

Análise da influência da espessura de cobrimento da armadura nas medidas de resistividade elétrica do concreto – I. Primeiros resultados



**Julia Wippich
Lencioni¹**



**Maryangela
Geimba de Lima²**

RESUMO

A resistividade elétrica superficial do concreto é um parâmetro regulador dos processos de corrosão de armaduras, sendo utilizado inclusive para verificar uma maior ou menor aptidão de um sistema concreto-armadura apresentar o fenômeno da corrosão. O presente trabalho tem por objetivo investigar a resistividade elétrica superficial em corpos-de-prova prismáticos de concreto armado, obtidas por meio de ensaios realizados com um equipamento Resi, analisando-se a questão da influência da espessura de cobrimento da armadura na obtenção das medidas. Investiga-se a influência do cobrimento da armadura na obtenção da resistividade elétrica superficial analisando-se espessuras de cobrimento de 1,5cm, 2,0cm e 3,0cm. São apresentados os valores de resistividade elétrica superficial obtidos nos ensaios de laboratório e é discutida a influência das distintas espessuras de cobrimento da armadura sobre esses dados.

PALAVRAS-CHAVE

Concreto, resistividade superficial, corrosão, cobrimento da armadura.

¹ Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Física e Química dos Materiais Aeroespaciais, 12228-900, São José dos Campos, Brasil. lencioni@ita.br

² Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Divisão de Engenharia Civil, 12228-900, São José dos Campos, Brasil. magdlima@ita.br

1. INTRODUÇÃO

A resistividade elétrica superficial do concreto é um parâmetro regulador dos processos de corrosão de armaduras, sendo utilizado para verificar uma maior ou menor aptidão de um sistema concreto-armadura apresentar ou desenvolver corrosão das armaduras.

A corrosão das armaduras é uma das manifestações patológicas mais freqüentemente observadas nas estruturas de concreto, atingindo índices preocupantes. Segundo referências citadas em um trabalho de Bauer, Feijão e Alves [1], alguns pesquisadores já registraram índices de até 45% dos casos observados como de corrosão das armaduras.

HELENE [2] apresenta que, para que a corrosão das armaduras no interior do concreto se desenvolva, são necessários três fatores: um *eletrólito*, que irá conduzir os íons e dissolver o Oxigênio - o eletrólito, no concreto é constituído por íons em solução; uma *diferença de potencial* entre dois pontos quaisquer da armadura, seja pela diferença de umidade, aeração, concentração salina, tensão no concreto e/ou no aço, impurezas no metal, heterogeneidades inerentes ao concreto, pela carbonatação ou pela presença de íons; e a *presença de Oxigênio* dissolvido na solução presente nos poros do concreto. Existe um quarto fator, que influencia fortemente no início e na velocidade do processo corrosivo: a *presença de íons agressivos* no eletrólito, como, por exemplo, Cloretos ou Sulfatos.

A preocupação em se estudar e se mensurar a resistividade elétrica do concreto reside no fato de que esta propriedade juntamente com o acesso de oxigênio às barras constituem os dois elementos principais controladores do processo eletroquímico que gera o fenômeno da corrosão das armaduras. Dessa forma, a velocidade de corrosão do aço no concreto é dependente da resistividade elétrica ou, por outro lado, da condutividade iônica do eletrólito (fase líquida do concreto). [3]. A resistividade depende fundamentalmente da umidade contida nos poros do concreto. [4]

A resistividade superficial do concreto pode ser medida de várias formas, sendo mais conhecido o método dos “quatro pontos”, similar ao método de Wenner empregado na determinação da resistividade elétrica dos solos e descrito na norma ASTM G57 - *Standard Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method* [5]. Conforme descrito por Cascudo [3], atualmente esse método apresenta adaptações para aplicação em concreto por meio de equipamentos comerciais, que apresentam como vantagem a possibilidade do uso in situ e o fato de serem totalmente não destrutivos, já que tais equipamentos apenas encostam na superfície do concreto, obtendo-se rapidamente as medidas desejadas. Para a obtenção das medidas de resistividade elétrica superficial apresentadas neste trabalho foi empregado um equipamento comercial específico para uso em concreto.

Algumas vantagens e desvantagens da monitoração da resistividade elétrica superficial do concreto são relacionados por Medeiros [6]. Como vantagens são mencionados os seguintes fatores: 1º. a resistividade influencia diretamente a velocidade de corrosão após a despassivação da armadura; 2º. oferece rapidez de leituras, favorecendo os trabalhos de campo; 3º. complementa outros parâmetros de monitoramento, como, por exemplo, a velocidade de corrosão e o potencial de corrosão. Já como desvantagens são relacionados: 1º. os possíveis danos superficiais causados devido a necessidade de ruptura da camada carbonatada do concreto; 2º. a necessidade de experiência para a interpretação dos resultados, já que a resistividade é influenciada por fatores como temperatura, materiais constituintes do concreto, entre outros; 3º. os resultados podem ser afetados pelo espaçamento entre os eletrodos empregados durante as leituras de monitoração, pelas dimensões da peça, pela densidade e pela localização da armadura. Este último fator – a localização da armadura – é o alvo dos ensaios e das análises e discussões apresentadas neste trabalho.

Quanto aos critérios de avaliação da resistividade, Cascudo [3] afirma que os parâmetros apresentados pelo Comité Euro-International du Béton 192 (CEB 192) têm grande aceitação no meio técnico

científico. Esses serão os parâmetros tomados como referência neste trabalho. O critério de avaliação do CEB 192 [apud 3] é apresentado no Quadro 1, a seguir.

Quadro 1. Critérios de avaliação da resistividade elétrica superficial do concreto, de acordo com o CEB 192 [apud 3].

Resistividade do concreto	Indicação de Probabilidade de Corrosão
> 20 k Ω .cm	Desprezível
10 a 20 k Ω .cm	Baixa
5 a 10 k Ω .cm	Alta
< 5 k Ω .cm	Muito Alta

É importante destacar que estes valores são relativos a ensaios laboratoriais com os corpos-de-prova completamente saturados em água, condição esta difícil de ser reproduzida no campo. Este é o motivo que leva alguns consultores a adotar, na prática, valores um pouco maiores dos especificados [no Quadro 1], ou seja, valores mais conservadores e a favor da segurança. [6]

A literatura [6, 7, 8] aponta que medidas de resistividade do concreto efetuadas sobre as armaduras resultam em valores alterados, devendo-se evitar realizar as medidas sobre as barras de aço empregadas no concreto. Medidas sobre a armadura resultam em (falsos) valores baixos de resistividade. Com base nessa problemática, este trabalho tem por objetivo investigar a resistividade elétrica superficial em corpos-de-prova prismáticos de concreto armados e não armados, analisando-se a questão da influência da espessura de cobrimento da armadura na obtenção das medidas, ilustrando-se e confirmando-se essa informação constante na bibliografia. Investiga-se a influência do cobrimento da armadura sobre a resistividade analisando-se espessuras de cobrimento de 1,5cm, 2,0cm e 3,0cm - busca-se verificar se maiores ou menores espessuras de cobrimento resultam em alterações significativas nos resultados de ensaio. São apresentados os dados obtidos nos ensaios de laboratório e é discutida a influência das distintas espessuras de cobrimento da armadura sobre esses dados.

Os ensaios e as considerações descritas neste trabalho são parte da tese de doutoramento da MSc Eng^a Civil Julia Wippich Lencioni, que vem sendo desenvolvida sob a orientação da Prof^a Dr^a Maryangela Geimba de Lima, no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), Brasil. Esses dados referem-se ao início dos trabalhos de laboratório, os quais deverão ser ainda complementados, gerando contribuições para uma possível proposta de norma brasileira de medidas de resistividade elétrica superficial, visto que atualmente existe no Brasil apenas uma norma oficial, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), referente aos ensaios de resistividade elétrica volumétrica – *NBR9204/1985: Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica-volumétrica* [9]. Devido a isso, os ensaios pertinentes são realizados com base em normas estrangeiras.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais e corpos-de-prova empregados

Foram empregados nos ensaios de resistividade elétrica superficial (ρ), corpos-de-prova armados e não armados provenientes do Projeto DURACON – Influencia de la acción del medio ambiente en la durabilidad del concreto -, um projeto iberoamericano do qual participam 11 (onze) países, incluindo o Brasil. A coordenação brasileira do referido Projeto está sob responsabilidade da Prof^a Dr^a Maryangela Geimba de Lima, do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) e conta com o apoio brasileiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o apoio internacional do Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED). As dimensões dos corpos-de-prova e os materiais empregados na sua confecção são descritos a seguir.

2.1.1 Materiais

*Análise da influência da espessura de cobrimento da armadura na resistividade elétrica do concreto –
I. Primeiros resultados*

Os agregados, cimento e aço, bem como o concreto empregado na confecção dos corpos-de-prova (CPs) empregados no desenvolvimento deste trabalho, apresentam as seguintes características.

a) Concretos

- Foram empregados dois fatores água cimento (a/c): 0,45 e 0,65.
- No caso de $a/c = 0,45$: foi utilizado um consumo mínimo de cimento de 400kg/m^3 .
- No caso de $a/c = 0,65$: foi utilizado um consumo mínimo de cimento de 200kg/m^3 .
- Abatimento (slump) = $10 \pm 1\text{cm}$.

b) Agregados

- Agregado graúdo: foi utilizado silício triturado (britado), de dimensão máxima 13mm.
- Agregado miúdo: foi utilizada areia quartzosa.
- Os agregados empregados deveriam atender às seguintes condições: estar de acordo com a norma ASTM 33; ser secos em estufa; não deveriam ter uma absorção maior que 1%.

c) Cimento

- Foi utilizado o cimento CP-II-E 32.

d) Aço

- Foi utilizado aço conforme classificação ASTM A400.

2.1.2 Dimensões dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova, não armados e armados, de dimensões padronizadas 15x15x30 cm, são ilustrados a seguir (Figs 1 a 3).

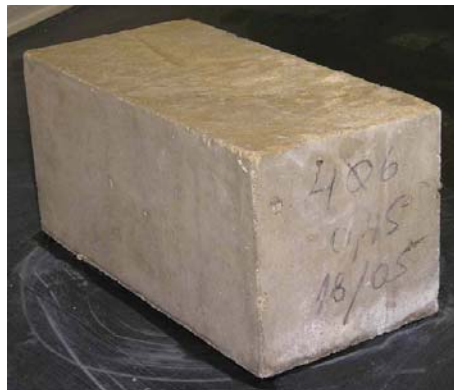


Figura 1. Corpo-de-prova não armado, de dimensões 15x15x30 cm.



Figura 2. Corpo-de-prova armado, de dimensões 15x15x30 cm.

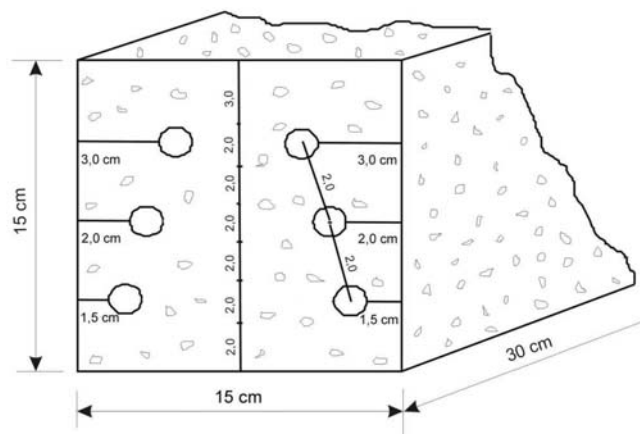


Figura 3. Esquema indicativo da seção dos corpos-de-prova armados, verificando-se a diferença das espessuras de cobrimento das armaduras (1,5cm, 2,0cm e 3,0cm).

2.2 Ensaios de resistividade elétrica superficial

Os ensaios de resistividade elétrica superficial foram realizados com o uso de um equipamento Resi, da PROCEQ S.A. Esse equipamento baseia-se do método dos quatro pontos (método de Wenner), sendo capaz de registrar variações de resistividade entre 0 e 99 k Ω .cm \pm 1 k Ω .cm. O equipamento empregado nos ensaios é apresentado na Fig. 4.

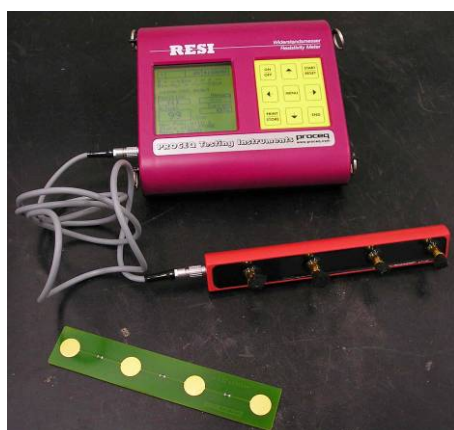


Figura 4. Equipamento Resi, da PROCEQ S.A., empregado nas medidas de resistividade elétrica superficial do concreto.

Foram utilizados quatro corpos-de-prova não armados, sendo dois de fator a/c (água-cimento) igual a 0,45 e dois de fator a/c igual a 0,65; e seis corpos-de-prova armados, sendo três de fator a/c 0,45 e três de fator a/c 0,65. Foram tomadas medidas em corpos-de-prova não armados para que estas fossem referência para comparação com os corpos-de-prova armados, podendo-se verificar a interferência da posição das armaduras e quanto essas armaduras, em função da sua espessura de cobrimento, interferem nas medidas de ρ .

Todos os corpos-de-prova foram moldados no ano de 2004, nos laboratórios da Faculdade de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), Brasil, estando portanto com quatro anos de idade. Sendo assim, tratando-se de corpos-de-prova antigos, presupõe-se que a hidratação do cimento apresenta-se estabilizada e que não é um fator interveniente nos resultados dos ensaios. Os corpos-de-prova, durante este período (2004-2008) foram mantidos em ambiente de laboratório, não tendo sido expostos ao ambiente externo em nenhuma ocasião estimando-se assim que não há desenvolvimento de corrosão nas armaduras; também não há manifestação aparente de corrosão.

*Análise da influência da espessura de cobrimento da armadura na resistividade elétrica do concreto –
I. Primeiros resultados*

Os corpos-de-prova foram colocados em tanque com água para saturação com no mínimo 24h de antecedência aos ensaios, com o objetivo de garantir seu estado de saturação e assim poder correlacionar as medidas de resistividade obtidas com os parâmetros apresentados pelo CEB, apresentados no Quadro 1.

Para todos os corpos-de-prova foi adotado um sistema de leitura das medidas de ρ , conforme indicado na Fig. 5. Adotou-se como sendo o topo do corpo-de-prova a face sem contato com a fôrma de moldagem. Para a definição das laterais direita e esquerda, partiu-se da adoção da face frontal com sendo aquela que apresentava a numeração, fator a/c e data de moldagem definidos e marcados quando da época de moldagem dos corpos-de-prova.

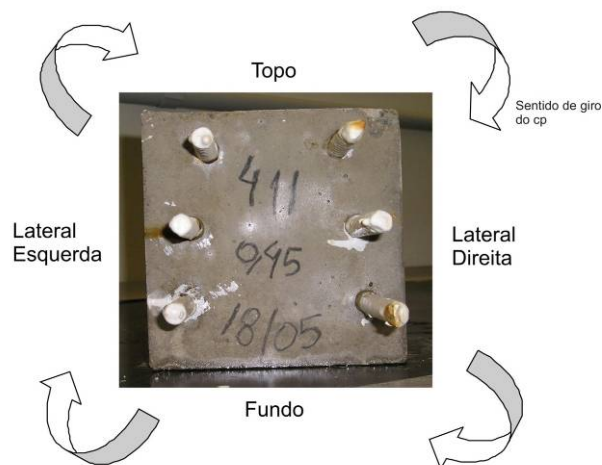


Figura 5. Esquema de leitura/giro dos corpos-de-prova durante a realização dos ensaios.

As Figs 6 e 7 ilustram as atividades de leitura dos corpos-de-prova não armados e armados.

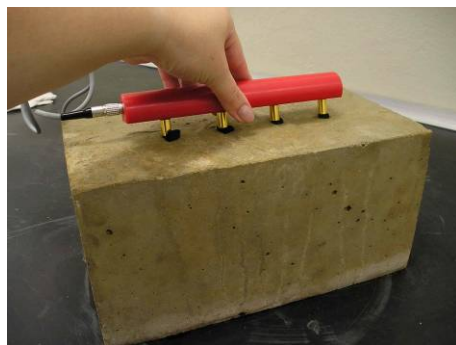


Figura 6. Procedimento de leitura adotado para os corpos-de-prova não armados: leituras efetuadas no centro das laterais direita e esquerda.



Figura 7. Procedimento de leitura adotado para os corpos-de-prova armados: leituras efetuadas sobre as armaduras (faces direita e esquerda).

3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os valores obtidos de ρ são apresentados nos Quadros 2 e 3.

Quadro 2. Valores de resistividade elétrica superficial - corpos-de-prova não armados, moldados com distintos fatores a/c.

CPS NÃO ARMADOS			
CP nº	Fator a/c	ρ na Face Direita - (k Ω xcm)	ρ na Face Esquerda - (k Ω xcm)
405	0,45	50,3	46,3
406		46,3	46,7
610	0,65	33,0	29,3
611		29,7	31,0

Quadro 3. Valores de resistividade elétrica superficial – corpos-de-prova armados, moldados com distintos fatores a/c.

CPS ARMADOS				
CP nº	Fator a/c	Espessura de cobrimento (cm)	ρ Face Direita (kΩxcm)	ρ Face Esquerda (kΩxcm)
410	0,45	1,5	5,1	8,0
		2,0	8,0	10,0
		3,0	20,0	19,0
411		1,5	8,6	4,2
		2,0	9,4	7,0
		3,0	19,0	19,0
412		1,5	7,0	6,7
		2,0	8,6	7,6
		3,0	22,0	21,0
604	0,65	1,5	6,1	6,1
		2,0	8,0	6,1
		3,0	16,0	16,0
605		1,5	9,4	8,6
		2,0	8,9	11,0
		3,0	16,0	21,0
606		1,5	6,1	12,0
		2,0	7,6	10,0
		3,0	16,0	18,0

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando-se os critérios de avaliação definidos pelo CEB 192, os valores obtidos para os corpos-de-prova não armados encontram-se na faixa desprezível de probabilidade de corrosão ($\rho > 20$ k Ω xcm). Entretanto, analisando-se os valores obtidos para os corpos-de-prova com armadura, os resultados são divergentes. A maioria dos valores registrados para os cobrimentos de 1,5 cm e 2,0 cm indicam uma probabilidade alta de corrosão ($\rho = 5$ a 10 k Ω xcm), enquanto que os valores obtidos para o cobrimento de 3 cm indicam uma baixa probabilidade ($\rho = 10$ a 20 k Ω xcm) ou até mesmo uma probabilidade desprezível de corrosão ($\rho > 20$ k Ω xcm).

Análise da influência da espessura de cobrimento da armadura na resistividade elétrica do concreto – I. Primeiros resultados

As considerações anteriores, válidas tanto para o fator $a/c = 0,45$ quanto para o fator $a/c = 0,65$, comprovam a influência das armaduras e da variação do seu posicionamento quando realizados ensaios de resistividade elétrica superficial do concreto. Apesar de se tratarem de dados iniciais (primeiras medidas, com reduzido número de corpos-de-prova) de uma pesquisa ainda a ser complementada, os valores registrados demonstram, e comprovam, que o posicionamento das armaduras, no que diz respeito à sua espessura de cobrimento e à variação desse cobrimento, influi nas medidas, mesmo que realizadas com equipamentos específicos para tal finalidade e devidamente calibrados, o que pode levar a conclusões precipitadas e/ou errôneas da real situação de uma estrutura/elemento de concreto.

As Figs 8 e 9 a seguir trazem gráficos de dispersão elaborados com os dados dos Quadros 2 e 3.

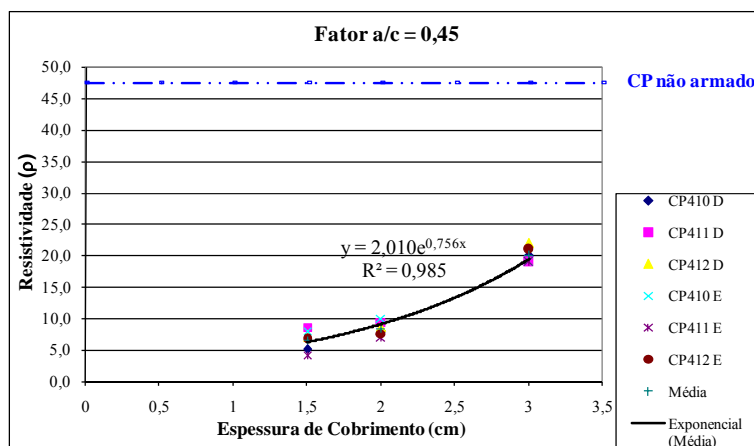


Figura 8. Gráfico de dispersão referente aos corpos-de-prova de fator $a/c = 0,45$. (D refere-se aos dados obtidos na face direita dos CPs e E refere-se aos dados obtidos na face esquerda).

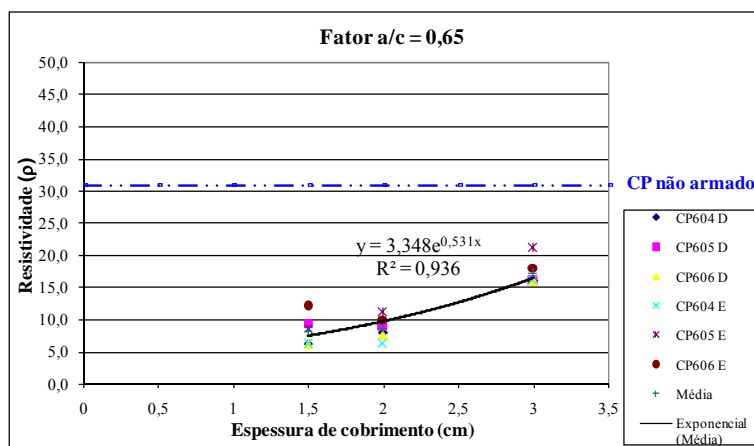


Figura 9. Gráfico de dispersão referente aos corpos-de-prova de fator $a/c = 0,65$. (D refere-se aos dados obtidos na face direita dos CPs e E refere-se aos dados obtidos na face esquerda).

Os valores de R^2 apresentados pelos gráficos (aproximadamente 0,98 para o fator $a/c = 0,45$ e aproximadamente 0,94 para o fator $a/c = 0,65$) dão ênfase ao exposto anteriormente. Conforme o exposto por Costa Neto [10], valores de R^2 próximos de 1 significam que há uma boa correlação entre os pontos experimentais. Em outras palavras, pode-se dizer que as diversas variáveis X (espessura de cobrimento) são responsáveis quase que totalmente pela variabilidade de Y (ρ). Isso demonstra mais uma vez que as diversas espessuras de cobrimento da armadura influenciam nos valores de resistividade elétrica superficial, podendo favorecer interpretações errôneas dos resultados obtidos nos ensaios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de já descrito na literatura que ocorrem alterações nos valores de ρ quando efetuadas leituras sobre armaduras, objetivava-se, com este trabalho, ilustrar e verificar a necessidade de um estudo aprofundado sobre a questão, uma vez que nem sempre se tem disponíveis equipamentos para localização da armadura (Pacômetros).

Verificou-se que as diferenças de cobrimento levavam a diferentes classificações do concreto quanto ao risco ou existência de corrosão nas armaduras embutidas. Esse fato pode levar a interpretações errôneas quanto às medidas realizadas.

Um estudo mais aprofundado sobre o tema pode levar inclusive a geração de fatores de correção que deverão ser utilizados quando da realização de medidas de resistividade elétrica superficial em estruturas de concreto.

Outro fator decorrente deste estudo é a possível interpretação de resultados diferentes obtidos em posições relativamente próximas. Anteriormente entendia-se essa diferença como uma possível existência de pilhas de corrosão (ânodos e cátodos). A partir deste estudo, essa diferença merece ser melhor analisada pois a proximidade das armaduras pode influenciar significativamente na medida realizada.

Este trabalho terá continuidade em outras publicações e na tese de doutoramento de Julia Wippich Lencioni, em desenvolvimento no ITA-Brasil.

6. AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli-USP), ambas instituições brasileiras, bem como ao Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

7. REFERÊNCIAS

- [1] BAUER, E.; FEIJÃO, C.; ALVES, N. - Sensores galvânicos para monitoramento da corrosão induzida por carbonatação. Anais do 2º Workshop sobre durabilidade das construções. São José dos Campos: ITA, ANTAC, 2001. p. 292-300.
- [2] HELENE, P. R. L. - Corrosão em armaduras para concreto armado. São Paulo: Pini, 1986. 47p.
- [3] CASCUDO, O. – Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura. ISAIA, G. C. ed. - Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações. São Paulo: IBRACON, 2005. v. 1, p. 713-751, ISBN 85-98576-04-2.
- [4] ANDRADE, C. - Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. São Paulo: Pini, 1992. 104p.
- [5] ASTM G-57. 2006, Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method. West Conshohocken: ASTM. 5 p.
- [6] MEDEIROS, M. H. F. – Estudo de variáveis que influenciam nas medidas de resistividade de estruturas de concreto armado. Revista: Engenharia Civil – UM, n.12, 2001. p. 55-64.

*Análise da influência da espessura de cobrimento da armadura na resistividade elétrica do concreto –
I. Primeiros resultados*

[7] DURAR. RED TEMATICA XV B: DURABILIDADE DE LA ARMADURA - Manual de Inspección y diagnostico de corrosión en estructuras de hormigón armado. 2.ed, 1998. 208p.

[8] POLDER, R. [et al.] – Rilem TC 154-EMC: Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion. Revista: Materials and Structures, vol. 33, Dec. 2000, p. 603-611.

[9] NBR9204.1985, Concreto endurecido – Determinação da resistividade elétrica-volumétrica. Rio de Janeiro: ABNT. 14 p.

[10] COSTA NETO, P. L. O. – Estatística. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 264p.