

**Análise de corrosão em barras de aço empregadas no concreto armado: 02 pilares da Torre de Salvamento do CBMPE, Recife/PE.**

**Luiz Fernando Anchar Lopes<sup>1</sup>**

**Rafael Bazilio Viana<sup>2</sup>**

**Mayara Tacila dos Santos<sup>3</sup>**

**Wanessa Souza de Lima<sup>4</sup>**

**Marcelo Lima Silva<sup>5</sup>**

**RESUMO**

Os problemas oriundos da corrosão de armaduras nas estruturas de concreto armado afetam diretamente sua segurança, capacidade de serviço e vida útil, sendo um dos mais comuns e frequentes relacionados à durabilidade, fato este que exige acompanhamento periódico do quadro, que pode ser feito através de técnicas de avaliação e monitoramento para identificar a ocorrência e até avaliar a gravidade da patologia. Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho do método do potencial de corrosão de meia célula para detectar corrosão em armaduras, levando em conta nessa avaliação todas as limitações impostas pela influência de fatores ligados às características físico-químicas do concreto e do ambiente onde está situada a estrutura inspecionada. Foram inspecionados dois pilares da Torre de Salvamento do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco, uma estrutura em concreto armado com idade de cerca de 40 anos. Na realização do ensaio empregou-se o sistema Canin+, que utiliza como eletrodo de referência uma meia célula de Cu/CuSO<sub>4</sub>, onde o mesmo é conectado por meio de um voltímetro de alta impedância a uma barra de aço da estrutura, sendo o eletrodo movimentado sobre uma grade pré-definida na superfície dos pilares investigados. Como resultado, verificou-se que o pilar P2 apresentou valores mais eletronegativos que P1, uma explicação para esse cenário pode ser indicada pela posição mais afastada de P1 em relação à estrutura, estando conectada à torre por meio de uma viga. Os potenciais de corrosão nos dois elementos investigados encontram-se majoritariamente na condição de concreto seco carbonatado, apresentando contaminação por cloretos na base do pilar P2, segundo os critérios da RILEM TC 154-EMC.

**Palavras-chave:** concreto armado; corrosão em armaduras; ensaio não destrutivo; inspeção predial; vida útil.

<sup>1</sup> Mestrando, Universidade Estadual de Maringá-UEM, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas-PCV, luiz.anchor@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheiro Civil, graduado pela Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, rafaelbazilioviana@gmail.com

<sup>3</sup> Engenheira Civil, graduada pela Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, maytacila.ms@gmail.com

<sup>4</sup> Engenheira Civil, graduada pela Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Email: wanessasouzadelima@gmail.com

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP, Engenheiro Civil. Email: amil\_olecram@hotmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

O concreto começou a ser utilizado como material de construção no final do século XIX e atualmente é tido como o principal material de construção, tendo superado materiais como aço, madeira e cerâmica. A explicação para esse cenário se deve às características tais como: processo de produção simples, disponibilidade de seus componentes básicos em praticamente todo o mundo, versatilidade na aplicação, facilidade de moldagem, elevada resistência ao desgaste mecânico e à ação das intempéries, manutenção simples e econômica, grande resistência à ação do fogo e grande durabilidade. Em contrapartida, uma das principais desvantagens do concreto é a incapacidade de absorver inversão de esforços. Para contornar essa limitação, o aço é incorporado ao sistema, dando origem ao material compósito denominado concreto armado (VIEIRA et al, 2010).

Com a adição do aço ao processo houve ganho quanto à absorção de esforços e também surgiram novas variáveis, pois com a incorporação de um novo material abre-se uma nova gama de possibilidades quanto ao desenvolvimento de patologias neste, bem como preocupações sobre o impacto que tais manifestações patológicas causará na durabilidade da estrutura.

Ribeiro et al (2013) define corrosão como a interação destrutiva de um material com o meio ambiente, resultado de reações químicas ou eletroquímicas em meio aquoso, associadas ou não a ações físicas ou mecânicas de deterioração formando o que se conhece por pilha eletroquímica. No caso do concreto armado, além da proteção física que o concreto oferece ao separar o aço do meio externo, seu ambiente altamente alcalino forma uma película protetora em volta da armadura, conhecida como passivação, que em condições satisfatórias previne a propagação do processo corrosivo no aço. A corrosão nas armaduras se manifesta quando o concreto apresenta permeabilidade, permitindo assim a entrada da umidade ( $H_2O$ ) e substâncias como gás carbônico ( $CO_2$ ) e íons cloretos ( $Cl^-$ ) que reagem ao interagirem com os componentes do aço, diminuindo o pH do meio e ocasionando a despassivação da armadura.

Este trabalho tem como objetivo analisar o desempenho do método do potencial de corrosão de meia célula para detectar corrosão em armaduras, a partir das medidas de potencial de corrosão obtidas na inspeção de dois pilares da Torre de Salvamento do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco, onde na realização do ensaio foi empregado o sistema Canin+, que utiliza como eletrodo de referência uma meia célula de  $Cu/CuSO_4$ , levando em conta nesta avaliação todas as limitações impostas pela influência de fatores ligados às características físico-químicas do concreto e do ambiente onde está situada a estrutura inspecionada.

### 1.1 Principais mecanismos de propagação da corrosão

#### 1.1.1 Corrosão da armadura por cloretos

A corrosão induzida por cloretos é a maior causa de deterioração e degradação em estruturas de concreto armado. Sua ocorrência se deve à reação dos íons cloretos, presentes na pasta de cimento, armadura, em regiões anódicas formando o ácido clorídrico ( $HCl$ ), destruindo a camada passivadora da armadura e tornando a superfície do aço sujeita ao processo corrosivo, onde o próprio aço atua como anodo e a camada passivadora como catodo, acarretando na formação de pites. Tal processo só ocorre na presença de água e oxigênio.

#### 1.1.2 Corrosão da armadura por carbonatação

Carbonatação é uma das principais reações químicas que podem afetar a vida útil de uma

estrutura em concreto armado, onde o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), presente na atmosfera, e os elementos componentes do cimento hidratado (hidróxido de cálcio –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), na presença de umidade, reagem produzindo carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), resultando na redução do pH do concreto, geralmente maior que 12,5, para valores em torno de 8,5 (BAKKER, 1988, MEHTA e MONTEIRO, 2008). É um processo lento e que ocorre da superfície para o interior da estrutura e sua evolução depende de três fatores: permeabilidade do concreto, teor da umidade e de  $\text{CO}_2$  no meio-ambiente.

A redução da alcalinidade da pasta de cimento afeta as condições de estabilidade química da película passivante da armadura, criando as condições favoráveis para o desencadeamento do processo corrosivo.

O desenvolvimento da carbonatação é favorecido na ocorrência de desconformidades como espessura de recobrimento insuficiente, elevada relação água/cimento, porosidade elevada e ciclos de umedecimento e secagem reduzidos, uma das consequências dessas práticas é o aumento da velocidade de carbonatação.

Os problemas devido à corrosão de armadura nas estruturas de concreto afetam diretamente sua segurança, capacidade de serviço e, conseqüentemente, sua vida útil, sendo um dos mais comuns e frequentes relacionados à durabilidade. Merecendo, portanto acompanhamento periódico, visto que o processo corrosivo no concreto armado é “silencioso”, segundo Ribeiro et al (2013) seus sintomas só aparecem muito depois do processo ter iniciado e propagado, sendo sua identificação precoce muito difícil.

Tal acompanhamento pode ser feito através de extensa gama de técnicas de avaliação e monitoramento, com a finalidade de identificar a ocorrência e até avaliar a gravidade da patologia, possibilitando dados para a tomada da melhor decisão quanto à recuperação/reforço da estrutura afetada. Tratam-se de métodos rápidos, que não acarretam sérios danos à estrutura quando aplicados e que podem ser utilizados tanto em laboratório quanto em campo. Dentre os mais comuns se destacam: a inspeção visual; técnicas de avaliação da qualidade do concreto em relação à porosidade e técnicas de monitoramento e previsão da corrosão das armaduras.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Detalhamento da metodologia adotada

O método do potencial de corrosão de meia célula não é capaz de medir a evolução e a velocidade do processo corrosivo da armadura, tendo, portanto, como principal finalidade a indicação das probabilidades de ocorrência da corrosão e a conseqüente classificação do estado do concreto, resultando uma imagem característica do estado de corrosão da superfície do aço dentro do concreto. Essa técnica trabalha com a relação eletroquímica entre o aço e o concreto, o eletrodo de referência do sistema Canin+ é uma meia célula de cobre/sulfato ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ), utilizando uma vareta de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre, que mantém um potencial constante de 10 MΩ. O eletrodo de referência, conectado por meio de um voltímetro de alta impedância ao reforço de aço, deve ser movimentado em uma grade, definida de acordo com a estrutura analisada, acima da superfície de concreto.

Os potenciais coletados através das medições realizadas serão avaliados através de critérios mais prescritos na norma ASTM C-876/91, vide tabela 1, também conhecidos como critérios de Van Daveer e cuja aplicação imediata não é indicada para processos corrosivos deflagrados devido à ação da carbonatação. Devido à essa limitação, a avaliação seguirá o proposto na recomendação europeia RILEM TC 154-EMC e o proposto por Rincón *et al* (1998)

apud Bastos (2005), que utiliza como base o Diagrama de Pourbaix para a determinação das faixas de probabilidade de corrosão, dispostos nas tabelas 2 e 3.

**Tabela 1: Probabilidade de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial, definida pela norma americana ASTM C-876/91**

Tipo de eletrodo	Probabilidade de ocorrer a corrosão		
	< 10%	10% - 90%	> 90%
ENH*	> 0,118 V	0,118 V a -0,032 V	< -0,032 V
<b>Cu/CuSO<sub>4</sub>, Cu<sup>2+</sup> (ASTM C 876)</b>	> -0,200 V	-0,200 V a -0,350 V	< -0,350 V
Hg, Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> /KCl (sol. saturada)**	> -0,124 V	-0,124 V a -0,274 V	< -0,274 V
Ag, AgCl/KCl (1M)	> -0,104 V	-0,104 V a -0,254 V	< -0,254 V

Fonte: RIBEIRO et al, 2013.

**Tabela 2: Intervalos do potencial de meia célula do aço em concreto medidas em relação a um eletrodo de referência de Cu/CuSO<sub>4</sub>**

Concreto saturado de água sem O <sub>2</sub>	-0,9 ... -1,0 V
Concreto úmido contaminado com cloreto	-0,4 ... -0,6 V
Concreto úmido isento de cloreto	+0,1 ... -0,2 V
Concreto úmido carbonatado	+0,1 ... -0,4 V
Concreto seco carbonatado	+0,2 ... 0,0 V
Concreto seco não carbonatado	+0,2 ... 0,0 V

Fonte: RILEM TC 154-EMC, 2003.

Alguns fatores produzem distorções nos resultados obtidos pelo método de aferição do potencial corrosivo, propriedades como umidade, temperatura (ponto de congelamento), espessura da camada do concreto e o teor de oxigênio no meio influenciam nos potenciais de meia célula. Tais fatores justificam a utilização do sistema localizador de barras “Profoscope”, que utiliza tecnologia eletromagnética de indução de pulso, para detectar armaduras, para medir a camada de concreto da peça (cobrimento), verificar a localização e as bitolas das armaduras longitudinais (principal) e transversais (estribos). De posse dessas informações é possível tomar as providências necessárias para que o ensaio retorne resultados consistentes.

**Tabela 3: Probabilidades de ocorrência de corrosão da armadura em função do potencial, das condições do concreto e do meio-ambiente**

Condição	Potencial ( $E_{corr}$ ) (mV, Cu/CuSO <sub>4</sub> )	Observações	Risco de dano
Estado passivo	+200 a -200	Ausência de Cl <sup>-</sup> ; pH > 12,5; H <sub>2</sub> O; (UR elevada)	Desprezível
Corrosão localizada	-200 a -600	Cl <sup>-</sup> ; O <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub> O; (UR elevada)	Alto
Corrosão uniforme	+200 a -150	Carbonatado; O <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub> O; (UR baixa)	Baixo
Corrosão uniforme	-150 a -600	Carbonatado; O <sub>2</sub> ; H <sub>2</sub> O; (UR elevada)	Moderado-alto
Corrosão uniforme	-400 a -600	Cl <sup>-</sup> elevado; H <sub>2</sub> O ou carbonatado H <sub>2</sub> O, (UR elevada)	Alto
Corrosão uniforme	< -600	Cl <sup>-</sup> elevado, H <sub>2</sub> O elevado, sem O <sub>2</sub>	Desprezível

Fonte: Rincón et al,1998 *apud* Bastos, 2005.

## 2.2 Inspeções realizadas

No dia 26/06/2015 foram inspecionados dois pilares, denominados P1 e P2 (Foto 1-c), da Torre de Salvamento do CBMPE (Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco), localizada no Quartel Central, situado na Av. João de Barros nº. 399, Boa Vista, Recife / PE. Segundo a NBR 6118:2014, o ambiente onde está situada a estrutura analisada é classificado como sendo de classe III – agressividade forte.

Trata-se de uma estrutura antiga em concreto armado que, segundo informações coletadas no local, tem idade estimada de 40 anos e chegou a ser utilizada como caixa d'água durante um longo período, se encontrando desativada há muito tempo. Visualmente foi possível detectar patologias como pontos de ferragens expostas e oxidadas, infiltrações e fissuras verticais em seus elementos estruturais (pilares, vigas e lajes), como se pode observar no material fotográfico exposto a seguir (Figuras 1-a, 1-b e 1-c).



**Figura 1: a e b) Vistas da Torre de Salvamento; c) identificação dos pilares inspecionados**

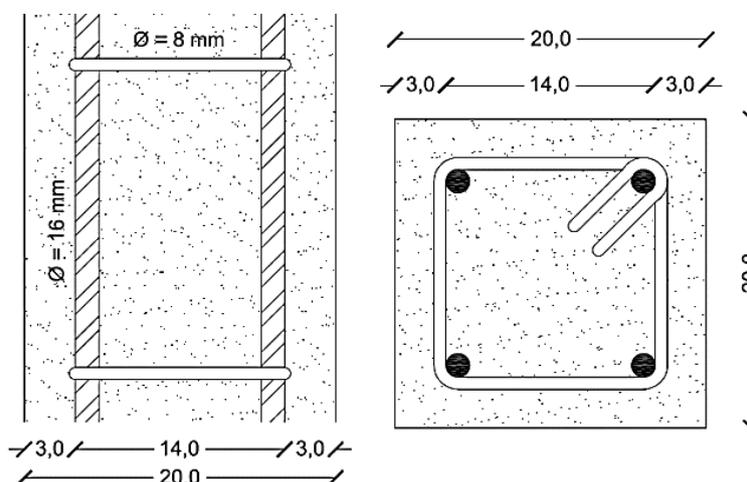
## 2.2.1 Planejamento, preparação e execução do ensaio

Primeiramente colocou-se a tampa do eletrodo que contém uma rolha de maneira de molho em um recipiente com água, a rolha deve estar saturada por água para assegurar um contato de baixa resistividade. Em seguida preparou-se uma solução de água destilada e sulfato de cobre saturado na proporção de 40 unidades de massa de  $\text{CuSO}_4$  para 100 unidades de massa de  $\text{H}_2\text{O}$  (nessa aplicação 15g de  $\text{CuSO}_4$  foram necessários para a solução), a qual, depois de pronta, foi inserida no recipiente do eletrodo de barra.



**Figura 2: Procedimentos de preparação da estrutura para a inspeção**

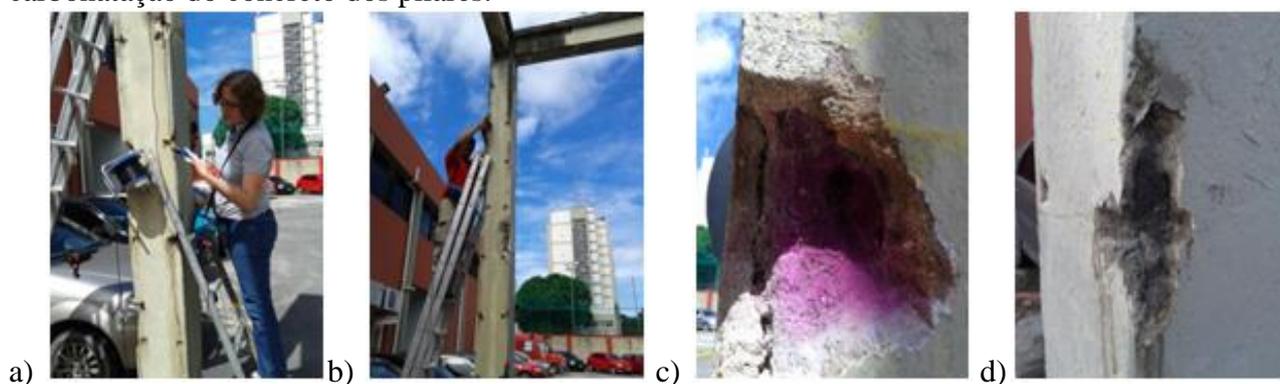
Após, foram localizadas as posições das armaduras na peça, medidas a espessura do concreto e as bitolas das armaduras longitudinais (principais) e transversais (estribos), com o auxílio do pacômetro “Profoscope” (Figura 2-b e Figura 3), foi definida a grade na superfície dos pilares visando identificar de forma mais precisa possível a extensão da superfície a ser inspecionada. Para o caso em tela foi adotada a grade de 14x50cm no pilar denominado P1 e 14x40cm no pilar denominado P2.



**Figura 3: Representação esquemática das seções transversal e longitudinal dos pilares P1 e P2 (medindo 20x20 cm de sessão transversal), cobrimento de 3,0 cm e as armaduras principais com bitola de 16 mm e estribos com bitola de 8 mm.**

Segundo o manual de operações do aparelho utilizado na inspeção (sistema Canin+), o potencial que pode ser medido na superfície fica mais positivo com o aumento da camada de concreto, ocasionando distorções nos resultados.

Para os elementos estruturais inspecionados, foi feita uma verificação quanto à variação dos potenciais medidos e constatou-se a necessidade da remoção do revestimento externo em massa única dos pilares para a obtenção de valores exatos, eliminando a necessidade de correções ou compensações posteriores. Depois da remoção do cobrimento a superfície de testes foi pré-umedecida, visando o aumento da mobilidade dos íons na área inspecionada, favorecendo o processo eletroquímico no sistema aço/concreto. Para efeito de comparação, foram executadas aspersões de nitrato de prata e fenolftaleína para verificar a presença de íons cloreto e o estado de carbonatação do concreto dos pilares.



**Figura 4: a e b) Execução das medições de potencial de corrosão; c) aspersão de fenolftaleína no elemento P1; d) aspersão de nitrato de prata no elemento P1**

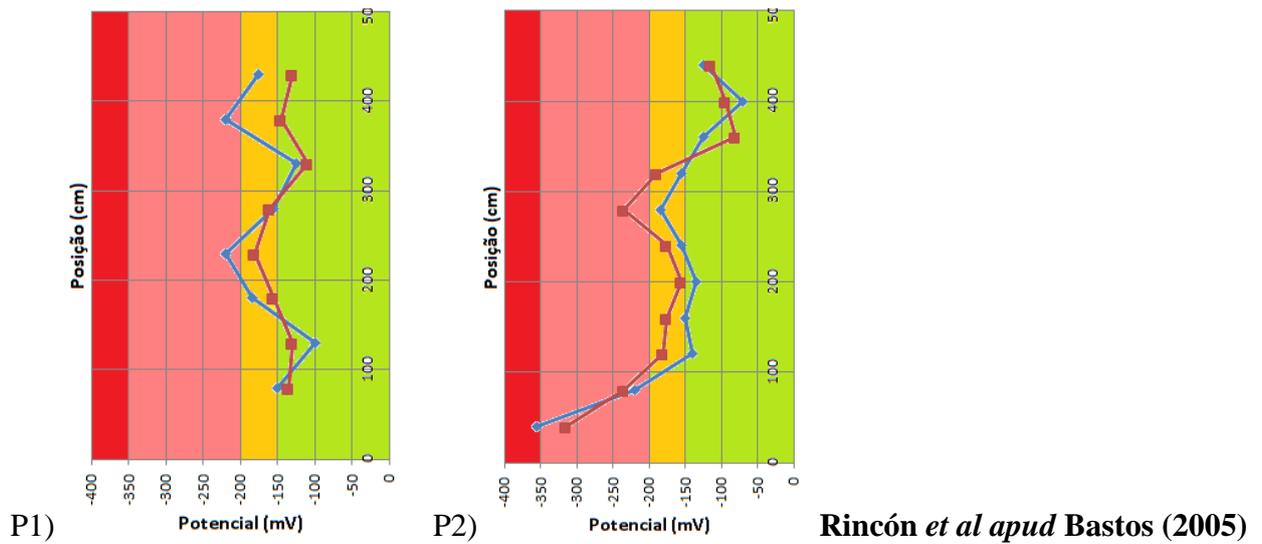
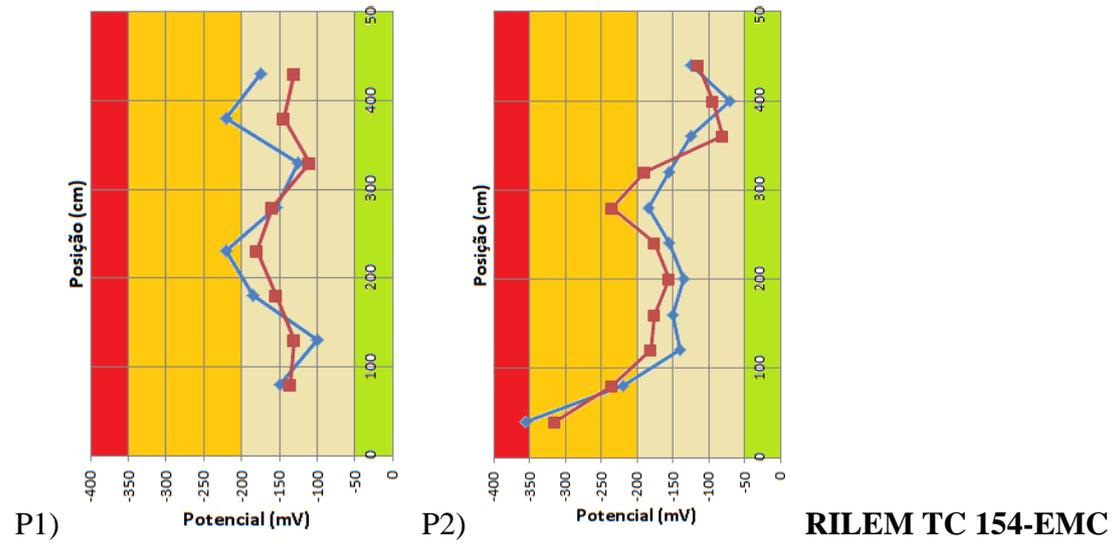
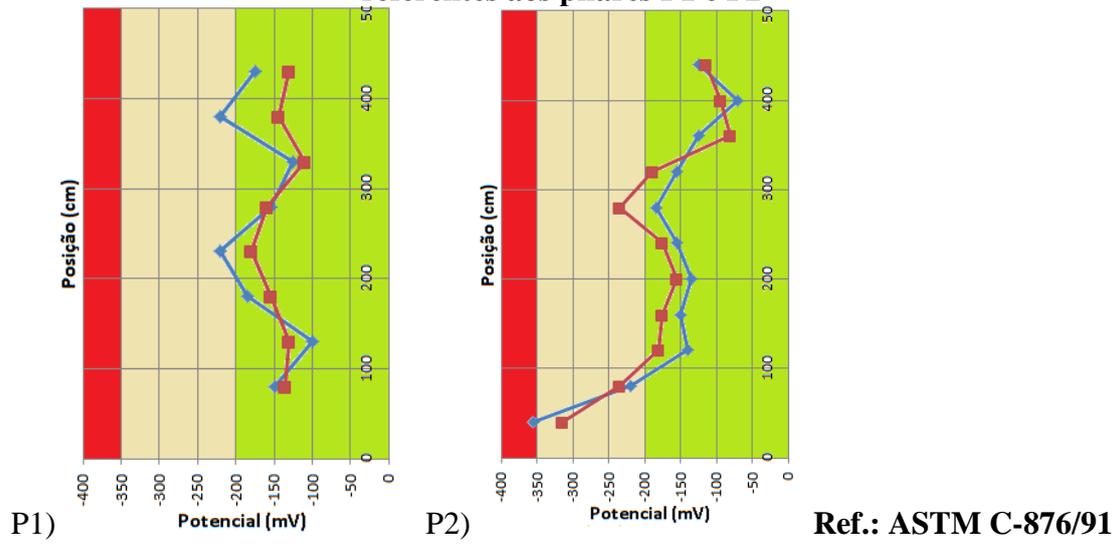
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas 4-a e 4-b apresentam os resultados obtidos para cada pilar, enquanto que os gráficos 1 e 4 correlacionam as leituras de potencial executadas nos elementos P1 e P2 e as probabilidades do desencadeamento do processo corrosivo determinadas pela ASTM C-876/91, bem como com as faixas típicas de diferentes condições do concreto, determinadas pela RILEM TC 154-EMC e os critérios propostos por Rincón *et al* (1998) *apud* Bastos (2005).

**Tabela 4: Potenciais de corrosão medidos nos pilares P1 e P2**

Pilar P1			Pilar P2		
Posição (cm)	Potencial (mV)		Posição (cm)	Potencial (mV)	
	Lado Esquerdo	Lado Direito		Lado Esquerdo	Lado Direito
80	-150	-135	40	-355	-315
130	-100	-130	80	-220	-235
180	-185	-155	120	-140	-180
230	-220	-180	160	-150	-175
280	-155	-160	200	-135	-155
330	-125	-110	240	-155	-175
380	-220	-145	280	-185	-235
430	-175	-130	320	-155	-190
			360	-125	-80
			400	-70	-95
			440	-125	-115

**Gráfico 1: Correlação entre as medidas de potencial de corrosão e os critérios de avaliação referentes aos pilares P1 e P2**



Avenida Colombo, 5790 (UEM)  
 Bloco C67 (DEC) – Sala 102A  
 (44) 3011-5865

Antes de qualquer avaliação, deve ser ressaltado que o potencial do eletrodo de cobre apresenta valores mais positivos que o potencial do sistema aço/concreto, logo, é usual que os valores obtidos nas inspeções sejam negativos independentemente do estado da armadura (MEDEIROS et al, 2010). Para evitar distorções nos resultados, foram adotados três diferentes critérios de avaliação. Neste trabalho foram empregados os critérios de Van Daveer, propostos pela norma americana ASTM C-876/91, que segundo Cascudo (1999) não tem aplicação imediata para uma corrosão cuja causa primordial não tenha sido pela ação de cloretos, não sendo indicado para casos de corrosão por carbonatação, os critérios da recomendação europeia RILEM TC 154-EMC e os critérios propostos por Rincón *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), que não possuem as mesmas restrições.

A partir dos gráficos 1, 2 e 3 percebe-se que o elemento P1 apresentou valores de potenciais majoritariamente na faixa de baixa probabilidade (menor que 10%) dos critérios de Van Daveer. Quanto aos critérios de Rincón *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), percebe-se que o elemento P1 apresentou potenciais concentrados principalmente nas faixas de probabilidade baixa a moderada representadas pelas faixas laranja (zona de risco moderado da ocorrência do processo corrosivo) e verde (zona de risco baixo ou desprezível), respectivamente. Também deve ser mencionado que, corroborando com o ensaio de aspersão de nitrato de prata e fenolftaleína executado no pilar P1, onde foi possível observar o baixo teor de cloretos – concreto apresentando coloração mais escura após a aspersão do nitrato de prata e a alcalinidade do concreto – coloração rósea após a aspersão da fenolftaleína, os valores das medições de potencial de corrosão também se encontram em sua maioria na condição de concreto seco carbonatado (da base até a extremidade superior), segundo os critérios da recomendação RILEM TC 154-EMC.

Para o elemento P2 foi observada uma tendência levemente diferente, onde uma maior fatia de potenciais aparece nas zonas de incerteza e de alta probabilidade em relação ao caso anterior do pilar P1, mesmo assim, os resultados ainda se encontram majoritariamente na zona de baixa probabilidade. Percebe-se também o aumento da probabilidade conforme a diminuição da altura da posição onde foram feitas as medições. Quanto aos critérios de Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), foi verificada uma maior fatia de potenciais nas zonas de risco moderado-alto (representado pela faixa rosa) e alto (representado pela faixa vermelha) em relação ao caso anterior do pilar P1, mesmo assim, os resultados ainda se encontram majoritariamente na zona de moderado a baixo risco (representadas pelas faixas amarela e verde) de ocorrência de corrosão. Na avaliação prescrita pela recomendação RILEM TC 154-EMC percebe-se um quadro semelhante, onde a maior parte dos valores se encontra na condição de concreto seco carbonatado (entre a extremidade superior e a metade do pilar), apresentando também representação em menor escala de concreto úmido carbonatado (metade inferior do pilar) e na base do pilar detectou-se contaminação por cloretos.

Alguns de alguns fatores podem ser considerados para explicar a frequência de maior eletronegatividade na base do que na região central dos pilares. Na base dos pilares há uma ocorrência maior de falhas no lançamento do concreto, principalmente quando este procedimento é executado a partir de certa altura e sem zelo adequado, conduzindo à segregação do concreto, menor concentração de pasta e maior concentração de agregados nesta região, fazendo surgir duas regiões com concreto em diferentes teores de cimento (uma mais rica, situada na porção central, e outra mais pobre, situada na base do pilar, onde os valores do potencial de corrosão tendem a ser mais negativos). A densidade de armaduras na região basilar é mais elevada, visto que é neste ponto que se faz o traspasse das armaduras, dificultando o adensamento do concreto e, conseqüentemente, influenciando os valores dos potenciais de corrosão.

Também nessa área a água o acúmulo de água se dá por maior tempo e intensidade fazendo com que essa porção seja mais suscetível à ação da umidade que as

regiões mais próximas da laje de cobertura, geralmente mais seca, justificando assim a maior eletronegatividade dos valores de potencial de corrosão na base dos pilares.

Outro ponto a ser destacado é que o elemento P2 apresentou valores mais eletronegativos que o P1, uma explicação para esse cenário pode ser indicada pela posição de P2 em relação à estrutura principal da torre, já que P2 está diretamente inserida na estrutura, enquanto que P1 se encontra mais afastada (3,8m) estando conectada à torre por meio de uma viga.

#### 4 CONCLUSÕES

Os dados apresentados neste trabalho são resultados das inspeções realizadas em dois pilares da Torre de Salvamento do CBMPE, uma estrutura em concreto armado, com idade de cerca de 40 anos, que foi utilizada por muito tempo como suporte para uma caixa d'água, se encontrando desativada, privada de maiores serviços de manutenção, estando exposta às intempéries durante muitos anos e apresentando sinais de patologias como pontos de infiltração e oxidação das ferragens, ferragens expostas e fissuras. É importante ressaltar que os elementos estruturais em concreto armado da estrutura avaliada, no tocante ao cobrimento da ferragem, estão em conformidade com o preconizado na Norma Técnica NB1/1978, vigente na época de sua concepção (cobrimento mínimo exigido de 2,0 cm para vigas, pilares e arcos ao ar livre).

Considerando os critérios adotados, no elemento P1 a classificação majoritária é a de concreto carbonatado com umidade relativa elevada e ausência de cloretos. Já em relação ao elemento P2, a maior parte dos valores se encontra na condição de concreto seco carbonatado, enquanto que na base do pilar foi detectada contaminação por cloretos.

Os resultados também mostram a tendência dos potenciais de corrosão na base dos pilares apresentarem maior eletronegatividade do que na região central dos mesmos, o que pode ser explicado pela influência de fatores como a execução do lançamento do concreto, a grande densidade de armadura na região ou a maior ação da umidade na extremidade inferior do pilar.

Os critérios propostos por Rincon *et al* (1998) *apud* Bastos (2005), adotados neste trabalho, se mostraram mais precisos que os critérios constantes da norma ASTM C-876, corroborando sempre com a avaliação feita segundo os critérios determinados pela recomendação europeia RILEM TC 154-EMC.

O método do potencial de corrosão de meia célula é uma técnica não destrutiva que facilita a investigação das estruturas de concreto armado, com o mínimo de intervenção. Com o emprego desse método é possível identificar a zona catódica onde preferencialmente poderá apresentar a corrosão, ou estar com armaduras despassivadas. Uma vez delimitada essa região é possível direcionar ensaios mais profundos e proceder à recuperação de forma mais pontual diminuindo custo e tempo na recuperação.

Como vantagens deste método de avaliação têm-se: custo baixo, rapidez e facilidade na execução das medidas, realização de um rápido mapeamento de potenciais, fornecimento de uma indicação da intensidade da corrosão por meio da análise do gradiente de potencial apresentado, dentre outras.

Como desvantagens citam-se: limitações para a aplicação em casos de corrosão por carbonatação, impossibilidade de detectar a corrosão de reforço de aço pré-tensionado quando este se encontra dentro de um tubo de proteção, distorções causadas pela espessura ou pela alta resistividade do cobrimento, além da influência de fatores como umidade e teor de oxigênio no concreto, dentre outros.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NB-1:1978, Projeto e execução de obras de concreto armado**. Rio de Janeiro, 1978.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014, Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C-876/91, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 1991.
- BOLINA, C. C. et al. **Estudo de corrosão das armaduras frente ao ataque por cloretos e carbonatação em estruturas de concreto armado no laboratório de materiais de construção da Universidade Federal de Goiás**. INTERCORR 2008. Rio de Janeiro: ABRACO, 2008.
- BAKKER, R. F. M. Initiation period. In: Schiessl, P., ed. **Corrosion of steel in concrete**. London: Chapman and Hall, 1988.
- BASTOS, E. J. O. **Propedêutica para o estudo da corrosão de armaduras em estruturas de concreto**, Tese de Doutorado, São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005.
- CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto: inspeções técnicas e eletroquímicas**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1999.
- MEDEIROS, M. H. F.; BALBINOT, G. B.; HELENE, P. **Inspeção em prédios no Rio de Janeiro: corrosão em pilares**. *Concreto & Construções*, v. 57, p. 58-66, 2010.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: IBRACON, 2008.
- NEVILLE, A. M.; BROOKS, J. J. **Tecnologia do concreto**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PROCEQ SA. **Instruções Operacionais – Analisador de Corrosão Canin+**. Schwerzenbach, 2012.
- RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUZA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENCO, M. Z.; HELENE, P. **Corrosão em estruturas de concreto armado: Teoria, controle e métodos de análise**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014.
- RILEM TC 154-EMC. **Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures**. *Materials and Structures*, Vol. 36, 2003.
- VIEIRA, D. V. et al. **Estudo de inibidores de corrosão em concreto armado**. *Materia (Rio J.)* [online]. 2010, vol. 15, nº. 3. Disponível em: <<http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11145>> Acesso em: 18/01/2015.
- VITÓRIO, J. A. P. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Recife: IPEAPE, 2003. Disponível em: <[http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos\\_Patologia\\_Estruturas\\_Pericias\\_ingenharia.pdf](http://vitorioemelo.com.br/publicacoes/Fundamentos_Patologia_Estruturas_Pericias_ingenharia.pdf)> Acesso em: 26/12/2014.