

INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA ANÁLISE DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO CONCRETO

AZZI, Sarah Silva

Engenheira Civil pela Universidade Fumec.

saraazzi@hotmail.com

MARTINS, Pedro Henrique

Mestrando, Universidade Federal de Minas Gerais.

pedromartins.eng@hotmail.com

LAGE, Eduardo Brando Diniz

Mestre, Universidade Federal de Minas Gerais.

brandaolage@yahoo.com.br

RESUMO

A água tem um papel importante dentro da construção civil sendo um material constituinte do concreto. Mas ela é um fator complicador na construção civil, a existência dela na construção, após concluída, pode gerar danos patológicos e danificar a vida útil das armaduras. Por isso é importante a qualidade e a dosagem da água na construção civil. O presente artigo consiste em analisar e identificar tipos de águas que possam ser utilizadas nos métodos de ensaios não destrutivos, análise de resistividade elétrica, e sua influência na medição do ensaio.

Palavras-chave: Água, Resistividade elétrica, Ensaio não destrutivo.

INTRODUÇÃO

A taxa de corrosão do aço é uma das principais causas da deterioração de uma estrutura de concreto armado ao redor do mundo, principalmente em regiões marítimas. A principal causa da corrosão das armaduras é a entrada de íons de cloreto e dióxido de carbono pelo concreto. A corrosão ocorre quando íons penetram no revestimento nominal, por isso a norma da ABNT NBR 6118 explica sobre a espessura do revestimento nominal para cada classe de agressividade ambiental.

A análise da resistividade não demonstra se está ativa, ou não, a corrosão no aço da estrutura. Pode-se obter esta informação com outras técnicas como análise de cloreto, medição da profundidade de carbonatação, mapeamento de potencial, medição de resistência de polarização e inspeção visual do aço. As informações dadas pelo método de análise de resistividade são adicionais como local propenso à corrosão. Assim pode-se escolher o método de reparação ou os locais necessários para a reparação pela análise feita nas medições da resistividade elétrica. Métodos como o de reparação eletroquímico são utilizados para reparar o possível dano detectado pela análise de resistividade elétrica. (POLDER, 2000).

INFLUÊNCIA DA ÁGUA NO CONCRETO

Um componente importante para o concreto é a água, sua função é provocar uma reação de hidratação nos componentes do concreto e aumentar a trabalhabilidade do mesmo. A água é tão importante quanto o cimento para a criação do concreto, sua quantidade pode determinar a dosagem de aditivos, porosidade do concreto e a resistência mecânica. Sendo importante, também para realizar a reação de hidratação do concreto, esta reação é essencial para formar uma estrutura compacta e desenvolver a resistência e durabilidade do concreto. As reações de hidratação diminuem de velocidade com o tempo. (SILVA, 2016).

A água utilizada para a confecção do concreto, de acordo com a norma da ABNT, NBR 12655/2015, deve ser armazenada em caixas estanques e tampadas, com a finalidade de evitar a contaminação por substâncias nocivas ao concreto. Outra norma que especifica a água utilizada no concreto é a norma da ABNT, NBR 15900, cuja água deve ser examinada e ter um mínimo de impureza possível descrito nos ensaios. Está incluída nesta exigência a água utilizada sob a forma de gelo

A norma da ABNT, NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto – Procedimento estabelece critérios de utilização da água para durabilidade dos projetos de estruturas, tanto quanto uma correlação entre a relação água/cimento e a resistência à compressão. Na TABELA 4 estão apresentados os valores máximos da relação a/c em função das classes de agressividade ambiental e tipo do concreto. Os cuidados desta norma propõem a redução da porosidade com intuito de prolongar a vida útil e aumentar a resistência mecânica. A adição extra de água prejudica a resistência e aumenta a porosidade.

TABELA 1: Relação a/c e classe de agressividade do concreto

Concreto	Tipo	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40
Consumo de cimento Portland por metro cúbico de concreto kg/m ³	CA e CP	≥ 260	≥ 280	≥ 320	≥ 360
CA Componentes e elementos estruturais de concreto armado. CP Componentes e elementos estruturais de concreto protendido.					

Fonte: ABNT NBR 12655/2015

A relação água cimento é diretamente proporcional à resistência mecânica. A adição de água além da quantidade estipulada na dosagem pode aumentar o abatimento acima do limite especificado. Embora aparentemente facilite a aplicação, faz com que o volume de vazios dentro da massa do concreto também aumente, diminuindo sua resistência mecânica e comprometendo, muitas vezes, o próprio desempenho da estrutura, facilitando a entrada de agentes agressivos ao concreto. (ISAIA, 2007).

A água provoca vazios/poros (TABELA 5) no concreto que influem diretamente na durabilidade e na vida útil das estruturas, proporcionando retração e fissuração. Além disso, facilitam o caminho de penetração de agentes agressivos que podem trazer consequências danosas para a durabilidade. Por isso alguns ensaios, como o de resistividade elétrica é importante para controle de qualidade do concreto. (PESSOA, 2014).

TABELA 2: Diferença de porosidade percentual média

Concreto	Porosidade Superficial Média (%)		Porosidade Volumétrica (%)
	Escâner	Microtomografia por Raio X	NBR 9778 (2005)
20 MPa	1,7	1,0	1,9
30 MPa	1,6	1,6	2,1

Autor: PESSOA, 2014.

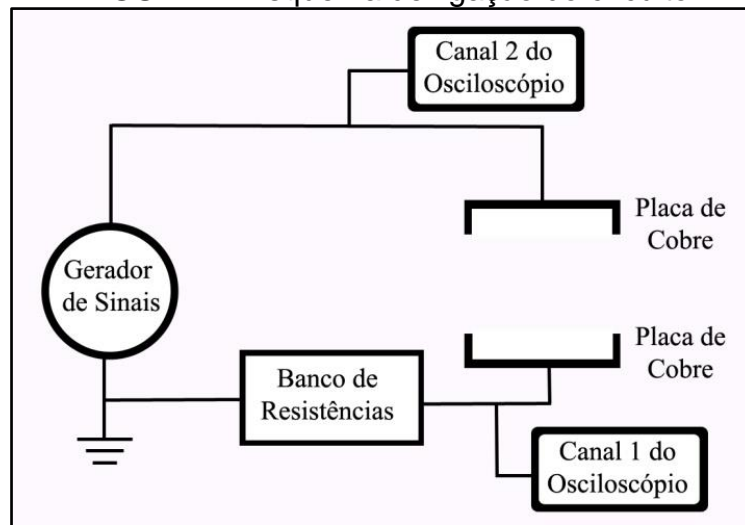
Lubeck apud Andrade (2008) expõe que a resistividade elétrica do concreto está diretamente ligada a quantidade de poros existentes e a conectividade entre eles. Outra utilização da resistividade elétrica é a medição em concretos não saturados, esta medição pode relacionar ao grau de saturação do mesmo.

APARELHO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA VOLUMÉTRICA

Foi desenvolvido na Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais um aparelho para medição da resistividade elétrica volumétrica. Diversas configurações foram desenvolvidas com o objetivo de configurar (ou transformar) o concreto em um circuito elétrico para que seja possível realizar medições mais precisas da sua impedância. Usualmente, utiliza-se para conexão do concreto ao circuito, eletrodos metálicos. O sinal elétrico emitido pelo sistema é normalmente estabelecido com o auxílio de um circuito equivalente que representa, aproximadamente, as propriedades elétricas do concreto e a interface eletrodo-concreto.

Para este estudo foi escolhido o método uniaxial, no qual o corpo de prova do concreto é colocado entre dois eletrodos que neste caso utilizou-se duas placas quadradas de cobre de espessura igual a 2mm e arestas de 100 mm. Visando uma melhor conexão elétrica entre as placas de cobre e o corpo de prova foram adicionados contatos esponjosos de aço húmidos nas interfaces. Uma corrente alternada foi aplicada utilizando a frequência de aproximadamente 40 Hz e foram avaliadas e medidas as quedas dos potenciais entre os eletrodos. O esquema elétrico simplificado foi feito antes para facilitar a montagem, conforme a FIGURA 17.

FIGURA 1: Esquema de ligação do circuito



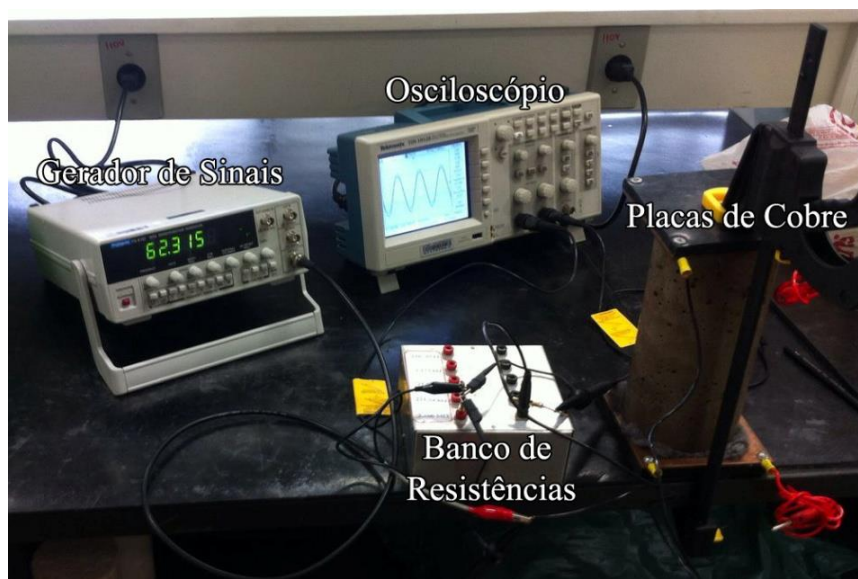
Fonte: LAGE, 2017.

Para montagem do sistema foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Um Gerador de Sinais da Politerm de modelo FG-8102;
- um Banco de Resistências, com Resistências elétricas calibradas;
- um Osciloscópio da Tektronix TDS 1012B;
- duas placas de cobre, para realizar o contato com o concreto.

O sistema de medição de resistividade foi montado conforme a ligação do circuito mostrado na FIGURA 18.

FIGURA 2: Montagem do Medidor de Resistência



Fonte: Autor, 2017

Pela EQUAÇÃO 5 consegue calcular a resistividade do concreto que utiliza a parte real da impedância.

$$\text{EQUAÇÃO 1} \quad \rho_{\text{Concreto}} = \frac{\text{Área}}{\text{Comprimento}} Z_{\text{Real Concreto}} \Omega\text{m}$$

SATURAÇÃO, RELAÇÃO CÂMARA ÚMIDA E SUBMERSO

A saturação dos corpos de prova pode variar de acordo com as condições atmosféricas, isto ocorre devido à corrente elétrica utilizar o teor eletrolítico nos poros para fazer a sua trajetória pelo material. Assim, as alterações na umidade dos poros gera uma grande variação na resistividade elétrica, tornando assim a umidade relativa um parâmetro decisivo para o grau de saturação dos poros, conseqüentemente para se determinar a resistividade elétrica do concreto. (LENCIONI, 2010).

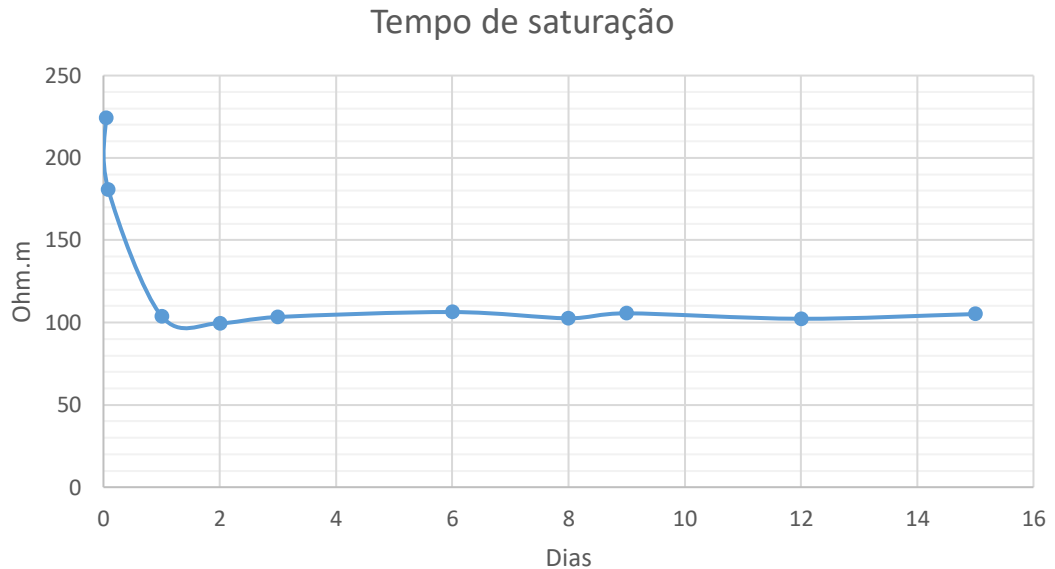
A variação da umidade do ar pode afetar a saturação dos poros capilares do concreto. Isto pode acarretar variação na medição da resistividade elétrica, considerando que a passagem da corrente pelo concreto depende do teor de eletrólito contido em seus poros. Logo, quando maior a saturação dos poros, menor será a resistividade elétrica, e conseqüentemente, aumentando a velocidade da corrosão da armadura do concreto armado. (Askeland, 2006)

O Teor de umidade do corpo de prova pode variar sua resistividade conforme as condições atmosféricas do ambiente ao qual se encontra. A saturação (FIGURA 23) para exames laboratoriais se torna muito importante, pois assim obtém-se uma variável constante no experimento. De acordo com a norma da ABNT 9204/2012 a condição climática é aproximadamente 60% de umidade do ar. Então, quanto mais saturado os poros dos corpos de prova, menor será a resistividade elétrica.

Na norma da ABNT NBR 9204/2012 a saturação deve ser feita com 48 horas em câmara úmida. Porém, as pesquisas realizadas no laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal de Minas Gerais obtiveram o mesmo tempo de saturação do corpo de prova (48 horas), conforme Figura 3. Mas as condições de ensaios foram com os corpos de prova submersos. A água utilizada para o

experimento foi da companhia de distribuição local (COPASA).

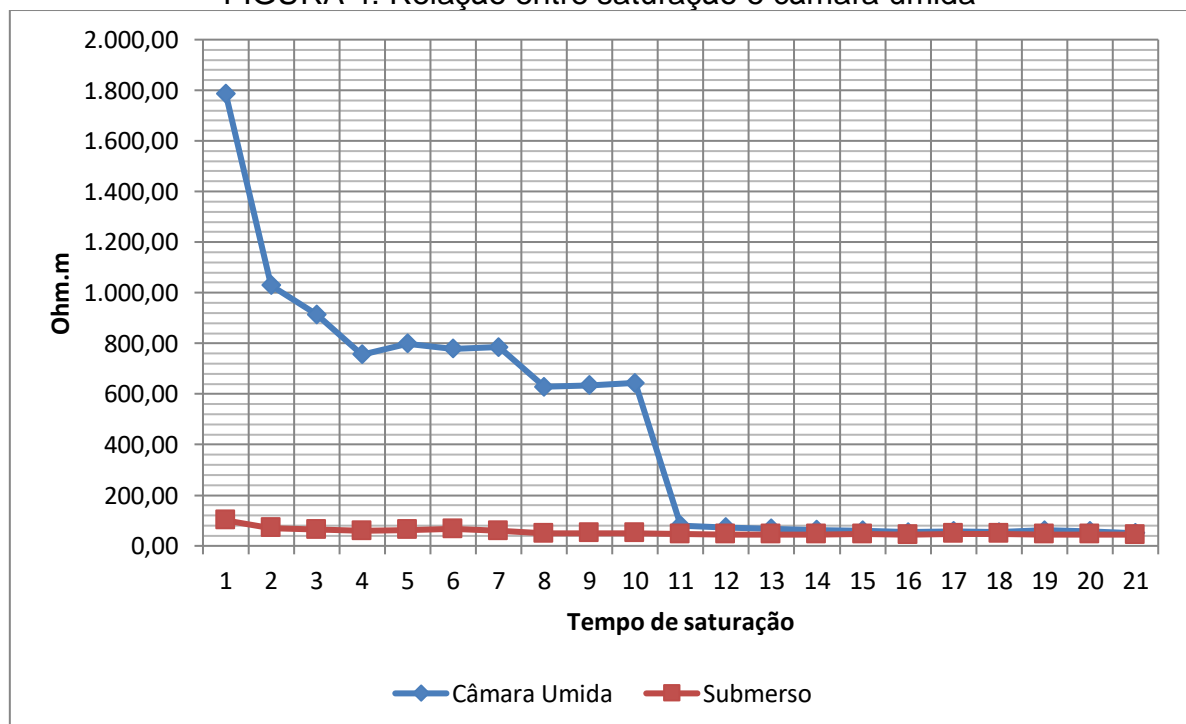
Figura 3: Gráfico do tempo de saturação do corpo de prova em dias.



Fonte: Autor 2017.

Foi analisada a relação de saturação entre a câmara úmida e a submersão (FIGURA 24). Após os ensaios foi decidido a utilização da saturação por submersão devido à saturação ser mais rápida, ocorrendo nas primeiras horas de ensaio. Apesar de igualar-se à saturação entre os métodos em onze horas.

FIGURA 4: Relação entre saturação e câmara úmida



Fonte: Autor (2017)

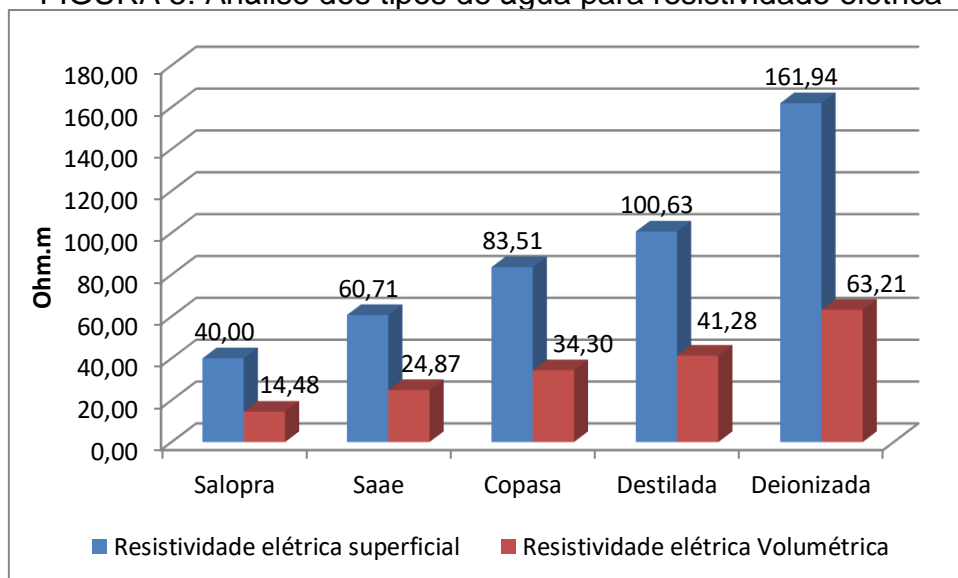
TIPOS DE ÁGUA

Um fator importante para a medição da resistividade elétrica do concreto é o tipo de água a ser utilizado para a saturação. Foram testados em laboratório alguns tipos de água analisando o valor da resistividade no mesmo corpo de prova. Utilizou-se a água destilada que é um isolante muito eficiente, pois possui alta resistividade. A água deionizada que não conduz corrente, pois não é formada por íons passíveis de conduzir corrente. A água de duas distribuidoras de água para cidade de duas localidades diferentes e por último a água salobra.

Os resultados, como demonstra a FIGURA 26, esboçam a influência da água na leitura do ensaio de resistividade elétrica. A água que menos influenciou foi a água deionizada, sequenciada pela destilada, a distribuidora COPASA do município de Belo Horizonte, depois a distribuidora SAAE da cidade de Itabira e por último a água salobra.

Porém foi escolhido para realização dos ensaios a água da distribuidora do município de Belo Horizonte COPASA, devido ser a abundância com menor influência.

FIGURA 5: Análise dos tipos de água para resistividade elétrica



Fonte: Autor (2017)

CONCLUSÕES

A resistividade elétrica pode ser um controle adicional para desempenho e durabilidade das estruturas de concreto armado, o método de ensaio pode ser utilizado na execução da obra e posteriormente como forma de controle de qualidade, podendo minimizar danos e estendendo a vida útil da peça estrutural. O monitoramento desde a confecção da peça e posterior pode ser um importante para avaliar a permeabilidade do concreto e evitar o desenvolvimento de corrosão devido à entrada cloreto ou carbonatação.

Para os tipos de água a serem utilizados a melhor escolha seria a água deionizada, porque ela gera uma menor influência na medição, porém em obra não teria como utilizar a água deionizada para saturar um pilar. Fica, então, uma questão sobre qual a água utilizada no processo de medição da resistividade elétrica, pois seu valor varia muito com tipo de água utilizada. O parâmetro em câmara úmida e submerso é uma questão interessante quando se analisa a rapidez na saturação. Os dois métodos chegam à saturação dos corpos de prova, porém o método submerso atinge a saturação bem mais rápido que em câmara úmida, como comprovado neste trabalho.

REFERÊNCIA

AASHTO: TP 95. **Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.** 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 5732: **Cimento Portland comum.** Rio de Janeiro, 1991.

____.NBR 5733. **Cimento Portland com Alta Resistencia Inicial.** Rio de Janeiro, 1990.

____.NBR 5734. **Peneiras para ensaio com telas de tecido metálico.** Rio de Janeiro, 1989.

____.NBR 5735. **Cimento Portland de alto forno.** Rio de Janeiro, 1991.

____.NBR 5736. **Cimento Portland pozolânico.** Rio de Janeiro, 1991.

____.NBR 5737. **Cimentos Portland resistentes a sulfatos.** Rio de Janeiro, 1992.

____.NBR 5739:2007 - **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

___NBR 6118:2014. **Projeto de estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

___NBR 6467 - **Agregados: determinação do inchamento do agregado miúdo, especificação**. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

___NBR 6502. Rochas e Solos. Rio de Janeiro, 1995.

___NBR 7211 - **Agregados para concreto, especificação**. Rio de Janeiro, 1982. 9p.

___NBR 7217 - **Agregado: determinação da composição granulométrica, especificação**. Rio de Janeiro, 1987. 5 p.

___NBR 7251 - **Agregado em estado solto: determinação da massa unitária, especificação**. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

___NBR 7810 - Agregado em estado compactado a seco: determinação da massa unitária, especificação. Rio de Janeiro, 1982. 3 p.

___NBR 8953. Concreto Para Fins Estruturais. Rio de Janeiro, 2015.

___NBR 9776 - **Agregados: determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman, especificação**. Rio de Janeiro, 1986. 3 p.

___NBR 9204/2012. **Concreto endurecido — Determinação da resistividade elétrico-volumétrica — Método de ensaio**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2012.

___NBR 11578. **Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991.

___NBR 12655/2015 – **Concreto de cimento Portland – Preparo controle e recebimento - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2015.

___NBR 12989. **Cimento Portland Branco**. Rio de Janeiro, 1992.

___NBR 13116. **Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação**. Rio de Janeiro, 1994.

___NBR 15900 2009 - **Água para amassamento do concreto Parte 1: Requisitos**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 2009.

___NM 248:2001. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2001.

___NM 26:2000. **Agregados - Amostragem / Agregados**. Rio de Janeiro, 2000.

ALMEIDA, Silvio Martins de. **Análise do módulo de elasticidade estático e dinâmico do concreto de cimento Portland através de ensaios de compressão simples e de frequência ressonante**. UFMG, Belo Horizonte, 2012.

ARAÚJO A. de; PANOSSIAN Z.; OLIV K.r J.; FILHO M. L. P.. **Técnicas de medição da resistividade elétrica em estruturas atmosféricas de concreto convencional.** Técnica Educação, Edição 210 - Setembro/2014.

ASKLAND, Donald R., FULAY, Pradeep P., WRIGHT, Wendell j.. **The Science and Engineering of Materials.** Ed. Cengage Learning, Sixth edition. 2006.

FERREIRA, C, R,; TAVERES, S. S.; TEIXEIRA, R. L. P.; GOUVEIA, L. L. de A.; OLIVEIRA; C. A. de S.. **Accelerated corrosion test for the qualitative evaluation of corrosion in concrete.** Revista Construindo, Belo Horizonte, volume 08 número 02 jul/dez 2016

GHOSH, Pratanu, TRAN, Quang. **Correlation Between Bulk and Surface Resistivity of Concrete.** International Journal of Concrete Structures and Materials. Vol.9, No.1, pp.119–132, March 2015

HALLIDAY, David. **Fundamentos da Física: Eletromagnetismo.** Editora LTC, 4ª edição. Rio de Janeiro, 2010.

HELENE, Paulo; ANDRADE, Tibério. **Concreto de Cimento Portland.** São Paulo. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais - IBRACON.2010

HOPPE, T. F.. **Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casaca de arroz.** Dissertação de mestrado. Santa Maria - RS, 2005.

ISAIA, G.C. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais.** Editora IBRACON. São Paulo: IBRACON, 2007. 2 v.

KAEFER. Luís Fernando. **A Evolução do Concreto Armado.** São Paulo, PEF 5707 – Concepção, Projeto e Realização das estruturas: aspectos históricos – 1998.

LAYSSI, Hamed, Pouria Ghods, Aali R. Alizadeh, and Mustafa Salehi. **Electrical Resistivity of Concrete Concepts, applications, and measurement techniques** MAY 2015.

LAGE, E.B.D, SIQUEIRA, P. G. F., MARTINS, P.H.A., AGUILAR, M.T.P., CHAHUD, E. **RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA DO CONCRETO: PARÂMETROS LABORATORIAIS.** Anais do 59º Congresso Brasileiro do Concreto. Outubro-Novembro/2017.

LENCIONI, J. W., LIMA, M. G.. **Principais fatores intervenientes nas medidas de resistividade elétrica superficial do concreto – Estado-da-Arte.** VI Congresso internacional sobre patologias e reabilitação de estruturas, Sixth edition. Córdoba – Argentina. CINPAR 2010

LIU, Yanbo, SUAREZ, Andres*, PRESUEL-MORENO, Francisco J.. **Characterization of New and Old Concrete Structures Using Surface Resistivity Measurements.** Department of Transportation Research. Tallahassee, Florida. 2010.

LÜBECK A.; **Resistividade Elétrica de Concretos de Cimento Portland Branco e Elevados Teores de Escória de Alto Forno,** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008, p.142.

MADHAVI, T. Ch., ANNAMALAI, S.. **Electrical conductivity of concrete**. India, ARPN Journals, Ninety edition. 2016, vol.11

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

NOKKEN, M. R., HOOTON, R. D.. **Electrical Conductivity Testing**. Ed. PCA R&D, No. 3002. 2006.

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 5ª edição. 2015. 828p

PEREIRA, V. C.de O.; ALMEIDA, K.; MONTEIRO, E. C. B.. **Avaliação da corrosão em argamassas de cimento portland utilizando a técnica de potencial de corrosão**. Revista Construindo, Belo Horizonte, volume 04 número 01 jan/jun 2012.

PESSÔA, J. R. de C.; DOMINGUÉZ, J. S.; CARVALHO, G. de; ASSIS, J. T. de. **Porosidade do Concreto Determinada por Microtomografia com Raio X e Processamento de Imagem**. Engenharia Estudo e Pesquisa. ABPE, v. 14 - n. 2 - p. 20-26 - jul./dez. 2014.

POLDER R., with contributions from C. Andrade, B. Elsener, Ø. Vennesland, J. Gulikers, R. Weidert and M. Raupac. **Test methods for on site measurement of resistivity of concrete**, rilem tc 154-enc: electrochemical techniques for measuring metallic corrosion. Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol. 33, December 2000, pp 603-611

ROSA, A. R. O.; GONÇALVES, D. K. C.; OLIVEIRA, N. N. C.. **Avaliação da resistência à compressão do concreto usando raios-X**. Revista Construindo, Belo Horizonte, v.6, n. 1, p.19-25, 1 jan. 2014.

ROSA, D. W. de. **Resistividade elétrica de concretos com diferentes teores de escória de alto forno e ativador químico**. Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

SANTOS, L.. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloreto em estruturas de concreto**. Dissertação de mestrado em estruturas e construção civil. Brasília, 2006.

SILVA, L. M. A.. **Resistividade elétrica superficial do concreto: influência da cura**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Goiás, 2016.

SONG, H., VELU, S.. **Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures - A Review**. Int. J. Electrochem. Sci., 2 (2007) 1- 28.

TORAYA, Juan de las Cuevas. **Un siglo de Cemento en Latinoamérica**, Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto – IMCYC, Mexico, 1999.

REFERÊNCIA ILUSTRATIVA

INFLUÊNCIA DA ÁGUA NA ANÁLISE DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA DO CONCRETO

LAGE, Eduardo Brando Diniz

CINTRA, Milena Sampaio. Marcas por Grupo e Área de Atuação. Disponível em