

Contribuição para controle e avaliação de concretos no estado fresco e endurecido com o auxílio de corrente elétrica e ultrassom

Resumo

O concreto apresenta propriedades fundamentais na construção civil. Sendo resistência a compressão e a durabilidade consideradas as mais importantes. A relação a/c do concreto influencia diretamente essas propriedades, além de interferir na porosidade e densidade da estrutura. Para controle e aceitação do concreto na obra, segundo NBR 12655/2015 (ABNT), um dos itens a ser verificado é a relação a/c da mistura, porém, por não existir um método capaz de determiná-la, esse item da norma não é atendido. Para avaliação da estrutura, uma das propriedades mais utilizadas é a resistência a compressão, que para uma mesma mistura, é influenciada pela porosidade. O estudo vem a contribuir para o controle e avaliação do concreto demonstrando que a velocidade de ondas ultrassônicas e a resistividade elétrica do concreto no estado fresco e em endurecido sofrem variações ao alterar a relação a/c do concreto, no estado fresco, e a porosidade no estado endurecido.

Palavras-Chave

Concreto, Relação água/cimento, Resistividade elétrica, Ultrassom, Durabilidade.

Introdução

Segundo Helene (2003), o número de estruturas de concreto armado com manifestações patológicas tem crescido, promovendo o envelhecimento precoce das estruturas. Diante desse fato, torna-se de grande importância o aumento do controle do concreto utilizado na obra, com o objetivo de evitar as patologias e a avaliação do concreto já existente para reparação, se necessário, evitando seu colapso.

A relação a/c, relação entre a massa de água e a massa de cimento, utilizada no concreto, é um dos principais fatores que influenciam nas propriedades, durabilidade e vida útil da estrutura. Mindess et al. (2003) afirma que existe muito concreto ruim sendo fabricado e a maioria das patologias causada pelo uso excessivo de água na mistura. A possibilidade de medida da relação a/c do concreto fresco e endurecido pode ser uma metodologia útil para controle e avaliação da estrutura de forma não destrutiva.

A resistividade elétrica e a velocidade de ondas ultrassônicas variam conforme a relação a/c utilizada é alterada. Dessa forma, este artigo tem o intuito de contribuir com o conhecimento para determinação da relação a/c em concreto no estado fresco, para controle do concreto fresco na obra e a utilização desses métodos, ultrassom e resistividade elétrica, para avaliação de estruturas de concreto já existentes.

Revisão

Composição do concreto

O concreto é resultante da mistura do cimento Portland com agregados miúdos e graúdos que, ao entrar em contato com a água, forma uma pasta heterogênea e resistente com grande durabilidade e propriedades importantes para construção civil (Mehta, 1999).

A matéria-prima para fabricação do cimento Portland é, principalmente, calcário, sílica, alumina e óxido de ferro. Os compostos mais usuais que constituem o cimento são o silicato tricálcico (Ca_3SiO_5), o silicato dicálcico (Ca_2SiO_4), o aluminato tricálcico ($\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$) e o ferroaluminato tetracálcico ($\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$), que em contato com a água são responsáveis pela cristalização do concreto (Neville, 1997).

A alcalinidade e atividade iônica da suspensão aquosa são provenientes da solubilização do cimento e a formação dos íons, podendo-se classificar o concreto no estado fresco como uma solução iônica. Quando ocorre a hidratação do cimento as reações iniciam-se simultaneamente (ISAIA et al, 2011). Ocorre entre 0 e 15 minutos a reação inicial (pré-indução); entre 15 min e 4 h, o período de indução; entre 4 e 8 h, o período de aceleração; entre 8 e 24 h, o período de desaceleração e endurecimento; e por fim, entre 1 e 28 dias, o período de reação lenta e contínua (difusão) (KREPELT et al, 2002).

O primeiro pico de liberação de calor (pico exotérmico) ocorre nos primeiros minutos. Desta reação resulta uma camada constituída por pequenas agulhas chamadas etringita. Quando os íons de cálcio e de hidróxido alcançam concentrações críticas, a cristalização de Silicato de Cálcio Hidratado, usualmente representado por C–S–H, e de Hidróxido de Cálcio, usualmente representado por CH, começa. Esse advento é seguido pelo período dormente ou de indução, onde o cimento ainda permanece plástico. A etringita continua sendo formada enquanto houver gesso na forma de íons SO_4^{2-} na solução, porém, de forma mais lenta, à medida que a camada que cobre os íons de Al^{3+} fica mais espessa, impedindo o seu contato com o SO_4^{2-} e a água. A dissolução dos minerais do cimento é concluída, aumentando a concentração de íons na solução. O CH cristaliza e o C–S–H se desenvolve na superfície do C_3S , formando uma cobertura. A reação se transforma em difusão controlada, com o aumento de espessura dessa cobertura e do tempo que a água leva para penetrar na mesma. O C_2S hidrata a uma taxa mais lenta porque é um componente menos reativo. Por isso se nota uma baixa liberação de calor neste estágio. Com o desaparecimento do SO_4^{2-} na solução vem a instabilidade da camada de etringita, causando sua desintegração e dando fim ao período dormente (KREPELT et al, 2002).

Relação água/cimento

Segundo a NBR 6118/2014 (ABNT), a relação a/c utilizada na mistura do concreto deve atender uma das quatro classes de agressividade, de acordo com a aplicação da obra. As classes e suas respectivas relações a/c são:

Quadro 1: Classe de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Relação a/c
I	Fraca	0,65
II	Moderada	0,60
III	Forte	0,55
IV	Muito Forte	0,45

Fonte: Adaptado NBR 6118/2014 (ABNT)

Propriedades do concreto

De acordo com Neville (1997), o concreto no estado fresco deve possuir propriedades coesivas e trabalhabilidade para ser transportado, lançado, adensado e acabado sem segregação. Os fatores que influenciam a trabalhabilidade do concreto são: teor de água na mistura, as proporções de agregado graúdo e miúdo, tamanho máximo do agregado, sua granulometria, forma e textura.

No estado endurecido, o concreto apresenta propriedades fundamentais, tais como resistência mecânica, porosidade e durabilidade. Essas são influenciadas por diversos fatores relativos à pasta em si, aos agregados utilizados e à ligação entre esses dois elementos essenciais (ISAIA et al, 2011).

“A questão da vida útil das estruturas de concreto deve ser enfocada de forma holística, sistêmica e abrangente, envolvendo equipes multidisciplinares. Deve também ser considerada como resultante de ações coordenadas e realizadas em todas as etapas do processo construtivo: • concepção ou planejamento; • projeto; • fabricação de materiais e componentes; • execução propriamente dita e principalmente durante a etapa de • uso e operação da estrutura. É nessa etapa onde serão realizadas as operações de vistoria, monitoramento e manutenções preventivas e corretivas, indispensáveis numa consideração correta e sistêmica da vida útil” (HELENE, 2004).

A durabilidade da estrutura é a capacidade de suportar ações do meio no qual sua construção foi previamente analisada, manter a resistência e a utilidade que delas se espera, durante um período de vida previsto. Fatores externos ou causas internas do próprio concreto influenciam na vida útil da estrutura (Neville, 1997).

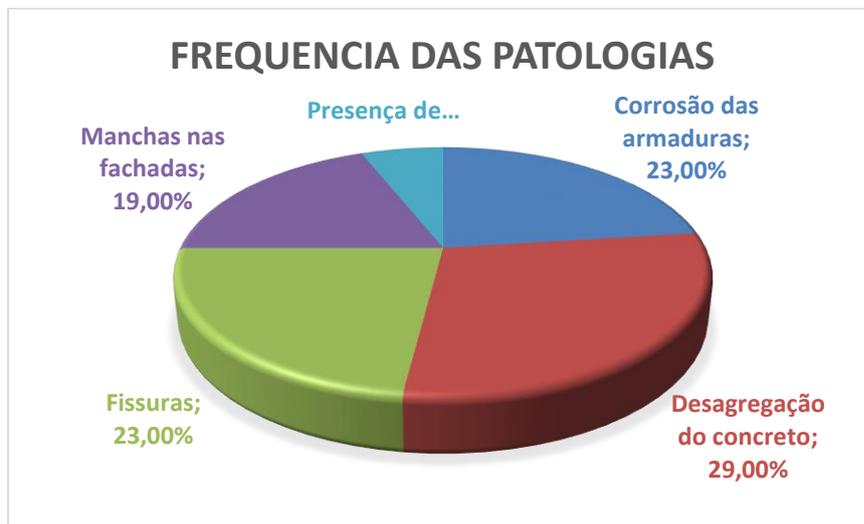
A resistência mecânica do concreto é a capacidade do mesmo de suportar as cargas aplicadas. A mistura, o transporte, o lançamento, o adensamento, a cura, a desforma e carregamentos precoces irão influenciar nas condições microestruturais do concreto que levam a interferência na resistência mecânica (ISAIA et al,2011).

A porosidade resultante da relação a/c e grau de hidratação interferem na qualidade potencial do concreto. Segundo Helene (2004), a menor porosidade, relacionada com maior resistência e menor relação a/c, causa menor degradação pela dificuldade de os agentes externos penetrarem no concreto.

Segundo Junior, Lima e Balestra (2013), as principais patologias em estruturas de concreto podem ser representadas pelo gráfico abaixo. Dentre elas a desagregação do concreto e a corrosão da armadura representam mais de 50% da

frequência de patologias estudadas, sendo suas causas possíveis o uso excessivo de água na mistura de concreto e a má execução da estrutura.

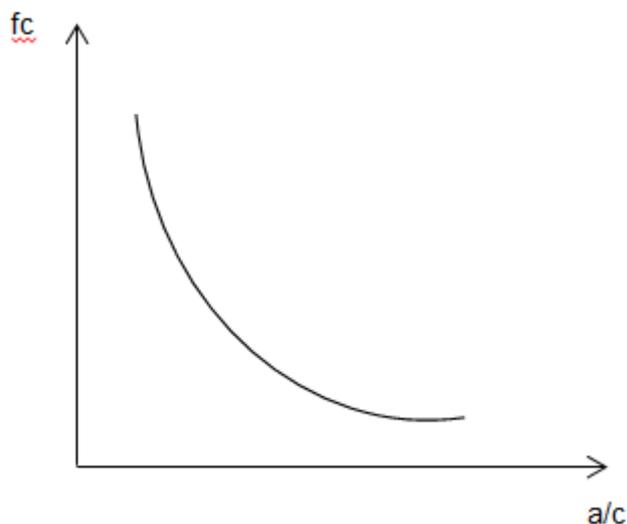
Gráfico 1: Frequência das patologias



Fonte: Adaptado de Junior, Lima e Balestra (2013)

A Lei de Abrams demonstra que a resistência do concreto depende da relação a/c , variando de forma inversa (NEVILLE, 1982). De forma que, a relação a/c e a porosidade do concreto variam diretamente, quando o concreto possui mais água que o necessário para hidratação, ocorre a evaporação da mesma, formando esses vazios. Portanto a porosidade capilar, responsável pela penetração dos íons agressivos que deterioram o concreto, está ligada com a quantidade de água presente na solução (ISAIA et al, 2011).

Figura 1: Curva de Abrams



Fonte: Adaptado NEVILLE, 1982

Princípios elétricos e o comportamento do concreto submetido a uma corrente elétrica

A substância iônica quando submetida a uma corrente contínua tem seus íons atraídos, esses se movem em direção à polaridade contrária à sua. Não ocorre a movimentação de íons quando submetidos a uma corrente alternada, sendo assim, essa deve ser utilizada em soluções iônicas (KELLER et al, 1999).

Segundo Isaia et al (2011), no estado fresco, o concreto é um material iônico. A quantidade de água utilizada no concreto, definida pela relação a/c, quando não em excesso, influencia diretamente a concentração de íons obtida na mistura. Essa influencia diretamente a resistividade do material (KELLER et al, 1999).

Princípios das ondas ultrassônicas e sua aplicação às estruturas de concreto

As ondas sonoras são ondas mecânicas longitudinais, onde as partículas se deslocam na direção de propagação da onda, sendo esse em meios sólidos, aquosos e gasosos. Ondas com frequência entre 20 a 20000 Hz é denominado audível. Uma onda mecânica longitudinal que esteja com frequência inferior ao intervalo audível é denominada onda infrassônica e quando se encontra acima é designada onda ultrassônica (HALLIDAY; RESNICK, 1991).

A velocidade da onda longitudinal varia em função do meio, sendo maior em meio sólido, seguindo por meios líquidos e gasosos, como é mostrado na tabela 1. Em um meio sólido como o concreto, a velocidade de propagação da onda está ligada diretamente ao seu índice de porosidade e densidade. Existem três tipos de ondas que são geradas quando são realizados impulsos mecânicos em materiais sólidos, como o concreto, podendo ser ondas longitudinais, transversais e superficiais (NAIK; MALHOTRA e POPOVICS, 2004).

Tabela 1: Velocidades de propagação das ondas longitudinais

Material	Velocidade (m/s)
Ar	330
Alumínio	6300
Cobre	4700
Ouro	3200
Aço	5900
Aço inoxidável	5800
Nylon	2600
Óleo (SAE30)	1700
Água	1480
Prata	3600

Titanium	6100
Niquel	5600
Tungstênio	5200
Magnésio	5800
Acrílico	2700
Aço Inoxidável	5800
Aço Fundido	4800

Adaptado ANDREUCCI, 2008

Segundo Evangelista (2002), há uma relação entre pulso ultrassônico e ensaios não destrutivos de índice esclerométrico, penetração de pinos, juntamente com resistência a compressão em corpos de provas cilíndricos.

Segundo Bungey (1989) apud Evangelista (2002) em um material sólido, a velocidade de ondas ultrassônicas depende da densidade e das propriedades elásticas do material.

Estudos realizados por Hamassaki (1986) e Malhotra; Carino (2004) demonstram que em concreto endurecido, inalterando a proporção dos agregados e modificando somente a relação a/c, a velocidade do pulso ultrassônico varia proporcionalmente à resistência à compressão e ao módulo de elasticidade.

Foram estabelecidos parâmetros que proporcionaram equações satisfatórias que correlacionam a velocidade do pulso ultrassônico com relação a/c do concreto endurecido em três idades e com duas condições de cura, submerso e no ar (LIMA, 2014).

Métodos de avaliação de estruturas de concreto

Dentre os ensaios utilizados para controle e avaliação do concreto, não existe nenhum capaz de determinar, de forma precisa e de fácil aplicação em campo, a relação a/c utilizada na mistura. Entretanto, o teste de abatimento de tronco de cone (slump) é utilizado para avaliar a trabalhabilidade do concreto no estado fresco e, de forma indireta, a relação a/c utilizada (Neville, 1997).

Existem alguns métodos de avaliar as propriedades do concreto no estado endurecido, esses podem ser determinações mecânico destrutivas e determinações não destrutivas que possibilita a realização de repetidos ensaios com o mesmo corpo de prova e também um estudo da variação da característica analisada com o tempo (Neville, 1997).

O ensaio de resistência à compressão é usado para medir o quanto de carga de compressão a estrutura suporta. É um ensaio destrutivo onde o corpo de prova é

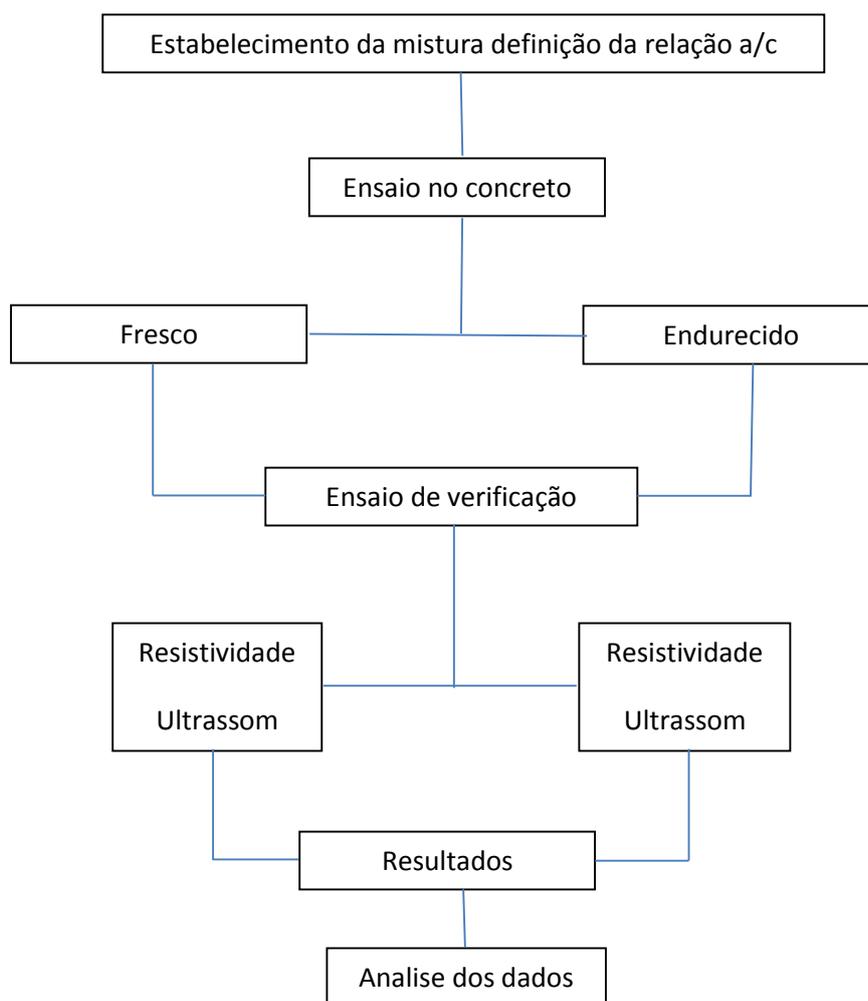
submetido a um carregamento progressivo com velocidade de carga/tempo constante, até seu rompimento (Neville, 1997).

Dentre os ensaios não destrutivos estão o ensaio com esclerômetro, o ensaio de resistência à penetração, o ensaio de arrancamento e o ensaio de velocidade de pulsos ultrassônicos. Esse último estabelece a velocidade de ondas longitudinais, sendo possível avaliar se há na estrutura alguma irregularidade. A velocidade dos pulsos é influenciada por modificações da pasta de cimento, sendo assim possível avaliar a resistência do concreto, o módulo de elasticidade, fissuração, entre outros (Neville, 1997).

Metodologia

A definição dos materiais utilizados, o estabelecimento da mistura adotada, definição das relações a/c, ensaios no concreto fresco e endurecido, ensaios de verificação da resistividade elétrica e da velocidade de ondas ultrassônicas e a análise dos dados, foram realizados conforme a figura abaixo:

Figura 1: Fluxograma do estudo



Materiais constituintes do concreto

Para a mistura de concreto, foram adotados os seguintes materiais:

- Cimento CP III-40 RS;
- Agregado miúdo-Areia de quartzo;
- Agregado graúdo-Britas N° 1, de quartzo,
- Água potável.

Foi utilizado a proporção em massa do traço de concreto de 1: 1,523: 3,023, respectivamente, cimento, areia e brita N°1, sendo a relação a/c o fator que alterou entre as misturas de concreto.

Estabelecimento da relação água/cimento

Seguindo especificações da NBR 6118/2014 (ABNT), as relações a/c adotadas para realização dos ensaios foram 0,55 e 0,65 por serem mais adotadas nas obras de construção civil na região metropolitana de Belo Horizonte.

Ensaio de caracterização no concreto

Para caracterização do concreto, foram realizados ensaios no estado fresco e endurecido, sendo eles descritos abaixo:

- No estado fresco foi realizado de densidade do material;
- No estado endurecido foram realizados ensaios de densidade e resistência a compressão.

Ensaio de propostos

Com o objetivo de propor possíveis métodos para controlar a utilização da relação a/c adequada e avaliar estruturas existentes, foram realizados ensaios no concreto, por meio do ultrassom e da resistência elétrica, no estado fresco e endurecido, e foi feita sua correlação com a relação a/c utilizada.

Como não há uma normalização para estes ensaios, foram desenvolvidas metodologias afim de evitar possíveis erros e variações, e as mesmas foram descritas abaixo:

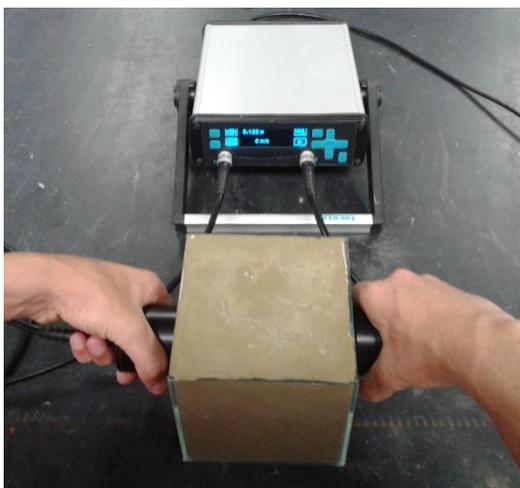
Ensaio no concreto no estado fresco

Foram realizados ensaios de ultrassom e resistência elétrica no concreto no intervalo de tempo de 20 a 180 minutos contados a partir da adição de água a mistura de cimento, areia e brita.

Procedimento para a realização do ensaio de ultrassom:

- O recipiente adotado: para o confinamento do concreto foi utilizado uma caixa prismática de vidro denominada CPVQ (Caixa Prismática de Vidro Queiroz);
- Moldagem do CPVQ: esse processo foi executado com o objetivo de minimizar a quantidade de vazios no corpo de prova para evitar variações nas leituras das velocidades de ondas ultrassônicas;
- Realização do ensaio: nos tempos previstos nessa metodologia, foram realizados os ensaios de ultrassom nas CPVQ.

Figura 2: Realização do ensaio de ultrassom no concreto fresco

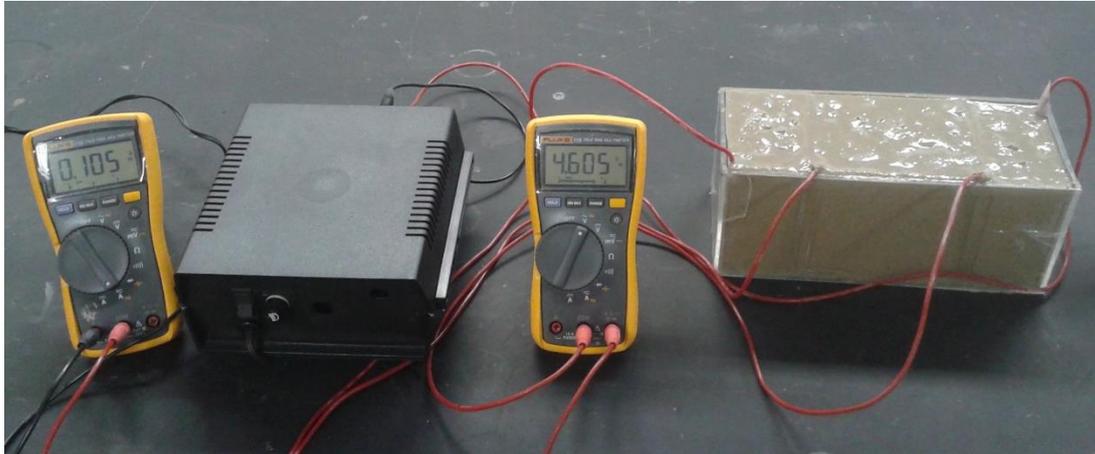


Procedimento para realização do ensaio de resistência elétrica:

- Equipamentos adotados: foi utilizada uma caixa prismática de acrílico, denominada CPAV (Caixa Prismática de Acrílico Viotti), para o confinamento do concreto, placas de aço inox foram inseridas para o contato elétrico;
- Moldagem do CPAV: foram utilizadas quatro camadas de concreto promovendo melhor adensamento do material;

- Realização do ensaio: nos tempos previstos, foram medidas as tensões e a corrente no concreto afim de determinar a resistência elétrica do material.

Figura 3: Realização do ensaio de resistência elétrica no concreto no estado fresco



Ensaios no concreto no estado endurecido

Foram realizados ensaios de ultrassom e determinação da resistividade elétrica na idade de 91 dias.

O ensaio de ultrassom foi realizado nos corpos de prova prismáticos, moldados no CPVQ e corpos de prova cilíndrico, conforme figura abaixo:

Figura 4: Ensaio de ultrassom no concreto no estado endurecido



O ensaio para medida da tensão e corrente foram realizados em corpos de prova cilíndricos 10x20.

Resultados

Os agregados utilizados foram areia e brita de quartzo e as análises dos índices físicos conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas para caracterização do material estão apresentadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Agregado miúdo – índice físicos

Norma	Ensaio	Resultados
ABNT NBR NM 52:2009	Massa específica aparente seca (Kg/dm ³)	2,559
	Massa específica saturada (Kg/dm ³)	2,660
	Massa específica (Kg/dm ³)	2,848
ABNT NBR NM 45:2006	Massa unitária (Kg/dm ³)	1,873
	Massa unitária úmida (Kg/dm ³)	1,533
ABNT NBR NM 30:2001	Absorção de água (%)	4,2
NBR 7211:2009	Dimensão máxima característica (mm)	4,8
	Módulo de finura	2,29
ABNT NBR NM 46:2003	Material pulverulento (%)	7,2
ANBT NBR NM 49:2001	Impurezas orgânicas (p.p.m.)	< 300 p.p.m.

Tabela 2: Agregado graúdo – índice físicos

Norma	Ensaio	Resultados
ABNT NBR NM 53:2009	Massa específica aparente seca (Kg/dm ³)	2,662
	Massa específica saturada (Kg/dm ³)	2,632
ABNT NBR NM 45:2006	Massa unitária (Kg/dm ³)	1,400
ABNT NBR NM 53:2009	Absorção de água (%)	0,67
NBR 7211:2009	Dimensão máxima característica (mm)	19
	Módulo de finura	6,57
ABNT NBR NM 46:2003	Material pulverulento (%)	0,28

Os resultados obtidos nos ensaios de densidade, ultrassom e resistividade elétrica realizados do concreto no estado fresco foram descritos nas tabelas abaixo:

Tabela 3: Densidade do concreto no estado fresco

Concreto fresco

Relação a/c	Densidade (kg/m³)
0,55	2282
0,65	2258

Tabela 4: Velocidades de onda ultrassônica longitudinais x tempo

Ondas longitudinais (m/s)		
Tempo (min)	Relação a/c	
	0,55	0,65
20	2116	2088
30	2127	2098
45	2112	2089
60	2113	2087
75	2108	2078
90	2106	2061
105	2095	2059
120	2111	2065
135	2089	2062
150	2075	2044
165	2073	2048
180	2067	2032

Tabela 5: Resistividade em ohm metro (Ω m) x tempo

Resistividade (Ωm)		
Tempo (min)	Relação a/c	
	0,55	0,65
20	3,98	3,83

30	3,88	3,74
45	3,8	3,68
60	3,74	3,6
75	3,68	3,53
90	3,63	3,48
105	3,59	3,41
120	3,54	3,36
135	3,58	3,32
150	3,63	3,35
165	3,66	3,38
180	3,67	3,41

Os resultados obtidos nos ensaios densidade, ultrassom e resistividade elétrica realizados do concreto no estado endurecido foram descritos nas tabelas abaixo:

Tabela 6: Densidade do concreto no estado endurecido

Concreto as 91 dias	
Relação a/c	Densidade (kg/m³)
0,55	2265
0,65	2243

Tabela 7: Velocidades de ondas ultrassônicas e resistividade do concreto na idade de 91 dias

Ensaio Relação a/c	Velocidade de ondas ultrassônicas (m/s)	Resistividade (Ωm)
0,55	4619	80016
0,65	4330	28093

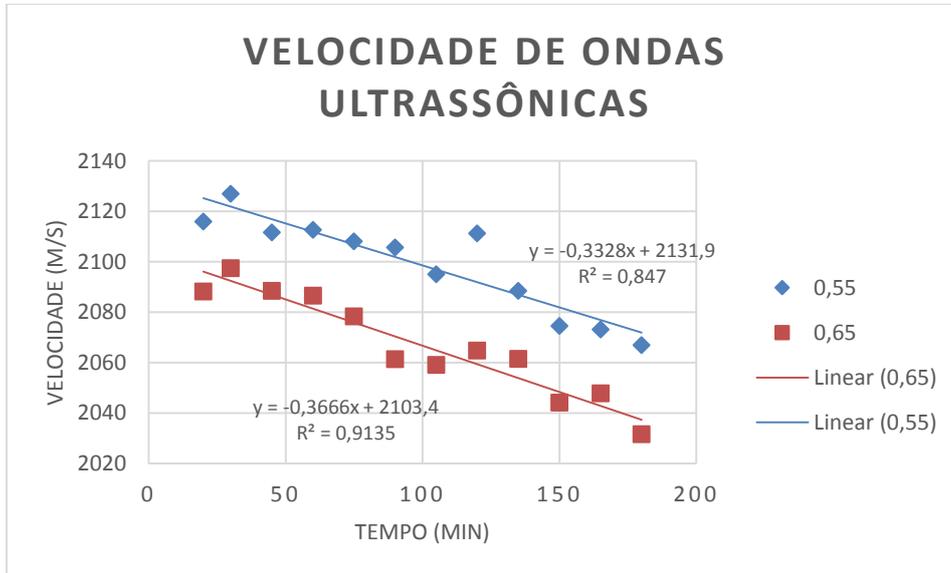
Tabela 8: Resultados de resistência a compressão axial

Compressão axial em corpo de prova cilíndrico (MPa)												
Relação a/c	7 dias					28 dias					91 dias	
0,55	23,5	21,7	20,9	22,8	23,9	29,3	27,8	31,7	32,2	31,2	36,3	37,8
0,65	13,8	14,2	15,1	12,9	14,7	21,3	20,1	21,0	21,6	21,1	25,9	24,7

Análise dos resultados

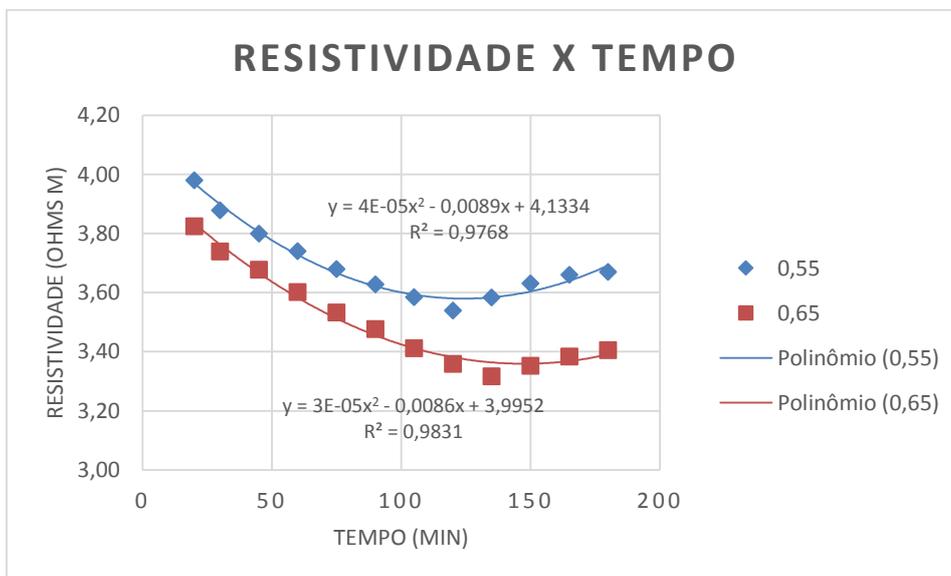
- Concreto no estado fresco:

Gráfico 1: Velocidade de ondas ultrassônicas x tempo



Pelo gráfico acima é possível verificar que existe uma diferença entre as velocidades de ondas ultrassônicas das relações a/c utilizadas. Essa variação ocorre como previsto, tendo a relação a/c 0,55 maior velocidade de onda para todos os tempos medidos. Essa variação pode ser explicada pela diferença de densidade existente entre os concretos obtidos em cada uma das relações, onde, quanto maior a densidade do material, maior a velocidade obtida no ensaio de ultrassom.

Gráfico 2: Resistividade x tempo



Assim como para o ensaio de ultrassom, houve variação da resistividade mensurada para cada mistura de concreto. Para a relação a/c 0,65, a resistividade foi menor que para a 0,55 em todos os tempos medidos. Essa variação se deve à diferença da quantidade de íons em cada uma das misturas. Para a relação a/c 0,65, pela maior presença de água, havia maior quantidade de íons dissolvidos resultando no menor valor de resistividade.

- Concreto no estado endurecido:

Relação a/c \ Ensaios	Velocidades de ondas ultrassônicas	Resistividade	Média das resistências a compressão
0,55	4619	80016	37,05
0,65	4330	28093	25,3

A maior utilização de água na mistura de concreto gera uma maior porosidade, quanto mais poros no concreto, para uma mesma mistura, menor a sua densidade e menor sua resistência a compressão. Portanto, para o concreto no estado fresco, tanto a velocidade de ondas ultrassônicas quanto a resistividade do material serão menor para a relação a/c 0,65, que pode ser justificada pela maior presença de vazios, poros, gerados pela utilização de uma maior quantidade de água.

Conclusão

Considerando as análises dos resultados obtidos, esse artigo contribuiu para a engenharia de avaliações e perícia verificando a possibilidade de se criar uma metodologia para controle do concreto no estado fresco e avaliação, no estado endurecido utilizando os ensaios não destrutivos de ultrassom e resistividade elétrica. As pesquisas são iniciais e indicam possibilidades concretas de desenvolvimento.

Bibliografia

ANDREUCCI, R. Aplicação Industrial Ensaio Por Ultra-som. 98p. São Paulo: Abende, 2008.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto: Usando Diferentes Ensaios Não Destrutivos**. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2002.

HALLIDAY, R.; RESNICK, R. Fundamentos de física: Gravitação, ondas e termodinâmica. 2 ed. Vol 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991.

HAMASSAKI, L. T. Utilização do ultrassom em concreto (Dissertação Mestrado). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986.

HELENE, Paulo. A nova NB 1/2003 (NBR 6118) e a vida útil das estruturas de concreto. II Seminário de Patologia das edificações. Porto Alegre, 2004.

HELENE, Paulo. Introdução da vida útil no projeto das estruturas de concreto NB/2001. WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. Novembro/2001. São José dos Campos.

ISAIA, G. C. et al. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. São Paulo: IBRACON, 2011.

JUNIOR, R. A. M.; LIMA. M. G.; BALESTRA. C. E. T. Identificação das principais manifestações patológicas em estruturas de concreto armado pertencentes ao DCTA. IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas. João Pessoa, 2013.

KELLER, F. J.; GETTYS, W. E.; SKOVE, M. J. **Física: volume 2**. São Paulo: Makron Books, 1999.

KREPPELT, F. et al. Influence of solution chemistry on the hydration of polished clinker surfaces - a study of different types of polycarboxylic acid-based admixtures. Cem. Concr. Res. **32**, 2 (2002) 187-198.

LUZ, A.M.R.; ÁLVARES, B.A. **Curso de Física: volume 3**. 2. ed. São Paulo: Scipione, 1997.

MALHOTRA, V. M.; CARINO, N. J. Handbook on nondestructive testing of concrete. 2. ed. London: West Conshohocken: Chemical Rubber Company Press, 2004.

MANCIO, M. et al. Instantaneous in-cemente ratio of fresh concrete. **AIC Materials Journal**. USA, p 586-592. dec, 2010.

MEHTA, P. K. **Concreto: Estruturas, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini LTDA, 1999.

NAIK, T. R.; MALHOTRA, V. M.; POVOVICS, J. S. The Ultrasonic Pulse Velocity Method. CRC handbook on nondestructive testing of concrete. Pages 169-189, 2004.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini LTDA, 1997.

LIMA, R. S. et al. Determinação da relação água/cimento por meio do ensaio ultrassônico. Congresso Brasileiro de Patologia das Construções. Foz do Iguaçu, 2014.