

Estudo da resistividade elétrica do concreto em diferentes alturas de pilar

Study of electrical resistivity of concrete in different heights of columns

PESCA, Ivo Dadalto (1); PAIGEL, Gabriel Agrisi (1); CINTRA, Danielli Cristina Borelli (2); VIEIRA, Geilma Lima (3); HELENE, Paulo (4)

(1) Graduando em Engenharia Civil, MULTIVIX - Vitória (*ivodadaltopesca@gmail.com*; *g.agrisi@gmail.com*)
(2) Doutoranda PUC-Rio - Departamento de Engenharia Civil (*daniellicbc@gmail.com*); (3) Professora Doutora do PPGE - UFES - Brasil (*geilma.vieira@gmail.com*); (4) Professor Doutor USP. PhD Engenharia (*paulo.helene@concretophd.com.br*)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Espírito Santo - Av. Fernando Ferrari, 514, prédio CT-1, sala 101, Goiabeiras, Vitória ES/Brasil. CEP: 29075-910

Resumo

O crescimento dos grandes centros urbanos vem se acelerando nas regiões litorâneas, onde a tendência de corrosão do aço é maior do que em outras regiões. Muitos estudos são voltados para o desenvolvimento de concretos mais resistentes a esse tipo de manifestação patológica. Um ensaio não destrutivo muito utilizado para esses estudos, e que ainda não é normatizado no Brasil, é o de medição da resistividade elétrica do concreto por meio do método dos 4 pontos, sendo que quanto maior for o valor da resistividade, menor é a velocidade de propagação da corrosão no aço. Neste estudo avalia-se a variação da resistividade elétrica do concreto em três diferentes alturas de 10 pilares de seção transversal de 19cm x 19cm e 170cm de altura, sem armadura. Os pilares foram moldados em laboratório, utilizando-se concretos com classe de consistência S100 e S200, vibrados ou não, e também concreto autoadensável, lançados a uma altura de queda de 2m, totalizando duas réplicas de cada tipo de pilar. Cerca de 100 dias após as concretagens, foram feitas medições de resistividade elétrica do concreto na base, no meio e no topo dos pilares. A análise dos resultados indica que os valores de resistividade elétrica do concreto tem significativa variação ao longo da altura dos pilares, sendo que o concreto da base possui resistividade maior do que as demais alturas, portanto menor suscetibilidade à manifestação da corrosão da armadura. Os valores de resistividade no concreto autoadensável ultrapassaram a potência máxima de medição do aparelho usado, obtendo a maior resistividade elétrica dentre os concretos usados na pesquisa.

Palavra-Chave: resistividade elétrica, pilar, concreto.

Abstract

The growth of large urban centers is accelerating in coastal regions where steel corrosion tendency is higher than in other regions. Many studies are focused on the development of more resistant concrete to such pathological manifestation. A non-destructive test commonly used for these studies, and is not standardized in Brazil is the measurement of the electrical resistivity of concrete by the method of 4 points, and the larger the value of the resistivity, the lower the speed propagation of corrosion in steel. This study evaluates the variation of the electrical resistivity of concrete in three different heights of 10 pillars cross-section of 19cm x 19cm and 170cm in height without reinforcement. The pillars were cast in the laboratory, using consistency concrete class S100 e S200, vibrated or not, and also self-compacting concrete, cast a fall height of 2m. About 100 days after the concreting, the specific electrical resistivity measurements were made at the base, middle and top of the pillars. Analysis of the results indicates that the values have significant variation over the height of the pillars, and concrete base has higher resistivity than other heights thus less susceptible to the manifestation of the reinforcement corrosion. The resistivity values in self-compacting concrete exceeded the maximum power measurement device used, obtaining higher electrical resistivity among the concrete used in the study. *Keywords: electrical resistivity, concrete, traits, self dense, corrosion.*

1 Introdução

Pilares são elementos estruturais responsáveis pela transferência dos esforços oriundos das vigas, ou diretamente das lajes, para as fundações, estando sujeitos preponderantemente a esforços de compressão. A região da base dos pilares tende a ser o ponto mais vulnerável à ocorrência de manifestações patológicas em pilares, que podem comprometer a capacidade resistente e a durabilidade da estrutura (MEDEIROS et al 2010, 2113 e QUINTANA, 2005). A base de pilares é prejudicada, desde a etapa de concretagem, pela alta concentração de armadura nas emendas de barras, pela altura elevada de lançamento e pela dificuldade de acesso para o adensamento do concreto. Durante a fase de utilização da estrutura, é uma região de alta concentração de esforços e geralmente exposta a agentes agressivos, como o acúmulo de resíduos de produtos químicos, de limpeza e umidade.

Segundo Neville (1997), a deterioração do concreto ocorre pela ação de fatores externos e internos ao material, os quais podem ser classificados como: fatores mecânicos (impacto, abrasão, erosão ou cavitação), fatores químicos (íons agressivos de líquidos e gases naturais ou industriais, como cloretos e sulfatos) e fatores físicos (alta temperatura e diferença entre coeficientes de dilatação térmica do agregado e da argamassa). Apesar de tantos fatores estarem ligados à durabilidade do concreto, esta propriedade depende do potencial de corrosão da armadura. Portanto, avaliar a resistividade elétrica do concreto associando-a à sua durabilidade, trata-se de mensurar a suscetibilidade à ocorrência de corrosão da armadura.

Helene (1986) define corrosão como sendo a interação destrutiva de um material com o ambiente, seja por reação química, ou eletroquímica. Os métodos utilizados para medição de potencial de corrosão do concreto são: a determinação da resistividade elétrica do concreto e a diferença de potencial elétrico da armadura. A corrosão pode ser classificada como de origem química ou eletroquímica. A corrosão química, mais conhecida como oxidação, se dá por meio da reação do oxigênio com o metal, que se caracteriza como um processo lento, não apresentando deterioração substancial das superfícies metálicas. Já a corrosão eletroquímica é a que traz mais problemas para a construção civil, por se tratar

de um ataque de natureza eletroquímica, que ocorre em meio aquoso, devido à formação de uma pilha ou célula de corrosão. A corrosão de armadura em concretos é um dos maiores problemas da construção civil, principalmente em áreas litorâneas, onde a tendência de corrosão é maior do que em outras regiões.

Este trabalho apresenta um programa experimental, cujo objetivo é estudar o potencial de corrosão da armadura de pilares, por meio da avaliação da resistividade elétrica do concreto, sob a possível influência dos fatores consistência do concreto, adensamento e altura do pilar, além da interação entre estes fatores. A análise dos resultados é feita estatisticamente através de planejamento fatorial para concretos com classes de consistência S100 e S200, e concreto autoadensável. Pretende-se contribuir para uma definição de procedimentos mais eficientes de concretagem de pilares, com mais vantagens do ponto de vista econômico, construtivo e de desempenho estrutural. Os resultados dos ensaios realizados também podem servir como parâmetros em pesquisas posteriores.

2 Resistividade elétrica do concreto

Polder (2001) define resistividade elétrica como uma propriedade que caracteriza a dificuldade com que os íons se movimentam no interior do concreto, e depende da composição, tamanho e grau de conectividade dos poros, temperatura, contaminação de íons cloreto e sulfatos, grau de carbonatação, além de condições de exposição do concreto e da umidade relativa do ar. Também é chamada de resistência específica e é considerada igual ao inverso da condutividade elétrica.

Cascudo (1997) entende que a resistividade elétrica do concreto, juntamente com a disponibilidade de oxigênio junto às barras de aço, regem a velocidade do processo eletroquímico de corrosão das armaduras.

A resistência elétrica de um condutor metálico é definida pela seguinte expressão:

$$R = (\rho * L) / A \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

R = resistência elétrica do componente metálico (ohm);

ρ = resistividade elétrica do componente metálico (ohm.m);

L = comprimento do componente (m);

A = área da seção transversal do componente (m²).

A resistividade mede o grau de “isolamento” elétrico do concreto, que de acordo com a sua resistividade, pode ser desde dielétrico (isolante), como a parafina, até altamente condutor, como a prata.

Polder (2001) descreve métodos de ensaios para determinação da resistividade elétrica do concreto, sendo eles: método do eletrodo externo, método dos dois pontos, método direto, método dos três eletrodos (resistividade elétrica volumétrica), e o método de Wenner (quatro pontos).

Os dois primeiros métodos não têm sua prática disseminada no Brasil. Já o método dos três eletrodos é o único normalizado pela ABNT. Porém o método de Wenner, que ainda não é normalizado no Brasil, é o mais difundido entre os profissionais brasileiros e é adotado no presente trabalho.

2.1 Método do eletrodo

Neste método, é utilizado um pequeno disco de eletrodo metálico, apoiado na superfície do concreto e ao mesmo tempo conectado à sua armadura a fim de determinar a resistividade elétrica do concreto na área aplicada, como mostra a Figura 1. Para medir a resistividade elétrica do concreto, usa-se uma constante de célula que depende da espessura do revestimento e do diâmetro da barra.

Esse método é vantajoso pelo fato de que a localização do disco na estrutura é irrelevante, já que a posição de armadura não interfere no valor da resistividade.

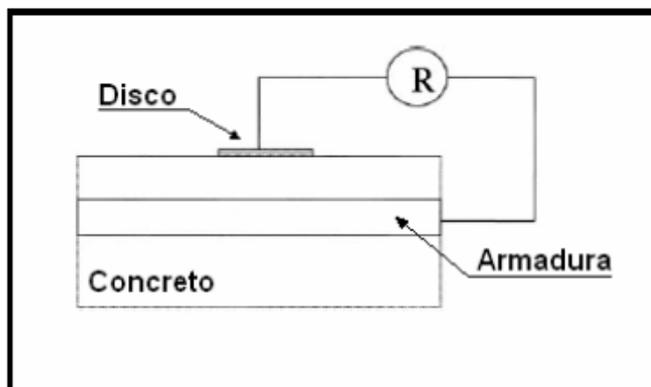


Figura 1: Posicionamento do disco sobre a armadura no Método do Eletrodo (POLDER, 2001)

Porém este método não é tão confiável pelo fato de que o fluxo de corrente não pode ser determinado. Um meio de deixar esse método mais confiável é usando células padronizadas com diâmetro do disco e espessura de diâmetro da barra conhecidos para qual a constante celular já tenha sido determinada.

Segundo Polder (2001), quando o diâmetro do disco e o diâmetro da barra variam entre 10mm e 50mm, a constante celular é aproximadamente 0,1, assim a resistividade elétrica poder ser medida através da seguinte equação:

$$P = 0,1 * R \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

P é a resistividade elétrica;

R é a resistência medida pela constante celular.

2.2 Métodos dos Dois Pontos

Este método utiliza dois pontos na superfície do concreto, a fim de aplicar uma corrente elétrica alternada e assim calcular a diferença de potencial elétrico. A diferença desse método para o método anterior, é que neste caso não é preciso um contato direto com a armadura.

2.3 Métodos dos 4 Pontos ou método de Wenner

É o método mais conhecido nos dias de hoje, baseado no método de Wenner original que calcula a resistividade elétrica do solo. Este ensaio é normalizado pela ABNT NBR 7117 (2012), lembrando que não é normalizado no Brasil para o uso em concretos, sendo adaptado para este uso.

Esse método no Brasil é adaptado por meio de equipamentos comerciais como o que foi usado no presente estudo. A vantagem desse método está no fato de que os equipamentos podem ser usados in loco e por ser um método totalmente não destrutivo, já que só se encosta os 4 pontos do equipamento na superfície do concreto para a medição. Esse tipo de ensaio tem que ser feito com o concreto úmido.

3 METODOLOGIA

3.1 Planejamento fatorial

Considerando os fatores controláveis variando conjuntamente, através de combinações entre seus níveis, o planejamento fatorial busca a eficiência e economia do processo experimental, desde que os seguintes princípios sejam adotados: a replicação, a aleatoriedade e a blocagem, conforme Montgomery (2005). A variável resposta é a resistividade elétrica do concreto. Os fatores controláveis são: a consistência do concreto, que varia em dois níveis (classes S100 e S200); altura do pilar, variando em três níveis (base, meio e topo) e o adensamento interno mecânico, que varia em dois níveis (vibrado e não-vibrado). Os demais fatores relevantes são considerados constantes. As variáveis aplicadas ao planejamento fatorial para concretos com abatimento estão indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis aplicadas ao planejamento fatorial para concretos com consistências S100 e S200

Variáveis resposta	Fatores controláveis		Fatores constantes
Resistividade elétrica do concreto	Consistência do concreto	S100	Características geométricas dos pilares; altura de lançamento; origem dos componentes do concreto; equipe de concretagem; idade das amostras.
		S200	
	Altura no pilar	Base (0)	
		Meio ($\ell/2$)	
		Topo (ℓ)	
	Adensamento mecânico	Sim (V)	
		Não (NV)	

As mesmas variáveis também são avaliadas para as diferentes alturas de pilar com concreto autoadensável, porém analisadas estatisticamente em separado, pelo fato do material possuir características físicas, mecânicas e componentes consideravelmente distintos dos concretos com consistências C100 e C200.

3.1 Pilares

O programa experimental é composto por cinco tipos de pilares diferentes, com duas réplicas de cada pilar, totalizando dez pilares, com seção transversal de 19cm x 19cm, altura de 170cm e sem armadura para evitar a interferência das barras nas propriedades do concreto a serem estudadas. Todo trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Ensaios em Materiais de Construção da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

3.1.1 Materiais

O concreto utilizado na fabricação dos pilares foi preparado em betoneira estacionária de eixo inclinado. A cada betonada, cerca de 175 litros, moldou-se dois pilares e doze corpos de prova cilíndricos de diâmetro $\Phi 100$ mm. Em todas as betonadas foram realizados os ensaios de controle e aceitação do concreto conforme item 6 da NBR 12655 (ABNT,

2015), que são ensaios de consistência em estado fresco e ensaio de resistência à compressão, em estado endurecido, este realizado conforme a NBR 5739 (ABNT, 2007).

Para os concretos com classes de consistência S100 e S200 foram feitos ensaios por abatimento do tronco de cone, conforme a NBR NM 67 (ABNT, 1998), realizados após o final da mistura e também antes da moldagem dos corpos de prova, que ocorreu entre as concretagens do primeiro e do segundo pilar, em cada betonada. No caso do concreto autoadensável foram realizados os ensaios para controle de qualidade e aceitação no estado fresco prescritos no item 6.3 da NBR 15823-1 (ABNT, 2010). No total foram executadas cinco betonadas de concreto. Os traços adotados foram testados antecipadamente e estão apresentados na Tabela 2, sendo que o traço do concreto autoadensável é o mesmo utilizado em obras de grande porte em região de alta agressividade ambiental, em Vitória-ES.

Tabela 2 – Composição dos concretos produzidos

Consistência do concreto	Relação água cimento a/c	Consumo de materiais em massa (kg) por m ³ de concreto							
		Cimento CP III – 40 RS	Areia de jazida	Brita 0	Brita 1	Água	Plastificante	Superplastificante	Sílica ativa
S100	0,52	350	822,85	299,95	819,98	182	-	-	-
S200	0,52	350	822,85	299,95	819,98	182	3,50	-	-
Autoadensável	0,40	550	776,00	750,00	-	220	2,75	3,20	50,00

3.1.2 Concretagem

Os pilares foram moldados com dois conjuntos idênticos de formas de madeira compensada plastificada de 20mm de espessura, enrijecidas com gravatas de madeira e tirantes metálicos. O lançamento do concreto na forma foi feito com baldes de 10 litros, despejados sobre uma calha de madeira previamente umedecida, posicionada no topo da forma, conferindo uma altura de queda do concreto de 2m. Durante o lançamento do concreto autoadensável, uma das formas se abriu na região inferior do pilar, devido à alta

pressão do concreto mais fluido, deformando a base de um dos pilares concretados, o que demandou maior reforço lateral na base das formas.

Para os concretos de classes de consistência S100 e S200, a moldagem do primeiro pilar de cada betonada foi feita com o lançamento do concreto em camadas de aproximadamente 25cm de altura, totalizando sete camadas, atendendo à prescrição do item 9.6 da NBR 14931 (ABNT, 2004) sobre a altura máxima de camadas para vibração de concreto, que é $\frac{3}{4}$ do comprimento da agulha do vibrador ou 50cm, o que for menor.

Cada camada de concreto foi adensada durante 12 segundos por vibrador de imersão, agulha com diâmetro de 25mm e 33cm de comprimento. Foram feitas marcações no mangote do vibrador para controlar a profundidade de penetração da agulha nas camadas de concreto, já que o operador do vibrador praticamente não tinha visibilidade das camadas inferiores dentro da forma, considerando-se que a ponta da agulha penetrasse cerca de 5cm na camada inferior, a fim de promover a costura de aderência entre as camadas, procedimento chamado de revibração do concreto (ANDRIOLO, 1984 e CINTRA et al, 2013). A moldagem do segundo pilar de cada betonada foi feita com o lançamento contínuo do concreto, sem nenhum tipo de adensamento, procedimento adotado também para ambos os pilares de concreto autoadensável.

Por fim os pilares foram cobertos com lona plástica para evitar a perda de água do concreto por evaporação precoce e para facilitar seu endurecimento. No terceiro dia após sua concretagem os pilares foram transportados com um guincho para o local de armazenamento e em seguida desformados.

3.1.1 Resistividade elétrica

O equipamento usado foi um medidor de resistividade elétrica do fabricante Proceq, modelo RESI, para o método de Wenner. Antes da medição, foram marcados cinco pontos na base, no meio e no topo dos pilares, para servirem de referência para a posição do bastão do equipamento, de modo que os pinos das extremidades do bastão não

ficassem muito próximos da borda do concreto, evitando que as curvas elétricas pudessem ultrapassar os limites do elemento e prejudicassem os resultados.

Cerca de cem dias após as concretagens, a superfície dos pilares foi molhada, a fim de permitir a condução de corrente elétrica ao longo do concreto, conforme ilustra a Figura 2, e foi determinada a resistividade elétrica do concreto na base, a meia altura e no topo de cada pilar.



Figura 2: Pilares úmidos e o bastão de quatro pinos para determinação da resistividade elétrica do concreto

4 RESULTADOS

4.1 Concretos

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos seguintes ensaios: consistência do concreto pelo abatimento do tronco de cone, conforme a ABNT NBR NM 67 (1998); ensaio de tempo de escoamento (T500) e espalhamento (SF), conforme a ABNT NBR 15823-2; habilidade passante, conforme a ABNT NBR 15823-3 (Anel J) e ABNT NBR 15823-4 (HP); viscosidade (Funil V), conforme a ABNT NBR 15823-5; e resistência à compressão do concreto, conforme a ABNT NBR 5739 (2007), realizados em corpos de prova cilíndricos de diâmetro $\Phi 100\text{mm}$.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios para controle e aceitação do concreto

Betonadas	Estado fresco		Estado endurecido		
	Parâmetro de referência	Consistência obtida	Idade (dias)	Resistência média - fcm (MPa)	Desvio padrão - s (MPa)
1	Consistência	Abatimentos:	28	39	0,2
		90mm / 90mm	100	46	1,5
2	S100	Abatimentos:	28	34	1,0
		95mm / 95mm	100	39	0,9
3	Consistência	Abatimentos:	28	36	0,6
		200mm/195mm	100	41	1,4
4	S200	Abatimentos:	28	34	0,6
		185mm/180mm	100	35	0,8
5	T ₅₀₀ : > 2 s	T ₅₀₀ : 2,5 s	28	65	0,9
	SF: 550 a 650	SF: 635mm			
	Anel J: ≥ 25mm	Anel J: 25mm	100	71	0,9
	HP: ≥ 0,8	HP: 0,8			
	Funil V: 9 a 25 s	Funil V: 9 s			

De acordo com os resultados obtidos considera-se que as propriedades requeridas para os diferentes concretos da pesquisa foram atendidas, tanto no estado fresco como no endurecido.

4.2 Pilares

A média dos resultados dos ensaios de resistividade elétrica do concreto nas diferentes alturas de pilares com concreto de abatimento está representada na Figura 3. Observa-se que o concreto da região da base dos pilares apresenta os maiores valores de resistividade elétrica. Tal fenômeno é atribuído à maior pressão sofrida nessa região durante a concretagem, conferindo uma compactação mais efetiva do concreto, considerado um efeito de revibração.

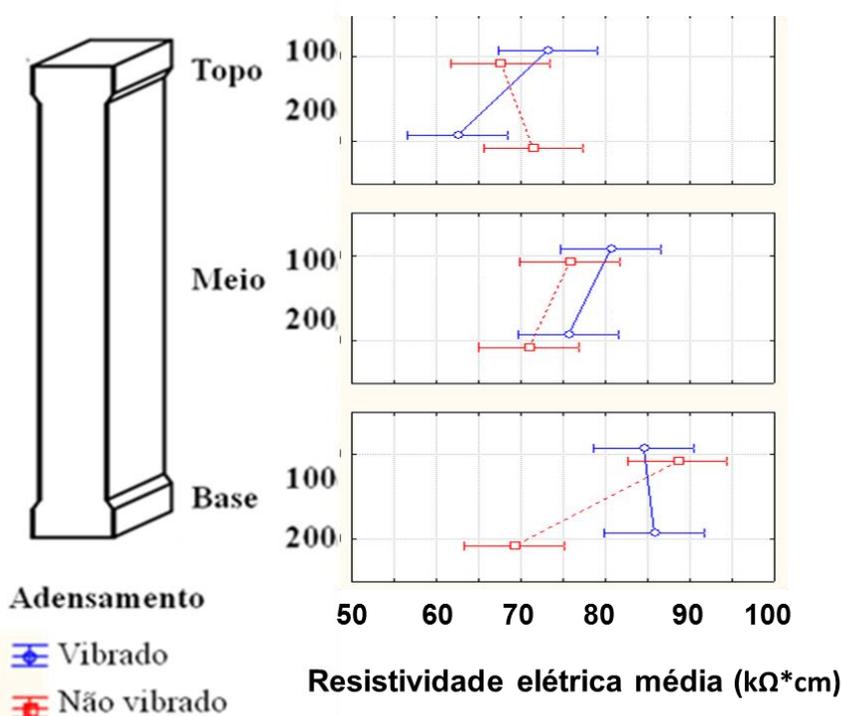


Figura 3: Valores médios de resistividade elétrica ($k\Omega \cdot cm$) em diferentes alturas de pilares, concreto com consistência S100 e S200, vibrado e não vibrado - barras horizontais denotam 0,95 de intervalo de confiança

Na Tabela 4 é apresentada a análise de variância (ANOVA), feita no programa Statistica, versão 10, que avalia estatisticamente a importância que cada fator tem nos resultados e quais combinações entre fatores exercem maior influência, adotando-se um nível de significância estatística $\alpha = 0,05$. Observa-se que os fatores abatimento e altura do pilar, além da interação entre os fatores abatimento, adensamento e altura influenciaram significativamente os resultados da resistividade elétrica do concreto.

Tabela 4 – Análise de variância (ANOVA) da resistividade elétrica do concreto em relação aos fatores controláveis e suas interações, nível de significância $\alpha = 0,05$, dos concretos com consistência S100 e S200

Variável resposta	Fatores controláveis	Soma quadrática	Graus de liberdade	Média quadrática	Teste F	Valor p	Significância
Resistividade elétrica	Consistência	401,4	1	401,4	11,80	0,0015	Sim
	Adensamento	116,6	1	116,6	3,43	0,0724	Não
	Altura	1419,3	2	709,7	20,86	0,0000	Sim
	Consistência x adensamento	11,2	1	11,2	0,33	0,5695	Não
	Consistência x altura	69,4	2	34,7	1,02	0,3170	Não
	Adensamento x altura	143,7	2	71,9	2,11	0,1358	Não
	Consistência x altura x adensamento	624,3	2	312,1	9,17	0,0006	Sim
	Erro	1224,9	36	34,0	-	-	-

Nos pilares de concreto autoadensável a resistividade elétrica atingiu a capacidade máxima de medida do aparelho que foi de 99 $k\Omega \cdot cm$ em todas as medições, não sendo possível a elaboração de análise estatística.

5 CONCLUSÃO

O programa experimental apresentado analisou estatisticamente a resistividade elétrica do concreto em diferentes alturas de 10 pilares moldados em laboratório, de acordo com as boas práticas recomendadas por normas e bibliografia técnica, sem armadura, com concretos de classe de consistência S100 e S200, vibrados ou não, e também com concreto autoadensável e as conclusões do trabalho são apresentadas a seguir:

- a) a altura dos pilares foi o fator que mais influenciou na resistividade elétrica do concreto, ao contrário do adensamento, cuja influência foi insignificante;

- b) os pilares moldados com concreto de consistência S100 e S200 apresentaram maior resistividade elétrica na região da base, indicando que esta região tem menor tendência à corrosão, provavelmente devido à maior compactação do concreto durante a concretagem;
- c) a resistividade elétrica média do concreto foi proporcional à altura dos pilares;
- d) os pilares de concreto autoadensável atingiram a capacidade máxima do aparelho que foi de $99 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ em todas as medições de resistividade elétrica do concreto, caracterizando pequena a suscetibilidade à corrosão da armadura para este tipo de concreto.

O concreto mais compacto da base do pilar pode mitigar a movimentação de íons que geram a corrosão da armadura nessa região, promovendo durabilidade ao elemento. Porém a inadequação ou negligência das etapas de concretagem, tão comuns em situações reais de obra, conforme relatado por Cintra et al (2013), juntamente com a alta taxa de armadura das emendas de barras e o acúmulo de resíduos e umidade na região da base de pilar, acabam comprometendo a qualidade do concreto e o desempenho estrutural do elemento.

6 REFERÊNCIAS

ANDRIOLO, F.R. **Construções de concreto**: manual de práticas para controle e execução. São Paulo: Pini, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 5739** – “Concreto – ensaios de compressão de corpo-de-prova cilíndricos”. Rio de Janeiro, 2007.

_____, **NBR 7117** – “Medição da resistividade e determinação da estratificação do solo”. Rio de Janeiro, 2012.

_____, **NBR 12655** – “Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento - Procedimento”. Rio de Janeiro, 2015.

_____, **NBR 14931** - “Execução de estruturas de concreto - Procedimento”. Rio de Janeiro, 2004.

_____, **NBR 15823-1** – “Concreto auto-adensável Parte 1: Classificação, controle e aceitação no estado fresco”. Rio de Janeiro, 2010.

_____, **NBR NM 67** – “Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone”. Rio de Janeiro, 1998.

CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armadura em concreto**: inspeção e técnicas eletroquímicas. 1997.

CINTRA, D.C.B. et al, Estudo de procedimentos de adensamento do concreto por vibradores de imersão em obras na Grande Vitória-ES. **55º Congresso Brasileiro do Concreto**. Gramado-RS, 2013. p. 8.

HELENE, P.R.L. **Corrosão em armaduras para concreto armado**. São Paulo: IPT - Pini, 1986.

MEDEIROS, M.H.F. et al. **Inspeção em prédios no Rio de Janeiro: corrosão em pilares**, Concreto & Construções. São Paulo, 2010, v. 57, p. 58-66.

MEDEIROS, M.H.F. et al. **Inspection of buildings in Rio de Janeiro-Brazil**: proving the greater tendency of corrosion at the base of reinforced concrete columns using potential corrosion technique. American journal of Engineering Research (AJER). 2013, v.2, n. 4, p. 102-112.

MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**. 6. ed. Danvers: John Wiley & Sons, 2005.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**, 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

POLDER, R.B. **Test methods for on site measurement of resistivity of concrete**. Rilem TC 154 – EMC Electrochemical Techniques for Measuring Metallic Corrosion. Construction and Building Materials, vol. 15, p. 125 – 131, March-April, 2001.

QUINTANA, C.B., **Influência da armadura transversal e do cobrimento da armadura longitudinal na resistência de pilares de concreto**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005. p. 24.