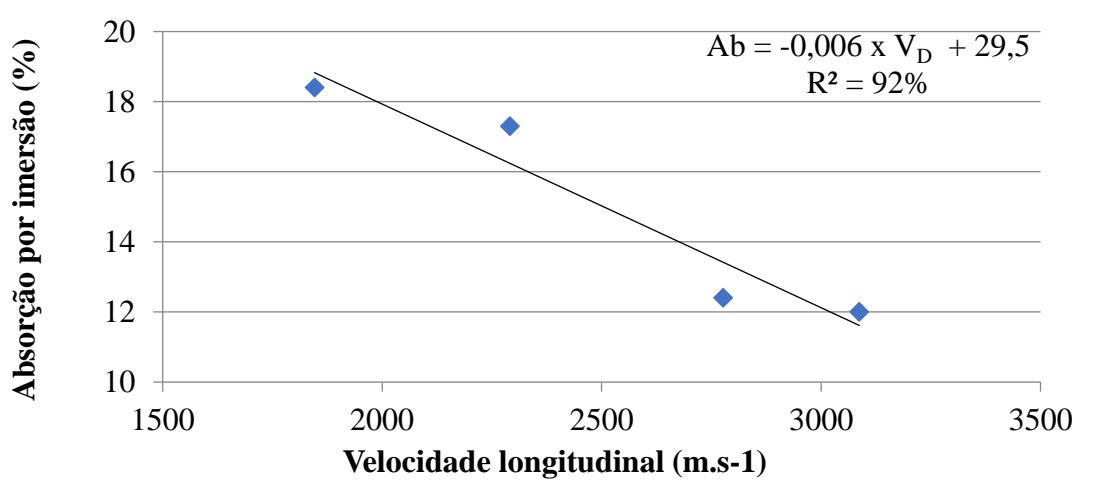


Figura 3. Modelo de regressão entre absorção por imersão e velocidade longitudinal.
Fonte: Autores (2021).

O polímero se agrega e forma um filme na superfície das partículas de cimento durante o progresso da hidratação, evitando contato adicional entre cimento e água, aumentando a porosidade da matriz cimentícia afetando, assim, a resistência à compressão e módulo de elasticidade de concretos aditivado com polímero (Liu *et al.*, 2020).

A presente pesquisa corrobora com os dados encontrados na literatura, os valores apresentados na Tabela 3, demonstram que ocorreu uma redução de 26% para os valores médios de f_c e de 13% para os valores médios de E_{ci} , após um aumento da absorção em 18% para as amostras de concreto com adição de 60% de polímero sintético, em relação às amostras sem adição, conforme especificado (Tabela 5).

Os modelos obtidos podem ser utilizados como solução de ensaio não destrutivo para estimar propriedades mecânicas e físicas, como absorção de água, em amostras e estruturas de parede diafragma, verificando a infiltração das águas subterrâneas do maciço de solo após a execução dos painéis, fato que poderá comprometer a capacidade do concreto de receber esforços.

4. CONCLUSÕES

O aumento nas concentrações de polímero sintético, utilizados nos diferentes traços de concreto aumentou a sua trabalhabilidade, reduzindo sua densidade e suas propriedades mecânicas (f_c e E_{ci}) e acústicas do material (V_D , V_I e C_{LL}).

Os modelos de predição das propriedades mecânicas por meio de velocidades de ultrassom foram estatisticamente significativos, apresentando coeficientes de determinação superiores a 80% e erros inferiores aos encontrados em literatura.

Desta forma, fica demonstrada a sensibilidade do ensaio de propagação de ondas ultrassônicas de forma direta ou indireta, quando aplicadas nos concretos com propriedades físicas e mecânicas semelhantes aos utilizados nesta pesquisa, podendo, as correlações aqui estabelecidas em amostras de concreto, serem utilizadas no auxílio da detecção de manifestações patológicas in loco.

Além disso, nota-se que o aumento do teor de polímero sintético na confecção do concreto interfere diretamente na quantidade de absorção de água e, conseqüentemente, nas propriedades acústicas do material.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) de São Paulo pelo financiamento dos diversos projetos do grupo de pesquisa, que viabilizou as instalações e infraestrutura utilizadas nesta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). *NBR 11578: Cimento Portland Composto*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2003). *NBR NM 248: Agregados: Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2006). *NBR NM 45: Agregados: Determinação da massa unitária e do volume de vazios*. Rio de Janeiro. 2006.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR NM 52: Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio de frasco Chapman*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1998). *NBR NM 67: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – Índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). *NBR 7211: Agregados para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 5738: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2018) *NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2017). *NBR 8522: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). *NBR 8802: Concreto Endurecido – Determinação da velocidade de propagação da onda ultra-sônica*. Rio de Janeiro.
- Araújo, C. M. M, May, C. A. (2019). *Durabilidade de concretos de alta resistência com adição de polímero superabsorvente e nano partículas de sílica*. Monografia de projeto final em engenharia civil; Brasília; p. 124.
- Bungey J., Millard, S. (2006). *Testing of concrete in structures*. 3 ed. London: Blackie Academic e Professional.
- Djelal, C., Vanhove, Y., Azzi, A., Madec, O. (2020). *Recommendation for concrete mix design to prevent bleed channels on diaphragm walls*. European Journal of Environmental and Civil Engineering, p.1-13.
- Giacon Jr, M., Goncalves, R., Soriano, J., Amalfi, G. (2010). *Caracterização do concreto utilizando ultrassom*. In: XXVIII CONAENDI - Congresso de Ensaio Não Destrutivos e Inspeção, Santos - SP. Anais CONAENDI 2010. v. 1. p. 1-9.

- Godinho, J. P., Junior, T. F. S; Medeiros, M. H. F; Silva, M. S. A. (2020). *Factors influencing ultrasonic pulse velocity in concrete*: 13. ed. Curitiba: Revista Ibracon de Estruturas e Materiais.
- Hachich, W. et al. (2019). *Fundações: Teoria e Prática*. 2ª ed. São Paulo, Pini.
- Liu, B., Shi, J., Sun, M., He, Z., Xu, H., Tan, J. (2020). *Mechanical and permeability properties of polymer-modified concrete using hydrophobic agent*. Journal of Building Engineering, v. 31, p. 101337. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101337>.
- Matiko, N. N. S. (2000). *Análise da porosidade e de propriedades de transporte de massa em concretos*. FAPESP.
- Mohammed, T. U., Rahman, M. N. (2016). *Effect of types of aggregate and sand-to-aggregate volume ratio on UPV in concrete*. Construction and Building Materials, v. 125, p. 832-841. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.102>.
- Savaliya, K. D., Thaker, K. K., Dave, U. V. (2014). *Comparison between Different Methods of Ultrasonic Pulse Velocity Tests on Concrete*. International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), (March), p. 41–44.
- Silva, R. R. C. (2020). *Propagação de ondas de ultrassom em sistemas de contenção par obras de terra*. Tese de Doutorado. UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas. p.113.
- Silva, R. R. C., Gonçalves, R., Bertoldo, C. P. (2020). *Classification and inspection of reinforced concrete elements for use in retaining walls using ultrasound tests*. Construction and Building Materials, v. 262, p. 120010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120010>.
- Hirde, S. K., Dudhal, Omprakash S. (2016). *Review on polymer modified concrete and its application to concrete structures*. International Journal of Engineering Research, ISSN, v. 3. P.766-769. <https://doi.org/10.17950/ijer/v5i3/053>.