



Influência de materiais de proteção na resistividade elétrica do concreto

M. S. Santor¹, A. L. G. Gastaldini¹, C. Crauss¹, G. T. dos Santos¹, F. C. Rossini¹

¹ Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Avenida Roraima n.1000 C.P.97105-900 Santa Maria - RS, Brasil.

Información del artículo

DOI:

<http://dx.doi.org/10.21041/ra.v2i1.26>

Artículo recibido el 10 de Octubre de 2011, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 05 de Enero de 2012. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores se publicará en el tercer número del año 2012 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2012

RESUMO

A durabilidade das estruturas de concreto armado é resultado da ação protetora do concreto sobre a armadura. Quando a passivação do aço deixa de existir a estrutura torna-se vulnerável ao fenômeno da corrosão, cuja propagação, após iniciada é essencialmente controlada pela resistividade elétrica do concreto. O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração na resistividade elétrica de concretos produzidos com diferentes tipos de cimento, CP II F, CP IV e CP V, submetidos a tratamento superficial com produto obturador dos poros e argamassa polimérica. Para efeito de análise os resultados foram comparados com os mesmos concretos sem aplicação do produto. Esses tratamentos foram realizados em concretos confeccionados com resistências à compressão na idade de 28 dias de 21,6MPa, 26,6 MPa e 31,6 MPa. Para todos os tipos de cimento utilizados e níveis de resistência adotados o tratamento superficial com argamassa polimérica resultou em maiores valores de resistividade elétrica.

Palavras chave: concreto; durabilidade; material de proteção superficial; resistividade elétrica.

© 2012 Alconpat Internacional

ABSTRACT

The durability of concrete structures is a result of the protective action of concrete on the reinforcement. When there is no passivation of steel, the structure becomes vulnerable to corrosion, and once corrosion starts its propagation is essentially controlled by the electrical resistivity of concrete. The objective of this study was to evaluate the change in electrical resistivity of concretes produced with different types of cement: CP II F, CP IV and CP V that were surface-treated with pore filler and polymer mortar. For analysis purposes, the results were compared with those of the blanks that were not subjected to surface treatment. These treatments were performed in concretes with the following compressive strengths at the age of 28 days: 21.6 MPa, 26.6 MPa and 31.6 MPa. For all types of cement used and strengths adopted, surface treatment with polymer mortar led to higher electrical resistivity values.

Key words: concrete; durability; surface protection material; electrical resistivity.

Autor de contacto: A. L. G. Gastaldini (algastaldini@gmail.com)

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 2, No. 1, Enero - Abril 2012, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat_int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de enero de 2012.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado, devido a sua capacidade de resistência mecânica, foi idealizado e admitido como dotado de durabilidade por período de tempo ilimitado. Durante muito tempo a tecnologia do concreto se concentrou na busca de resistências cada vez maiores à compressão, baseada na afirmativa de que concreto resistente era concreto durável (Neville, 1997). Entretanto, o número de manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado tem aumentado significativamente, principalmente devido ao envelhecimento precoce das construções manifestado através da corrosão das armaduras (Helene, 1993). Isto se deve a erros de projeto, à dosagem incorreta, para o fck e não para o fcj, sem privilegiar a durabilidade, a práticas construtivas inadequadas e ainda à cura e cobrimentodeficiente e, portanto, sem atingir a vida útil de projeto.

A corrosão das armaduras pode ocorrer de forma generalizada por carbonatação da camada de cobertura ou pontual, devido ao ataque de cloretos. Uma vez que a passividade da armadura seja destruída, ou pela carbonatação ou pelo ataque de cloretos, é a resistividade elétrica e a disponibilidade de oxigênio que controlam a taxa de corrosão (Mehta, 2008).

A resistividade elétrica caracteriza a dificuldade com que os íons se movimentem no concreto, ou seja, controlam o fluxo de íons que difundem no concreto através da solução aquosa presente nos seus poros, sendo altamente sensível ao teor de umidade de equilíbrio e à temperatura do concreto. Resistividade elétrica, também chamada de resistência específica, é a resistência elétrica de um material homogêneo e isotrópico de seção reta e comprimento unitário (Helene, 1993).

A resistividade do concreto apresenta-se como uma propriedade extremamente sensível às características microestruturais da matriz do concreto, e muitos são os fatores que a influenciam. Fatores relacionados às características do concreto em termos da sua estrutura de poros, composição e concentração de água livre presente nos poros e às características ambientais as quais o concreto está submetido, apresentam reflexos diretos na resistividade do concreto (Schiessl, 1987). Dessa forma, a proporção dos materiais na mistura, a relação água/aglomerante e a utilização de adições minerais e de aditivos são fatores que influenciam à resistividade elétrica do concreto, por alterarem tanto a microestrutura da matriz quanto as características da solução dos poros (Polder, 2001).

Devido a questões de durabilidade das estruturas a NBR 6118 (NBR 6118, 2003) que entrou em vigor em 2004 estabeleceu uma resistência mínima de 20 MPa. Contudo, antes da sua aprovação, muitas estruturas foram dimensionadas para o nível de resistência de 15 MPa, e mesmo para o nível de resistência de 20MPa, a depender do tipo de cimento utilizado, a resistência de dosagem é atingida com altas relações a/c. Esse fato é agravado ainda mais quando o concreto é dosado não para o fcj e sim para o fck (Téchné, 2009). Como consequência tem-se constatado manifestações patológicas em várias estruturas executadas, por vezes, com menos de dez anos.

Com o objetivo de reduzir a permeabilidade e dificultar a penetração de agentes agressivos tem sido utilizados produtos obturadores dos poros, que penetram no concreto e reagem com os produtos hidratados do cimento resultando numa cristalização insolúvel nos poros e capilares. Outro produto também utilizado é uma argamassa polimérica monocomponente que atua contra a passagem de água e outros agentes. A redução da umidade do concreto aumenta a resistividade elétrica. Na fase de propagação da corrosão a resistividade elétrica do concreto influencia na velocidade de deterioração das estruturas (Mehta y Gerwick, 1982). O aumento da resistividade dificulta a mobilidade dos íons no interior do concreto, dificultando a propagação do processo corrosivo (Gowers y Milard, 1999; Smith et al., 2004).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a alteração na resistividade elétrica de concretos produzidos com diferentes tipos de cimento, CP II F, CP IV e CP V, submetidos a tratamento superficial com produto obturador dos poros e argamassa polimérica. Para efeito de análise os resultados foram comparados com os mesmos concretos sem aplicação do produto.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi realizado um estudo de dosagem, segundo metodologia proposta (Helene y Terzian, 1992) com três diferentes tipos de cimento, para a determinação da relação água/cimento para obtenção de resistência de dosagem (f_{c28}) de 21,6MPa, 26,6 MPa e 31,6 MPa. Esses valores foram obtidos considerando um desvio padrão de dosagem de 4,0 MPa e valores de resistência característica estimada (f_{ck}) de 15,0 MPa, 20,0 MPa e 25,0 MPa, ou seja, $f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \text{ sd}$.

Foram utilizados um cimento CP II F, contendo por norma até 10% de filer calcário, um cimento pozolânico, CP IV, contendo por norma de 15 a 50% de pozolana e um cimento de alta resistência inicial, CP V. Para os substratos produzidos com o cimento CP II F foram utilizadas as relações a/c 0,48, 0,54 e 0,61; para o cimento CP IV foram utilizadas as relações a/c de 0,46, 0,51 e 0,58 e para o cimento CP V as relações a/c 0,63, 0,69 e 0,76. Esta última relação, embora fora dos padrões da NBR 12.655/2006 (NBR 12655, 2006), foi estudada para reproduzir o comportamento de estruturas produzidas num passado recente.

Para cada um dos 36 traços foram moldados 4 corpos de prova prismáticos 10x10x17 cm para os ensaios de resistividade elétrica aparente, em mesa vibratória. Para manter constante a temperatura do concreto fresco em todas as moldagens, $20 \pm 2^\circ\text{C}$, controlou-se a temperatura da água (NBR 6118, 2003), considerando as massas dos aglomerantes, dos agregados e da água, assim como suas temperaturas.

As amostras preparadas para os tratamentos com produto obturador de poros em única camada (XC) e em dupla camada (XCM), foram conservadas em câmara úmida por 7 dias e após ao ar por 19 dias. No 26º dia após a moldagem os corpos de prova foram escarificados e logo em seguida submersos em água por dois dias, conforme recomendação do fabricante. O concreto que recebeu o tratamento com argamassa polimérica (Z4) foi também escarificado e limpo e pouco antes da aplicação teve sua superfície umedecida com spray de água. A aplicação dos produtos de proteção foi realizada no 28º dia contado da moldagem para todos os tratamentos. Os procedimentos de aplicação e cura são descritos a seguir:

-Tratamento XC: A apresentação do produto é na forma de pó, misturado com água numa proporção de 5:2 (pó:água) e aplicado com pincel de 63mm de forma semelhante a uma pintura. Após a secagem superficial procedeu-se a aplicação de spray de água 3 vezes ao dia, durante 2 dias consecutivos. Ato contínuo foram conservados em estrados de madeira em ambiente abrigado até a idade de ensaio.

-Tratamento XCM: A primeira fase da aplicação foi igual a do primeiro tratamento, exceto pela cura, pois a primeira camada recebeu spray de água 3 vezes ao dia por 36h, quando da aplicação da segunda camada. Esta segunda demão foi feita com um produto igual à primeira na mesma proporção. A cura se seguiu por 2 dias com spray de água e então sobre estrados de madeira estocados ao ar dentro do laboratório, semelhante ao primeiro tratamento.

-Tratamento Z4: argamassa polimérica, em pó, misturada com água na proporção de 100:15 (pó:água), utilizando-se misturador mecânico em baixa rotação durante 5 min. Aplicada com 4 mm de espessura sobre uma das faces do corpo de prova com o auxílio de espátula. Os cps ficaram por aproximadamente 12h ao ar e depois em câmara climatizada com $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e UR de 95% por 7 dias, sendo armazenados em ambiente de laboratório até a idade de ensaio. Após

aplicação dos produtos, todos os cps, incluindo os REF, ficaram ao ar, dentro do laboratório, sob condições de temperatura e umidade em ambiente coberto.

2.1 Resistividade elétrica aparente

A resistividade elétrica foi determinada usando o método dos quatro eletrodos (método de Wenner). Quatro eletrodos são colocados em contato com o concreto (imersos no concreto) equidistante um do outro e alinhados, conforme é mostrado na Figura 1. Uma pequena corrente alternada (I) passa pelos 2 eletrodos extremos e mede-se a diferença de potencial entre os 2 eletrodos internos. O valor da resistividade elétrica aparente é determinado através das equações 1, 2 e 3 (Abreu, 1998):

$$\rho = R \cdot k \tag{1}$$

$$R = \frac{V}{I} \tag{2}$$

$$k = \frac{4 \cdot \pi \cdot d}{1 + \frac{2d}{\sqrt{d^2 + 4b^2}} - \frac{2d}{\sqrt{4d^2 + 4b^2}}} \tag{3}$$

onde: ρ = resistividade elétrica calculada do concreto, em ohm.cm; V= diferença de potencial medida, em Volts; I= corrente medida, em Amperes; d = distância de separação entre eixos dos eletrodos em cm; b = profundidade de penetração dos eletrodos no corpo de prova, em cm.

Durante os ensaios foram coletados dados como: corrente (I), diferença de potencial (V), distância entre eixos dos eletrodos e profundidade de penetração dos eletrodos.

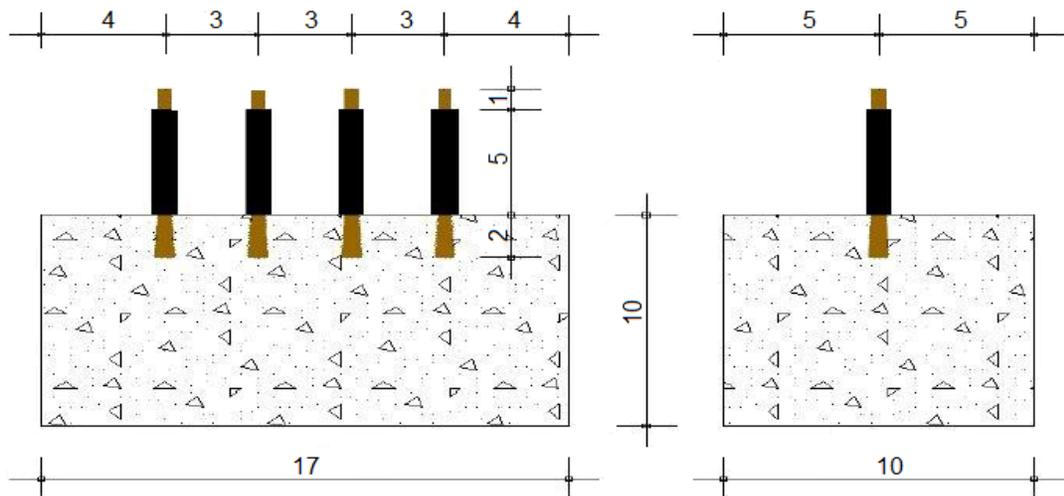


Figura 1. Detalhe do corpo de prova utilizado no ensaio de resistividade elétrica

As leituras de resistividade elétrica foram realizadas nas idades de 47, 54, 68, 96, 131, 145 e 159 dias, ou seja 7, 14, 28, 56, 91, 105 e 119 dias em impeda úmida após a aplicação do produto. O

equipamento utilizado no ensaio foi um gerador de funções de corrente alternada e dois multímetros de alta impedancia de entrada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentados os resultados dos ensaios de resistividade elétrica aparente dos concretos compostos com os três diferentes tipos de cimento, CP II F - CP IV e CP V, e submetidos aos três tratamentos superficiais. Para fins de comparação serão mostrados os resultados a partir do 47º, pois neste dia os corpos de prova estavam completando 7 dias de exposição na câmara úmida já com o produto de tratamento superficial aplicado e curado.

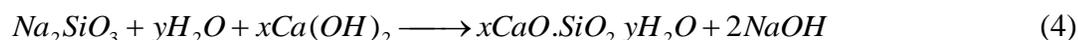
Observa-se para os três tipos de cimento utilizados aumento nos valores de resistividade elétrica aparente com a redução da relação água/cimento, assim como com o aumento no grau de hidratação. Esse comportamento também foi constatado (Hoppe, 2005; Lübeck, 2008). Esses autores justificam esse comportamento devido aos poros estarem menos saturados e dessa forma possuírem menos eletrólitos para transmitir a corrente elétrica sobre o corpo de prova. No entanto, ambos observaram maior influência da estrutura de poros na resistividade elétrica do que a composição da solução dos poros.

Os concretos compostos com cimento CP IV, tanto o referência quanto os submetidos a tratamento superficial, apresentaram valores de resistividade elétrica aparente na idade de 159 dias, em média, 240% superiores àqueles apresentados na idade de 47 dias. Para os concretos produzidos com cimento tipo CP II F o crescimento da resistividade elétrica aparente da idade de 47 dias para 159 dias foi em média de 28% e para os concretos produzidos com cimento tipo CP V esse crescimento foi, em média, de 45%. Constata-se para todos os tipos de cimento utilizados, que o tratamento superficial com argamassa polimérica resultou em maiores valores de resistividade elétrica. Esse comportamento pode ser explicado pela redução do teor de umidade na vizinhança do eletrodo.

O aumento da resistividade elétrica utilizando obturador de poros se deve a vários fatores referentes ao teor de silicatos presentes no mesmo.

Existem três teorias sobre a ação dos silicatos no sentido de proteger a superfície do concreto (Hunkeler, 1996): precipitação de SiO_2 nos poros; formação de um gel expansivo, dentro dos poros, similar ao formado na reação álcali silicato; reação dos silicatos com o hidróxido de cálcio presente nos poros formando silicato de cálcio hidratado.

Esta última teoria é a mais aceita atualmente. Isto ocorre pelo forte poder de reação do silicato de sódio que penetram nos poros superficiais e reagem com a portlandita formando C-S-H. A reação apresentada na equação 4 representa o que acontece quando a solução de silicato de sódio penetra nos poros do concreto.



Desse modo, este tratamento forma uma camada menos porosa na superfície da peça de concreto alterando a sua penetração de água, o que de certa forma justifica o aumento da resistividade elétrica com o uso do obturador de poros.

O comportamento observado para o concreto produzido com cimento CP IV e tratado com o produto obturador de poros não era o esperado, uma vez que esse cimento possui maior teor de adição mineral que os demais utilizados e, portanto, menor teor de hidróxido de cálcio remanescente. Confrontando-se os resultados obtidos dos concretos compostos com CP IV e CP

II F verifica-se que, embora as relações a/c dos concretos com CP II F sejam muito próximas daquelas do CP IV, os valores de resistividade elétrica aparente dos concretos com CP II F são, em média, 11 vezes menores do que aqueles obtidos com o CP IV.

A resistividade depende da microestrutura da pasta, volume de poros e distribuição do tamanho dos mesmos (Thompson et al., 1997). A resistividade do concreto saturado está relacionada à porosidade e conectividade entre os poros (Andrade, 2005). A resistividade elétrica está relacionada, também, a composição química dos cimentos, uma vez que exercem influência na composição química da solução aquosa dos poros dos concretos, ou seja, concentração e mobilidade dos íons e assim, na condutividade elétrica dessa solução (Neville, 1997).

Sabe-se que a cinza volante promove refinamento dos poros do concreto (Mehta y Monteiro, 2008; Whiting y Nagi, 2003) contribui para torná-lo mais denso, além de reduzir a concentração de íons e a condutividade elétrica da solução dos poros (Hussain y Rasheeduzzafar, 1994; Shi et al., 1998; Cervo, 2001), com conseqüente aumento na resistividade elétrica do concreto (Andrade, 2005). Assim, o comportamento diferenciado da resistividade elétrica dos concretos compostos com cimento CP IV em relação aos demais, CP II F e CP V, se justifica pelas alterações na microestrutura da pasta, refinamento dos poros e composição da solução dos poros.

Acresce a isto, quando comparado aos concretos produzidos com CP V, as menores relações a/agl para obtenção dos níveis de resistência à compressão investigados, $f_{ck} = 15$ MPa, 20 MPa e 25 MPa. Mesmo o concreto de referência sem tratamento superficial apresentou valores de resistividade elétrica aparente muito superiores aos concretos de referência compostos com CP II F e CP V e também submetidos a tratamento superficial.

De acordo com o CEB (Abreu, 1998) concretos com valores de REA acima de 20.000 $\Omega.cm$ tem probabilidade de corrosão do aço desprezível, para valores entre 10.000 e 20.000 $\Omega.cm$ a probabilidade é moderada. Para valores entre 5.000 e 10.000 $\Omega.cm$ a probabilidade de corrosão é alta e para valores abaixo de 5.000 $\Omega.cm$ de resistividade elétrica aparente a probabilidade é muito alta (Téchné, 2009).

Dos resultados constata-se que os concretos produzidos com cimento CP IV, referência e submetidos a tratamento superficial, apresentaram valores de resistividade elétrica aos 159 dias que os classificam como de risco de probabilidade de corrosão desprezível. Os concretos produzidos com cimento CP IIF nesta mesma idade se enquadram como de baixa probabilidade de corrosão. Aqueles produzidos com cimento CP V se enquadram como de baixa probabilidade a desprezível risco de corrosão.

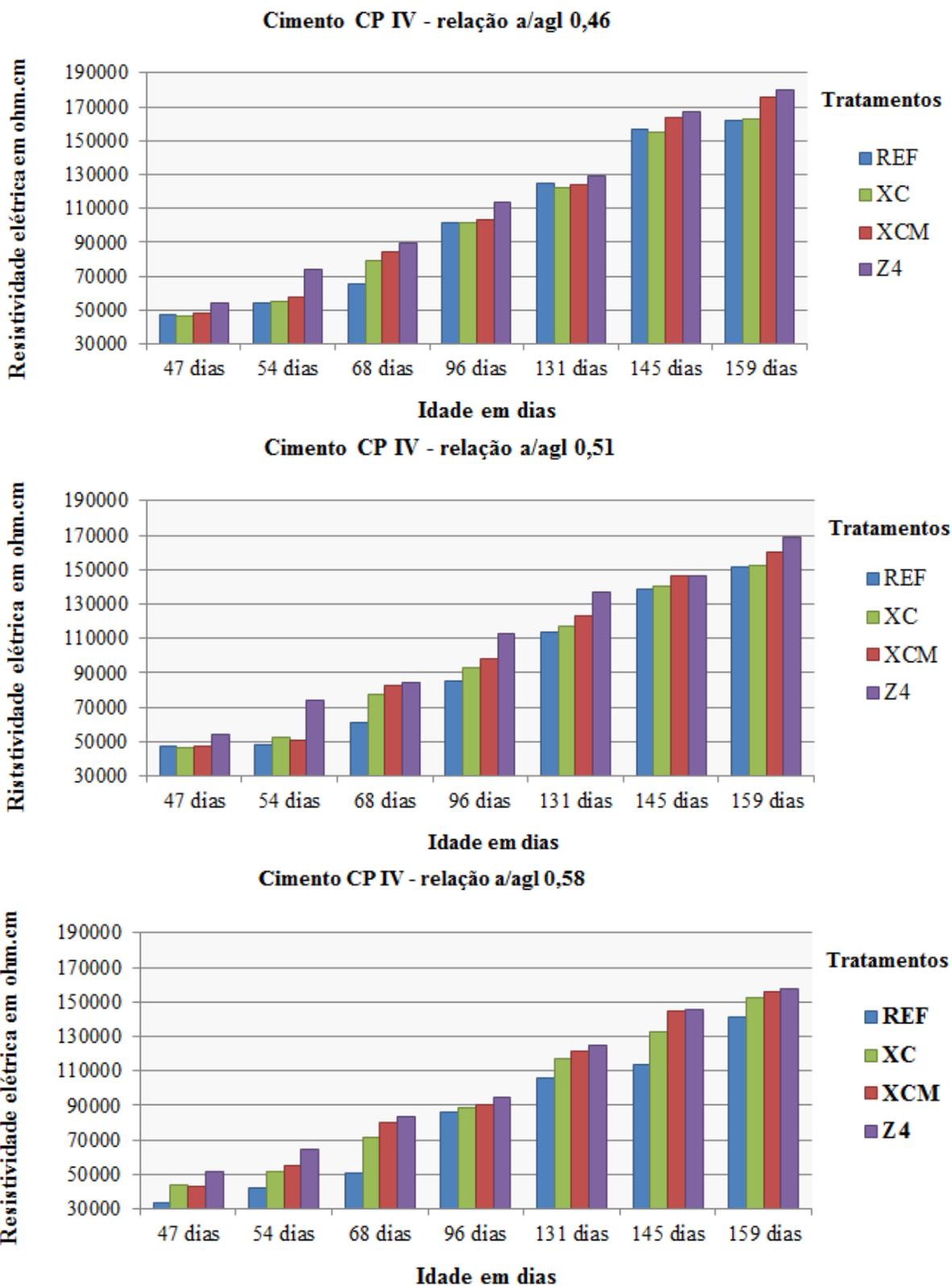


Figura 2. Cimento CP IV – sujeito aos quatro tratamentos superficiais

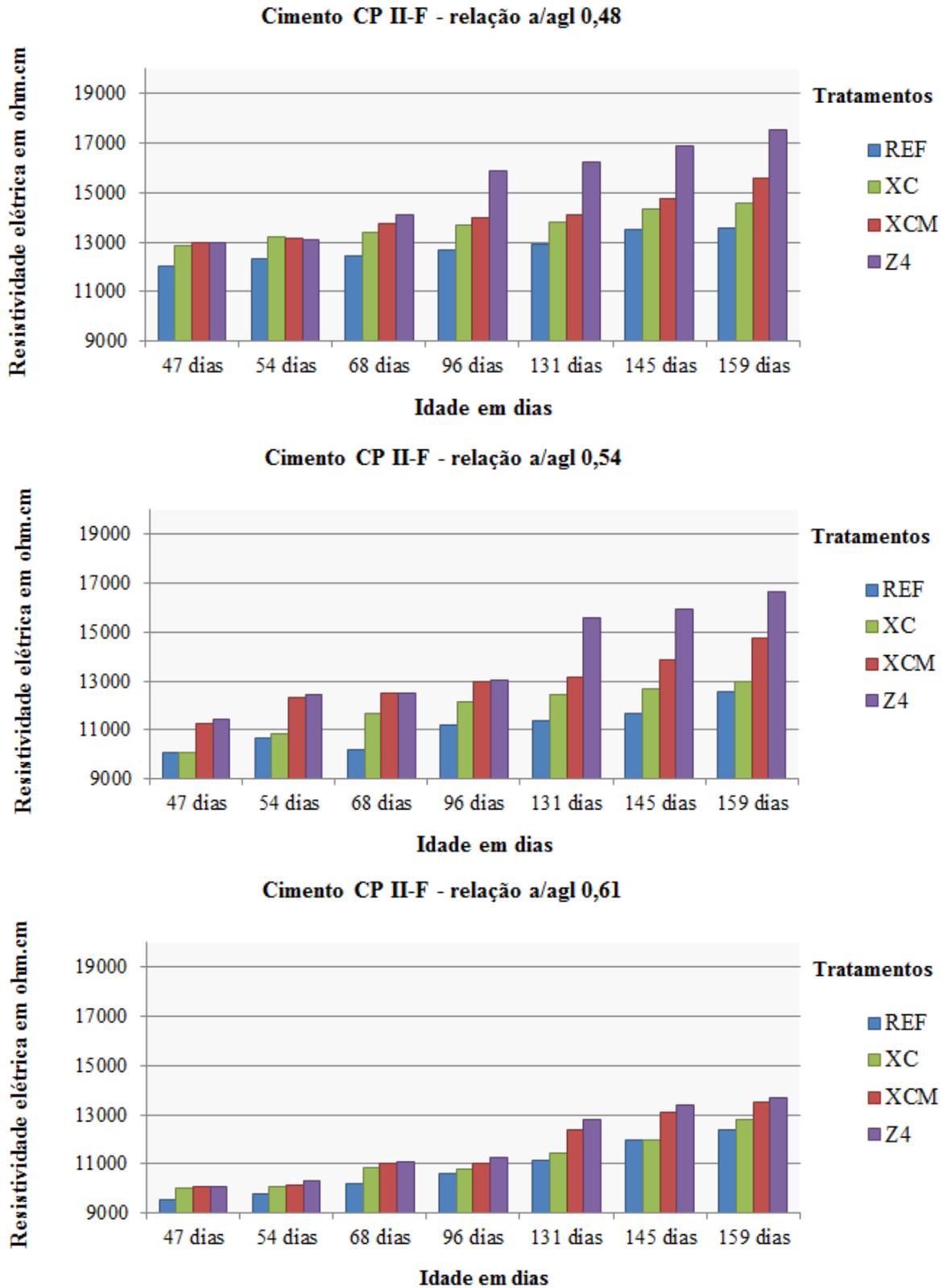


Figura 3. Cimento CP II – F – sujeito aos quatro tratamentos superficiais

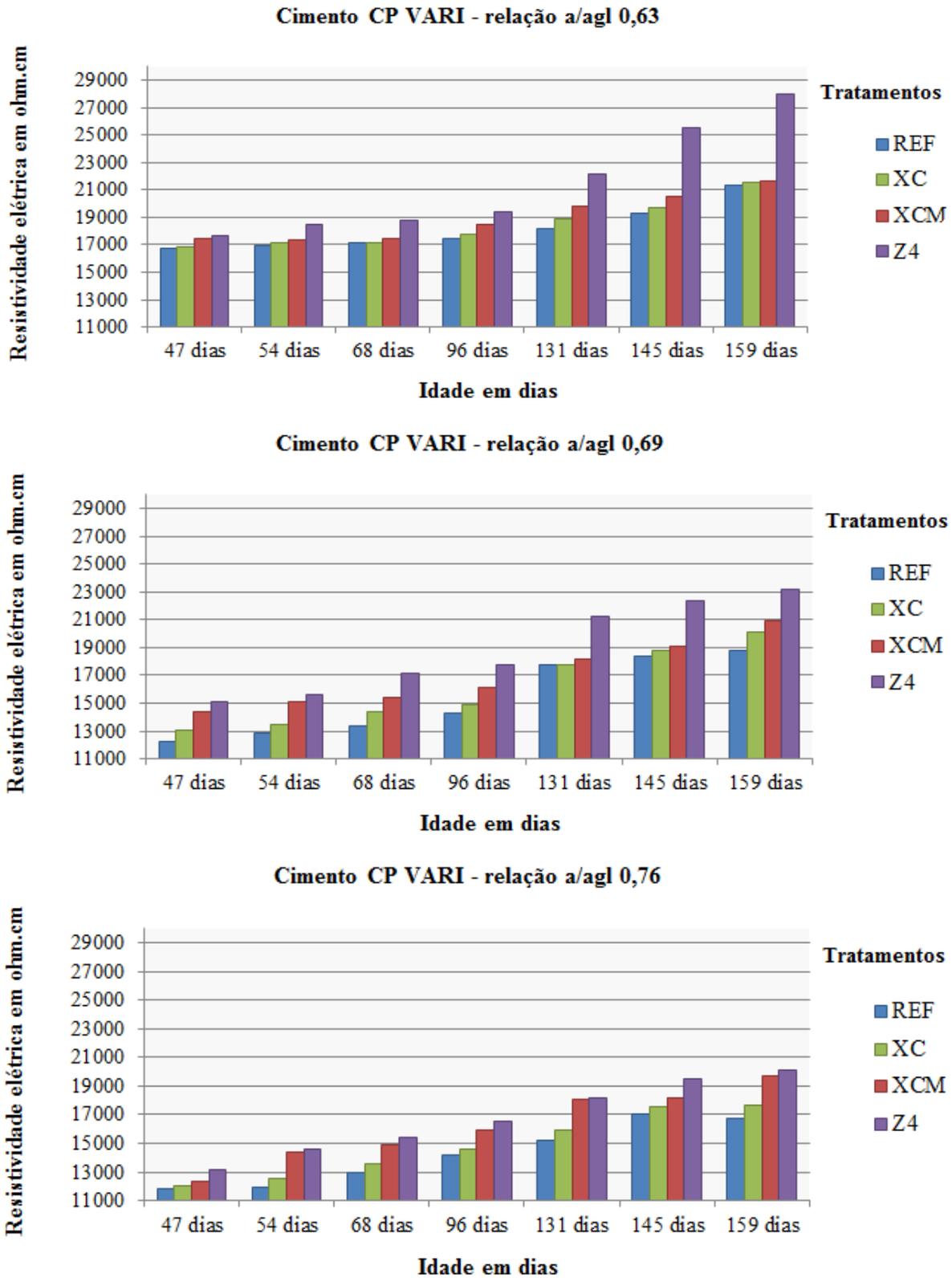


Figura 4. Cimento CP VARI – sujeito aos quatro tratamentos superficiais

4. CONCLUSÕES

Os concretos produzidos com cimento tipo CP IV foram os que apresentaram menor crescimento da resistividade elétrica para os tratamentos realizados.

Para todos os tipos de cimento utilizados, o tratamento superficial com argamassa polimérica resultou em maiores valores de resistividade elétrica, sendo 11,10% de aumento para o CP IV, 24,30 % para o CP IIF e 24,90 % para o CP V. Esse comportamento pode ser explicado pela redução do teor de umidade na vizinhança do eletrodo.

Da mesma forma como observado para os ensaios de absorção capilar a influência da cinza volante prevaleceu em relação à relação a/agl utilizada. Embora os concretos produzidos com CP IV e CP II F tenham relações a/agl semelhantes, os valores de resistividade elétrica aparente dos concretos com CP II F são, em média, 11 vezes menores do que aqueles obtidos com o CP IV, tanto para o concreto de referência como, também, para aqueles submetidos a tratamento superficial, o que pode ser justificado pelas alterações na microestrutura da pasta, refinamento dos poros e composição da solução dos poros. Acresce a isto, quando comparado aos concretos produzidos com CP V, as menores relações a/agl para obtenção dos níveis de resistência à compressão investigados.

De acordo com o critério de avaliação proposto pelo CEB (Téchne, 2009) os concretos produzidos com cimento CP IV, referência e submetidos a tratamento superficial, apresentaram valores de resistividade elétrica aparente aos 159 dias que os classificam como de risco de probabilidade de corrosão desprezível. Os concretos produzidos com cimento CP II F nesta mesma idade se enquadram como de baixa probabilidade de corrosão. Aqueles produzidos com cimento CP V se enquadram como de baixa probabilidade a desprezível risco de corrosão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERGS e CNPq pelas bolsas de iniciação científica. A empresa MC-Bauchemie Brasil Indústria e Comércio Ltda pela cedência de materiais.

6. REFERÊNCIAS

- Abreu A. G. (1998), *Efeito das Adições Mineraias na Resistividade Elétrica de Concretos Convencionais*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.129.
- Andrade C. (2005), *Model for prediction of reinforcement concrete service life based on electrical resistivity*, Revista IBRACON de Materiais, Vol. 1, No. 1, pp.01-05.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12655 (2006), *Concreto de cimento Portland - Preparo, controle e recebimento – Procedimento*, Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118 (2003), *Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- Cervo T.C. (2001), *Influência da finura e do teor de pozolanas na penetração de cloretos e na solução aquosa dos poros do concreto*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, p.129.
- Gowers K.L., Milard S.G. (1999), *Measurement of concrete resistivity for assessment of corrosion severity of steel using Wenner technique*, ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 5, pp. 536-541.
- Helene P.R.L. (1993), *Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado*, Tese Livre Docência em Engenharia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 271.

- Helene P.R.L., Terzian P. (1992), *Manual de dosagem e controle do concreto*, Brasil, São Paulo: Pini, 1992, p.349.
- Hoppe T.F. (2005), *Resistividade Elétrica de Concretos Contendo Diferentes Teores de Cinza de Casca de Arroz*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p.146.
- Hunkeler F. (1996), *The resistivity of pore water solution: A decisive parameter of rebar corrosion and repair methods*, Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 5, pp. 381-389.
- Hussain S.E., Rasheeduzzafar S. E. (1994), *Corrosion resistance performance of fly ash blended cement concrete*, ACI Materials Journal, Vol. 91, No. 3, pp. 264-272.
- Lübeck A. (2008), *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.
- Mehta P.K., Gerwick Jr B.C. (1982), *Cracking-corrosion interaction in concrete exposed to marine environment*, Concrete International, Vol. 4, No.10, pp. 45-51.
- Mehta P.K., Monteiro P.J.M. (2008), *Concreto: estrutura, propriedades e materiais*, Brasil, São Paulo: Pini, 2008, p.674.
- Neville A.M. (1997), *Propriedades do concreto*, São Paulo, Brasil: Pini, 1997, p. 828.
- Polder R.B. (2001), *Test methods for on site measurement of resistivity of concrete – a RILEM TC-154 technical recommendation*, Construction and Building Materials, 15, 2-3, pp.125-131.
- Revista Técnica (2009), edição n.152 novembro de 2009.
- Schiessl P. (1987), *Influence of the composition of concrete on the corrosion protection of the reinforcement*, Proceedings American Concrete Institute, Detroit MI (USA), pp1634-1650.
- Shi C., Stegemann J.A., Caldwell R.J. (1998), *Effect of supplementary cementing materials on the specific conductivity of pore solution and this implications on the Rapid Chloride Permeability Test (AASHTO T277 and ASTM C1202) results*, ACI Materials Journal, Vol. 95, No. 4, pp. 389-394.
- Smith K.M., Schokker A.J., Tikalsky P.J. (2004), *Performance of supplementary cementitious materials in concrete resistivity and corrosion monitoring evaluations*, ACI Materials Journal, Vol. 101, No. 5, pp. 385-390.
- Thompson J.L., Silsbee M.R., Gill P.M., Scheetz B.E. (1997), *Characterization of silicate sealers on concrete*, Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 10, pp. 1561-1567.
- Whiting D.A., Nagi M.A. (2003), *Electrical resistivity of concrete: A literature review*. R&D (Skokie, Illinois, USA: Serial n. 2457, Portland Cement Association), p. 57.