De 17/07/2024 a 20/07/2024
Fortaleza, Ceará.
DOI: 10.5281/zenodo.13171423

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS EM PONTE ESTÁCIO COIMBRA, LOCALIZADA NO BAIRRO DA MADALENA, RECIFE – PE

João Ribeiro de Carvalho[1]*, Yann Lucas de Aguiar Arruda[2]; Alexandre de Azevêdo Demétrio Filho[3]; Rodrigo Antônio Pereira de Moraes[4]e Tibério Wanderley Correia de Oliveira Andrade[5]
*Autor de contato: joao@tecomat.com.br

[1] Centro Universitário UniFBV, Recife, Brasil.
[2] Instituto Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.
[3,4,5] Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil.

RESUMO

Pontes e viadutos de concreto envelhecem por processos de deterioração, comprometendo o projeto original e são agravados pela falta de conhecimento nos processos de degradação e uso inadequado de técnicas de inspeção. O objetivo desse trabalho é analisar o estado de conservação da superestrutura (tabuleiro) bem como diagnosticar as manifestações patológicas, da Ponte Estácio Coimbra, construída em 1950 e localizada no Bairro da Madalena, Recife – Pe, por meio de métodos de ensaios destrutivos e não destrutivos. Para isso, executou-se a seguinte metodologia de ensaios: ensaio de carbonatação pelo método colorimétrico de aspersão de fenolftaleína, ensaio de estimativa de teor de cloreto pelo método de potenciometria e ensaio eletroquímico de potencial de corrosão. As inspeções apontam que a estrutura de concreto armado encontra-se conservada. Foi feito o ensaio de carbonatação em 16 pontos e apenas o ponto C8 atingiu a armadura. O teor de cloreto foi bastante abaixo do limite máximo que é de 0,4% para o teor total de cloretos em relação à massa de cimento. O ensaio de potencial de corrosão resultou em 490 leituras, com probabilidade de corrosão abaixo de 10%.
Palavras-chave: pontes de concreto; inspeção; ensaios destrutíveis; ensaios não-destrutíveis.

ABSTRACT

Concrete bridges and viaducts age due to deterioration processes, compromising the original design and are aggravated by a lack of knowledge on degradation processes and inadequate use of inspection techniques. The objective of this work is to analyze the state of conservation of the superstructure (board) as well as diagnose the pathological manifestations of the Estácio Coimbra Bridge, built in 1950 and located in Bairro da Madalena, Recife – Pe, through destructive and non-destructive testing methods. destructive. To this end, the following test methodology was carried out: carbonation test using the colorimetric phenolphthalein spray method, chloride content estimation test using the potentiometry method and electrochemical corrosion potential test. Inspections indicate that the reinforced concrete structure is preserved. The carbonation test was carried out at 16 points and only point C8 reached the reinforcement. The chloride content was well below the maximum limit, which is 0.4% for the total chloride content in relation to the cement mass. The corrosion potential test resulted in 490 readings, with a probability of corrosion below 10%.
Keywords: concrete bridges; inspection; destructible tests; non-destructible tests.

1. INTRODUÇÃO

Carnaúba (2017) define as pontes e viadutos como elementos de grande importância para o transporte de cargas, estando conectados ao relacionamento humano e desenvolvimento de uma cidade. De acordo com Mitre (2005) pontes de concreto são estruturas de grande importância para o homem, pois ajudam a transpassar obstáculos naturais ou artificiais, mantendo o fluxo com menor trajeto. No entanto, estas estruturas estão sujeitas a intensos processos de deterioração devido à exposição direta aos agentes agressivos do ambiente e as solicitações estruturais de distintas naturezas e magnitudes. Por tais razões, as obras de arte especiais (OAE) como são conhecidas no meio técnico, perdem gradual ou abruptamente sua capacidade de atender aos requisitos de utilização, segurança, adequação funcional, resistência e estabilidade estrutural, interferindo na sua durabilidade.

A cidade do Recife, conhecida como a Veneza brasileira, possui cinco rios, 100 km de canais, com a presença de diversas ilhas interligadas por pontes e pontilhões e banhada pelas águas do mar. Os decorrentes problemas de manutenção e conservação de pontes são inevitáveis. Essas construções sofrem uma forte e perniciosa influência da variação das marés e estão submetidas à agressividade do meio ambiente, através da presença de cloretos, sulfetos, bactérias e substâncias ácidas. Sendo assim, esses fatores atuam sobre as estruturas de concreto de forma bastante danosa. Além disso, a situação é agravada com a poluição, por consequência do baixíssimo índice de saneamento básico que a cidade apresenta.

Rego Filho (2018) explica que a agressividade provocada pelo meio aquoso e o elevado teor de cloretos, penetram no concreto promovendo a corrosão das armaduras e consequentemente o destacamento do concreto o que coloca em risco a estabilidade da estrutura. Estes fatores provocam a redução da seção resistente das barras e de sua ductibilidade, enquanto a expansão devido à formação dos produtos da corrosão produz a fissuração e o destacamento do concreto de cobrimento que reduz a seção resistente da peça e a aderência entre o aço e o concreto. Em consequência desses fatores pode ocorrer uma redução sensível da capacidade portante da obra causando rupturas frágeis, que é caracterizada pela predominância da formação de trincas em relação à deformação plástica, o que leva à rápida ruptura do material sem ou com pouca demonstração de deformação plástica no processo, isso ocorre especialmente em obras de concreto protendido.

Sendo assim, verifica-se que são necessários cuidados que vai além de um bom projeto, execução e a sua correta utilização; requerendo assim as devidas inspeções e manutenção. Ademais, ainda é possível constatar a negligência no âmbito político nas esferas federal, estadual e municipal, ligadas à manutenção destas obras, a qual pode ser evidenciada através da preocupação apenas com a execução do projeto em detrimento da manutenção, desta forma, a maioria das pontes apresenta estado patológico comprometedor, oferecendo riscos à segurança da sociedade e causando prejuízos econômicos (CARNAÚBA, 2017).

De acordo com Mitre (2005) para manter as condições de uma OAE são necessárias inspeções periódicas visando identificar os processos de deterioração existentes e potenciais, preveni-los e corrigi-los em tempo hábil e de forma econômica. As inspeções não só ajudam a prevenir o insucesso, mas também fornecem informações necessárias para uma administração eficaz da rede de pontes. Durante as inspeções, as necessidades de reparos urgentes, manutenção e as substituições de partes dos elementos de pontes podem ser detectadas e notificadas, fornecendo informações valiosas na avaliação da integridade da estrutura.
Diante disso, este trabalho se contextualiza através da apresentação da metodologia e resultados de ensaios realizados na Ponte Estácio Coimbra, localizada no Bairro da Madalena, Recife-PE, tendo

como objetivo avaliar o estado de conservação da sua superestrutura (tabuleiro) bem como diagnosticar as manifestações patológicas utilizando métodos de ensaios destrutivos e não destrutivos, com vistas a auxiliar as recomendações indicativas das providências a serem adotadas para futuras intervenções.

2. METODOLOGIA

2.1. Descrição do Objeto de Estudo e Locais dos Ensaios

A ponte Estácio Coimbra é composta por três vãos ao todo, sendo um central (entre duas vigas travessa) e dois extremos (apoiados no aterro), conforme a figura 1:

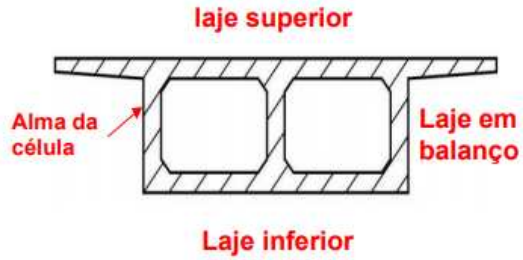
Figura 1 - Vista longitudinal da Ponte Estácio Coimbra, localizada no Bairro da Madalena, Recife-PE, mostrando seus três vãos.



Fonte: Os autores (2019)

Com relação à secção transversal da ponte, a figura 2 mostra a sua configuração. Apresenta o tipo caixão composta por duas células, com uma alma interna e duas externas. No topo, a laje superior. No fundo, laje inferior. Nas laterais estão as lajes em balanço, onde estão os passeios de pedestre.

Figura 2 - Configuração da secção transversal do tabuleiro da Ponte Estácio Coimbra.

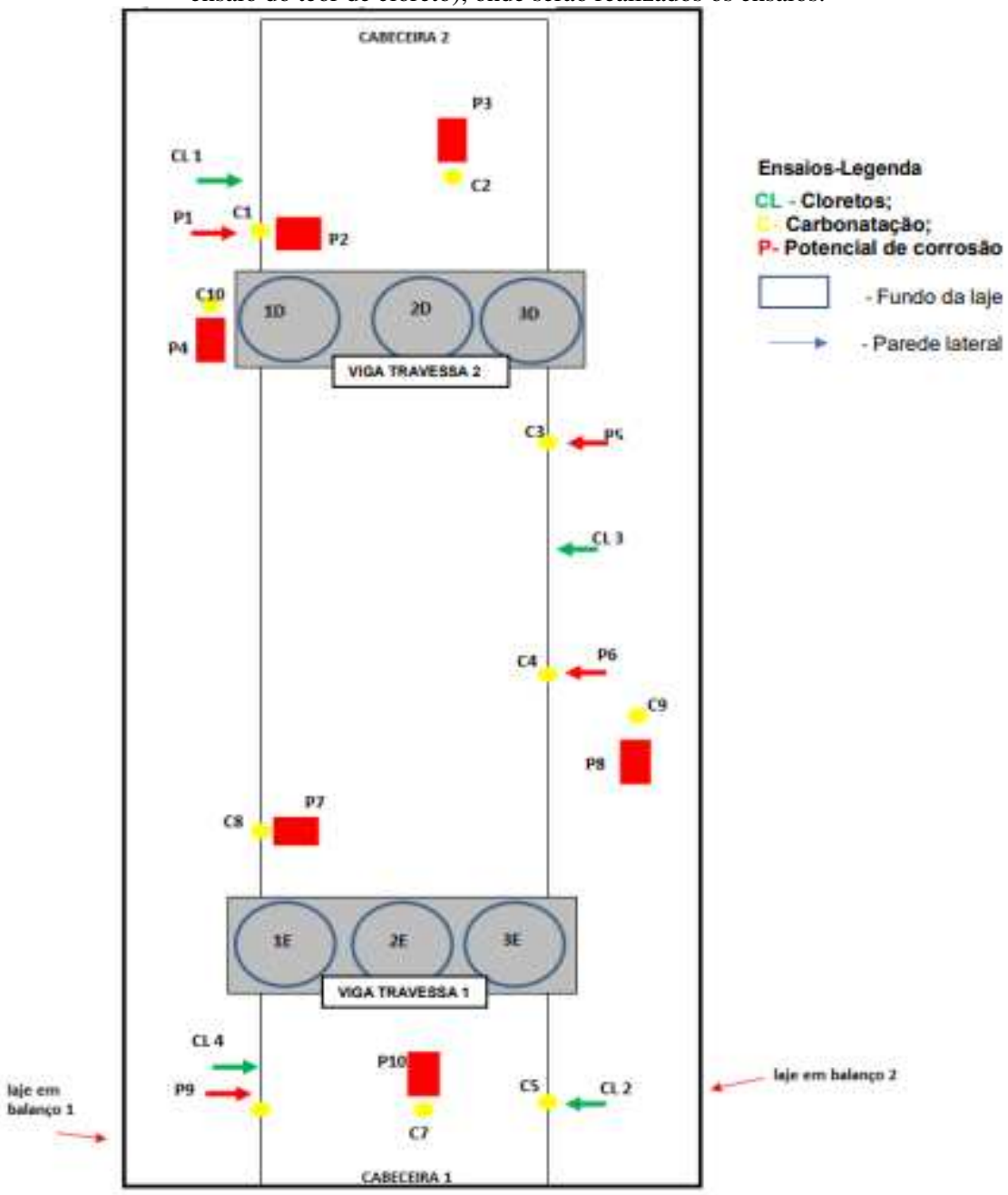


Fonte: Os autores

A figura 3 mostra o mapeamento dos locais da realização dos ensaios:

Figura 3 - Demarcação dos pontos no tabuleiro da Ponte Estácio Coimbra, utilizando símbolos (Quadrado e seta vermelha: Ensaio de potencial de corrosão; bola amarela: Ensaio de Carbonatação; seta verde:

ensaio do teor de cloreto), onde serão realizados os ensaios.



Fonte: Os autores

A seguir serão abordados os ensaios, com a finalidade de auxiliar na verificação do estado de conservação dessa estrutura.

2.2. Ensaio de carbonatação pelo método colorimétrico de aspersão de fenolftaleína

Foi realizada aspersão de solução alcoólica de fenolftaleína (1% de concentração em álcool etílico) na superfície de concreto recém fraturada, indicando por meio de mudança de coloração do local de aplicação, onde houve variação do pH natural do concreto, vale salientar que se a superfície do concreto recém fraturada apresentar cor vermelho/rosa carmim, significa que o concreto não está carbonatado. O ensaio foi realizado com base nas recomendações da RILEM CPC 18 (1988), estando à metodologia de execução conforme a ordem de Figura 4 a 7 a seguir.

Figura 4 – Detecção da armadura com pacômetro.



Figura 5 – Remoção do concreto de cobrimento até encontrar a armadura.

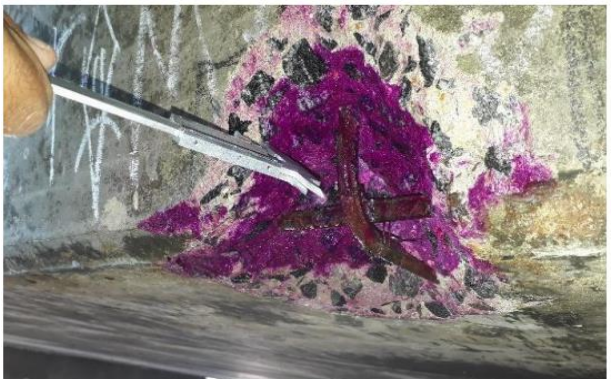


Fonte: Os autores

Figura 6 - Aspersão da solução de fenolftaleína na região de concreto recém fraturada.



Figura 7 - Medição da profundidade de carbonatação (Trechos incolores) com paquímetro.



Fonte: Os autores

Na tabela 1 estão discriminados os elementos ensaiados e os seus respectivos locais.

Tabela 1- Identificação dos elementos ensaiados pelo ensaio de carbonatação.

Referência	Local (vide mapa na figura 3)
C1	Encontro Laje inferior com alma externa (próximo à travessa 2)
C2	Fundo de laje inferior, próximo à cabeceira 2 (lado Derby)
C3	Encontro laje inferior com alma externa (vão central)
C4	Encontro laje inferior com alma externa (vão central)
C5	Encontro laje inferior com alma externa -Cabeceira 1 (lado praça internacional)
C6	Encontro laje inferior com alma externa -Cabeceira 1 (lado praça internacional)
C7	Fundo de laje inferior, próximo à cabeceira 1 (lado praça internacional)
C8	Encontro laje inferior com alma externa (vão central)
C9	Fundo de laje em balanço 2, vão central.
C10	Fundo de laje em balanço 1, ao lado da travessa 2

Fonte: Os autores

2.3. Teor de Cloreto

Para realizar o ensaio que mede percentual de cloretos presente no concreto, primeiramente é preciso coletar o material da estrutura. Para isso, utilizou-se perfuratriz cilíndrica com cabeça diamantada para extração de testemunhos conforme a figura 8, atingindo assim, uma profundidade máxima de 8 cm em cada ponto de ensaio. Vale informar que foi utilizado pacômetro para identificação das armaduras e evitar seccionamentos.

Figura 8 - Detalhe do furo realizado pela perfuratriz para coleta do material.



Fonte: Os autores

O objetivo é verificar a concentração de cloretos, sobretudo na região onde se encontra a armadura, ou próxima a ela. As amostras são cortadas partindo da superfície externa adentrando no concreto de cobrimento até a proximidade da armadura. Par isso, decidiu-se coletar amostras em 4 profundidades distintas:

• Profundidade entre 0 mm e 10 mm;
• Profundidade entre 10 mm e 20 mm;
• Profundidade entre 20 mm e 30 mm;
• Profundidade entre 30 mm e 40 mm.

Os materiais foram coletados em 29/05/19 e enviados para laboratório especializado em análises químicas, o qual, por meio de titulação potenciométrica, determinou o percentual de íons cloreto em relação à massa de concreto, conforme o método indicado na ASTM C 1152.

Os locais de coleta das amostras estão contidos na figura desse trabalho. A escolha se deu tentando buscar diferentes posições de exposição e de acordo com a possibilidade de acesso e capacidade da máquina extratora. Com isso, extraíram-se duas amostras de cada lateral da ponte, tanto próximo às cabeceiras como no vão central. Todas foram coletadas lateralmente na alma externa, próximo à laje de fundo.

2.4. Potencial de Corrosão

O método utilizado para realização do ensaio é o da meia célula, o qual foi executado por meio do equipamento Canin da marca Proceq. A idéia básica da medição do campo do potencial é medir os potenciais na superfície do concreto para obter uma imagem da atividade de corrosão da superfície do aço dentro do concreto. Normalmente escolhem-se elementos que visualmente não apresentam problemas de corrosão.

O eletrodo de referência do sistema Canin+ é uma meia célula de Cu/CuSO4. Consiste em uma haste de cobre imersa em uma solução saturada de sulfato de cobre, que mantém um potencial constante e conhecido. O procedimento de ensaio pode ser visto nas Figuras 9e 10.

Figura 9 - Detalhe do umedecimento da superfície da estrutura.



Figura 10 - Medição do potencial ponto a ponto, por meio do contato do eletrodo sobre a superfície do concreto.



Fonte: Os autores

Os locais de ensaio foram feitos conforme indicado pela letra “P” como mostrado na Figura 3 desse trabalho. Ao todo foram 10 locais ensaiados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de uma inspeção visual realizada na ponte, observa-se nas fotos que a estrutura de concreto armado do tabuleiro da ponte Estácio Coimbra se encontra em bom estado de conservação, visualmente. Vale apontar alguns trechos isolados com insuficiência de cobrimento no encontro da laje inferior com as almas externas (Figuras 11 e 12) e deficiência do sistema de drenagem dos passeios (Figuras 13,14,15 e 16), ocasionando regiões de acúmulo de umidade. Não foi possível inspecionar a região interna das células que compõem a secção transversal da ponte (caixão perdido), pois a única janela de visita já estava fechada.

Figura 11 - Deficiência de cobrimento na laje inferior do vão central, próximo à travessa 1 externa da célula devido à falha no buzinote.



Figura 12 - Deficiência de cobrimento na laje inferior do vão central.



Fonte: Os autores

Figura 13 - Presença de umidade ao redor do buzinote e na borda do balanço 1.



Figura 14 - Presença de umidade no fundo da laje em balanço e na parede.



Fonte: Os autores

Figura 15- Presença de vegetação no sistema de drenagem.



Figura 16 - Presença de umidade advinda de deficiência no buzinoteCabeceira 1.



Fonte: Os autores

3.1. Avanço Frente à Carbonatação

Tabela 2 - Profundidade de carbonatação dos pontos ensaiados.

N°	Cobrimento da armadura (mm)		Profundidade de carbonatação (mm)		Figura	Observação
C1	Lat.= 118	Fundo= 17	Lateral= 26	Fundo= 12	11 12	Avanço Pontual
C2	-	Fundo= 25	-	Fundo= 8	13	
C3	Lateral= 41	Fundo= 33	Lateral= 17	Fundo= 14	14	Avanço pontual
C4	Lateral= 29	Fundo= 14	Lateral= 13	Fundo= 0	15	-
C5	Lateral= 51	Fundo= 18	Lateral= 12	Fundo= 0	16	-
C6	Lateral= 46	Fundo= 19	Lateral= 19	Fundo= 15	-	-
C7	-	Fundo= 21	-	Fundo= 17	-	-
C8	Lateral= 67	Fundo= 14	Lateral= 18	Fundo= 20	-	-
C9	-	Fundo= 13	-	Fundo= 0	-	-
C10	-	Fundo= 25	-	Fundo= 8	-	-

Fonte: Os autores

Do total dos 10 pontos de ensaio, tomou-se 16 medidas de cobrimento e profundidade de carbonatação, uma vez que alguns dos pontos de ensaio foram feitos no encontro da parede externa da célula e a laje inferior. Pois bem, desses 16 pontos de medição, apenas no fundo do C8 a profundidade de carbonatação atingiu a armadura (6,25% da amostra).Nos demais casos a profundidade de carbonatação não atingiu a armadura. Estando esses elementos, com as armaduras passivadas no tocante à carbonatação.

Tabela 3 – Dados estatísticos extraídos da tabela 1 de resultados.

Dados extraídos da tabela 2	Cobrimento da armadura (mm)		Profundidade de carbonatação (mm)	
Dados	Lateral – (parede externa da célula)	Fundo	Lateral – (parede externa da célula)	Fundo
Mínimo	29	13	12	0
Média	58,7	19,9	17,5	9,4
Máximo	118	33	26	20
Desvio Padrão	31,3	6,3	5,0	7,4

Fonte: Os autores

De acordo com os resultados mostrados na tabela 3, alguns dados podem ser extraídos com relação ao cobrimento das armaduras e profundidade de carbonatação. Estas informações estão agrupadas na tabela 3. Nela, é possível verificar menores cobrimentos das armaduras nos fundos das lajes.

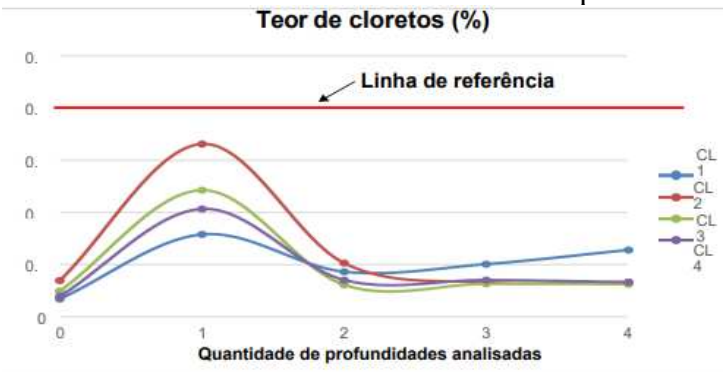
Em adição a isso, alerta-se que nos pontos de ensaio C1, C6 e C7, na região de fundo de laje, a profundidade de carbonatação está bem próxima de atingir as armaduras, com cerca de 4 a 5 mm de distância.

3.2. Teor de Cloreto

Para Neville (2016) a concentração mínima de íons cloreto na superfície do aço para que a corrosão se inicie é difícil de ser estabelecida, tendo em vista que há fatores que o influenciam que não são completamente compreendidos e que a distribuição dos cloretos na pasta de cimento endurecida não é uniforme. Mesmo assim, o limite de 0,4% para o teor total de cloretos em relação à massa de cimento é o critério mais difundido e utilizado pelos profissionais e pesquisadores da área.

Na tabela 4 estão agrupados os resultados de cada ponto nas diferentes profundidades, resumidos na Figura 17.

Figura 17 - Resumo dos teores de cloreto em cada ponto do ensaio.



Fonte: Os autores

Tabela 4 - Teores de íons cloreto totais.

Amostras	Localização	Percentual de cloretos em	Percentual de cloretos em relação

		relação à massa de concreto (%)	à massa de cimento (%)
1	CL1- Profundidade 1 de 0 – 10mm	0,024	0,15768
	CL1- Profundidade 2 de 10 – 20mm	0,0132	0,086724
	CL1- Profundidade 3 de 20 – 30mm	0,0154	0,101178
	CL1- Profundidade 4 de 30 – 40mm	0,0195	0,128115
2	CL2- Profundidade 1 de 0 – 10mm	0,0502	0,329814
	CL2- Profundidade 2 de 10 – 20mm	0,0157	0,103149
	CLL2- Profundidade 3 de 20 – 30mm	0,0101	0,066357
	C2- Profundidade 4 de 30 – 40mm	0,0102	0,067014
3	CL3- Profundidade 1 de 0 – 10mm	0,0368	0,241776
	CL3- Profundidade 2 de 10 – 20mm	0,0094	0,061758
	CL3- Profundidade 3 de 20 – 30mm	0,0097	0,063729
	CL3- Profundidade 4 de 30 – 40mm	0,0096	0,063072
4	CL4- Profundidade 1 de 0 –10mm	0,0314	0,206298
	CL4- Profundidade 2 de 10 – 20mm	0,0108	0,070956
	CL4- Profundidade 3 de 20 – 30mm	0,0108	0,070956
	CL4- Profundidade 4 de 30 – 40mm	0,0102	0,067014

Fonte: Os autores

Conforme mostrado na Figura 17, os teores de íons cloreto totais na região entre 20 e 40 mm de profundidade, dos referidos pontos ensaiados, estão bastante abaixo do limite máximo admissível de 0,4 %. Ou seja, as armaduras nesses locais encontram-se passivadas no tocante ao ingresso de cloretos. Levando em consideração que a profundidade média de cobrimento das paredes laterais foi de 58,7mm e o que foi dito no parágrafo anterior, é bem razoável presumir que, de forma global, ou pelo menos na sua grande maioria, essa estrutura do tabuleiro encontra-se passivada no tocante aos cloretos. Essa afirmação é corroborada pelo ótimo aspecto visual dessa estrutura.

Ainda na Figura 17, vale comentar sobre os teores mais elevados encontrados nos pontos CL2 e CL3 até 10 mm. Esse comportamento diferente desses outros dois pontos de ensaio, provavelmente, deve estar atrelado ao posicionamento em relação à ação de chuva e vento, pois eles se encontram do lado leste da ponte. Apesar desses teores mais elevados de íons cloreto, entende-se que não há implicação de riscos à durabilidade dessas armaduras no atual momento, uma vez que esse comportamento se dá apenas em um dos lados da ponte, com uma profundidade baixa (até 10 mm) e após um período de mais de 40 anos. Além disso, mesmo esses teores mais altos, ainda estão abaixo do critério limite de “segurança”.

3.4. Potencial de Corrosão

No tocante aos critérios de avaliação que visam relacionar os valores de potencial com o risco de corrosão de armadura foram utilizados os critérios na norma ASTM C 876-15.

Ao todo dos 10 elementos ensaiados, foram realizadas 490 leituras de potencial. Todas estão na considerada zona segura, onde a probabilidade de corrosão é abaixo de 10%. Esse comportamento do ensaio de potencial de corrosão é bastante positivo no tocante àquelas estruturas visualmente ainda sãs.

Vale a pena comentar que foi verificado uma leve tendência para potenciais mais negativos próximos no fundo da laje do balanço no ponto P4 e, sobretudo, P8. Isso demonstra a influência da

presença de umidade no desenvolvimento da corrosão de armadura. Outro ponto a ser comentado, é a influência dos baixos cobrimentos na medição do potencial de corrosão, como visto no P7.

Importante alertar que fatores como cobrimento de armadura, umidade, teor de oxigênio, carbonatação e contaminação por cloretos também afetam as medidas de potencial das armaduras. Níveis maiores de umidade, por exemplo, aumentam a mobilidade dos íons que participam do processo eletroquímico, o que torna os valores de potencial de corrosão mais negativos. Já elevadas espessuras de cobrimento de armadura tornam o potencial menos negativo.

4. CONCLUSÕES

No que se refere ao estado de conservação da superestrutura (tabuleiro) da ponte Estácio Coimbra, a inspeção visual aponta que a estrutura de concreto armado se encontra em bom estado de conservação, externamente. Infelizmente não se teve acesso ao interior das células para verificar seu estado de conservação. Vale a pena alertar para a existência de alguns trechos isolados com insuficiência de cobrimento no encontro da laje inferior com as almas externas e deficiência do sistema de drenagem dos passeios ocasionando acúmulo de umidade. Das 16 medidas de profundidade de carbonatação, apenas no fundo do C8 a profundidade de carbonatação atingiu a armadura (6,25% da amostra). Nos demais casos a profundidade de carbonatação não atingiu a armadura, estando esses elementos com as armaduras passivadas no tocante à carbonatação. Foi possível verificar também menores cobrimentos das armaduras nos fundos das lajes, em comparação ao cobrimento das paredes das almas externas do caixão perdido. Os teores de íons cloreto totais na região entre 20 e 40 mm de profundidade, dos referidos pontos ensaiados, estão bastante abaixo do limite máximo admissível de 0,4 %. Ou seja, as armaduras nesses locais encontram-se passivadas no tocante ao ingresso de cloretos. O ensaio eletroquímico de potencial de corrosão está compatível com o que foi encontrado visualmente, corroborando o bom estado de conservação da estrutura de concreto armado/protendido. Os resultados apontaram para uma baixa probabilidade de corrosão de armaduras nos locais ensaiados, sendo possível verificar o comportamento nocivo da umidade no tocante à corrosão de armaduras.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS..**ASMT- C876-15** - Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete (2015)

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS.. **ASTM- C1152**- Standard Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. (2012)

CARNAÚBA, Karla Soares. **Manifestações patológicas em pontes sobre a rodovia AL-220, no trecho entre Delmiro Gouveia e Olho D'água do Casado - AL**. 2017. 86 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas – UFAL Campus do Sertão, Delmiro Gouveia/ Al, 2017.

MITRE, Marcos Pedrosa; HELENE, Paulo R. L. **Metodologia para inspeção e diagnóstico de pontes e viadutos de concreto**. 2005.Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

NEVILLE, A. M.. **Propriedades do Concreto**. 5 ª edição, Bookman, Porto Alegre, 2016.

REGO FILHO, A. C. P. **Relatório da Ponte do Derby final** - EMLURB, Recife, 2018.

RILEM **TC056-CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation depth. Materials and Structures**, Vol 21, N°126. 1988.