

## **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 <sup>3</sup>	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.

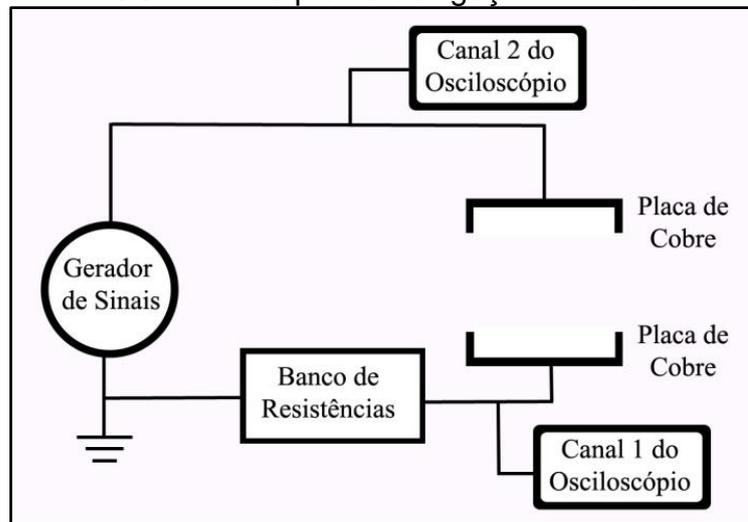
Lubeck apud Andrade (2008) expõe que a resistividade elétrica do concreto está diretamente ligada a quantidade de poros existentes e a conectividade entre eles. Outra utilização da resistividade elétrica é a medição em concretos não saturados, esta medição pode relacionar ao grau de saturação do mesmo.

### 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



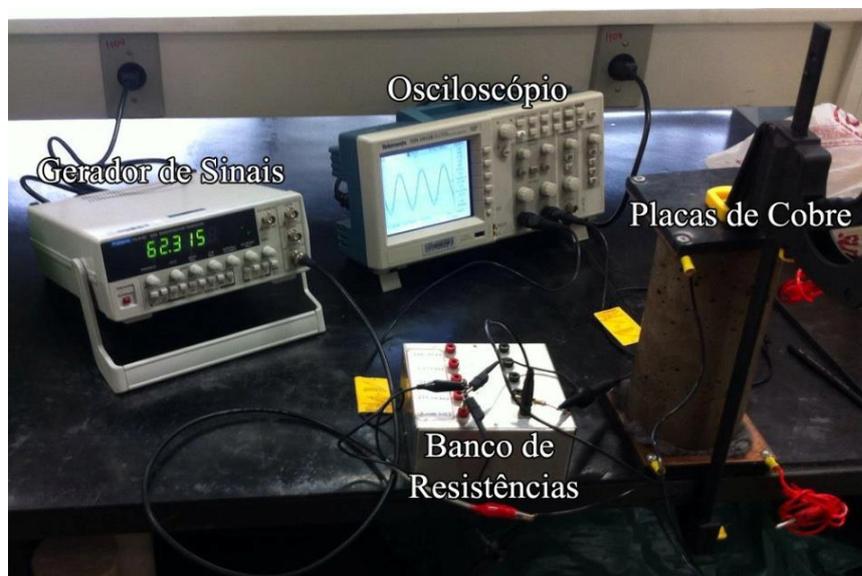
Fonte: LAGE, 2017.

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).

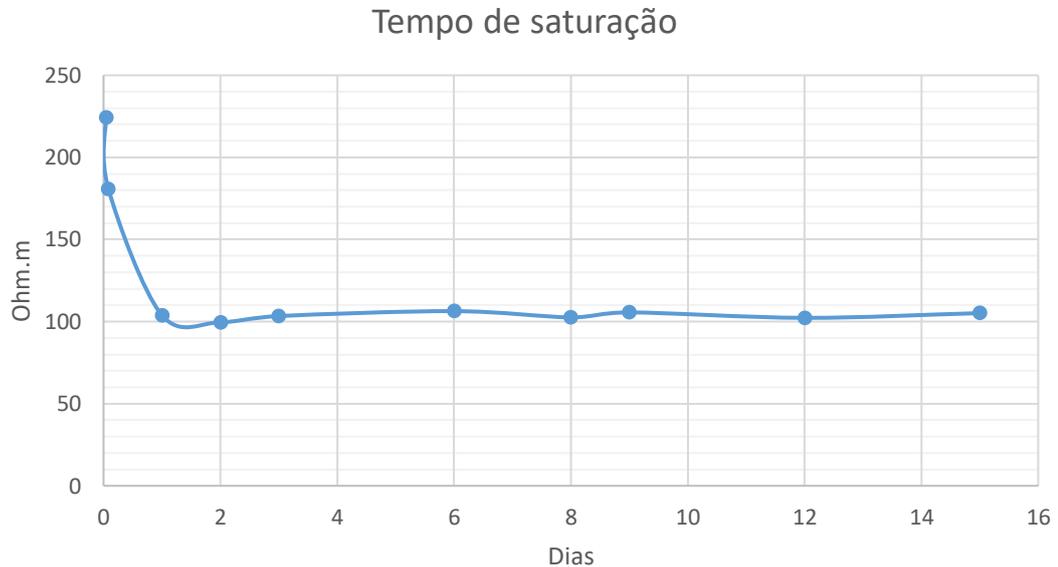
A variação da umidade do ar pode afetar a saturação dos poros capilares do concreto. Isto pode acarretar variação na medição da resistividade elétrica, considerando que a passagem da corrente pelo concreto depende do teor de eletrólito contido em seus poros. Logo, quando maior a saturação dos poros, 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).

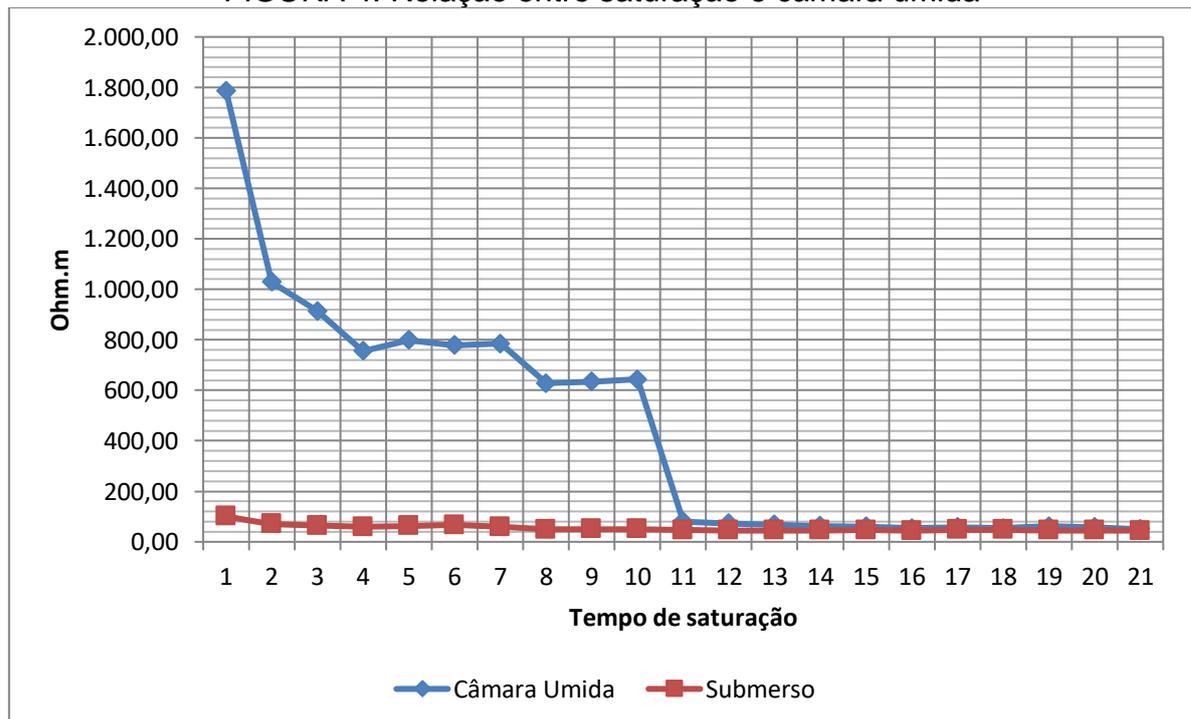
Figura 3: Gráfico do tempo de saturação do corpo de prova em dias.



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)

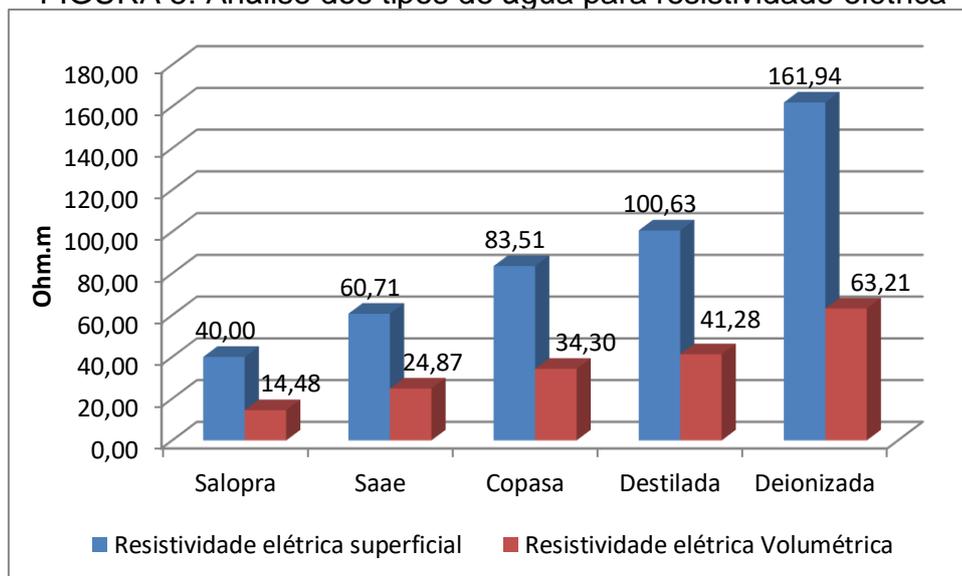
## TIPOS DE ÁGUA

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