


SUBMETIDO 10/12/2021
APROVADO 14/01/2022
PUBLICADO ON-LINE 19/03/2022
PUBLICADO 10/10/2023
EDITOR ASSOCIADO
Andre Luis Christoforo

DOI: <http://dx.doi.org/10.18265/1517-0306a2021id6555>

ARTIGO ORIGINAL

Diretrizes para manutenção de postes de concreto armado: proposta baseada em estudo de caso em rede de distribuição

 Mariana de Almeida Motta Rezende ^[1]

 Almir Sales ^{[2]*}

[1] marianamottarezende@gmail.com

[2] almir@ufscar.br

Departamento de Engenharia Civil / Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Brasil

RESUMO: Este trabalho propõe diretrizes para a manutenção de postes de concreto armado para as redes elétricas e de iluminação. A preocupação se deu pelo fato de que a responsabilidade de manutenção desses equipamentos urbanos é das prefeituras, entretanto, na prática, não se observa preocupação por parte desse órgão. A proposta de diretrizes de manutenção foi baseada em um estudo de caso realizado na cidade de Ribeirão Preto-SP por meio de ensaios de profundidade de carbonatação nos postes, uma técnica simples, que pode ser executada por profissionais sem elevada qualificação. Com base nas diretrizes, a tomada de decisão é de fácil interpretação. Dessa forma, evita-se arcar com as consequências do colapso de postes de concreto armado, tais como interrupção do fornecimento de energia ou acidentes fatais quando estes caem sobre seres humanos.

Palavras-chave: carbonatação; concreto; manutenção; postes.

Guidelines for maintenance of reinforced concrete posts: proposal based on a case study in a distribution network

ABSTRACT: This work proposes guidelines for the maintenance of reinforced concrete poles for electrical and lighting networks. The concern was due to the fact that the responsibility for maintaining these urban facilities belongs to the city halls, however, in practice, there is no concern on the part of this organization. The proposal of maintenance guidelines was based on a case study carried out in the city of Ribeirão Preto-SP, Brazil, through carbonation depth tests on the poles, a simple technique that can be performed by professionals without high qualification. Based on the guidelines, decision making is easy to interpret. In this way, it avoids bearing the consequences of

*Autor para correspondência.

the collapse of reinforced concrete poles, such as interruption of the power supply or fatal accidents when they fall on human beings.

Keywords: carbonation; concrete; maintenance; poles.

1 Introdução

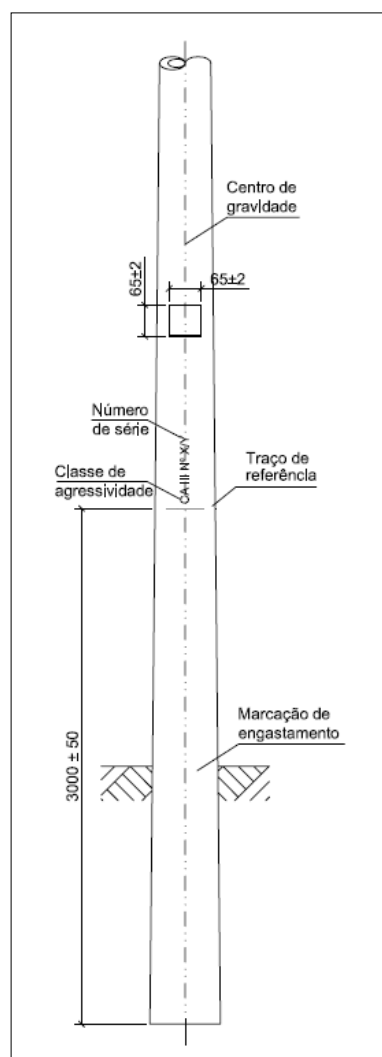
De modo geral, a manutenção de postes de concreto armado no Brasil não é realizada na maior parte das redes de distribuição de energia elétrica, embora em todo elemento de concreto armado tenha que ser realizada a devida manutenção para garantir a durabilidade do sistema. A bem da verdade, não se realiza manutenção de equipamentos urbanos produzidos em concreto armado, como guias de calçadas, bancos públicos, além dos próprios postes da rede elétrica e de iluminação. Em geral, o que se observa é a reposição/troca desses equipamentos quando são quebrados. Atualmente, a manutenção de postes de distribuição de energia e de iluminação, bem como de outros equipamentos urbanos, é responsabilidade das prefeituras na maioria das cidades brasileiras, fato que foi firmado na Resolução Normativa nº 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2010). Na Figura 1 observa-se a seção circular de um poste de concreto armado.

Figura 1 ►

Seção circular de poste de concreto armado.

Fonte: NTC 01

(CELG DISTRIBUIÇÃO, 2014)



O concreto armado é um elemento de alta durabilidade, desde que seja realizada a manutenção correta ao longo de sua vida útil. O colapso de estruturas feitas em concreto armado pode gerar graves consequências (RIBEIRO *et al.*, 2018). Além das consequências socioambientais, são grandes as consequências econômicas geradas pela manutenção corretiva de estruturas de concreto armado corroídas. Cerca de 4% de todo o PIB dos países industrializados é destinado a esse fim, uma vez que o concreto armado é o método construtivo mais utilizado no mundo (FRANÇOIS; LAURENS; DEBY, 2018). Especialmente, o colapso de postes de concreto da rede de distribuição de energia pode resultar na danificação dessa rede, causando custos de reparação, assim como problemas para a população que ficará um período sem acesso à energia. Em casos graves – por exemplo, usuários enfermos, com necessidade de utilização de aparelhos médicos para sua sobrevivência –, essa falta de energia elétrica pode prejudicar a saúde ou até levar a óbito (SHASTRY; RAI, 2021). Ademais, o colapso de postes gera necessidade de se realizar o seu reparo, que pode danificar a rede durante a manutenção, sendo necessário, em alguns casos, que seja realizada a substituição desses postes. Nesse último caso, há também uma consequência ambiental: a geração de resíduos de concreto e aço do poste retirado. Por fim, o colapso estrutural de um poste de concreto pode culminar em sua queda, gerando possíveis vítimas fatais (DOIS TRABALHADORES..., 2021), de modo que há a perda humana, além das consequências econômicas geradas para a prefeitura, que terá de pagar danos morais às famílias das possíveis vítimas.

Tendo essas consequências em vista, faz-se necessária a manutenção preventiva de postes de concreto armado, bem como de qualquer sistema ou elemento construtivo. Além da maior oneração que ocorre devido à falta de manutenção em componentes e elementos de concreto armado, o desempenho desses componentes e elementos também fica comprometido. Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), as manutenções periódicas fazem com que haja incrementos de desempenho nos materiais, componentes e elementos, aumentando sua vida útil. Se o usuário não realizar a manutenção prevista, a vida útil pode ser seriamente comprometida, ocasionando eventuais manifestações patológicas que podem ter origem no uso inadequado, e não na construção falha.

No que se refere à degradação de estruturas de concreto armado, dois tipos de degradação são as principais causas de diminuição da durabilidade: penetração de cloretos no concreto, que ocorre essencialmente em ambientes próximos ao litoral, com ação de maresia ou da água do mar; e carbonatação do concreto, que ocorre essencialmente em áreas urbanas. Essas duas causas culminam na corrosão de armaduras de concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2014). Como este trabalho apresenta um estudo de caso realizado em postes de concreto armado da cidade de Ribeirão Preto, interior de São Paulo, Brasil, a degradação das armaduras de concreto ocorre por carbonatação, pois não há presença significativa de cloretos em cidades que não são litorâneas (RIBEIRO *et al.*, 2018).

O fenômeno da carbonatação é importante na verificação da durabilidade do concreto, principalmente em cidades com alta taxa de motorização e/ou muito industrializadas, ou seja, locais com alta concentração de CO₂. Segundo Carvalho (2011), a alta taxa de urbanização no Brasil faz com que a emissão de CO₂ aumente a cada ano, sobretudo considerando que o setor de transporte responde por cerca de 20% das emissões globais de CO₂, que é um dos principais gases causadores do efeito estufa, sem considerar a emissão de outros gases também nocivos ao meio ambiente. No Brasil, o setor de transporte responde por cerca de 9% das emissões totais de CO₂. Ribeirão Preto é uma cidade com mais de 700 mil habitantes e quantidade de veículos maior que 550 mil unidades, segundo o Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2021), portanto, a carbonatação de estruturas urbanas de concreto armado na cidade deve ser uma preocupação da prefeitura da cidade no planejamento de manutenção dos equipamentos urbanos de concreto.

Após uma exposição prolongada ao ambiente atmosférico, destaca-se a ocorrência do declínio da alcalinidade (diminuição do pH) da solução de poros do concreto, induzida pela carbonatação, o que leva à dissolução de filmes passivos, facilitando finalmente a corrosão ativa das armaduras, que se pretende evitar (MING; WU; SHI, 2021). A carbonatação é uma reação físico-química que ocorre nos concretos (compostos altamente alcalinos), que diminui o pH das soluções presentes nos poros desses concretos. Dessa forma, o pH praticamente neutro, que se estabelece com esse processo de carbonatação, faz com que as barras de aço do concreto armado encontrem ambiente favorável à sua despassivação. O aço despassivado fica vulnerável à propagação da corrosão (RIBEIRO *et al.*, 2018).

A reação de carbonatação pode ser simplificada pela reação indicada na Equação 1 (HELENE, 1993):



Observa-se, na Equação 1, que o hidróxido de cálcio (portlandita), presente na composição dos concretos, em meio aquoso e na presença de hidróxido de sódio, reage com o gás carbônico que penetra do meio para o concreto. O resultado dessa reação é a formação de água e de carbonato de cálcio, um composto sólido que preenche os poros presentes no concreto. Embora esse preenchimento dos poros confira ao concreto uma maior resistência, já que o hidróxido de cálcio é solúvel e o carbonato de cálcio, sólido, sua formação ocorre com consumo de álcalis da pasta de cimento (hidróxido de cálcio), ocasionando, conseqüentemente, a diminuição do pH da solução dos poros do concreto. A queda do pH faz com que o filme passivador da armadura se rompa, propiciando o início da corrosão do aço, isto é, a formação de óxidos sobre o metal. Os produtos da corrosão são mais volumosos que o aço, fazendo com que o concreto se rompa na região da armadura corroída, causando fissuração na superfície desse concreto. Fissurado o concreto, o CO₂ penetra mais facilmente no elemento, propiciando a continuação do efeito da carbonatação (RIBEIRO *et al.*, 2018).

A carbonatação, portanto, quando ocorre de forma natural, devido à exposição da estrutura de concreto em ambientes urbanos agressivos, não é desejada, mesmo considerando o efeito benéfico do aumento da resistência do concreto após esse fenômeno. Nesse sentido, ressalta-se que há como ser utilizada a carbonatação para beneficiar o sistema estrutural de concreto, entretanto, esse beneficiamento é feito de maneira controlada e proposital (KADDAH *et al.*, 2022).

Conhecidas as conseqüências geradas pelo fenômeno da carbonatação natural nos elementos de concreto armado, observa-se a necessidade de se atentar para a manutenção que garante a durabilidade. Ademais, há forma simples de se avaliar se a frente de carbonatação do concreto atingiu a armadura, o que se pode considerar uma estratégia inteligente para ser adotada pelas prefeituras brasileiras. Devido a isso, este trabalho tem como objetivo propor diretrizes para realização dessa manutenção com base em um estudo de caso realizado na cidade de Ribeirão Preto. Esse estudo de caso foi feito com postes ensaiados quanto à profundidade de carbonatação do concreto, com o intuito de separar as situações de degradação do elemento em relação a esse parâmetro.

Neste artigo é apresentado o método de ensaio de profundidade de carbonatação colorífico, utilizado no estudo de caso. Com isso, o resultado obtido no estudo foi apresentado com as profundidades de carbonatação encontradas, bem como as discussões que levaram à proposta de diretrizes que foram apresentadas.

2 Materiais e método

Nesta seção, são apresentados os materiais e o método utilizado para medir a profundidade de carbonatação nos postes de concreto armado na cidade de Ribeirão Preto.

2.1 Materiais

Os materiais utilizados para medir a profundidade de carbonatação dos postes de concreto armado em estudo foram: solução de fenolftaleína com concentração de 1% diluída no álcool etílico 70% a 20 °C; paquímetro digital, 150 mm, Mitutoyo Absolute Digimatic, com precisão de $\pm 0,01$ mm; e furadeira de bateria flexível DEWALT com broca de perfuração de 5 mm.

Foram escolhidos estrategicamente 16 postes de concreto armado em Ribeirão Preto (conforme análise estatística), sendo 8 deles com aparência de postes antigos (com manifestações patológicas visíveis) e 8 com aparência nova (sem manifestações patológicas).

2.2 Escolha dos postes a serem ensaiados

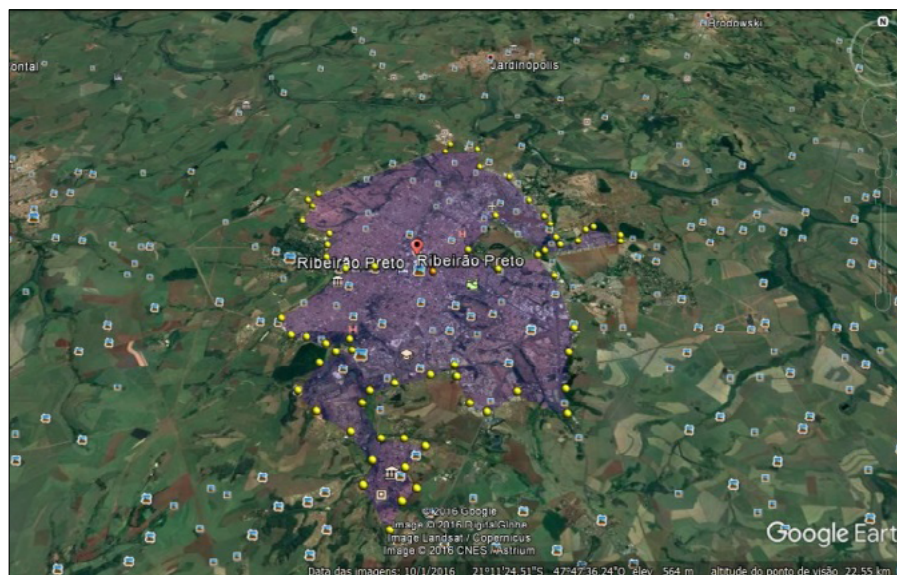
Primeiramente, é importante mencionar que a cidade de Ribeirão Preto não é igual a todas as cidades brasileiras quanto ao nível de CO₂ presente na atmosfera. Entretanto, como é uma cidade urbanizada, é representativa de ambientes urbanos nos quais a carbonatação atua fortemente nas estruturas de concreto armado.

Para iniciar a parte empírica do presente estudo, houve necessidade de estimar o número de postes de concreto armado presentes na cidade de Ribeirão Preto para então saber qual número de postes ensaiados seria necessário para o estudo. Primeiramente, observou-se em média a presença de 12 postes de concreto armado em cada quadra regular (100 m × 100 m) da cidade. Então, com o auxílio do Google Earth, foi possível verificar uma área de aproximadamente 124,5 km² na mancha urbana da cidade (Figura 2). Como há aproximadamente 12 postes de concreto para cada 10.000 m² (ou 0,01 km²), estimou-se o total de 149.400 postes na cidade.

Figura 2 ►

Área urbana da cidade de Ribeirão Preto enfatizada em roxo na imagem.

Fonte: Google Earth (2016)

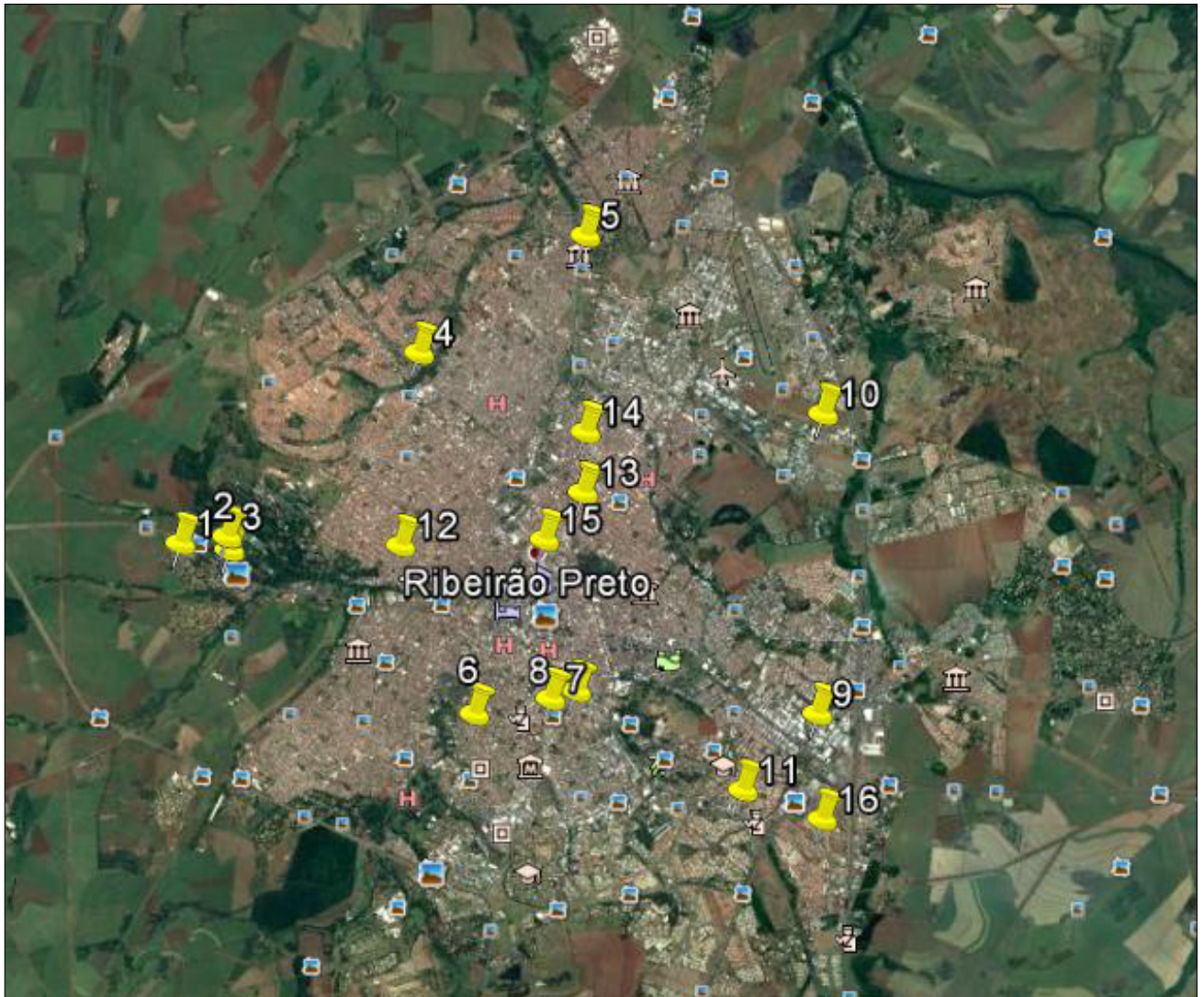


Para calcular o número de postes necessários para a pesquisa, considerou-se a menor heterogeneidade possível (1%), pois assume-se que a totalidade de postes de Ribeirão Preto sejam confeccionados em concreto armado. A margem de erro adotada foi de 5%, com nível de confiança de 95%. Considerando que o tamanho da amostra é maior que 100 mil, utiliza-se a formulação simplificada da Equação 2, que gera o resultado de postes necessários para o estudo (GUIMARÃES, 2007).

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{e^2} = \frac{1,96^2 \cdot 0,01 \cdot (1-0,01)}{0,05^2} = 15,21 \Rightarrow n = 16 \text{ postes} \quad (2)$$

Figura 3 ▼
Localização dos postes ensaiados na cidade de Ribeirão Preto, enumerados de 1 a 16.
Fonte: Google Earth (2016)

na qual n é o tamanho da amostra que se quer calcular; Z é o desvio do valor médio aceito para alcançar o nível de confiança desejado, dado pela forma de distribuição de Gauss, sendo $Z = 1,96$ para confiança de 95%; e é a margem de erro máxima que se pode admitir; p é a proporção que se espera encontrar. Portanto, 16 postes foram escolhidos em diferentes locais da cidade (centro e periferias), cujas localizações são apresentadas na Figura 3.



Escolhidos os postes para ensaio, houve necessidade de se adaptar um método de avaliação da profundidade de carbonatação nos postes, visto que a norma comumente utilizada emprega corpos de prova produzidos em laboratório.

Vale ressaltar que o georreferenciamento de postes de concreto armado nas cidades pode ser uma forma simples de registrar a localização desses elementos. Ademais, pode-se associar à localização de um poste sua situação, no que se refere à integridade estrutural do concreto armado. Um sistema que avise a equipe de manutenção de equipamentos urbanos pode ser utilizado para indicar quando é necessário realizar manutenção preventiva nos postes de concreto armado, conforme as diretrizes que serão mencionadas adiante. Além disso, caso um poste de concreto armado apresente manifestações patológicas prematuras em relação à idade do concreto, outros postes do mesmo lote podem ser ensaiados para verificar se não houve problema de fabricação desses postes.

Salienta-se que, embora neste trabalho se esteja recomendando o monitoramento *in situ* feito presencialmente por trabalhadores, o ideal seria um monitoramento feito por sensores e sistemas integrados à estrutura de concreto armado. Esse tipo de monitoramento seria um sistema de acompanhamento dos projetos de construção e serviço do elemento estrutural, a fim de evitar a sua demolição. Assim, seria possível garantir sua segurança e bom funcionamento (KRAKHMAL'NY; EVTUSHENKO; KRAKHMAL'NAYA, 2016). Entretanto, a realidade brasileira não permite essa inovação no momento, pois isso não é realizado nem mesmo em obras de arte, cuja manutenção é mais onerosa em todos os aspectos. Sendo assim, aqui foi proposto um método de monitoramento economicamente plausível para a realidade do Brasil.

2.3 Profundidade de carbonatação

A profundidade de carbonatação foi medida por meio de uma adaptação do método descrito pela RILEM (1988) em sua recomendação CPC-18. Nesse método, primeiramente um corpo de prova de concreto é rompido diametralmente e, em seguida, realiza-se a aspersão de uma solução de fenolftaleína (concentração 1%) em álcool etílico (concentração 70%). Essa solução funciona como um indicador de pH, alterando o substrato para a coloração violeta quando o concreto não foi carbonatado (mais básico) e deixando incolor o concreto já carbonatado (menos básico). Dessa forma, é possível medir a espessura da frente de carbonatação do concreto – a região incolor –, com auxílio de um equipamento medidor como uma régua ou um paquímetro.

Para o estudo de caso deste trabalho, a medida de profundidade de carbonatação teve que ser feita *in loco*; logo, não foi possível abrir diametralmente o poste de concreto armado. Para resolver o problema, foi utilizada uma furadeira para perfurar o concreto (Figura 4a). O pó de concreto proveniente do furo foi coletado e, aos poucos, a solução de fenolftaleína foi sendo aspergida no pó até que ele apresentasse coloração violeta, indicando o fim da frente de carbonatação do concreto do poste (Figura 4b). Assim, um paquímetro foi utilizado para medir a profundidade do furo, e a medida obtida correspondia à frente de carbonatação (Figura 4c).

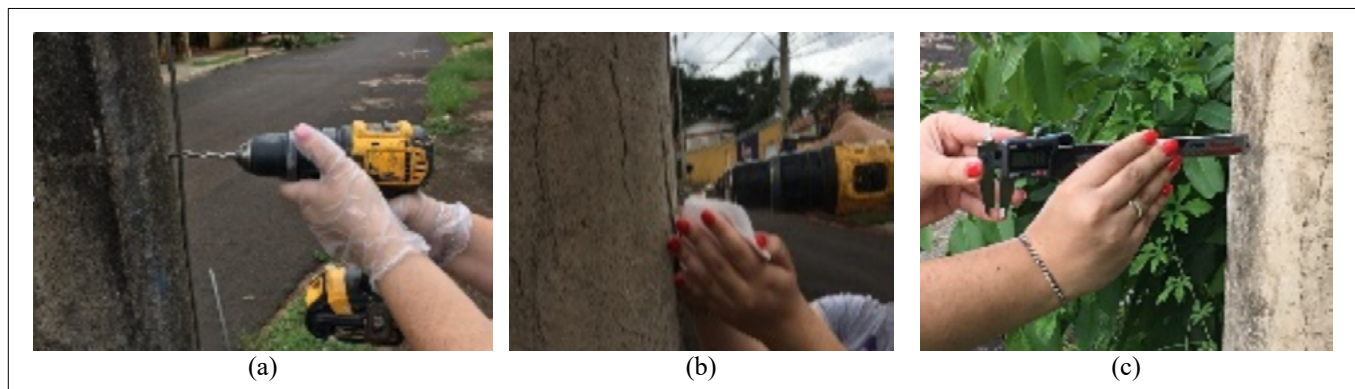


Figura 4 ▲
 Processo de obtenção da medida de espessura carbonatada do concreto:
 a) furo realizado com furadeira; b) recolhimento do pó de concreto para aspersão de solução de fenolftaleína; c) medida da profundidade de carbonatação com paquímetro.

Fonte: arquivo dos autores

Em cada poste analisado foram feitos três furos em regiões diferentes do elemento, sem que esses furos estivessem alinhados horizontalmente na seção do poste. Dessa forma, evitou-se danificar a estrutura do poste.

O método de aferição da profundidade de carbonatação é simples e rápido. A solução de fenolftaleína aspergida no pó de concreto obtido do poste fornece uma alteração de cor instantânea, possibilitando a identificação imediata do fim da frente de carbonatação. Assim, a tomada de decisão também é feita rapidamente. Além disso, o método não demanda alta qualificação do profissional que vai realizar a medição, apenas um treinamento rápido dos procedimentos.

3 Resultados e discussão

Esta seção apresenta os resultados obtidos na pesquisa, tanto em relação ao estudo de caso em Ribeirão Preto quanto em relação às diretrizes propostas de manutenção de postes de concreto armado em áreas urbanas.

3.1 Manifestações patológicas observadas nos postes

Neste item serão apresentados alguns exemplos fotografados de manifestações patológicas observadas em postes na cidade de Ribeirão Preto.

Foram encontrados três tipos de manifestações patológicas nos postes: exposição da armadura, fissuração do concreto (pequenas e grandes dimensões) e eflorescências.

As Figura 5a e 5b apresentam as fotografias de dois postes, nos quais foi observada a exposição da armadura. Nota-se que, na Figura 5b, a exposição da armadura é mais grave no pé do poste de concreto, o que leva a crer que a causa foi urina de animais, não a carbonatação do concreto. Entretanto, a abertura de fissuras no elemento de concreto favorece o ingresso livre de CO_2 na estrutura, causando também o fenômeno da carbonatação.

Figura 5 ▶

Fotografias das manifestações patológicas observadas em 6 dos 16 postes utilizados como exemplo para o estudo de caso em Ribeirão Preto.

Fonte: arquivo dos autores



As fotografias das Figura 5c e 5d são exemplos de postes de concreto ensaiados com a presença de eflorescências, ocasionadas no eixo horizontal dos postes. Isso ocorre devido ao fato de esses postes ficarem expostos ao clima da região, podendo acumular umidade, o que favorece a formação de carbonato de cálcio na superfície do poste (MEHTA; MONTEIRO, 2014).

As fotografias das Figura 5e e 5f são imagens de manifestações patológicas encontradas em postes que apresentaram fissuras de grandes dimensões, que podem ter

sido ocasionadas pela carbonatação do concreto. Ressalta-se que não foram apresentadas fotografias de todos os postes analisados no ensaio de avaliação da profundidade de carbonatação. Foram fotografados postes em locais variados da cidade de Ribeirão Preto, representando a quantidade de postes com manifestações patológicas mais graves. Ademais, foi possível observar *in loco* que os postes de concreto com idade inferior a dez anos não apresentam fissuras verticais, apenas a fissuração aceita por norma (pequenas fissurações horizontais).

É importante salientar que não foi analisada a profundidade de carbonatação dos postes em relação à sua idade, devido ao fato de a maioria dos postes estarem com idade ilegível. Apenas os postes com aparência nova (menos de dez anos de instalação) tinham idade legível.

3.2 Profundidade de carbonatação dos postes ensaiados

Neste item estão apresentados os resultados e a discussão acerca da profundidade de carbonatação medida nos postes de concreto armado ensaiados, bem como a situação quanto à carbonatação desses postes. Essa situação levou à elaboração de uma proposta de diretrizes para manutenção de postes de concreto armado em áreas urbanas. A Tabela 1 indica as três medidas de profundidade de carbonatação e sua média em relação a cada poste ensaiado.

Tabela 1 ▼
Medidas de profundidade de carbonatação em cada poste ensaiado.
Fonte: dados da pesquisa

Id.	Localização	Profundidade de carbonatação (mm)			
		Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média
1	Rua Guatambu, altura 1370	7,77	9,87	9,01	8,88
2	Rua Pau Brasil, altura 118	7,61	12,65	9,33	9,86
3	Av. das Seringueiras, altura 925	5,66	3,40	4,63	4,56
4	Av. Vereador José Bompani, altura 161	5,51	3,55	3,29	4,12
5	Rua Valentina Lanzzone Senteleghe, altura 785	3,88	3,70	4,19	3,92
6	Rua Dr. Rocha Fragoso, altura 155	8,25	6,43	7,65	7,44
7	Rua Dr. Otto Spadoni, altura 178	31,97	18,29	27,49	25,92
8	Av. Antônio Diederichsen, altura 845	6,02	3,07	6,36	5,15
9	Av. Presidente Kennedy, altura 1900	18,30	15,23	23,10	18,88
10	Rua Serra Negra, altura 900	4,03	4,37	5,14	4,51
11	Av. Maurílio Biagi, altura 3030	4,15	10,40	7,47	7,34
12	Rua Capitão Pereira Lago, altura 259	10,19	12,59	11,17	11,32
13	Av. da Saudade, altura 795	8,84	8,45	7,36	8,22
14	Rua Marquês de Pombal, altura 1612	7,06	3,13	8,15	6,11
15	Rua Saldanha Marinho, altura 228	11,01	3,19	29,02	14,41
16	Rua Antônio Fregonesi, altura 716	6,91	3,37	4,02	4,77

A partir dos dados da Tabela 1, observa-se que houve uma grande variação das medidas obtidas da espessura carbonatada de concreto nos postes, variando de 3,92 mm

no poste de número 5 a 25,92 mm no poste de número 7. Essas variações de espessura podem ter causas distintas, que vão desde a qualidade do concreto utilizado e qualidade de sua execução, bem como o tempo de exposição ao ambiente (tempo de serviço) que, como mencionado, não foi possível obter para a maioria dos postes.

Segundo a NBR 8451 (ABNT, 1998), o cobrimento mínimo de concreto deve ser de 15 mm, considerado pequeno, frente à agressividade que o meio urbano fornece no que tange à emissão de CO₂. Em relação à NBR 6118 (ABNT, 2014), considerando o meio urbano, que é dito como sendo de classe de agressividade II, estruturas de concreto armado devem ter cobrimento de concreto de, no mínimo, 30 mm. Observa-se que, embora os postes de concreto armado não sejam elementos propriamente estruturais, ficam expostos ao ambiente, enquanto normalmente estruturas de concreto armado são revestidas e pintadas, ou seja, ficam protegidas da agressividade do meio. Ademais, conforme já mencionado na seção 1 deste trabalho, o colapso de postes de concreto armado causa consequências que podem ser irreversíveis para a vida humana, isto é, de alta gravidade.

Tendo em vista o exposto, para elaboração de diretrizes de manutenção de postes de concreto armado com base na profundidade de carbonatação, os postes avaliados foram divididos em quatro situações, conforme a espessura carbonatada. As situações foram as seguintes: i) profundidade de carbonatação menor que 50% do cobrimento de concreto (considerado de 15 mm); ii) profundidade de carbonatação entre 50% e 70% do cobrimento de concreto; iii) profundidade de carbonatação maior que 70% em relação ao cobrimento de concreto; iv) profundidade de carbonatação que atingiu a armadura do concreto. Na Tabela 2 podem ser observados os valores para a situação de cada poste ensaiado.

Tabela 2 ►

Situação dos postes ensaiados em relação à profundidade de carbonatação.

Fonte: dados da pesquisa

Id.	Profundidade de carbonatação (mm)				Situação
	Medição 1	Medição 2	Medição 3	Média	
1	7,77	9,87	9,01	8,88	50% - 70%
2	7,61	12,65	9,33	9,86	50% - 70%
3	5,66	3,40	4,63	4,56	< 50%
4	5,51	3,55	3,29	4,12	< 50%
5	3,88	3,70	4,19	3,92	< 50%
6	8,25	6,43	7,65	7,44	< 50%
7	31,97	18,29	27,49	25,92	Atingiu armadura
8	6,02	3,07	6,36	5,15	< 50%
9	18,30	15,23	23,10	18,88	Atingiu armadura
10	4,03	4,37	5,14	4,51	< 50%
11	4,15	10,40	7,47	7,34	< 50%
12	10,19	12,59	11,17	11,32	> 70%
13	8,84	8,45	7,36	8,22	50% - 70%
14	7,06	3,13	8,15	6,11	< 50%
15	11,01	3,19	29,02	14,41	> 70%
16	6,91	3,37	4,02	4,77	< 50%

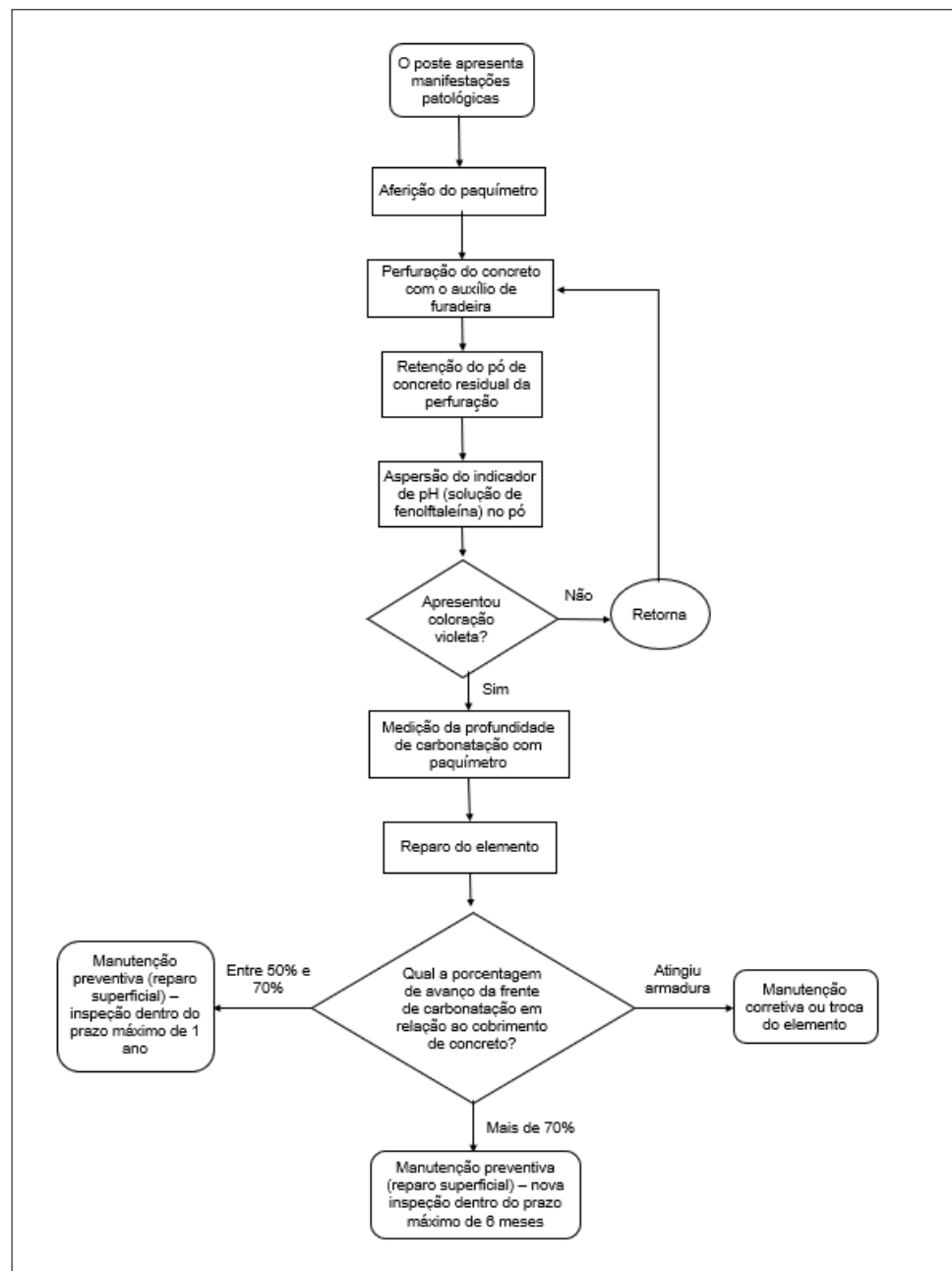
Como pode ser observado, a maior parte dos postes ensaiados (nove postes) apresentou uma profundidade de carbonatação menor que 50% em relação ao cobrimento de concreto. Três postes apresentaram profundidade de carbonatação entre 50% e 70%, dois postes apresentaram profundidade de carbonatação maior que 70% e, em dois postes, a frente de carbonatação já havia atingido a região da armadura. É importante mencionar que os postes em que a armadura já estava exposta foram ensaiados em locais com o concreto íntegro, ou seja, onde a armadura não estava exposta.

Para cada uma das situações listadas, é necessária uma análise de resultados e uma tomada de ação, visando à manutenção do poste ou à sua troca, prevenindo o colapso do elemento. Um fluxograma de fácil entendimento foi elaborado com diretrizes para aplicação do ensaio de avaliação da profundidade de carbonatação e propostas de tomada de decisão, conforme essa avaliação (Figura 6). Em campo, o fluxograma auxilia a execução do ensaio, pois é visualmente mais simples, não sendo necessária a leitura de grandes textos explicativos, como é o caso de normas técnicas, por exemplo.

Figura 6 ►

Fluxograma da proposta de avaliação da profundidade de carbonatação em postes de concreto armado.

Fonte: elaborada pelos autores



Observa-se que a proposta de diretrizes da Figura 6 se inicia com a observação de manifestações patológicas nos postes, o que se dá com uma observação visual do elemento. Identificada alguma manifestação patológica (fissuras, exposição da armadura, eflorescências), é necessário ensaiar o poste. Para iniciar o ensaio, primeiramente, afere-se o paquímetro para que os resultados possam ser considerados confiáveis. Em seguida, perfura-se o concreto do poste com auxílio de uma furadeira. Aos poucos, no pó retido da furadeira deve-se aspergir a solução de fenolftaleína. Enquanto não for observada a mudança de coloração do pó para violeta, a perfuração deve continuar. Identificada a mudança de coloração do pó de concreto para violeta, deve-se parar de furar o concreto, para iniciar a medição da profundidade de carbonatação. Para essa medição, utiliza-se um paquímetro, que adentra o furo fornecendo a medida da espessura de concreto carbonatada. Esse procedimento deve ser realizado três vezes em cada poste em que manifestações patológicas forem observadas. É necessário reparar o furo executado no elemento para que esse furo não seja uma entrada fácil de agentes agressivos no poste de concreto armado, diminuindo sua vida útil.

Com as medidas de profundidade de carbonatação executadas, a análise de resultados deve ser feita, considerando que a armadura não deve ser atingida pela frente de carbonatação. Para cada uma das situações mencionadas para os postes quanto à espessura de carbonatação, recomenda-se uma ação. Se a profundidade de carbonatação for menor que 50% do cobrimento de concreto, infere-se que as armaduras do poste não devem estar corroídas devido à ação da carbonatação. Se a profundidade de carbonatação estiver entre 50% e 70% do cobrimento de concreto, deve-se realizar o ensaio de carbonatação novamente em breve (recomenda-se o prazo de um ano), para garantir que a frente de carbonatação não atinja a armadura. Se a profundidade de carbonatação estiver maior que 70% do cobrimento de concreto, devem-se adotar medidas preventivas para que a frente de carbonatação não atinja a armadura e realizar o ensaio novamente dentro do prazo recomendado de seis meses. Se a frente de carbonatação já atingiu a região da armadura, deve-se verificar se houve perda de seção dessa armadura devido à corrosão, para manutenção corretiva ou troca do poste.

Segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013), devem ser previstas manutenções preventivas sistemáticas e manutenções corretivas sempre imediatamente após o elemento apresentar problemas. Essa norma de desempenho é feita para as edificações habitacionais de até cinco pavimentos, entretanto, como já mencionado, embora o poste de concreto armado não seja propriamente um sistema estrutural e considerando a falta de normatização para manutenção de equipamentos urbanos, acredita-se que a mesma premissa possa ser utilizada neste trabalho.

A manutenção de estruturas de concreto armado deve ser recomendada pelo projetista, por meio do manual de utilização, inspeção e manutenção, conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014). Porém, não há norma que especifique uma recomendação de execução de manutenção. Aqui, uma proposta de manutenção será fornecida com base na experiência da prática na construção civil.

Quando é verificado que a seção de armadura foi reduzida em mais de 10% de sua seção transversal, é necessário que se faça a substituição dessa armadura. Para tanto, segue-se o processo de manutenção: 1) remoção do concreto afetado pelos produtos da corrosão do aço, limpando bem a superfície; 2) reconstituição da seção original da armadura; 3) reconstituição do concreto de cobrimento; e 4) aplicação de revestimento de proteção (tinta hidrofugante). Na etapa 2, a reconstituição do aço é feita emendando barras novas às antigas, com execução de transpasse, utilizando luva de pressão ou solda. O cobrimento do transpasse, segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), deve ser de 30 a 40 vezes a dimensão da seção transversal da armadura comprimida. Antes de se

realizar a recomposição do concreto, indica-se umidificar o substrato para que este não absorva água de amassamento do novo concreto. Para a recomposição do concreto de cobertura, deve-se também escarificar o concreto antigo para criar rugosidade suficiente para aderir ao novo concreto, podendo-se fazer o uso de adesivo estrutural como ponte de aderência.

Observa-se que todas as medidas aqui expostas para execução do ensaio de profundidade de carbonatação e reparo dos postes de concreto armado não são métodos complexos e não demandam equipamentos sofisticados e de alto custo. Os benefícios provindos da adoção dessas diretrizes pelas prefeituras podem ser consideravelmente importantes, levando-se em consideração as consequências que o colapso de um poste de rede elétrica e iluminação pode gerar.

4 Conclusão

Com base no exposto, seguem algumas conclusões acerca da necessidade de manutenção de postes de concreto armado:

- A execução do ensaio de profundidade de carbonatação proposto é simples, não demanda elevada qualificação da mão de obra, além de não demandar equipamentos de alto custo;
- A tomada de decisão conforme as diretrizes de manutenção propostas é rápida e a manutenção do poste, quando necessária, pode ser feita de forma rápida por uma equipe escalada pela prefeitura.

Iniciar um protocolo de manutenção de postes de concreto armado pode ser desafiador, inicialmente, para as prefeituras, considerando que a quantidade de postes em uma cidade é grande e que estes devem ser georreferenciados e inspecionados. Entretanto, findado esse processo inicial, seguir as diretrizes de manutenção propostas se torna uma atividade rápida e simples para as equipes de manutenção das prefeituras.

Acredita-se que este trabalho traz uma interessante contribuição no que diz respeito aos aspectos da manutenção de postes de concreto armado, muito utilizados nas cidades brasileiras para a distribuição de energia elétrica. Isso ocorre porque a manutenção preventiva, nos termos propostos neste trabalho, configura-se como uma alternativa viável tecnicamente e de baixo custo, amparada por avaliação estatística. Pelos resultados apresentados e discutidos, observa-se que, com pequena intervenção das instâncias públicas, poder ser aumentado, de forma significativa, o período de vida útil dos referidos elementos presentes nos cenários urbanos nacionais.

Por fim, para avançar em propostas de manutenção de postes e outros equipamentos urbanos confeccionados em concreto armado, outros estudos de casos, em outras cidades mais ou menos urbanizadas, podem ser realizados.

Financiamento

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (Código de financiamento #001) e ao CNPq (Grant processo número 303407/2020-4) pelo apoio financeiro concedido.

Declaração de interesses

Os autores declaram que não estão cientes de interesses financeiros concorrentes ou relacionamentos pessoais que possam parecer influenciar o trabalho relatado neste artigo.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8451**: Postes de concreto armado para redes de distribuição de energia elétrica – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa no 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. Brasília, DF: ANEEL, 2010. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2010414.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Frota municipal de veículos do Brasil - maio de 2021**. Brasília, DF: Ministério da Infraestrutura, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2021>. Acesso em: 19 mar. 2022.

CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2011. (Texto para Discussão, 1606). Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf. Acesso em: 28 jun. 2021.

CELG DISTRIBUIÇÃO. **NTC-01**: Postes de concreto armado para redes de distribuição e de transmissão – Especificação e padronização. Osasco, 2014.

DOIS TRABALHADORES feridos com gravidade após queda de poste de iluminação. **Jornal I**, Oeiras - Portugal, 20 abr. 2021. Disponível em: https://online.sapo.pt/artigo/731991/dois-trabalhadores-feridos-com-gravidade-apos-queda-de-poste-de-iluminacao?seccao=Portugal_i. Acesso em: 2 jul. 2021.

FRANÇOIS, R.; LAURENS, S.; DEBY, F. Steel corrosion in reinforced concrete. *In*: FRANÇOIS, R.; LAURENS, S.; DEBY, F. **Corrosion and its consequences for reinforced concrete structures**. Oxford, UK: Elsevier, 2018. Cap. 1, p. 1-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-234-2.50001-9>.

GUIMARÃES, P. R. B. **Métodos quantitativos estatísticos**. Curitiba: IESDE Brasil, 2007.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. 1993. Tese (Livre Docência em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993. Disponível em: <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/TD1.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2022.

KADDAH, F.; RANAIVOMANANA, H.; AMIRI, O.; ROZIÈRE, E. Accelerated carbonation of recycled concrete aggregates: investigation on the microstructure and transport properties at cement paste and mortar scales. **Journal of CO2 Utilization**, v. 57, 101885, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.101885>.

KRAKHMAL'NY, T. A.; EVTUSHENKO, S. I.; KRAKHMAL'NAYA, M. P. New system of monitoring of a condition of cracks of small reinforced concrete bridge constructions. **Procedia Engineering**, v. 150, p. 2369-2374, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.322>.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. São Paulo: Ibracon, 2014.

MING, J.; WU, M.; SHI, J. Passive film modification by concrete carbonation: re-visiting a corrosion-resistant steel with Cr and Mo. **Cement and Concrete Composites**, v. 123, 104178, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104178>.

RIBEIRO, D. V.; SALES, A.; SOUSA, C. A. C.; ALMEIDA, F. C. R.; CUNHA, M. P. T.; LOURENÇO, M. Z.; HELENE, P. R. L. **Corrosão e degradação em estruturas de concreto armado: teoria, controle e métodos de análise**. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2018.

RILEM – THE INTERNATIONAL UNION OF LABORATORIES AND EXPERTS IN CONSTRUCTION MATERIALS, SYSTEMS AND STRUCTURES. CPC-18 Measurement of hardened concrete carbonation. **Materials and Structures**, v. 21, n. 126, p. 453-455, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02472327>.

SHASTRY, V.; RAI, V. Reduced health services at under-electrified primary healthcare facilities: evidence from India. **PLoS ONE**, v. 16, n. 6, p. 1-18, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252705>.