

Copyright 2010, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2010, em Fortaleza/CE no mês de maio de 2010.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Estudo da interferência da armadura nas leituras de resistividade elétrica superficial do concreto – I. Medições aos 28 dias.

Julia W. Lencioni¹, Maryangela G. de Lima²

Abstract

The electrical resistivity and the Oxygen access are the main control elements of the electrochemical process that causes the concrete reinforcement corrosion. Thus, this paper presents the behavior of the superficial electrical resistivity of the concrete, obtained with Wenner method – or the four points method - of nine specimens of (25x25x65) cm of dimensions with a corrugated steel bar of 1,25 cm of diameter and cover thickness of 2 cm. With the purpose of verify the steel bar interference in the superficial electrical resistivity, this paper presents some data over the bars and in a regular intervals of 2 cm, parallel to the bar. It was possible to prove the information exposed in the literature that the measurements realized over the bars result in false low values. In tests realized in the concrete at 28 days old, the measurements made at regular intervals showed that a proximity of about 2 cm from the steel bar presence still influences the measurements, with resistivity values higher than those obtained over the bar, but lower than those obtained at a greater distance, inducing to an inadequate interpretation of the real material condition. It has been proposed as 4 cm safe distance from the bar to take the measurements.

Resumo

A resistividade elétrica e o acesso de oxigênio constituem os principais elementos controladores do processo eletroquímico que gera o fenômeno da corrosão das armaduras do concreto. Sendo assim, este trabalho apresenta o comportamento das leituras da resistividade elétrica superficial do concreto, realizadas pelo método de Wenner - ou método dos quatro pontos -, em nove corpos de prova de dimensões (25x25x65) cm contendo uma barra de aço corrugada de 12mm de diâmetro com espessura de cobrimento de 2 cm. Visando verificar a interferência da proximidade da barra de aço na obtenção dos valores da resistividade elétrica do concreto, foram tomadas leituras sobre a barra e a intervalos regulares de 2 cm, paralelamente à barra. Comprovou-se o exposto em bibliografia de que as leituras efetuadas sobre a barra resultam em valores errôneos, tendo sido obtidos valores sempre inferiores aos demais. As leituras efetuadas a intervalos regulares demonstraram que a uma proximidade de cerca de 2 cm da barra a presença o aço ainda influencia nas leituras, com valores de resistividade superiores aos obtidos sobre a barra, mas inferiores às obtidas a uma maior distância, podendo induzir à interpretação inadequada da real condição do material. Foi proposto 4 cm como distância segura da barra para a tomada de medidas.

Palavras-chave: concreto, armadura, resistividade elétrica, método de Wenner.

¹ Doutoranda, Engenheira Civil – Instituto tecnológico de Aeronáutica (ITA)

² Professora Doutora, Engenheira Civil – Instituto tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Introdução

A resistividade elétrica é uma característica dos materiais em geral, sendo o inverso da condutividade. No caso do concreto, a resistividade elétrica e o acesso de Oxigênio controlam o processo eletroquímico que gera a corrosão das armaduras. E, sendo a corrosão das armaduras uma das manifestações patológicas mais frequentemente observadas nas estruturas de concreto, vem daí a importância em se estudar parâmetros relacionados a esse fenômeno.

A execução do ensaio de monitoração da resistividade elétrica superficial do concreto é simples, porém exige cuidados para que sejam obtidos valores reais, e não “falsos” valores. Diversos autores, dentre eles DURAR (1998), Gowers e Millard (1999), RILEM (2000) e Medeiros (2001), mencionam resultar em falsas medidas os valores tomados sobre as armaduras.

Este trabalho tem por objetivo verificar o comportamento da resistividade elétrica de corpos-de-prova prismáticos de concreto, aos 28 dias de idade, contendo uma única barra de aço cada, buscando definir o campo de influência (distância) das armaduras nas leituras de resistividade elétrica superficial. Pretende-se com isso sugerir uma distância segura da barra de aço a partir da qual sejam obtidas medidas confiáveis de resistividade elétrica superficial do concreto. Tais ensaios buscam sanar uma lacuna existente, de forma a quantificar as afirmações apresentadas pelos autores citados anteriormente.

São apresentados, brevemente, alguns conceitos relacionados à resistividade elétrica superficial do concreto e a metodologia de ensaio utilizada neste estudo. Em seguida, são apresentados e discutidos os resultados obtidos, e apresentadas as conclusões do estudo.

Este trabalho é parte da tese de doutoramento da Engenheira MSc Julia Wippich Lencioni, que vem sendo desenvolvida no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA – Brasil), sob a orientação da Prof^a. Dr^a Maryangela Geimba de Lima.

Conceitos relacionados à resistividade elétrica superficial do concreto

A resistividade elétrica (ρ) é uma característica dos materiais em geral; é o inverso da condutividade (σ) e, portanto, quanto menor a resistividade, maior a condutividade de um material.

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). (CASCUDO, 2005).

A resistividade elétrica do concreto, de acordo com Helene (1993), é uma propriedade de interesse no estudo da cinética do processo de corrosão eletroquímica das armaduras. Devido à natureza eletroquímica do processo de corrosão, espera-se uma relação entre a resistividade do concreto e a velocidade de corrosão do aço após a despassivação, já que a mobilidade iônica entre as regiões anódica e catódica é um fator de controle da velocidade com que as reações irão se processar (SANTOS, 2006). Conforme o exposto por Polder (2001), em uma dada estrutura, áreas com baixa resistividade elétrica terão uma taxa de corrosão relativamente alta após a despassivação.

A resistividade elétrica superficial do concreto pode ser medida de várias formas, sendo mais conhecido o método dos “quatro pontos”, similar ao método de Wenner originalmente empregado na determinação da resistividade elétrica dos solos. Conforme descrito por

Cascudo (2005), 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-se à superfície do concreto, obtendo-se rapidamente as medidas desejadas.

Conforme descrito por Gowers e Millard (1999), quatro contatos espaçados a igual distância são colocados sobre a superfície de concreto e uma pequena corrente alternada (I) é aplicada entre os contatos externos. A diferença de potencial (V) resultante entre os dois contatos internos é medida pelos equipamentos. A Figura 1 apresenta um esquema do funcionamento da técnica de Wenner, empregada atualmente nos equipamentos comerciais para medida de resistividade elétrica superficial.

A RILEM (Polder et al, 2000) possui uma recomendação técnica - desenvolvida por um Comitê Técnico de técnicas eletroquímicas para medidas de corrosão metálica (RILEM TC 154-EMC) - específica para ensaios de resistividade elétrica realizados *in situ*. De acordo com essa recomendação, barras de aço e camadas superficiais com resistividade distintas (camadas carbonatadas ou excessivamente secas, ou superfícies muito molhadas após a chuva) podem provocar alterações/distúrbios locais nas medidas de resistividade elétrica superficial do concreto. A armadura conduz corrente muito melhor do que o concreto e irá provocar alterações na homogeneidade do fluxo de corrente. Leituras realizadas sobre as barras resultam em falsas medidas de resistividade elétrica. Mesmo que apenas um dos quatro eletrodos esteja próximo à barra, o fluxo de corrente não será ideal, e resultados errôneos poderão ser produzidos. Neste caso, a leitura resultante poderá ser um falso valor baixo ou alto, dependendo de qual eletrodo estiver próximo à barra. Para minimizar esse efeito, nenhum dos eletrodos deve ser posicionado sobre a armadura ou próximo a ela.

Existem diversos critérios de avaliação da resistividade elétrica do concreto, existindo certa variação nas faixas de valores empregadas, não havendo, segundo DURAR (1998), um consenso entre os pesquisadores quanto aos valores limites acima dos quais o risco de corrosão das armaduras pode ser considerado desprezível. Os critérios apresentados por Browne e Geohegan (1978, apud CEB, 1989) são considerados por Cascudo (2005) como de grande aceitação no meio técnico científico e são apresentados na Tabela 1. Esses valores foram adotados para a análise dos dados apresentados neste trabalho.

Materiais e métodos

Os ensaios de resistividade elétrica superficial do concreto foram realizados com um equipamento Resi, da PROCEQ S.A (Figura 2). Esse equipamento baseia-se do método dos quatro pontos (método de Wenner), sendo capaz de registrar variações de resistividade entre 0 e 99 $k\Omega.cm \pm 1 k\Omega.cm$.

Os corpos-de-prova armados empregados nos ensaios, em um total de 9 elementos, foram confeccionados com concreto usinado, um único tipo de cimento e uma única relação a/c. Cada corpo-de-prova recebeu uma única barra de aço, tendo sido utilizado vergalhão categoria CA-50 nervurado, de bitola 1,25 cm. Esses corpos-de-prova foram curados em ambiente de laboratório até os 7 dias de idade, quando ocorreu a desforma.

As dimensões dos corpos-de-prova foram definidas com base em um estudo apresentado por Gowers e Millard (1999), segundo o qual alguns parâmetros geométricos devem ser tomados como referência para que se tenha precisão nas leituras efetuadas com os equipamentos para leitura da resistividade elétrica superficial dos concretos (equipamentos de quatro pontos ou quatro eletrodos). Gowers e Millard (1999) investigaram as dimensões mínimas que os elementos de concreto deveriam apresentar para que não ocorresse o fenômeno de fuga de

corrente. A Figura 3 apresenta o esquema dos parâmetros geométricos recomendados pelos referidos autores.

Com base nos parâmetros definidos por Gowers e Millard (1999), os corpos-de-prova foram moldados com as dimensões (24x24x65) cm (Figura 4). Os mesmos não foram movimentados nem retirados do local de moldagem (Figura 5) enquanto realizados os ensaios pertinentes.

Além de serem atendidas as recomendações de Gowers e Millard (1999), também foram consideradas recomendações da norma brasileira *NBR 6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto: procedimento* quanto ao cobrimento mínimo da armadura recomendado para ambientes com risco de degradação insignificante da estrutura. De acordo com a norma mencionada, 2 cm é o cobrimento mínimo a ser adotado para lajes de concreto armado expostas a agressividade ambiental de classe I, ou seja, agressividade fraca, considerada para ambientes rurais e submersos. Entretanto, segundo a norma, “pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura)” (ABNT 6118:2003). Sendo assim, para vigas e pilares, cujo cobrimento da armadura a ser adotado seria de 2,5 cm para o caso do concreto armado exposto a classe de agressividade ambiental I, poderia ser adotado um cobrimento de 2 cm com base nas considerações dos ambientes internos secos. Dessa forma, foi adotado um cobrimento de 2 cm para a armadura dos corpos-de-prova, considerando-se que, assim, atenderiam aos requisitos da norma quanto ao cobrimento da armadura para estruturas expostas a uma agressividade ambiental fraca e ambiente seco, condições sob as quais estão enquadradas o laboratório onde foram realizados os ensaios. Considera-se assim que foi simulada, em laboratório, a condição de estruturas reais.

Foram realizados, aos 28 dias de idade, leituras da resistividade elétrica superficial visando avaliar o campo de influência (em cm) da barra de aço inserida no concreto. As leituras foram realizadas sobre e paralelamente à barra de aço. As medidas paralelas foram tomadas espaçadas a intervalos regulares de 2 cm a partir da barra em direção à maior dimensão do corpo de prova (conforme esquematizado na Figura 6), buscando assim determinar o campo de influência da armadura, ou seja, a partir de quantos cm, a contar da barra de aço, podem ser realizadas as medidas sem que se observe influência da presença do aço nas leituras.

Resultados

Os dados obtidos aos 28 dias são apresentados na Tabela 2. Com esses dados, foi gerado um gráfico de dispersão (Figura 7). Observando-se esse gráfico, visualmente tem-se a impressão de que os valores obtidos para as leituras realizadas sobre as barras e até os 6 cm de distância das mesmas são discordantes em relação ao restante. Para avaliação desta observação foi realizada uma análise estatística dos dados de forma a se eliminar os *outliers*, ou seja, valores inconsistentes ou atípicos de leitura, que se encontravam muito afastados da média amostral. Para tanto, foi empregado o critério de Chauvenet.

De acordo com o critério de Chauvenet, a faixa de valores aceitáveis dentro de um conjunto de dados é dada pela Equação 1:

$$\bar{X} \pm c\bar{\sigma} \quad (1)$$

Onde: \bar{X} = média amostral;

c = valor correspondente à razão entre o máximo desvio aceitável e o desvio padrão amostral;
 $\bar{\sigma}$ = desvio padrão amostral.

Para o conjunto de dados apresentado na Tabela 2, ou seja, para uma amostra de 153 leituras, obteve-se $\bar{x} = 14,5 \text{ k}\Omega.\text{cm}$ e $\bar{\sigma} = 2,6$. Neste caso, foi empregado $c = 2,897$ (valor empregado neste caso com precisão centesimal para que não ocorresse uma aproximação indesejada de valores) e obteve-se o seguinte intervalo aceitável para os valores de resistividade elétrica superficial (ρ):

$$7,1 \text{ k}\Omega.\text{cm} \geq \rho \geq 22 \text{ k}\Omega.\text{cm}$$

Com esse intervalo, foram eliminadas as leituras sobre a barra (L0) dos corpos de prova CP1, CP2, CP3, CP6, CP8 e CP9, conforme ilustra a Tabela 2 (valores assinalados em azul correspondem aos *outliers*). Repetindo-se sucessivamente o procedimento anterior até que não mais fossem obtidos valores coerentes para a faixa de variação das leituras (interrompeu-se o procedimento ao se encontrar valores negativos, o que ocorreu na quinta repetição), definiu-se o seguinte intervalo aceitável para os valores de resistividade elétrica superficial (ρ):

$$11,4 \text{ k}\Omega.\text{cm} \geq \rho \geq 19,1 \text{ k}\Omega.\text{cm}$$

Tendo sido definido o intervalo aceitável para as leituras, foram excluídos todos os *outliers* do conjunto de dados, o que resultou na eliminação de quase todas as leituras efetuadas sobre as barras (leituras L0) e também a uma distância de 2 cm da mesma (leituras L1). Das leituras sobre as barras (L0) e das leituras L1, restaram apenas duas leituras dentro do intervalo especificado anteriormente, não sendo eliminadas desse subconjunto apenas as leituras L1 dos corpos de prova CP4 e CP8.

Discussão

Analisando-se o conjunto completo de dados obtidos com as medidas de resistividade elétrica superficial (Tabela 2), sem a eliminação dos *outliers* os valores medidos sobre as barras (leituras L0) e a uma distância de 2 cm da mesma (leituras L1) indicam, segundo o critério de avaliação da resistividade elétrica superficial de Browne e Geohegan (1978, apud CEB, 1989) (Tabela 1), uma probabilidade alta de corrosão das armaduras imersas no concreto ($5 \leq \rho < 10$). Por outro lado, as medidas tomadas a partir dos 4 cm (leituras L2 a L16) indicam uma probabilidade baixa de corrosão das armaduras ($10 \leq \rho \leq 20$).

A aplicação do critério de Chauvenet neste caso permitiu eliminar do conjunto valores que se distanciavam da média amostral. Isso levou à eliminação dos valores baixos de resistividade que indicavam justamente a alta probabilidade de corrosão das armaduras. Essa ação permitiu comprovar o exposto na literatura de que medidas de resistividade elétrica superficial tomadas sobre a armadura fornecem falsos valores baixos de resistividade devido a alterações no fluxo de corrente ocasionados pela presença do aço.

Apesar da afirmação de Gowers e Millard (1999) de que não são obtidos erros significativos nas medidas se as mesmas forem realizadas ortogonalmente ou paralelamente às barras de aço, constatou-se ocorrer influência da armadura nas leituras paralelas muito próximas às barras.

Tendo sido eliminados os valores referentes às leituras sobre a barra (leituras L0) e quase todas as leituras a 2 cm da mesma (leituras L1), recomenda-se que, por medida de segurança, sejam tomadas medidas de resistividade elétrica superficial do concreto a uma distância maior que 2 cm da barra, sugerindo-se neste caso uma distância de pelo menos 4 cm, de forma a ser evitada a influência da armadura nas medidas.

Conclusões

Os dados apresentados referem-se a uma análise preliminar, feita apenas para os resultados de resistividade elétrica superficial do concreto aos 28 dias. Entretanto, permitem comprovar o exposto na literatura de que medidas de resistividade elétrica superficial do concreto tomadas sobre a armadura fornecem falsos valores baixos. Além disso, também permitem sugerir uma distância segura, neste caso de 4 cm, a partir da qual evita-se a influência da armadura nas leituras.

Considera-se necessária a realização de estudos complementares em idades mais avançadas do concreto. Não é possível somente por meio dos dados apresentados neste trabalho afirmar que o comportamento da resistividade elétrica superficial se manterá a idades superiores do concreto, já que, com o avanço da hidratação do cimento, há um aumento da resistividade elétrica superficial do concreto, podendo ocorrer uma alteração, significativa ou não, no campo de influência da armadura sobre a distância de 4 cm aqui sugerida.

Este estudo foi realizado com apenas uma barra de aço em cada corpo de prova. Entretanto, um estudo mais detalhado, considerando a presença de malhas de aço formadas pela disposição da armadura nas estruturas e a influência que as diversas barras de aço podem ocasionar juntas nas leituras, torna-se necessário para se definir o campo de influência da armadura e distâncias seguras para a tomada de medidas nessa situação, de forma que não ocorram interferências nas leituras e a conseqüente avaliação errônea das condições de uma estrutura.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de doutorado concedida a Julia Wippich Lencioni, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), à Professora Dr^a Denise Urashima (CEFET-MG), pelo auxílio no tratamento estatístico dos dados e a Cortesia Concretos pela doação do concreto utilizado nesta pesquisa.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR6118:2003 – Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 170p.

BROWNE; GEOHEGAN. **The corrosion of concrete marine structures: the present situation**. In: Society of Chemical Industry's Symposium. London: 1978.

CASCUDO, O. Inspeção e diagnóstico de estrutura de concreto com problemas de corrosão da armadura. In: ISAIA, G. C. (Ed.) - **Concreto – Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: IBRACON, v. 1, p. 713-751, 2005.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETÓN (CEB). **Diagnosis and assessment of concrete structures**. State of the Art Report. Bulletin D'Information n° 192. Copenhagen: CEB, 1989.

DURAR. RED TEMATICA XV B: DURABILIDADE DE LA ARMADURA. **Manual de Inspección y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado**. 2.ed. 1998. 208p.

GOWERS, K. R.; MILLARD, S. G. Measurement of concrete resistivity for assessment of corrosion severity of steel using wenner technique. **ACI Materials Journal**, n. 96-M66, p. 536-541, Sep.-Oct., 1999.

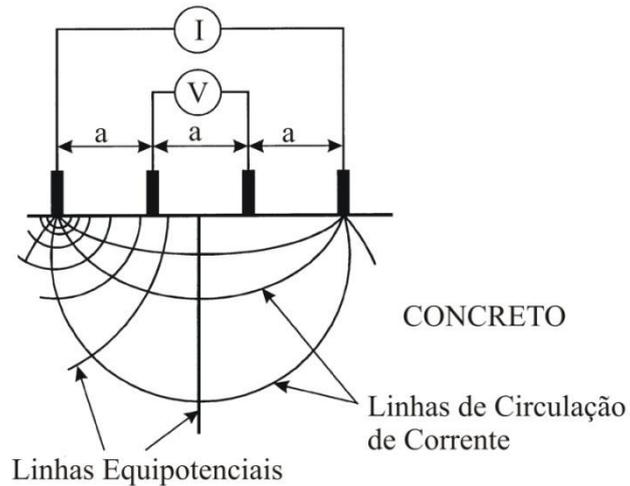
HELENE, P. R. L.. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. 231p. Tese (Livre Docente) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

MEDEIROS, M. H. F. Estudo de variáveis que influenciam nas medidas de resistividade de estruturas de concreto armado. **Engenharia Civil – UM**, n.12, p. 55-64, 2001.

POLDER, R. B. Test methods for on site measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC -154 technical recommendation. **Construction and Building Materials**, n. 15, pp 125-131, 2001.

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

SANTOS, L. Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto. 2006. 161p. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Engenharia Civil). Univeridade de Brasília, Brasília, 2006.



$$\text{Resistividade } (\rho) = \frac{2\pi a V}{I}$$

Figura1. Técnica de Wenner para as medidas de resistividade elétrica superficial do concreto. (Traduzido de: Gowers e Millard, 1999).

Tabela 1. Critério de avaliação da resistividade elétrica superficial do concreto, de acordo com o Browne e Geohegan (1978 apud CEB, 1989).

| Resistividade do Concreto | Indicação de Probabilidade de Corrosão |
|---------------------------|----------------------------------------|
| > 20 kΩ.cm | Desprezível |
| 10 a 20 kΩ.cm | Baixa |
| 5 a 10 kΩ.cm | Alta |
| < 5 kΩ.cm | Muito Alta |

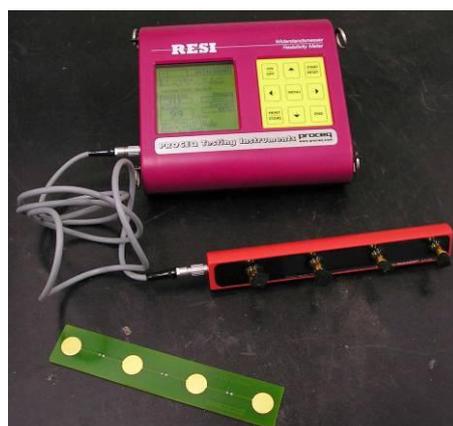


Figura 2. Equipamento empregado nas medidas de resistividade elétrica superficial do concreto.

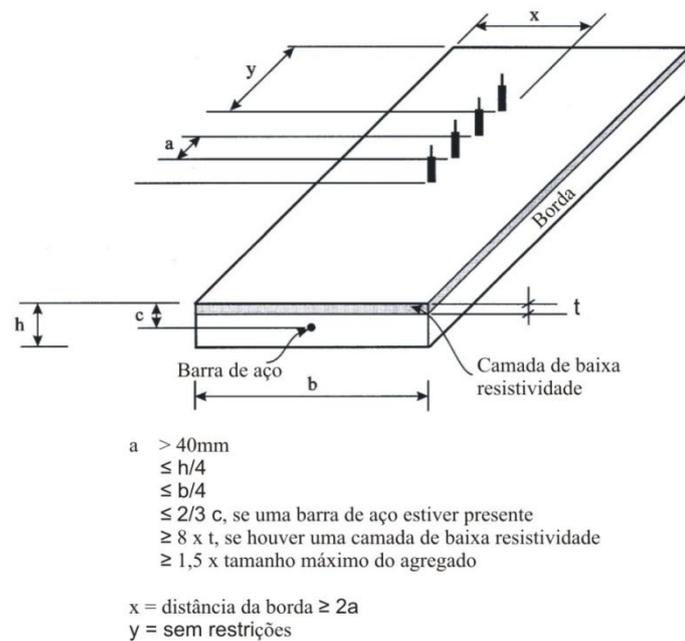


Figura 3. Recomendações de parâmetros geométricos para ensaios de resistividade elétrica superficial (traduzido e adaptado de GOWERS e MILLARD, 1999).

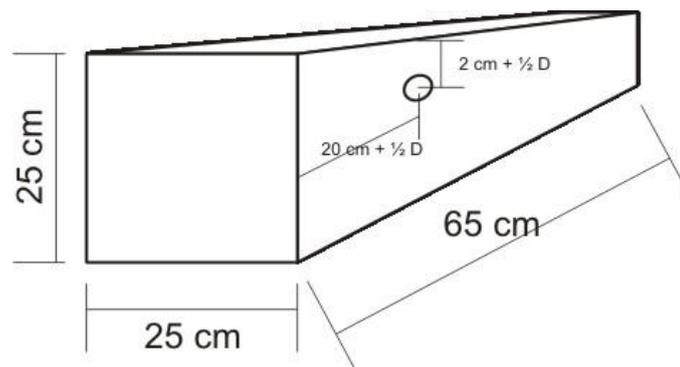


Figura 4. Esquema dos corpos-de-prova prismáticos armados.



Figura 5. Corpos-de-prova após o processo de cura. Os corpos-de-prova foram mantidos nas fôrmas e no local de moldagem devido ao peso do material, estimado em cerca de 100kg.

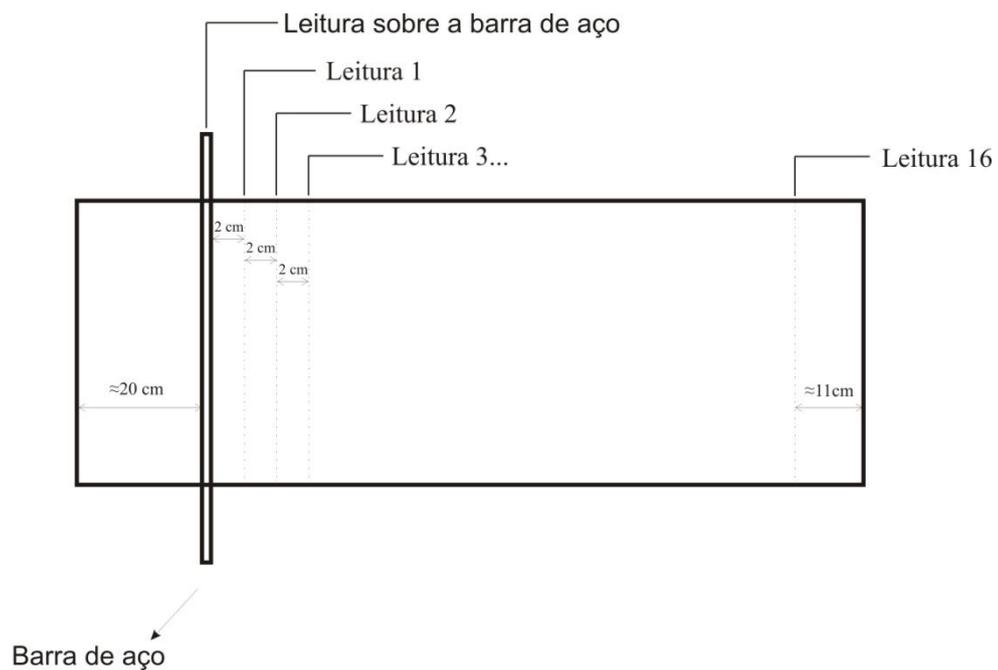


Figura 6. Esquema de leitura da resistividade elétrica superficial adotada.

Tabela 2. Resistividade elétrica superficial (ρ) aos 28 dias, em $k\Omega \cdot cm$. Valores assinalados em azul (sombreados) referem-se aos *outliers* que foram excluídos do conjunto de dados para a análise final.

| Leitura | Distância da barra (cm) | Identificação do corpo de prova | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | CP1 | CP2 | CP3 | CP4 | CP5 | CP6 | CP7 | CP8 | CP9 |
| L0 (Sobre a barra) | 0 | 7 | 5,4 | 5,8 | 8,6 | 7,6 | 7 | 7,3 | 6,7 | 6,1 |
| L1 | 2 | 10 | 10 | 9,4 | 13 | 10 | 8,9 | 10 | 12 | 11 |
| L2 | 4 | 14 | 13 | 13 | 13 | 12 | 12 | 12 | 13 | 13 |
| L3 | 6 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 13 | 14 | 15 | 14 |
| L4 | 8 | 16 | 15 | 15 | 14 | 14 | 14 | 15 | 15 | 15 |
| L5 | 10 | 17 | 16 | 15 | 15 | 15 | 14 | 16 | 15 | 14 |
| L6 | 12 | 16 | 14 | 15 | 16 | 16 | 14 | 15 | 16 | 16 |
| L7 | 14 | 16 | 14 | 15 | 15 | 15 | 14 | 15 | 16 | 16 |
| L8 | 16 | 16 | 15 | 15 | 16 | 16 | 15 | 15 | 17 | 15 |
| L9 | 18 | 16 | 15 | 15 | 16 | 14 | 15 | 15 | 17 | 16 |
| L10 | 20 | 15 | 15 | 17 | 16 | 16 | 16 | 14 | 16 | 17 |
| L11 | 22 | 16 | 14 | 16 | 16 | 17 | 14 | 15 | 17 | 17 |
| L12 | 24 | 16 | 14 | 15 | 17 | 17 | 14 | 14 | 18 | 16 |
| L13 | 26 | 16 | 16 | 15 | 18 | 18 | 15 | 14 | 18 | 17 |
| L14 | 28 | 16 | 16 | 16 | 17 | 16 | 16 | 15 | 17 | 17 |
| L15 | 30 | 15 | 16 | 16 | 16 | 15 | 16 | 16 | 16 | 15 |
| L16 | 32 | 15 | 16 | 17 | 18 | 16 | 16 | 16 | 17 | 15 |

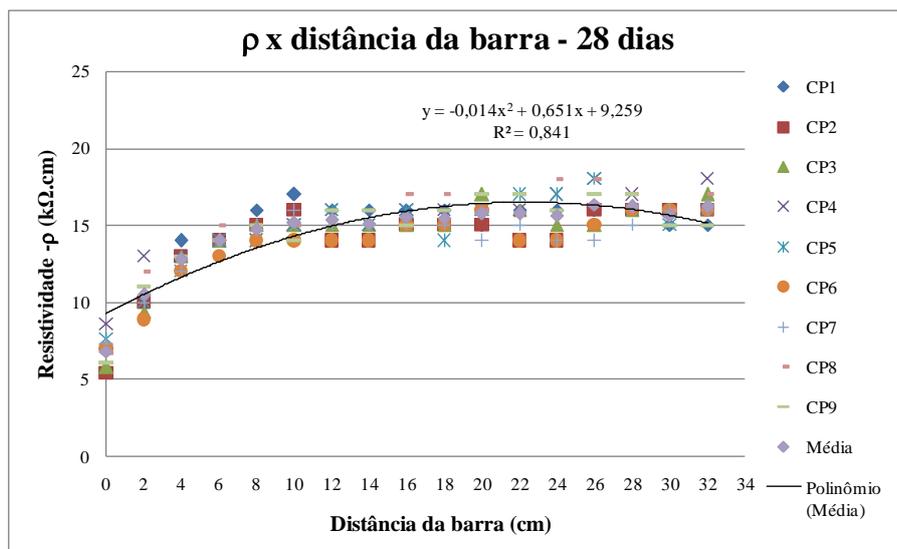


Figura7. Comportamento da resistividade elétrica superficial do concreto aos 28 dias.