DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO POR MEIO DO ENSAIO ULTRASSÔNICO

DE SOUZA LIMA, Romário[1], MARINHO RUGANI, Alessandra[2], ANDRADE PINTO, João Mário [3], LUIZ DO NASCIMENTO, Otávio[4]

[1] Universidade FUMEC, Bolsista PROPIC/FUMEC, graduando, e-mail: romario.civil@yahoo.com.br
[2] Universidade FUMEC, Voluntária PROPIC/FUMEC, graduanda, e-mail: lehrugani@hotmail.com
[3] Universidade FUMEC, Professor coordenador e orientador, doutor, e-mail: jmap@fumec.br
[4] Universidade FUMEC, Professor orientador, doutor, e-mail: otavioln@fumec.br

RESUMO

O concreto é o material de construção de maior consumo pelo homem, associado a esse cenário está o desenvolvimento de concretos com resistência e durabilidade maiores. Muitas estruturas de concreto estão apresentando manifestações patológicas e sua vida útil está menor do que o inicialmente projetado. A relação água/cimento é um dos principais fatores que influem na durabilidade e na resistência a compressão. Não foi encontrado um método em normas brasileiras ou internacionais para medir essa relação após a cura do concreto, então este trabalho propõe utilizar o método de ensaio não destrutivo por ultrassom para esse fim. Foram confeccionados corpos de prova cilíndricos de (10x20) cm de três traços. Foram utilizadas três relações água/cimento, a saber: 0,50; 0,65 e 0,80, e dois processos de cura: ao ar e submersa em água. As curas dos corpos de prova foram realizadas em três idades distintas: 1, 3 e 28 dias. Os resultados mostram que a utilização do método fornece informações importantes para a avaliação da relação água/cimento de estruturas de concreto.

Palavras chave: Concreto; Relação água/cimento; Ensaio ultrassônico.

ABSTRACT

Concrete is the building material of higher consumption by man, associated with this scenario is the development of concrete with higher strength and durability. Many concrete structures are presenting pathological manifestations and its lifetime is less than initially projected. The water / cement ratio is a leading factor influencing the durability and resistance to compression. Not found a method in Brazilian or international standards for measuring this ratio after the curing of concrete, then this study proposes using the method of non-destructive testing with ultrasound for this purpose. Cylindrical specimens of (10x20) cm three traits were made. Was used three water / cement ratio, namely ratios: 0.50, 0.65 and 0.80, and two curing processes: in air and submerged in water. The cures of the test specimens were performed at three different ages: 1, 3 and 28 days. The results show that using the method provides important information for assessing the water / cement ratio concrete structure information.

Keywords: Concrete, Water/Cement Ratio, Ultrasonic Testing.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente o concreto produzido a partir do cimento Portland é o material artificial de maior consumo pelo homem (ISAIA, 2010). Em 2010 foram produzidos no Brasil cerca de 59,2 milhões de toneladas de cimento Portland (SNIC, 2011).

De acordo com Lourenço (2011, p.19), "Novos processos de cálculo vêm sendo desenvolvidos para a concepção de estruturas mais esbeltas e leves. Associado a esse cenário está a utilização de novos materiais e o desenvolvimento de concretos com resistência maior". A utilização de concretos duráveis, com o mínimo de utilização de recursos naturais e economicamente viáveis são fatores intrínsecos à sustentabilidade.

As edificações estão apresentando manifestações patológicas, sua vida útil está menor do que o inicialmente projetado, sendo, então, necessário o desenvolvimento de métodos de ensaios para a determinação das propriedades do concreto que interessam na análise da resistência da estrutura, fator relacionado com sua longevidade. Atualmente há os métodos de ensaios destrutivos e os não-destrutivos. Os métodos de ensaios destrutivos provocam alterações na estrutura do concreto, gerando danos à mesma. Os métodos de ensaios não-destrutivos não geram avarias às estruturas de concreto armado, permitindo a aplicação dos ensaios por inúmeras vezes, de maneira rápida, com baixo custo, respeitando as limitações de cada método.

Com o intuito de determinar a relação água/cimento, foi utilizado o método de ensaio por ultrassom, que de acordo com Lourenço (2011, p.20), "trata-se de um método que consegue mensurar o tempo de propagação do pulso ultrassônico no concreto, possibilitando calcular sua velocidade, uma vez que a distância entre os transdutores é conhecida". Cada vez mais esse método vem ganhando espaço entre os pesquisadores, pois para o cumprimento da NBR 12655:2006 é necessário, entre outras características, a determinação da relação água/cimento do concreto, assim esse método não destrutivo pode tornar-se de grande valia para situações do dia a dia em canteiros de obras, evitando-se, desse modo, o surgimento de futuras manifestações patológicas no concreto e melhoria do índice de sustentabilidade.

Poucas são as pesquisas em métodos para a determinação da relação água/cimento do concreto curado, daí a justificativa dessa pesquisa. No artigo (PHILIPPIDIS e AGGELIS 2003) foi utilizado o método Acústico-Ultrassônico para a determinação dessa relação, encontrando resultados satisfatórios. O problema é que esse sistema é caro e de difícil interpretação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Onda Mecânica

Uma onda mecânica é uma perturbação que se propaga através da perturbação do meio material. Seja em um gás, líquido ou sólido, toda onda tem as seguintes características: frequência (*f*), comprimento de onda (λ) e amplitude (*a*), conforme a Figura (1).

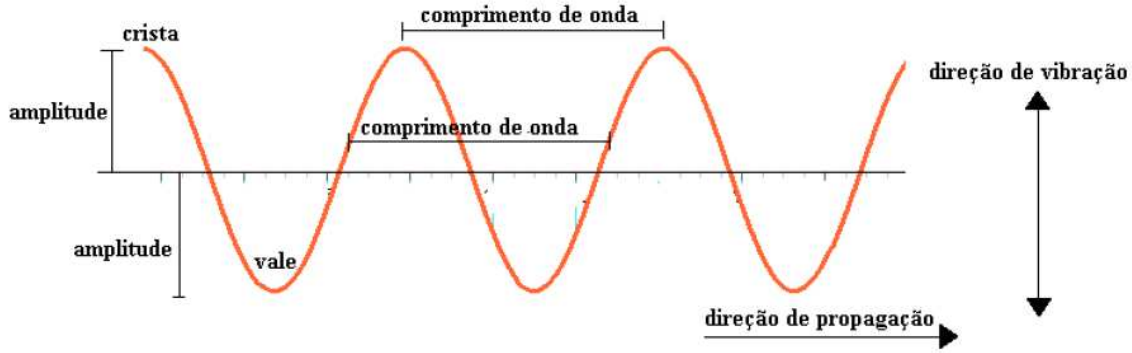


Figura 1 - Características de uma onda

Fonte: Lourenço (2011, p.25)

A velocidade de propagação se relaciona com a frequência (*f*) e o comprimento de onda (λ) de acordo com a Equação (1):

$$V = \lambda \times f \qquad (1)$$

A velocidade de propagação depende das propriedades mecânicas do meio, se tratando especificamente de ondas em sólidos, quando uma rápida perturbação é provocada, seu sistema de partículas sofre um distúrbio do estado estacionário. Essa perturbação, de origem cinética, provoca o aparecimento de forças conservativas que tendem a estabilizar o sistema novamente. Nessa sistemática de trocas de energias cinéticas por potenciais e vice-versa, o sólido acaba sofrendo ondas de tensão. Tais ondas são classificadas em três principais tipos: longitudinais, transversais e de superfície (HALLIDAY, 1991).

2.2. Equipamentos

O aparelho eletrônico é composto pelo transdutor emissor e o receptor do pulso, um gerador de pulsos, um circuito medidor de tempo, um amplificador da corrente proveniente do receptor e um mostrador de tempo conforme mostrado na Figura 2 (MALHOTRA *et al.*, 2004). Nessa figura os transdutores estão posicionados na configuração ortogonal direta.

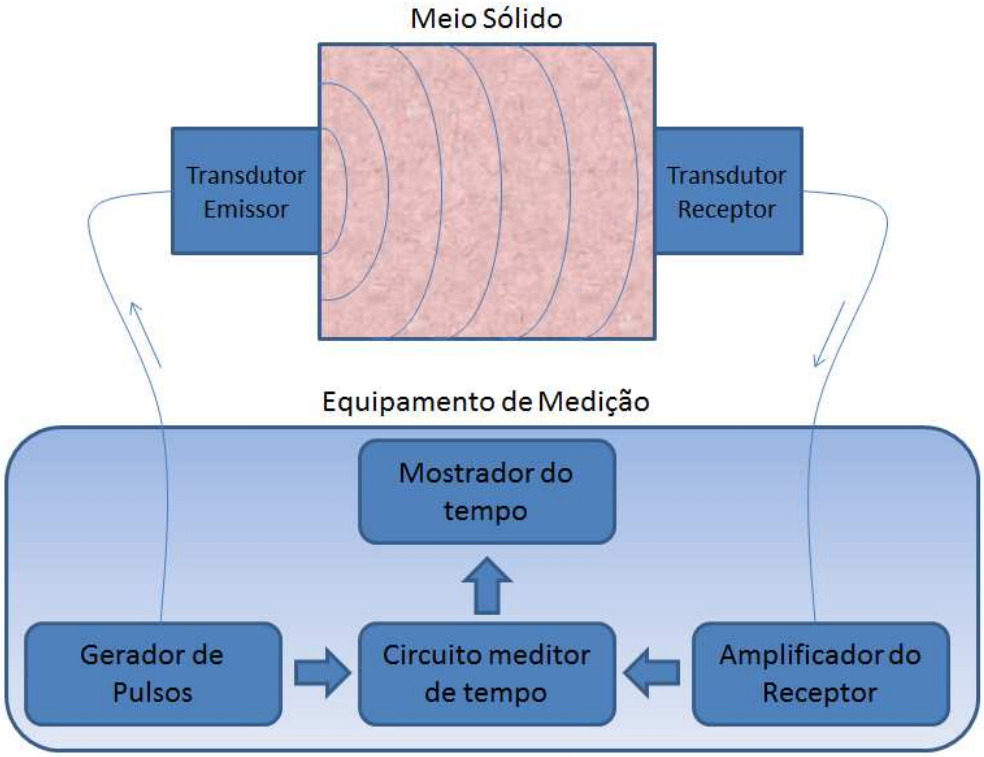


Figura 2- Representação padrão de um aparelho de ultrassom

Fonte: Lourenço (2011, p.28)

Os pulsos gerados no concreto estão compreendidos entre as faixas de frequência de 20 kHz a 100 kHz, a escolha da melhor frequência a ser utilizada varia conforme o material que será ensaiado (MALHOTRA *et al*., 2004).

2.3. Ensaio do ultrassom em concreto

O ensaio de ultrassom no concreto consiste em medir o tempo de propagação das ondas ultrassônicas dentro de uma unidade amostral permitindo a obtenção da sua velocidade de propagação. Após a escolha dos transdutores adequados eles são calibrados e pressionados em uma superfície lisa e limpa de concreto com o uso de um acoplante.

Após os passos supracitados serem executados é efetuada a leitura do tempo necessário para o pulso ultrassônico percorrer a distância conhecida entre os transdutores, obtendo assim a velocidade média de propagação do mesmo ao longo do trajeto interno no elemento de concreto (LOURENÇO, 2011).

2.4. Relação água/cimento

Um dos principais fatores que reduz a resistência do concreto e a velocidade do ultrassom é o aumento da relação água/cimento. Esse fenômeno pode ser explicado pelo aumento do índice de vazios provocado pelo excesso de água. De acordo com Neville, (1997), a resistência do concreto é inversamente proporcional à relação água/cimento, denominada como Lei de Abrams.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterizações dos materiais

Foram utilizados os seguintes materiais para a confecção dos corpos de prova:

- Aglomerante hidráulico-Cimento CPV ARI;
- Agregado graúdo-Britas 0 e 1, ambas de quartzo;
- Agregado miúdo-Areia de quartzo;
- Água potável.

3.1.1. Cimento

O cimento utilizado na pesquisa foi o CPV ARI (Alta resistência inicial), suas características de acordo com o fabricante (CIMENTOS LIZ S/A), são apresentadas abaixo, de acordo com o setor de controle de qualidade da referida empresa. O Cimento atende às Normas: Controle Tecnológico de Materiais Componentes do Concreto (NBR 12654:1992) e Extração e Preparação de Amostras-Método de Ensaio (NBR 5741:1993).

Na Tabela 1 são apresentados os resultados dos ensaios físico-químicos do cimento fornecido, conforme NBR 5741:1993.

Tabela 1: Resultados da caracterização físico-química do cimento

Fonte: EMPRESA DE CIMENTOS LIZ (2013)

	Ensaios Físicos										Ensaios Químicos				
Ensaio	# 200	# 325	Blaine	Tempo de Pega		Teor de água	Resistência à Compressão				PF	RI	SO3	MgO	CO_2
				Início	Fim		1 dia	3 dias	7 dias	28 dias					
Unidade	(%)	(%)	(m²/Kg)	(min)	(min)	(%)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Especificação Norma	*<= 6,0*	-	*>= 300*	*>= 60*	*<= 600*	-	*>= 14,0*	*>= 24,0*	*>= 34,0*	-	*<= 4,5*	*<= 1,0*	*<= 4,5*	*<= 6,5*	*<= 3,0*
Média	0,60	1,72	493	135	176	30,0	26,7	39,8	44,6	52,9	2,18	0,72	3,17	1,08	1,73
Desvio padrão	0,18	0,60	23	10	12	0,6	1,5	1,1	1,4	1,4	0,38	0,21	0,18	0,22	0,05
Máximo	0,80	2,70	538	150	200	31,4	29,6	42,1	46,5	54,7	2,61	1,00	3,44	1,34	1,79
Mínimo	0,40	0,80	470	120	160	29,2	24,8	37,9	41,4	50,0	1,21	0,45	2,92	0,84	1,68

3.1.2. Agregados

3.1.2.1. Agregados graúdos

Os agregados graúdos (Brita 0 e 1) utilizados na pesquisa foram cedidos pela empresa Mineração Gerais S/A.

3.1.2.2 Agregado Miúdo

Os agregados miúdos (Areia de quartzo) utilizados na pesquisa foram cedidos pela empresa Mineração Gerais S/A.

3.1.3. Água potável

Nesta pesquisa utilizou-se água potável cedida pela empresa concessionária de água local. A NBR 12654:1992 impõe que a amostra de água deve ter, pelo menos, 5 litros e ser coletada de acordo com o recipiente para amostras, onde devem ser previamente limpos e enxaguados várias vezes com a própria água a serem analisados, também devem ser vedados, posteriormente à coleta de água. Deve-se tomar o cuidado de coletar a água após 3 minutos a 5 minutos contados a partir da abertura da torneira e verificar se as torneiras estão limpas e sem vazamentos.

3.2 Métodos empregados

Foram confeccionados ao todo 108 (cento e oito) corpos de prova cilíndricos de (10x20) cm de 3 (três) traços distintos, onde alguns são mostrados na Figura 3. Os corpos de prova foram utilizados para a realização de ensaios não destrutivos de ultrassom. O aparelho de ultrassom utilizado é conhecido como Aparelho de Ultrassom Portátil Digital da marca Proceq.



Figura 3 – Corpos de prova

Fonte: Autores

Para cara relação água/cimento foram moldados 36 (Trinta e seis) corpos de prova, sendo que para cada idade distinta, 1 (Um dia), 3 (Três dias) e 28 (Vinte e oito dias) utilizou-se 12 corpos de prova, que por fim tiveram dois processos de cura distintos, ao ar e submersa em água. Foram utilizados 6 corpos de prova para cada tipo de cura (Figura 4). As relações água/cimento utilizadas foram: 0,50; 0,65 e 0,80.



Figura 4 – Corpos de prova em cura submersa

Fonte: Autores

No estado fresco os corpos de prova foram caracterizados pelos seguintes métodos definidos pela ABNT:

- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, conforme NBR NM 67:1998 (Figura 5);

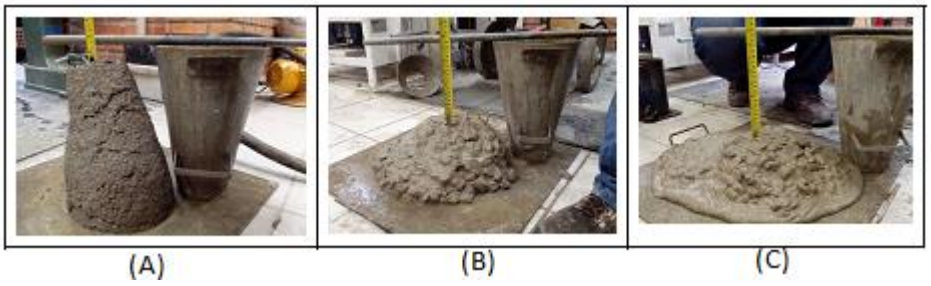


Figura 5 – Slump test para os traços com a/c igual a 0,50 (A), 0,65 (B) e 0,80 (C)

Fonte: Autores

- Concreto-Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova (NBR 5738:2003).

No estado endurecido os corpos de prova foram caracterizados pelos seguintes métodos:

- Concreto endurecido - Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica (NBR 8802:2013). O procedimento adotado, de acordo com a NBR 8802:2013 refere-se à transmissão direta da onda ultrassônica entre os transdutores (Figura 6).



Figura 6 – Ensaio por ultrassom.

Fonte: Autores

3.3. Análise Estatística

A variação da velocidade ultrassônica, para dois diferentes processos de cura, em função da relação água/cimento e tempo de cura foi estatisticamente analisada aplicando o método de Análise de Regressão, utilizando software específico (pacote estatístico).

Assim, a variável resposta é a velocidade ultrassônica e as variáveis preditoras são:

- Relação água/cimento;
- Tempo de cura;
- Variável indicadora do processo de cura (variáveis dummy).

A variável indicadora foi definida como:

$$I = \begin{cases} 1, & \text{se o processo de cura for submerso} \\ 0, & \text{se o processo de cura for ao ar} \end{cases}$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados

Os resultados dos ensaios de ultrassom, da relação água/cimento, do tempo e do processo de cura estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Velocidade ultrassônica (V), tempo de cura (TC), relação água/cimento (A/C) e processo de cura (I) dos corpos de prova de concreto

(continua)

CP	TC	A/C	I	V (m/s)	CP	TC	A/C	I	V (m/s)	CP	TC	A/C	I	V (m/s)
150-6	1	0,50	0	3509,3	154-18	28	0,65	0	3806,3	151-18	28	0,50	1	4368,8
150-2	1	0,50	0	3656,3	152-3	1	0,80	0	2486,4	155-3	1	0,65	1	3135,0
150-3	1	0,50	0	3340,5	152-4	1	0,80	0	2707,5	155-4	1	0,65	1	3004,2
150-4	1	0,50	0	3434,8	152-5	1	0,80	0	2665,3	155-5	1	0,65	1	3001,4
150-5	1	0,50	0	3429,8	152-6	1	0,80	0	2531,6	155-7	3	0,65	1	3485,3
150-7	3	0,50	0	3925,8	152-7	3	0,80	0	3168,8	155-8	3	0,65	1	3614,4
150-8	3	0,50	0	3814,8	152-8	3	0,80	0	3046,5	155-9	3	0,65	1	3758,1
150-9	3	0,50	0	3755,8	152-9	3	0,80	0	3143,6	155-10	3	0,65	1	3541,4
150-10	3	0,50	0	3595,4	152-10	3	0,80	0	3061,2	155-11	3	0,65	1	3689,3
150-11	3	0,50	0	3799,2	152-11	3	0,80	0	3027,2	155-12	3	0,65	1	3565,6
150-12	3	0,50	0	3555,5	152-12	3	0,80	0	3222,7	155-13	28	0,65	1	4063,9
150-13	28	0,50	0	4231,2	152-13	28	0,80	0	3486,1	155-14	28	0,65	1	4097,3
150-14	28	0,50	0	4124,5	152-14	28	0,80	0	3492	155-15	28	0,65	1	4149,3
150-15	28	0,50	0	4178,3	152-15	28	0,80	0	3415,3	155-16	28	0,65	1	4113,8
150-16	28	0,50	0	4197,2	152-16	28	0,80	0	3403,9	155-17	28	0,65	1	4104,0
150-17	28	0,50	0	4187,3	152-17	28	0,80	0	3467	155-18	28	0,65	1	4191,6
150-18	28	0,50	0	4237,3	152-18	28	0,80	0	3508,2	153-1	1	0,80	1	2926,8
154-1	1	0,65	0	2908,5	151-1	1	0,50	1	3528,7	153-2	1	0,80	1	2713,0

Tabela 2: Velocidade ultrassônica (V), tempo de cura (TC), relação água/cimento (A/C) e processo de cura (I) dos corpos de prova de concreto

(conclusão)

CP	TC	A/C	I	V (m/s)	CP	TC	A/C	I	V (m/s)	CP	TC	A/C	I	V (m/s)
154-2	1	0,65	0	2843,4	151-2	1	0,50	1	3904,1	153-3	1	0,80	1	2577,6
154-3	1	0,65	0	3015,7	151-3	1	0,50	1	3866,6	153-4	1	0,80	1	2768,5
154-4	1	0,65	0	2912,6	151-4	1	0,50	1	3910,3	153-5	1	0,80	1	2715,6
154-5	1	0,65	0	2900,8	151-5	1	0,50	1	3811,4	153-6	1	0,80	1	2790,6
154-6	1	0,65	0	3033	151-6	1	0,50	1	3863,9	153-7	3	0,80	1	3347,8
154-7	3	0,65	0	3331,1	151-7	3	0,50	1	3762,4	153-9	3	0,80	1	3428,9
154-8	3	0,65	0	3223,1	151-8	3	0,50	1	3916	153-10	3	0,80	1	3384,0
154-9	3	0,65	0	3065,1	151-9	3	0,50	1	3796,9	153-11	3	0,80	1	3430,9
154-10	3	0,65	0	3223,3	151-10	3	0,50	1	4044,2	153-12	3	0,80	1	3030,2
154-11	3	0,65	0	3207,7	151-11	3	0,50	1	3840,2	153-13	28	0,80	1	4077,8
154-12	3	0,65	0	3376,8	151-12	3	0,50	1	3572,9	153-14	28	0,80	1	3875,9
154-13	28	0,65	0	3710,4	151-13	28	0,50	1	4404,4	153-15	28	0,80	1	4035,7
154-14	28	0,65	0	3663,7	151-14	28	0,50	1	4389,3	153-16	28	0,80	1	3843,3
154-15	28	0,65	0	3880,4	151-15	28	0,50	1	4359,1	153-17	28	0,80	1	3948,0
154-16	28	0,65	0	3743,9	151-16	28	0,50	1	4468	153-18	28	0,80	1	3853,8
154-17	28	0,65	0	3859,5	151-17	28	0,50	1	4411,9					

4.2. Modelo de regressão

Modelo de regressão foi aplicado aos resultados a fim de relacionar a velocidade ultrassônica com a relação água/cimento, assim como com o tempo e processo de cura, dos corpos de prova de concreto, obtendo-se a equação (2):

$$V\ (m/s) = 4646 + 26{,}6\ TC - 2354\ A/C + 263\ I \qquad (2)$$

Onde:

- V é a velocidade da onda ultrassônica;
- TC é o tempo de cura;
- A/C é a relação água/cimento;
- I é a variável indicadora do processo de cura.

Os detalhes da análise da regressão e da análise da variância são respectivamente apresentados nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3: Resultado da análise da regressão

Preditor	Coef	EP do coef	T	P	VIF
Constante	4646,0	105,0	44,27	0,000	
TC	26,591	1,533	17,34	0,000	1,000
A/C	-2353,8	155,0	-15,18	0,000	1,000
I	263,34	38,15	6,90	0,000	1,000

s = 191,663 R^2 = 85,5% R^2 (ajustado) = 85,0%

R^2 (predito) = 84,33%

Tabela 4: Resultado da análise da variância

Fonte	GL	SQ	MSQ	F	P
Regressão	3	20986728	6995576	190,44	0,000
Erro Resídual	97	3563255	36735		
Total	100	24549983			

4.2.1. Interpretação dos resultados

O Fator de Inflação da Variância (VIF) (Tabela 2) indica o grau em que multicolinearidade (correlação entre os preditores) está presente na análise de regressão. Multicolinearidade é problemático porque pode aumentar a variação dos coeficientes de regressão, tornando-os instáveis e difíceis de interpretar. Como, no caso presente, o valor do VIF é 1 e as variáveis preditoras não são correlacionadas (MONTGOMERY e HUNGER, 2003).

O valor de R^2 indica que os preditores explicam 85,5% da variância da velocidade ultrassônica. O R^2 ajustado é de 85,0%, que representa o número de preditores no modelo. Ambos os valores indicam que o modelo se adapta bem aos dados.

O valor predito R^2 é 84,33%. Porque o valor predito R^2 é próximo dos valores do R^2 e do R^2 ajustado, o modelo não parece ser sobreajustado (*overfit*) e tem capacidade preditiva adequada.

O P-valor (0,000) (Tabela 3) indica que o modelo estimado pelo método de regressão é significativo no nível de significância de 0,05. Isso significa que pelo menos um coeficiente é diferente de zero.

5. CONCLUSÃO

No presente trabalho, os resultados das medições da velocidade do ultrassom sobre concreto endurecido são apresentados. A pesquisa concentrou-se na influência da relação água/cimento sobre a propagação da onda ultrassônica no material com uma relação agregado/cimento e tipo de agregados constante, utilizando três tempos de cura (1, 3 e 28 dias) e dois processos de cura (ao ar e submerso).

Como foi demonstrada, a velocidade de propagação de ondas elásticas em amostras de concreto estão fortemente correlacionadas com a idade, teor de água e processo de cura. Isso foi feito utilizando o método estatístico de regressão múltipla, juntamente com o uso do coeficiente de determinação (R2), do R2 ajustado e do R2 predito. Uma equação analítica foi assim obtida. A qualidade do ajuste do modelo aos dados observados mostrou-se estatisticamente satisfatório, podendo, assim ser utilizado para a determinação da relação água/cimento em função da velocidade ultrassônica, tempo de cura e processo de cura,

utilizando-se a regressão inversa. O resultado até agora é promissor e acredita-se que um maior volume de dados experimentais, incluindo um número maior de relações água/cimento e mais corpos de prova para cada relação, irá resultar em uma maior precisão, mostrando mais claramente como a velocidade de ultrassom se comporta frente à relação água/cimento.

É necessário avaliar o comportamento do modelo desenvolvido para diferentes relações agregado/cimento e diferentes tipos de agregados para que o mesmo possa ter aplicação mais abrangente.

Como essa pesquisa foi feita com concreto de idade mínima de 1 dia é extremamente interessante, e um campo de pesquisa atual dos autores, a aplicação de tal técnica em concreto fresco, alguns minutos após a mistura, em vista de que a avaliação da qualidade em uma idade tão precoce é de importância ainda maior para trabalhos em campo.

6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Universidade FUMEC pelo imprescindível apoio financeiro para a condução dessa pesquisa assim como à Cimentos Liz pela cessão do cimento, à Mineração Gerais Ltda pela cessão dos agregados e aos técnicos do laboratório de materiais de construção da Universidade FUMEC.

7. REFERÊNCIAS

A.M. NEVILLE. **Propiedades do concreto**. Tradujo de Salvador E Gatamuso. 2ª ed. São Paulo: Pina, 1997.

ANDREUCCI, Ricardo. **Ensaio por ultra-som – Aplicação industrial.** Edição: Julho (2008). São Paulo, Abende, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento. NBR-12655,** Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Controle tecnológico de materiais componentes do concreto – Procedimento. NBR-12654,** Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Extração e preparação de amostras de cimentos. NBR-5741,** Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. NBR-5738,** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. NBR-7223,** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto Endurecido - Determinação da velocidade de propagação da onda ultra -sônica. NBR-8802,** Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2003 - **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211:1982 - **Agregados para concreto**. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da Consistência pelo Abatimento do Tronco de Cone.. NBR NM-67,** Rio de Janeiro, 1998.

COSTA, R.M. (2004). **Análise de propriedades mecânicas do concreto deteriorado pela ação de sulfato mediante utilização do UPV**. 225f. Tese de doutorado apresentado à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

EMPRESA DE CIMENTOS LIZ. **Boletim de análises de cimento: CP V-ARI Premium**. Pedro Leopoldo, MG, setembro/2013.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S. **Física,** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1996. Vol 3. 303p.

ISAIA C. G. **CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações**, Vol.1 - Concreto: da era Clássica à Contenporânea. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M., **Concreto: estrutura, propriedades e materiais,** Editora Pini, São Paulo, 1994.

MONTGOMERY,D.C., HUNGER, G.C. (2003). **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**, 2ª ed., LTC, Rio de Janeiro.

PERLIN, Lourenço Panosso. **Tomografia ultrassônica em concreto:** Desenvolvimento de ferramenta computacional. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina – 2011. 156 f.

PHILIPPIDIS, T.P., AGGELIS, D.G.C.L. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH. **An acousto-ultrasonic approach for the determination of water-to-cement ratio in concrete**. Grécia: 16 de setembro de 2002.

SNIC . **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento,** http://www.snic.org.br/ Acesso em fevereiro 2010.

V.M. Malhotra, N.J. Carino (Eds.), et al.. **CRC Handbook on Nondestructive Testing of concrete**, CRC Press, Flórida, 1991.