ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ARMADURA LONGITUDINAL NA LEITURA DO ULTRASSOM EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Campos, H. F.[1], Marques, J. L. S.[2], Pescarolo, A[3], Medeiros, M. H. de F.[4]

[1]Universidade Federal do Paraná, Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, e-mail: helo_camposs@hotmail.com
[2]Universidade Federal do Paraná,Mestrando do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, e-mail: jose.marques@rdr.srv.br
[3]Universidade Federal do Paraná, Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil, e-mail: alinepesca@hotmail.com
[4]Universidade Federal do Paraná, Professor do departamento de Construção Civil, e-mail: medeiros.ufpr@gmail.com

RESUMO

O ultrassom é um ensaio não destrutivo que permite a estimativa de diversas características do concreto a partir da análise dos elementos estruturais ao longo de sua altura e espessura. O método baseia-se na teoria que a velocidade de propagação das ondas é influenciada pela densidade e propriedades elásticas do material. Entre os fatores que influenciam na leitura da velocidade de propagação do pulso ultrassônico, destacam-se a distância do transdutor à armadura e o diâmetro das mesmas. Assim, o objetivo do trabalho foi avaliar qual influência a armadura longitudinal gera na leitura do ultrassom a partir de medidas com distâncias crescentes em relação ao eixo das barras e como o diâmetro da armadura influencia na leitura. O programa experimental demonstrou que a leitura do ultrassom é influenciada pela armadura. Essa constatação é confirmada com a observação de que as leituras nos protótipos com armadura variam significativamente menos em relação à média do que aquelas no protótipo sem armadura. As maiores velocidades foram observadas na região onde se encontravam as armaduras, e que essa influência diminui conforme o eixo dos transdutores se afasta do eixo das armaduras.

Palavras chave: Ensaio não destrutivo, Ultra-som, Armadura Longitudinal.

ABSTRACT

The ultrasound technique is a non-destructive test to estimate characteristics of the concrete from the analysis of structural elements along its height and thickness. The method is based on the theory that the speed of propagation of the wave is influenced by the density and elastic properties of thematerial. Among the factors which could influence the reading of the speed of propagation of the ultrasonic pulse, the distance from the transducer to the-rebar and its diameter is on of them, since the bars parallel to the direction of reading steel might influence the readings. The objective of this study was to evaluate the influence in ultrasound results generated by the longitudinal reinforcement with increasing distances from the axis of the bars and also to evaluate whether the diameter of the reinforcement influences in reading. The experimental program demonstrated that the reading is influenced by the ultrasound equipment. This conclusion is confirmed by the observation that the readings in the prototypes with less rebars vary significantly from the average than those in the prototype without any reinforcement. The highest velocities were observed in the region where there were reinforcement, and its influence decreases as the transducer axis moves away from the axis of the reinforcement.

Keywords: Non-Destructive Testing , Ultrasound , Reinforcement of concrete.

1. INTRODUÇÃO

A incorporação dos ensaios não destrutivos, ENDs, na inspeção de estruturas de concreto armado, pode ser aplicada no controle de qualidade durante o processo construtivo de novas obras, ou como auxílio na avaliação do estado de degradação e na estimativa de vida útil remanescente em obras existentes. Além disso, os ENDs podem ser utilizados nas avaliações sistêmicas de garantia da qualidade para a vida útil projetada (CARVALHO et al., 2013).

Um ENDs notável é o ultrassom, pois permite verificar a homogeneidade da mistura, espessura das peças, presença de fissuras, presença de processos de corrosão ou reação álcali agregado, bem como, estimar diversas características do concreto (IRRIGARAY, 2012; NBR 8802). Além disso, o método está sendo amplamente usado pela facilidade tanto de aplicação como de leitura, além de ter um baixo custo (MALLAPUDI *et al.*, 2013).

O ensaio de ultrassom é normatizado pela ASTM C 597-97 e pela NBR 8802:1994, que foi atualizada em 2013. Várias outras normas internacionais abordam o tema como a RILEM/NDT 1972, DIN/ISO 8047, DIN/ISO 1048, GOST 17624-87, STN 731371, CSN 731371, 3318 94, BS EM 12504-4 (FERREIRA (2011); KOMLOS E POPOVICS (1995); BUNGEY et al (2006). De acordo com a NBR 8802, a onda ultrassônica é uma vibração ou distúrbio que percorre o interior do material causando excitação de suas partículas. Quando ondas são aplicadas em sólidos, suas partículas sofrem uma perturbação, surgindo esforços que procuram estabilizar o sistema. Essa troca de energia cinética por potencial gera ondas de tensões no sólido (PERLIN, 2011).

O ensaio consiste na avaliação da velocidade de propagação de pulsos ultrassônicos, o aparelho registra o tempo que o pulso pela de um ponto a outro. Com o tempo fornecido e a distância entre os pontos fornecidos calcula-se a velocidade (SAHUINCO, 2011; PERLIN, 2011). Conforme Ferrari e Padaratz (2003), o principio de funcionamento do equipamento é mediante um circuito eletrônico capaz de gerar os pulsos, que são transformados em ondas ultrassônicas transmitidas para o concreto e recebidas pelo transdutor receptor, sendo então amplificadas e transformadas em pulsos elétricos novamente para medir o tempo de propagação, conforme mostrado na Figura 1.

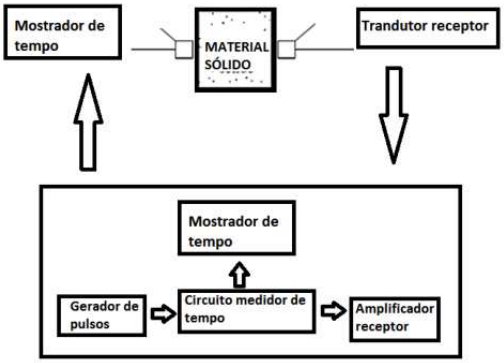


Figura 1: Esquema de funcionamento do ultrassom.
Fonte: Naik e Malhotra (1991) apud Meneghetti (1999)

Segundo RILEM (1972) apud Andrade (2007), os pulsos gerados, para análise de estruturas de concreto devem ter frequência entre 20 e 200 khz. Já para Metha e Monteiro (2008) e Bungey et al (2006) as frequências de pulsos devem estar na faixa de 20 khz a 150 khz. A NBR 8802 apenas cita que a frequência de vibração de ondas devem ser maiores que 20 khz.

A velocidade de pulso no concreto pode variar de 3500 m/s a 4800 m/s (BUNGEY *et al.*,2006; ANDRADE, 2007; NAIK *et al., 2004.* Porém, a presença de armaduras no concreto pode alterar a velocidade de pulso. Essa constatação se deve principalmente a dois fatores, primeiramente a velocidade de pulso no aço que, de acordo com Bungey et al (2006), é da ordem de 5900 m/s e pela condição de ligação entre o aço e concreto. Segundo Naik et al (2004) além da presença de armaduras deve-se levar em consideração os diâmetros das mesmas.

Medeiros (2007) afirma que quando a relação a/L, ver Figura 2, é maior que 25% o efeito das barras pode ser desconsiderado, não sendo necessário nenhuma correção. Já Bungey et al (2006) colocam que para concretos de alta qualidade relações a/L maiores que 0,15 já não tem a velocidade de pulso influenciada pela armadura, em contra partida, para um concreto de baixa qualidade essa relação aumenta para 0,25. O ACI 228.1R-3 a presença de armadura pode aumentar a velocidade de pulso de ultrassom em até 40% (ANDRADE, 2007). Corroborando com o assunto, Popovics e Popovics (1997) comentam que todas as normas europeias fazem menção à influência das barras longitudinais.

Além da presença de armadura fatores internos e externos também podem influenciar na leitura. Externos como condição da superfície de leitura, calibração do equipamento e procedimento de ensaio e internos como dosagem do concreto, tipo de agregado, condições se superfície, umidade, presença de fissuras dentre outros (FERREIRA, 2011)

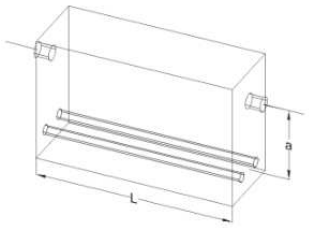


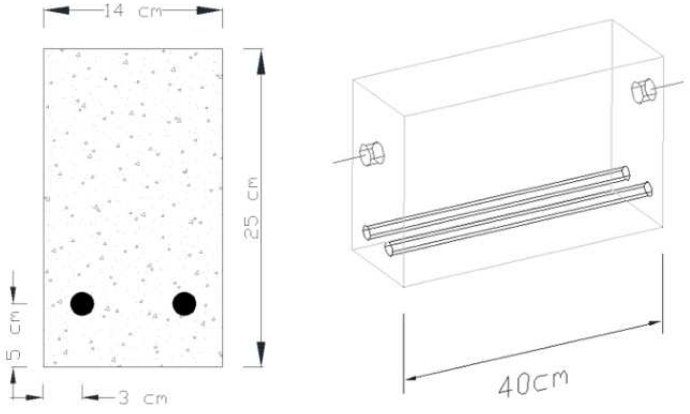
Figura 2: Relações para cálculo da influência da armadura

Fonte: Os autores

O presente artigo busca avaliar qual influência a armadura longitudinal gera na leitura do ultrassom. A avaliação foi feita através de leituras com distâncias crescentes a partir do eixo das barras, a fim de verificar qual deve ser a distância mínima entre os transdutores e a armadura longitudinal de modo que não haja interferência ou que essa seja mínima nos resultados. Além dessa análise, o presente trabalho também tem por objetivo verificar como o diâmetro da armadura influencia a leitura.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para analisar a influência da armadura na leitura do ultrassom foi empregada uma viga padrão com suas dimensões apresentadas nas Figuras 3a e 3b. O cobrimento e disposição das armaduras seguem recomendações da NBR 6118/2007, considerando a cidade de Curitiba como localidade onde o protótipo estará inserido. Sendo assim, segundo a mesma norma, em um ambiente urbano a agressividade é moderada. Foi considerada Classe II de agressividade, e para tal a norma determina como cobrimento mínimo de 30 milímetros, para vigas.



(a) (b)

Figura 3: (a) Seção transversal adotada
(b) Representação tridimensional da viga protótipo e representação do posicionamento dos transdutores
Fonte: Os autores

O objetivo foi estudar a influência da presença de armaduras longitudinais nas leituras de ultrassom em uma viga de concreto armado. Neste sentido, pode-se dizer que a variável de resposta foi a velocidade de pulso de ultrassom e as variáveis de estudo foram:

1 - Distância dos transdutores do aparelho do ultrassom até a armadura transversal (4 posições, a 5, 10, 15 e 20 cm a partir da base);

2 - Bitola das armaduras (4 variações: sem armadura e com os diâmetros de 6,3 mm, 12,5 mm e 20 mm).

2.1 Materias

O ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas (LAME) do Departamento de Construção Civil, localizado no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. O equipamento de ultrassom utilizado foi o Portátil Digital (PUNDIT LAB) da marca Proceq com transdutores de frequência 250 khz.

Os corpos de prova para a execução do ensaio foram quatro vigas de concreto, sendo uma para cada caso. Uma sem armadura e outras três com, duas barras de aço cada, de diâmetros de 6,3 mm, 12,5 mm e 20 mm. Os protótipos foram desmoldadas com 27 dias de idade. A cura foi realizada ao ar. Ressalta-se que com 24 horas foi colocada uma fina camada de água sobre a face superior do corpo de prova, sendo esta a única face aparente. A composição do concreto utilizado está apresentada na Tabela 1, sendo o traço usado 1:a:p igual a 1:3,5:3,8.

Tabela 1: Dosagem e composição do concreto utilizado

CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO		UNIDADE
Fck	30	MPa
Tipo	Bombeável	-
Brita	1	-
Slump	14±	-
Cimento	272	Kg
Areia fina	471	Kg
Areia artificial	471	Kg
Brita 1	1025	Kg
Água	179	Kg
Aditivo Polifuncional	0,9	%

Fonte: Os autores

A execução dos corpos de prova está apresentada na Figura 4, o posicionamento da armadura foi feito com a utilização de cadeirinhas de 5 cm de altura e espaçadores de 3 cm. A vibração foi executada manualmente com o auxílio de martelo de borracha, devido ao tamanho dos moldes.

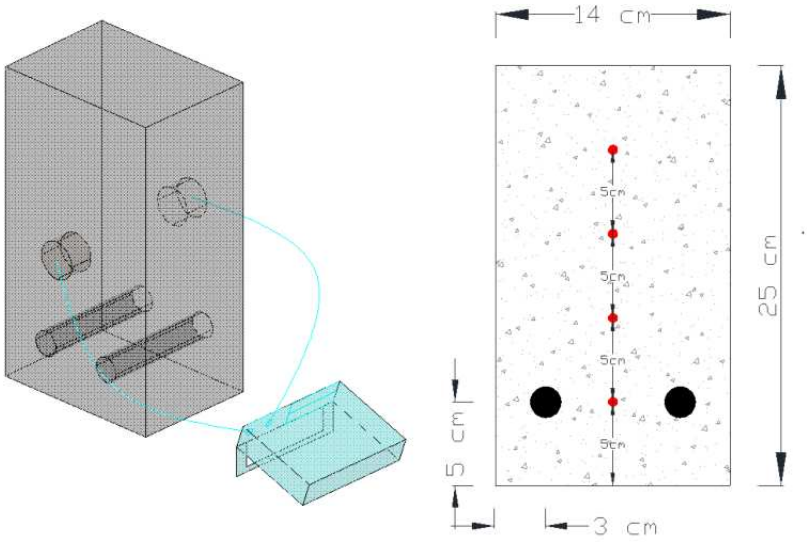


Figura 4: Execução dos corpos de prova.
Fonte: Os autores

2.2 Métodos

As leituras foram realizadas aos 28 dias para que o concreto atingisse sua resistência de projeto. Foram utilizados transdutores de 250 khz com 2 centímetros de diâmetros. O acoplante utilizado foi a pasta padrão do aparelho Proceq, acessório do PUNDIT LAB. O método de leitura foi o de transmissão direta, como mostrado na Figura 5a e as distâncias dos transdutores até as barras são apresentadas na Figura 5b, onde os pontos assinalados em vermelho são os locais onde o eixo dos transdutores foi

posicionado. Foram realizadas três leituras por posição para cada corpo de prova, com completa remoção dos transdutores com a superfície, como recomendado por Naik *et al* (2004) e Bungey *et al* (2006).



(a) (b)

Figura 5: (a) Modo de leitura de transmissão direta.
(b) Posição de leitura (valores em cm).
Fonte: Os autores

As Figuras 6a e 6b apresentam a realização do ensaio.



(a) (b)

Figura 6: (a) Realização do ensaio de ultrassom – Vista 1.
(b) Realização do ensaio de ultra-som – Vista 2.
Fonte: Os autores

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições foram realizadas a 5, 10, 15 e 20 centímetros de altura, a partir da base. As armaduras foram posicionas com auxílio de cadeirinhas de 5 centímetros de altura, sendo assim, a primeira medição foi feita no eixo das barras. Os resultados médios estão apresentados na FIGURA 7.

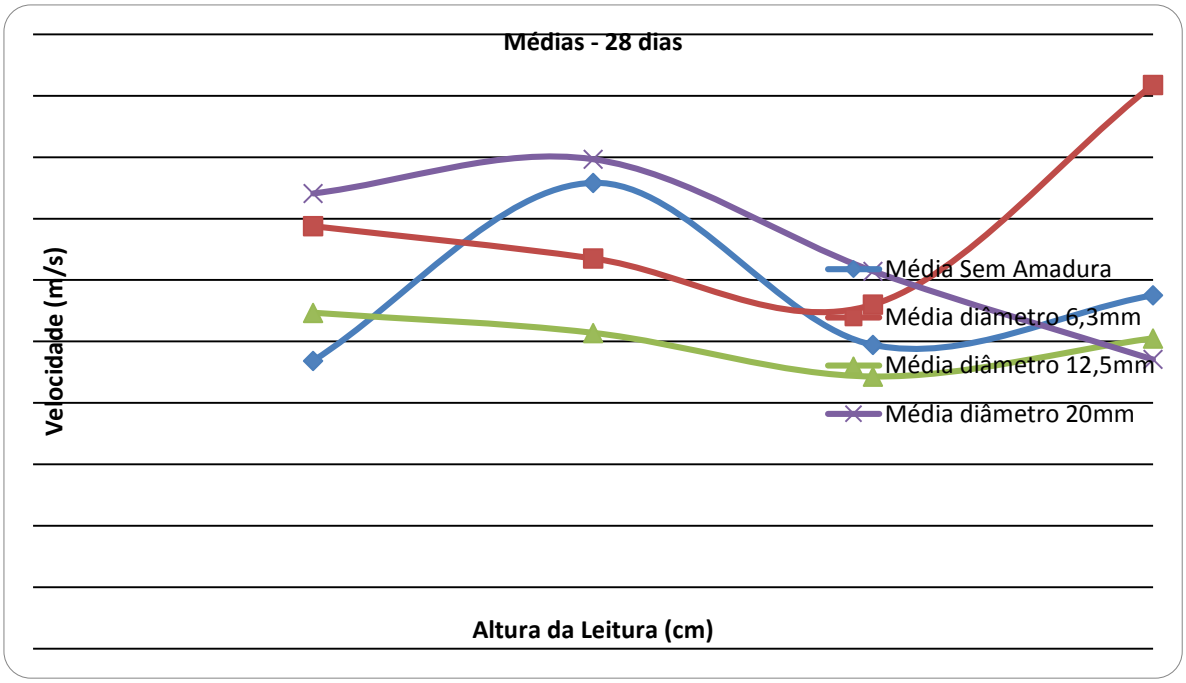


Figura 7: Gráfico das médias dos corpos de prova
Fonte: Os autores

Nas leituras na viga sem armadura não houve tendência de aumento de velocidade em função da altura. Porém cabe destacar, que foi verificado uma grande variabilidade dos resultados para uma mesma altura..

A fim de se comparar com os resultados obtidos, Prassianakis e Giokas (2003) fizeram um estudo sobre as propriedades mecânicas do concreto envelhecido a partir do ultrassom, em seu trabalho obtiveram uma maior e mais linear velocidade média de pulso no concreto. Da mesma maneira Irrigaray (2012) em seu estudo sobre estimativa da resistência a compressão através de velocidade de pulso ultrassônico na pasta de cimento também obteve resultados mais homogêneos e com velocidades maiores que as medidas, na presente pesquisa. Porém nenhum desses trabalhos citou quantas leituras para cada corpo de prova foram realizados, dificultando uma comparação tem termos de coeficiente de variação.

Um terceiro trabalho comparativo é o de Bogas, Gomes e Gomes (2013). Os autores fizeram uma avaliação da resistência à compressão do concreto leve não estrutural pelo método do

ultrassom. Os autores analisaram diversas misturas, inclusive algumas com agregados de peso normal. Eles realizaram 3 medidas para cada amostra, obtendo um coeficiente de variação geralmente menor que 0,5% e obtiveram velocidades entre 3500 e 5200 m/s. Em todos os estudos citados foram utilizados transdutores de 54 khz.

Nas Tabelas 02 e 03 podem-se observar quais as médias de velocidade de pulso ultrassônico assim como desvio padrão e coeficiente de variação obtido para cada protótipo estudado no presente artigo. Observa-se que os coeficientes de variação chegam a ser de 50%, ou seja, muito acima de qualquer valor cabível.

Tabela 2: Resultados dos protótipos sem armadura e com armadura de 6,3mm

Altura da leitura	Protótipo sem armadura				Protótipo com 2 barras longitudinais de 6,3 mm			
	Média de Velocidades	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)	Velocidades Máximas	Média de Velocidades	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)	Velocidades Máximas
5cm	2343,33	1190,34	51	3140	3438,33	456,71	13	3707
10cm	3791,67	1283,18	34	4540	3176	536,04	17	3673
15cm	2472	1306,06	53	3953	2800,67	24,66	1	2829
20cm	2876	552,2	19	3457	4589	44,24	1	4640

Fonte: Os autores

Tabela 3: Resultados dos protótipos com barras de 12,5 mm e 20 mm
Fonte: Os autores

Altura da leitura	Protótipo com 2 barras longitudinais de 12,5mm				Protótipo com 2 barras longitudinais de 20 mm			
	Média de Velocidades	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)	Velocidades Máximas	Média de Velocidades	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)	Velocidades Máximas
5cm	2733,67	360	13	2976	3704,67	884,91	24	4667
10cm	2570	162,82	6	2665	3983	661,54	17	4587
15cm	2214,67	213,25	10	2352	3072,67	419,01	14	2352
20cm	2525,67	140,08	6	2611	2354,67	12,34	1	2611

Fonte: Os autores

Apesar das bibliografias estudas apontarem que na região da armadura a velocidade de propagação é maior, pelos resultados observados não se pode fazer a mesma afirmação. Da mesma maneira não foi possível precisar com segurança que nos protótipos com barras de 20mm as velocidades foram maiores que nos demais. Foi possível observar uma menor variação dos valores medidos para os corpos de prova com armadura. Pode-se observar nos resultados do corpo de prova com barras de 6,3 mm que para leitura de 20 cm houve um grande distanciamento da linha de tendência. Apesar dessas constatações não foi possível precisar qual o ponto em que a leitura não é mais influenciada pela distância à barra, pois os resultados não apresentaram os valores esperados.

Da mesma maneira que nos protótipos sem armadura, os corpos de prova com barras de aço não apresentaram velocidades coerentes com outros estudos. Dornelles, Paradatz e Pinto (2004) fizeram um estudo sobre a influência do posicionamento da armadura em medições de ultrassom para avaliação da resistência à compressão do concreto. Os autores avaliaram a influência que barras de 10, 16 e 25 mm causam nas leituras de velocidade, para isso também

fizeram leituras em diferentes alturas. Chegaram a conclusão que para uma relação a/L maior que 0,15 não havia quase diferença na leituras de velocidade para os diferentes reforços, essas ficando constantes em aproximadamente 4000 m/s. Também verificaram que para a/L igual a zero a velocidade no corpo de prova com barras de 16mm foi de 5550 m/s e para barras de 25mm foi de 5650 m/s. Nesse estudo também foi utilizado um transdutor de 54 khz. Sendo assim foi mostrado mais uma vez que os resultados não estão de acordo com o esperado.

Para realizar outra abordagem, realizou-se o procedimento descrito por Naik et al (2004), no qual o autor comenta a necessidade de se fazer pelo menos três leituras em cada ponto e considerar a maior observada, sendo assim o erros seria menores. Para tanto a seguir segue o gráfico com as máximas velocidades observadas.

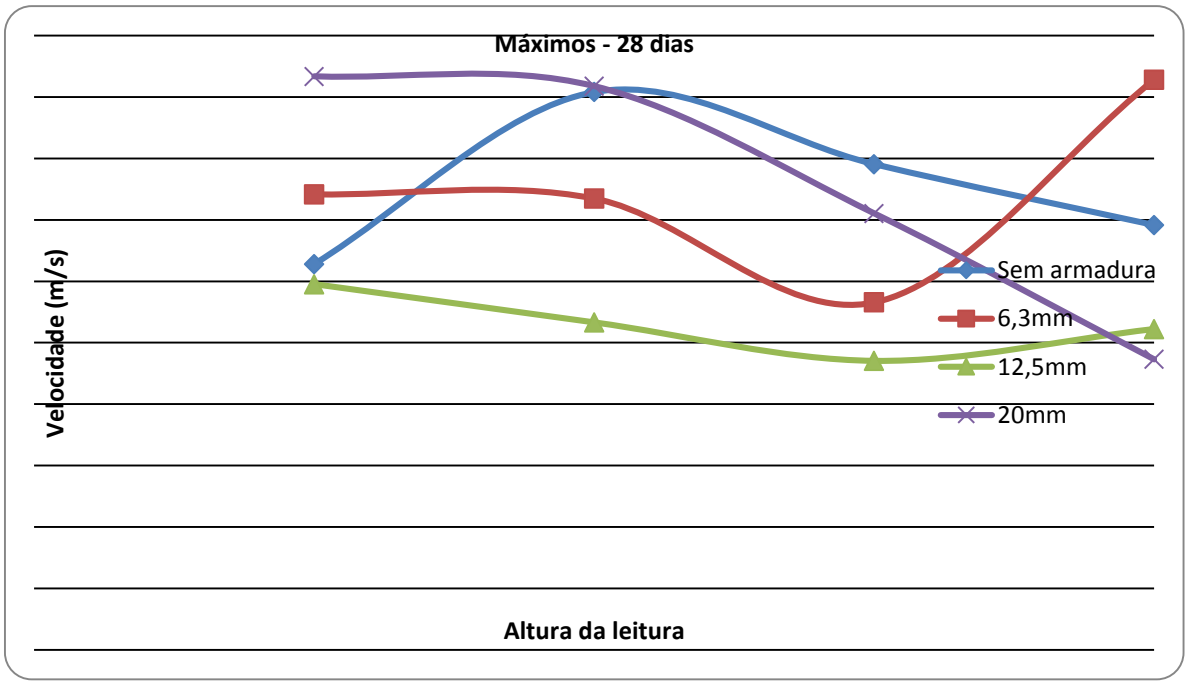


Figura 8: Gráfico comparativo com as máximas velocidades medidas
Fonte: Os autores

Utilizando os valores máximos pode-se com um pouco mais de clareza os resultados e assim verificar um leve aumento de velocidade de pulso nas proximidades das barras de aço. Em contra partida, diferentemente do trabalho de Dornelles, Paradatz e Pinto (2004), não foi se observou um ponto a partir do qual a influência das barras fosse mínima fazendo com que as leituras nos diferentes protótipos tendessem a um valor muito próximo, tonando os gráficos quase colineares.

Apesar de não terem sido feitos ensaios de massa específica do bloco, é muito improvável que algum fator interno tenha influenciado os resultados, pois todos os corpos de prova foram moldados, concretados, armados, adensados, curados e armazenados da mesma maneira. Além

disso, o concreto utilizado foi proveniente de central de concreto, esse fato corrobora com essa hipótese de que não houve influência interna, devido ao rigoroso controle de qualidade inerente ao processo de fabricação de concreto nas centrais. Posto isso considera-se que esses fatores não poderiam ser responsáveis pela grande diferença e altos coeficientes de variação observados nas TABELAS 02,03,04 e 05.

Sobraram duas alternativas: erros de leitura e/ou operação ou utilização de um transdutor de frequência de 250 khz, gerando resultados imprecisos devido menor comprimento de onda.

Segundo Medeiros (2007) um transdutor de 54 khz permite a observação de ondas com comprimento entre 65 e 83mm, segundo o mesmo autor para um transdutor de 200 khz os comprimentos de onda podem variar de 17,5mm a 22,5 mm. Sabendo que o aumento da frequência diminui o comprimento de onda, ao se usar um transdutor de 250 khz as ondas geradas possivelmente apresentam comprimentos de onda menores que a faixa entre 17,5 e 22,5 mm, comprimentos menores que o comprimento da brita 1. Segundo Naik et al (2004) e Bungey et al (2006) ondas com frequências muito altas podem perder energia e se dissiparem no concreto devido sua heterogeneidade e não conseguiram caracterizar os agregados uma vez que o comprimento de onda seria menor que o comprimento do próprio agregado.

A partir dos conceitos colocados poderia ser interessante refazer o experimento e realizar a leitura com um transdutor de 54 khz. O transdutor de 54 khz possui um diâmetro de 50mm enquanto o de 250 possui um diâmetro de 20mm. Essa diferença poderia causar um grande equívoco de leituras, uma vez que quando o centro do transdutor seja posicionado na altura de leitura desejada, haverá a possibilidade de que o menor tempo de percurso seja observado a uma distância de até 25mm do centro do transdutor. Sabendo-se disso e que no presente artigo adotou-se incrementos de 50 mm de altura entre leituras, que é um valor próximo do tamanho do transdutor, possivelmente haveria um aumento dos erros de leitura. Para dirimir as dúvidas, propõe-se pesquisa futura avaliando a influência do tamanho do transdutor, utilizando os dois anteriormente mencionados mais um transdutor de sonda, citado por Bungey et al (2006) que possibilita um único ponto de contato.

4. CONCLUSÕES

O trabalho demonstra que o método do ultrassom é bastante sensível, pois para o mesmo protótipo e mesma altura observa-se velocidades bastante diferentes. Todos os resultados apresentaram uma grande variação não sendo possível determinar nenhuma das hipóteses propostas.

Considerando-se que não houve influência internas, como foi explicado, para tamanha discrepância das leituras, sobraram duas alternativas: erros de leitura e/ou operação ou

utilização de um transdutor de frequência de 250 khz, gerando resultados imprecisos devido menor comprimento de onda. Para minimizar a primeira opção sugere-se utilização de acessório para segurar o transdutor e para segunda utilizar outros transdutores com menores frequências.

Uma vez que resultados não foram os esperados sugere-se que se façam novos estudos para tentar localizar a fonte dos erros e também fazer uma análise de sensibilidade para sugerir as melhores técnicas a fim de se obter resultados mais precisos. Para tal sugere-se que novos estudos sejam realizados aumentando o espaço amostral. Realizando mais leituras em um intervalo menor de altura. Sugere-se variar a dosagem do concreto também, dessa forma, além da variável armadura, existirá as variáveis cimento, agregado, fluidez, relação água/cimento e aditivos. No presente trabalho utilizou-se a frequência de 250 khz, também fica a sugestão que sejam realizadas leituras com frequências diferentes.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, P. B. **Estimativa da profundidade de fendas no concreto através da utilização do ultra-som e do eco-impacto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8802: concreto endurecido-determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica. Rio de Janeiro. 1994. 8p.

BOGAS, J. A.; GOMES, M. G.; GOMES, A. Compressive strength evaluation of structural lightweight concrete by non-destructive ultrasonic pulse velocity method. **Ultrassonics**. London, v. 53, nº 5, pg. 962-972, 2013.

BUNGEY, J. H.; MILLARD, S. G.; GRANTHAN, M. G. **Testing of concrete in Strutures**. 4th ed. London: Taylor and Francis, 2006.

CARVALHO, C. H.; MACEDO, M. C. S. S; SEVERO JUNIOR, J. B; GRIZA, S; DE ANDRADE, C. E. C.; DOS SANTOS, A. A; BARRETO, L. S. Estudo comparativo das técnicas nãodestrutivas de ultrassom e esclerometria na avaliação do desempenhomecânico de estruturasem concreto armado.Trabalhoapresentado no XII Congreso Latinoamericano de

Patología de la Construcción y XIV Congreso de Control de Calidad en la Construicción, CONPAT. Colômbia, 2013.

FERRARI, V. J; PADARATZ, I. J. Aplicação de ondas ultra-sônicas na detecção das primeiras fissuras de concreto armado e na avalizarão da resistência à compressão. **Acta Scientiarum**. Technology.Maringá, v. 25, no. 2, p. 185-191, 2003.

IRRIGARAY, M., A. P. **Estimativa da resistência do concreto à compressão por meio da velocidade de propagação dos pulsos ultrassônicos na pasta do concreto**. Tese (DoutoradoemEngenharia Civil – Programa de Pós-GraduaçãoemEngenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

KOMLOS, K.; POPOVICS, J. S. Comparison of DIN/ISO 8047 (Entwurf) to Several Standards on Determination of Ultrasonic Pulse Velocity in Concrete. Paper presented at the International Symposium Non-DestructiveTesting in Civil Engineering (NDT-CE). Berlin, 1995.

MALHOTRA, V. M; CARINO N. 3**. Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. London: American Society for Testing and Materials. 2004.

MEDEIROS, A. **Aplicação do ultra-som na estimativa da profundidade de fendas superficiais e na avaliação da eficácia de injeções em elementos de concreto armado**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. Tradução Cristina Borba. 1 ed. São Paulo: IBRACON, 2008

MULLAPUDI, T. R. S.; AYOUB, A.; GAO, D. Non-destructive evaluation of carbono nanofibre concrete. **Magazine of Concrete Researsh**. London, v. 65, nº 18, pg. 1081-1091, 2013.

NAIK, T. R.; MALHOTRAM, V. M.; POPOVICS, J. S. The Ultrasonic Pulse Velocity Method. In: MALHOTRA. V. M.; CARINO. N. J. **Nondestructive Testing of Concrete**. 2. ed. London: American Society for Testning and Materials. 2004.

PERLIN, L. P. **Tomografiaultrassônicaem concreto: desenvolvimento de ferramenta computacional**. Dissertação (MestradoemEngenharia Civil - Programa de Pós-Graduação, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

PINTO, R. C., 2004. Determinação da Energia Aparente de Ativação da Hidratação de Cimento. E-Mat – **Revista de Ciênica e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. Vol. 1, n. 2, p. 95 - 104, novembro.

PRASSIANAKIS, I. N.; GIOKAS, P. Mechanical properties of old concrete using destructive and ultrasonic non-destructive testing method. **Magazine of Concrete Researsh**. London, v. 55, nº 2, pg. 171-176, 2003.

SAHUINCO, M. H. C. **Utilização de ensaiosnãodestrutivos e semi-destrutivos na análise de pontes de concreto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

TORALLES-CARBONARI, B. M; CAVALARO, S. H; MENDES CASTANHA, J. C; GUACELLI, P. A. G; CATISTE SILVA, C. Utilização do método ultra-sônico para avaliação da performance do concreto de alto desempenho. **Revista IBRACON de estruturas e materiais .** São Paulo, v. 3, no. 4, p. 494-511, 2003.