

COMPARAÇÃO DA RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL E VOLUMÉTRICA DO CONCRETO EM CIMENTO PORTLAND CP IV

COMPARISON OF THE SURFACE AND VOLUMETRIC ELECTRICAL RESISTANCE OF CONCRETE IN CEMENT PORTLAND CP IV

COSTA, Josiane Moraes

Especialista em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais.
josianemoraescosta@gmail.com

AZZI, Sarah Silva

Engenheira Civil pela Universidade Fumec.
saraazzi@hotmail.com

RESUMO

O concreto possui uma propriedade física denominada resistividade elétrica, que pode ser definida como a medida da oposição do material a passagem da corrente elétrica. Esta propriedade permite avaliar a vida útil da estrutura, através do mapeamento dos pontos mais porosos do concreto e da previsão do início da corrosão nas estruturas expostas à cargas de íons cloretos. Quanto maior for a quantidade de poros, mais susceptível é a estrutura à penetração dos íons de cloreto e conseqüentemente à corrosão do material. A resistividade elétrica do concreto é uma medida que depende das suas características microestruturais e o quanto essas características interferem na estrutura do material, tornando-o mais poroso, com mais espaços vazios ou mais segregado. Para a determinação da resistividade do concreto utilizou-se a resistividade volumétrica e superficial. As análises e interpretações dos dados dos ensaios são demonstradas. Com os resultados e informações obtidas é apresentada curva relacionando as resistividades, com o objetivo de determinar possíveis influências desses valores, no desempenho do concreto e por conseqüência nas estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Resistividade elétrica. Corrosão. Volumétrico e superficial.

ABSTRACT

The concrete has a physical property called electrical resistivity, which can be defined as the measure of the material opposed to passage of electric current. This property allows to evaluate the life of the structure, by mapping the most porous parts of the concrete and forecast the onset of corrosion on the structures to loads of chloride ions. The greater the amount of pores, the structure is more susceptible to penetration of chloride ions and consequently corrosion of the material. The measure of the electrical resistivity of concrete depends on its microstructures and how these characteristics influence the structure of the material, making the most porous, with more empty or more segregated spaces. To determine the specific resistivity was used the volume and surface resistivity. The analysis and interpretation of test data are demonstrate in this article. With results and information obtained is presented curve relating the resistivity, in order to determine possible influences of these values, in this performance and result in reinforced concrete structures.

Keywords: Electrical resistivity. Corrosion. Volumetric and superficial.

1. INTRODUÇÃO

Há um crescente número de estudos publicados sobre as propriedades do concreto relativas à sua durabilidade e as correlações de probabilidade ao desenvolvimento de patologias. O parâmetro resistência mecânica não é mais considerado como fator determinante de durabilidade da estrutura em concreto armado. Esse novo aspecto da durabilidade do concreto é abordado nas obras de Neville (1997) e foi citado por Mehta (2008) em entrevista realizada no Brasil em 2008.

O concreto, classificado como material compósito, é formado por uma matriz à base de aglomerantes, água e agregados (ISAIA, 2007). As propriedades físicas inerente desses elementos são definidas pela microestrutura e influenciam diretamente nos aspectos de durabilidade do concreto por inúmeros fatores (MEHTA; MONTEIRO, 2004).

Um dos fatores relevantes é a porosidade. Existem poros capilares ocasionados naturalmente na concepção do concreto e também podem ocorrer os poros de ar e os macros poros acarretados por um defeito de compactação, (MEHTA; MONTEIRO, 2004). Segundo Rosa, Gonçalves e Oliveira (2014), o meio mais poroso influencia na possibilidade de permitir a atuação de agentes danosos à estrutura e também reflete diretamente na característica da resistividade do concreto.

Através da resistividade elétrica pode-se avaliar a estrutura do concreto produzido, uma vez que o resultado indica o quanto a estrutura dificultará a movimentação de elétrons livres. De acordo com Helene (1993), a resistividade elétrica e a disponibilidade de oxigênio na estrutura controlam a taxa de corrosão, que é um processo eletroquímico. De acordo com Pereira *et. al* (2012) a corrosão proveniente de íons cloreto é apontada como a maior vulnerabilidade à vida útil das estruturas de concreto.

Entende-se que quanto mais poroso um concreto, menor será a sua resistividade elétrica e conseqüentemente maior a possibilidade de advir a corrosão. Havendo corrosão no meio, o ensaio de resistividade expressará a umidade presente na estrutura (POLDER E PEELLEN, 2002; apud LUBECK, 2008). Ressalta-se que o ensaio não informa se há corrosão na estrutura, mas dados para uma avaliação do cenário indicando a possibilidade de ocorrer.

De acordo com Polder (2000), as medições podem ser úteis para analisar o potencial risco de corrosão do aço em uma estrutura de concreto, determinar as partes mais permeáveis da estrutura e localizar pontos com suscetíveis à penetração de água ou similares. Os testes colaboram ainda para ajudar os sistemas de design para proteção catódica e na qualidade controle do concreto na fase de produção.

O presente trabalho realiza uma análise comparativa entre os resultados obtidos através do método da determinação da resistividade elétrica superficial e volumétrica em corpo de prova cilíndricos de concreto confeccionados com cimento Portland IV.

2. RESISTIVIDADE ELÉTRICA

Resistividade elétrica ou resistência específica é definida como a propriedade que indica a indisponibilidade do meio para movimentação do fluxo de elétrons.

O ensaio consiste em aplicar uma corrente elétrica em um ponto do material, essa corrente tende a penetrar pela estrutura porosa, e analisar a diferença de potencial ocorrido (ABREU, 1998).

Halliday (2010), destaca que o resultado obtido nessa análise é relativo as características de cada material. Nota-se um baixo valor de resistividade para os elementos considerados condutores, geralmente materiais metálicos, e um alto valor para os elementos não condutores, como o concreto.

A equação para determinar a resistência elétrica tem como variantes a natureza do material utilizado, que determinará a resistividade elétrica específica (ρ), o comprimento L (m) e a seção transversal A (m²). (HALLIDAY, 2010). Formando a Equação 1:

$$R = \frac{(\rho L)}{A} \quad (1)$$

Onde:

R é a resistência elétrica (Ω/m);

ρ é a resistividade elétrica específica do material ($\Omega.m$);

L é o comprimento (m);

A é a área de seção transversal (m²).

Para que os ensaios sejam realizados de maneira correta é necessário que fatores que alterem o valor da resistividade sejam medidos e calculados com a menor diferença possível. Estes fatores, importantes para a determinação da resistividade elétrica do material, são a temperatura, a umidade do ar e o tempo de saturação do corpo de prova.

A temperatura é um fator que altera significativamente a medição da resistividade elétrica. Por ter uma grande influência sobre a solução presente nos poros (eletrólito), o aumento de temperatura diminui a viscosidade dessa solução e aumenta a mobilidade iônica e, conseqüentemente a condutividade elétrica. Portanto, a resistividade decresce com o aumento da temperatura (SILVA, 2016; apud WHITING E NAGI, 2003). De acordo com a ABNT

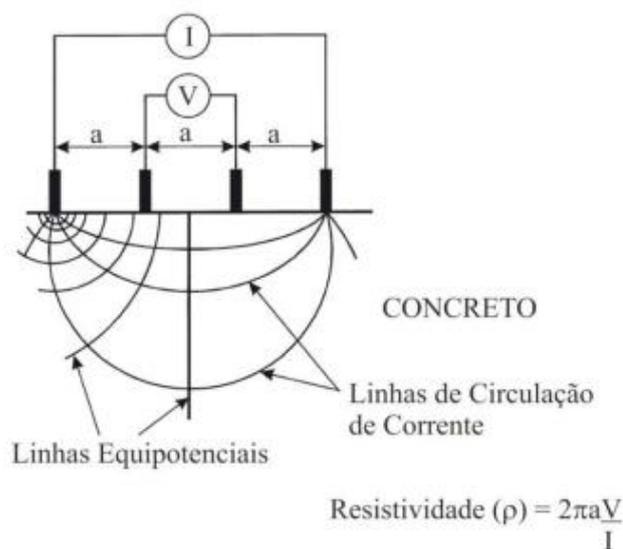
NBR 9204/2012 – Concreto endurecido - Determinação da resistividade elétrica volumétrica, no intervalo de $(24 \pm 4)^\circ\text{C}$ a resistividade elétrica varia cerca de 3% a 5% para cada grau de aumento ou diminuição temperatura.

O grau de saturação é um parâmetro de grande importância na determinação do valor da resistividade elétrica do concreto. A umidade dos poros capilares varia em função das condições atmosféricas do ambiente, e conseqüentemente altera a passagem de corrente pelo concreto. Assim, quanto mais saturados estiverem os poros do concreto, menor será a resistividade elétrica e mais elevada, a princípio, a velocidade de corrosão (LENCIONI, 2010; apud ABREU, 1998).

2.1. MÉTODO DE ANÁLISE DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA SUPERFICIAL

O método dos quatro eletrodos, também conhecido como método de Wenner, é o mais usual devido a sua praticidade de aplicação (Fig. 1). Trata-se de uma sonda com quatro eletrodos posicionados linearmente e equidistantes. Ao liberar a corrente elétrica é formado um campo elétrico e os pontos receptores da sonda captam a diferença de potencial ocorrida. A resistividade elétrica é informada automaticamente pelo equipamento.

Figura 1: resistividade superficial, linhas de corrente e potencial.



Fonte: Lencioni, 2010

O ensaio deve ser feito em superfície uniforme e úmida. Polder (2000), apresenta uma análise da possibilidade de corrosão em função dos valores da resistividade, segue Tabela 01:

Tabela 01: Probabilidade de corrosão em função da resistividade

Resistividade do concreto	Indicação da probabilidade de corrosão
> 200 <u>ohm.m</u>	Desprezível
100 a 200 <u>ohm.m</u>	Baixa
50 a 100 <u>ohm.m</u>	Alta
<50 <u>ohm.m</u>	Muito alta

Fonte: Polder, 2000.

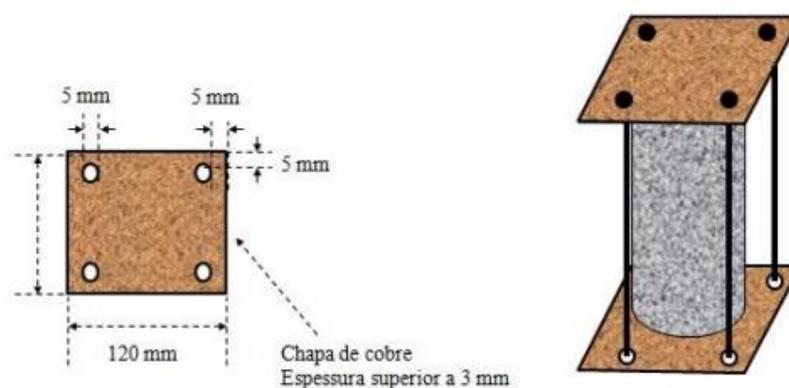
2.2 MÉTODO DE ANÁLISE DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA VOLUMÉTRICO

O método faz uso de dois eletrodos de cobre que são posicionados nas extremidades do corpo de prova, para auxiliar no contato entre as superfícies utiliza-se esponja de aço úmida. Através do banco de resistência é direcionada uma corrente alternada, a uma frequência estabelecida. O osciloscópio faz a leitura, e avaliam-se os resultados informados de quedas dos potenciais entre os eletrodos.

Diferente do superficial, o ensaio volumétrico exige a extração de corpos de prova de uma estrutura já edificada ou a coleta de amostras no caso de concretagem.

Abaixo segue ilustração do sistema de eletrodos utilizados, de forma semelhante, no aparelho do laboratório da Universidade Federal de Minas Gerais, para a medição da resistividade volumétrica (Fig. 2):

Figura 2: Sistema de eletrodos de chapas de cobre



Fonte: Lamounier, 2014

3. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Este trabalho tem como objetivo comparar os resultados da resistividade elétrica volumétrica e superficial do concreto. No experimento utilizou-se corpos de prova de dimensões 10x20 cm estabelecidas de acordo com a norma da ABNT NBR 9204/2012. Esses corpos de prova foram confeccionados no laboratório de Construção Civil da UFMG, com Cimento Portland pozolânico, CPIV – 32, areia média e brita zero. Após a confecção dos corpos de prova eles foram submetidos a exames periódicos nos dias três, sete, quatorze, vinte e um, vinte e oito e setenta dias.

A saturação, como visto anteriormente, é um fator muito importante nos ensaios laboratoriais. Verificou-se no laboratório de caracterização de materiais da universidade federal de Minas Gerais (UFMG), que duas horas submerso em água é o tempo de saturação adequado para estas medições. A água utilizada durante os experimentos é da companhia de distribuição local de água (COPASA). De acordo com a norma da ABNT NBR9204/2012 a umidade relativa do ar não pode ser inferior a 60%.

As medições da resistividade elétrica volumétrica são apresentadas na Tabela 02 e desenvolvidas no Gráfico 01. Os resultados encontrados demonstram corpos de prova com concreto poroso e resistividade baixa. O valor com três dias de medição é de aproximadamente 15 Ohm.m e o valor final com setenta dias é de 78 Ohm.m, o valor inicial corresponde a 20% do valor final da resistividade.

Tabela 02: Resultados da resistividade elétrica volumétrica

Dias	Resistividade elétrica Volumétrica
3	14,29
7	24,26
14	38,41
21	46,37
28	54,70
70	77,75

Fonte: Autor, 2017

Gráfico 01: Resultados da resistividade elétrica volumétrica



Fonte: Autor, 2017

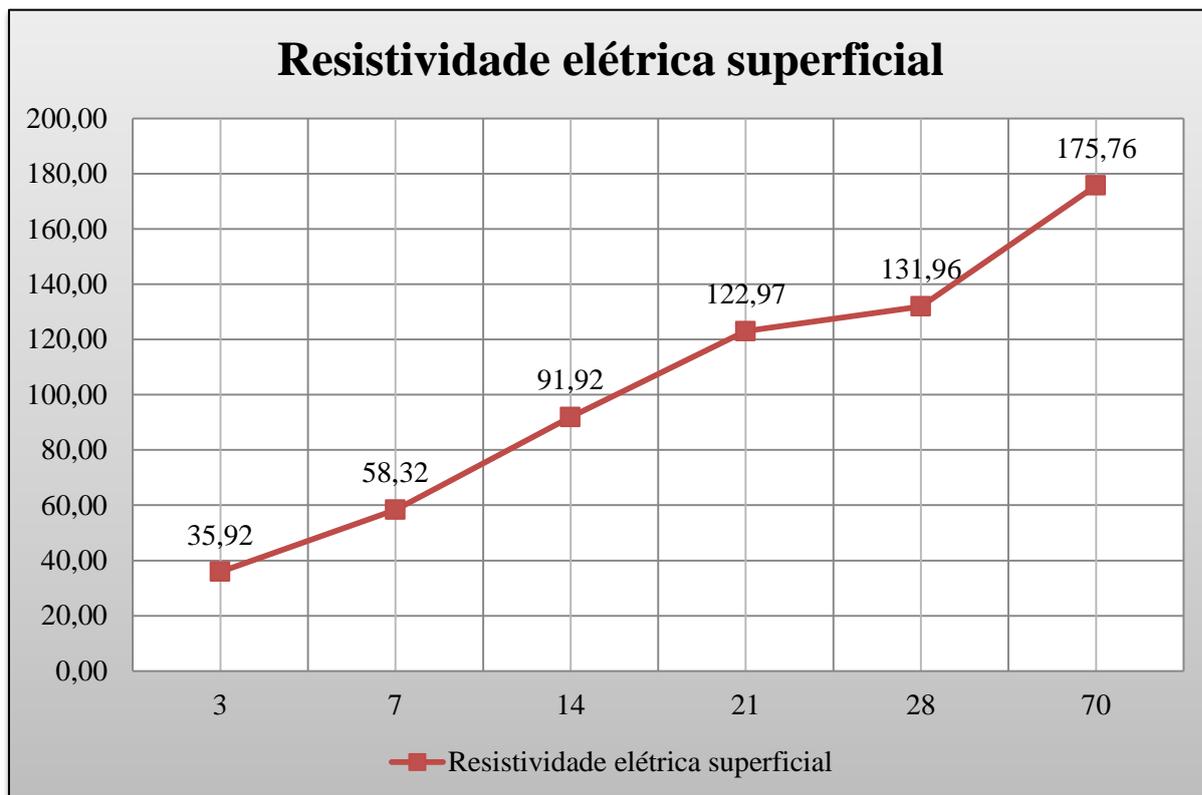
As medições da resistividade elétrica superficial são apresentadas na Tabela 03 e desenvolvidas no Gráfico 02. O valor inicial da resistividade é 20% do valor final encontrado. Sendo que o valor nos três dias de medição foi de 36 Ohm.m e com 70 dias de aproximadamente 176 Ohm.m. Os altos resultados obtidos aos 70 dias de ensaio, tanto para a resistividade volumétrica quanto para a resistividade superficial, permite concluir que o concreto nessa idade possui um baixo potencial de corrosão da armadura e da estrutura.

Tabela 03: Resultados da resistividade elétrica superficial

Dias	Resistividade elétrica superficial
3	35,92
7	58,32
14	91,92
21	122,97
28	131,96
70	175,76

Fonte: Autor, 2017

Gráfico 02: Resultados da resistividade elétrica superficial

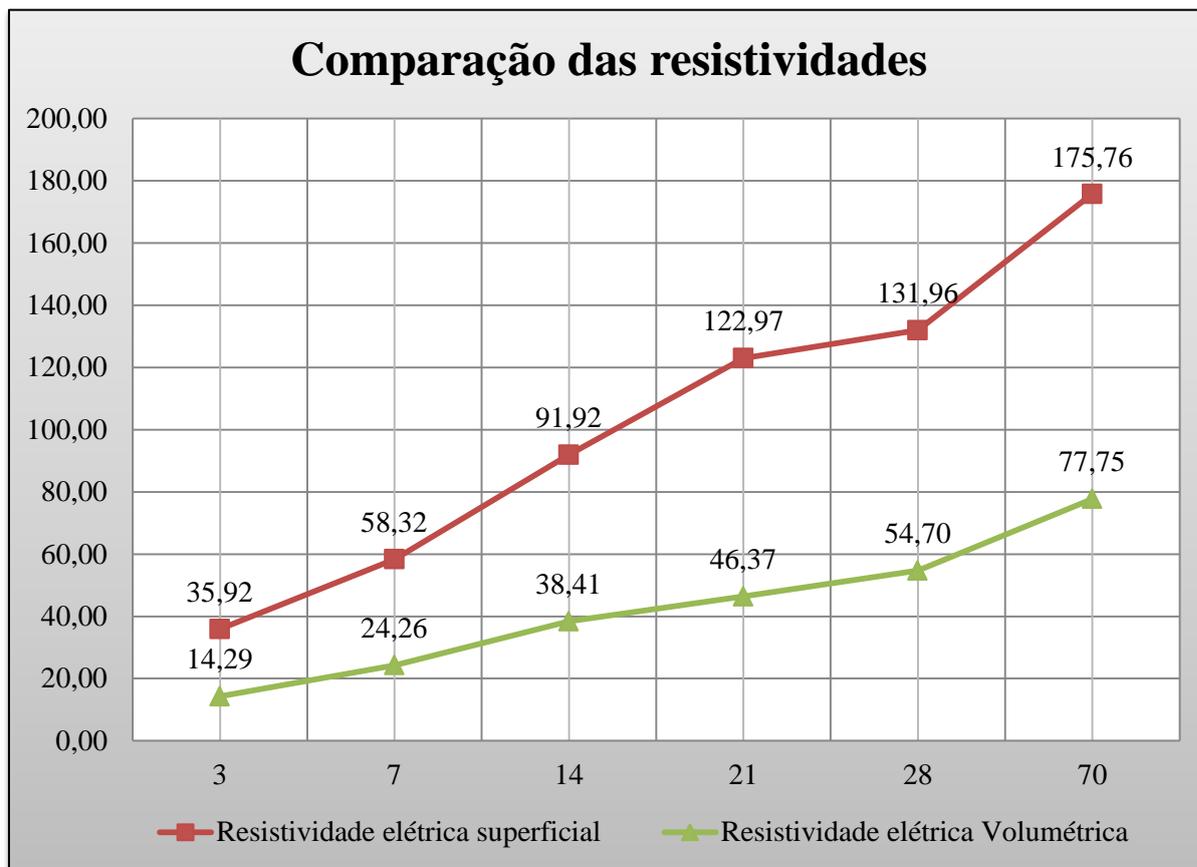


Fonte: Autor, 2017

Ao analisar os resultados dos Gráficos 01 e 02, apresentados, observa-se que a resistividade elétrica, tanto volumétrica quanto superficial, progride à medida que a idade do concreto aumenta, sendo esses diretamente proporcionais. Ao longo desse período de 70 dias de ensaios, o valor inicial de resistividade corresponde a aproximadamente 20% do valor final em ambos os casos. Portanto pode-se perceber que há uma correlação entre os métodos de análise das resistividades elétricas.

No Gráfico 03, podemos observar que as resistividades nos dois métodos crescem de maneira análoga, sendo que a resistividade superficial atinge valores superiores ao da resistividade volumétrica. Ao longo desses 70 dias, mesmo a resistividade alcançando um valor de medição de 176 Ohm.m, a probabilidade de ocorrer uma corrosão na armadura é baixa, segundo os valores de correlação apresentados na Tabela 01.

Gráfico 03: Comparação dos métodos de medição



Fonte: Autor, 2017

De acordo com Lencioni (2010), “A resistividade aumenta com a idade do concreto, o que significa progresso na hidratação do cimento” o que corrobora para os resultados das resistividades encontradas nos ensaios do artigo, em que a resistividade aumenta em função da idade do concreto.

Portanto utilizando os valores encontrados, durante os 70 dias, a resistividade teve uma redução no risco de corrosão da armadura, uma diminuição na porosidade do concreto e consequentemente será pouco suscetível à agressividade dos ataques de íons de cloreto e ao desgaste da estrutura de concreto.

4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados encontrados nos ensaios dessa pesquisa é possível concluir que há uma relação entre o método superficial e volumétrico de análise da resistividade elétrica no concreto. Ao analisar os valores obtidos no ensaios durante os 70 dias nota-se que o valor de resistividade elétrica inicial encontrado aos 3 dias de idade corresponde a aproximadamente 20% do valor final em ambos os casos.

Entre os métodos, observa-se que os valores obtidos no superficial é maior que os valores do volumétrico. O valor de resistividade superficial apurado aos 70 dias de idade dos corpos de prova é 44% menor do que o valor encontrado na resistividade volumétrica.

Ambos os métodos apresentam um aumento da resistividade diretamente proporcional à idade do concreto. Um traço mais poroso resultará em um concreto com menor resistividade e mais suscetível à ação de agentes danosos a estrutura.

Aos 70 dias de idade do concreto o ensaio de resistividade elétrica superficial apresentou valores em torno de 175 Ohm.m. De acordo com a Tabela 1 apresentada por Polder, 2000, há uma baixa probabilidade do meio à corrosão. Na mesma idade o ensaio de resistividade elétrica volumétrico apresentou valores próximos a 77 Ohm.m.

REFERÊNCIAS

AASHTO: T XXX-08. **Standard Method of Test for Surface Resistivity Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.**

ABREU A. G. **Efeito das Adições Mineraias na Resistividade Elétrica de Concretos Convencionais**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

ARAÚJO A. DE; PANOSSIAN Zehbour; OLIV Kleber J.; FILHO Mario L. Pereira. **Técnicas de medição da resistividade elétrica em estruturas atmosféricas de concreto convencional.** Técnica Educação, Edição 210 - Setembro/2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9204:2012 **Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica-volumétrica – Método de ensaio.** Rio de Janeiro, 2012, 12 p.

ASKLAND, D. R., FULAY, P. P., WRIGHT, W. J.. **The Science and Engineering of Materials.** Ed. Cengage Learning, Sixth edition. 2006.

ASTM, C215-08 **Standart Test Method for Fundamental Transverse, longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies os Concrete Specimens.** Estados Unidos, 2008.

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

HALLIDAY, D.. **Fundamentos da Física: Eletromagnetismo.** Editora LTC, 4^o edição. Rio de Janeiro, 2010.

HOPPE, T. F.. **Resistividade elétrica de concretos contendo diferentes teores de cinza de casca 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.

ISAIA, G.C **Concreto: Ensino, pesquisa e Realizações.** Editora IBRACON. São Paulo: IBRACON, 2005. 1 v.

HELENE P.R.L., **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado, Tese Livre Docência em Engenharia** – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1993.

LAYSSI, H., POURIA G., AALI R. ALIZADEH, AND MUSTAFA S.. **Electrical Resistivity of Concrete Concepts, applications, and measurement techniques_MAY 2015** Ci

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.

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, p.142. (2008)

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.

MEHTA, P. K.. **Concreto sustentável**. *Revista Techné Pini*, São Paulo/SP, n. 139, p. 20-25, out. 2008. Disponível em: <<http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/139/concreto-sustentavel-287584-1.aspx>>. Acesso em: 25 maio 2017.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo. PINI. 1997.

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

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.

POLDER R., with contributions from ANDRADE C., ELSENER B., VENNESLAND Ø., GULIKERS J., WEIDERT R. and RAUPAC M.. **Test methods for on site measurement of resistivity of concrete**, rilem tc 154-emc: 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 raio X**. *Revista Construindo*, Belo Horizonte, *Construindo*, Belo Horizonte, v.6, n. 1, p.19-25, 1

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**. Trabalho final de curso de graduação. Goiânia - GO, 2016.