



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**

ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DA PROFUNDIDADE DE CARBONATAÇÃO EM ELEMENTOS DE CONCRETO NO MUNICÍPIO DE CASCAVEL-PR

GARCIA, Mauricio Ariel.¹

PAGANIN, Ricardo.²

RESUMO

As estruturas de concreto estão sujeitas as ações do ambiente onde elas são executadas e um desses processos é a carbonatação. Esse processo pode favorecer a corrosão das armaduras, comprometendo a vida útil da edificação. Dessa maneira, o objetivo do trabalho foi levantar as profundidades de carbonatação do piso do estacionamento de 5 edifícios no município de Cascavel – PR. Além disso, teve por fim verificar as características dos locais das amostras, estimar um tempo de vida útil e indicar ações de intervenção para recuperação das estruturas. O trabalho foi realizado iniciando-se pelas visitas *in loco*, para identificação e registro fotográfico. Posteriormente foram realizados ensaios, utilizando um equipamento para extração de amostras, que submeteram-se à aspersão de um indicador de pH, para levantar a profundidade de carbonatação. A partir do levantamento foi identificado que a profundidade média de carbonatação foi de 13,72 milímetros e a profundidade máxima foi de 27,85 milímetros.

PALAVRAS-CHAVE: Manifestações patológicas. Oxidação do aço. Porosidade. Recuperação.

¹Discente, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: mauriciogarcia018@hotmail.com.

² Docente, Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel – PR. E-mail: ricardop@fag.edu.br



1. INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas após a revolução industrial têm afetado, não apenas a vida das pessoas, mas também a durabilidade das estruturas. Isso acontece, pois, os gases produzidos e lançados na atmosfera reagem com o concreto, alterando suas propriedades químicas e comprometendo a estrutura.

Um dos agentes que causam a degradação das estruturas é o gás carbônico. Segundo a Organização das Nações Unidas (2019), a concentração de gás carbônico no ano de 2018 atingiu 407,8 partes por milhão, em comparação com 405,5 partes por milhão em 2017. Segundo Ripper (2009), o aumento da concentração de Dióxido de Carbono (CO_2) no ambiente faz com que as estruturas de concreto sofram mais alterações em sua composição química, afetando dessa forma sua vida útil.

Segundo a ISO 13823 (2008), que trata da durabilidade das estruturas, a vida útil de uma edificação é dada pelo período efetivo que a estrutura e seus componentes satisfazem os requisitos de desempenho. A NBR 15575 (ABNT, 2018), que trata do desempenho das edificações, introduziu esse conceito recentemente, considerando que um material chega ao fim de sua vida útil quando se torna inseguro.

A insegurança dos usuários e a dúvida quanto à estabilidade de uma edificação tem sido cada vez mais frequente, frente aos inúmeros sinistros ocorridos no Brasil envolvendo estruturas de concreto. Em vista dessa preocupação, as normas de desempenho em edificações procuram ser mais rígidas, buscando garantir uma boa qualidade no projeto e na execução de estruturas.

Embora a qualidade de projeto e execução de uma obra seja exigida por norma, as estruturas continuam sofrendo pela crescente concentração de CO_2 no ambiente. Dessa forma, a justificativa para a realização dessa pesquisa é verificar se as estruturas no município de Cascavel-PR estão sendo substancialmente impactadas pelo efeito da carbonatação do concreto, sendo a carbonatação um processo de deterioração do concreto.

O município de Cascavel-PR, já possui edificações com idades superiores a 50 anos, e por consequência da carbonatação pode estar havendo a redução do pH do concreto, o que favorece a corrosão das armaduras. Em vista disso, a pergunta que este trabalho responderá será: qual é o estágio de carbonatação das estruturas localizadas no município de Cascavel-PR?



O estudo foi limitado ao levantamento da profundidade de carbonatação de 5 peças de concreto armado no município de Cascavel-PR. O levantamento foi realizado *in loco* com a extração de uma amostra do piso de concreto, sendo aspergida uma solução fenolftaleína, indicadora de pH sobre a amostra, indicando a fração carbonatada do concreto. Posteriormente serão realizadas medições para o levantamento da profundidade carbonatada na peça. Com os dados obtidos, foi realizada uma análise das amostras, verificando se as estruturas analisadas necessitam manutenção, a fim de evitar a corrosão das armaduras.

De acordo com todas as informações expostas anteriormente, este trabalho teve como objetivo geral levantar a profundidade de carbonatação de edifícios no município de Cascavel-PR.

Salienta-se que para que este trabalho científico possa ter pleno êxito, os seguintes objetivos específicos foram-propostos:

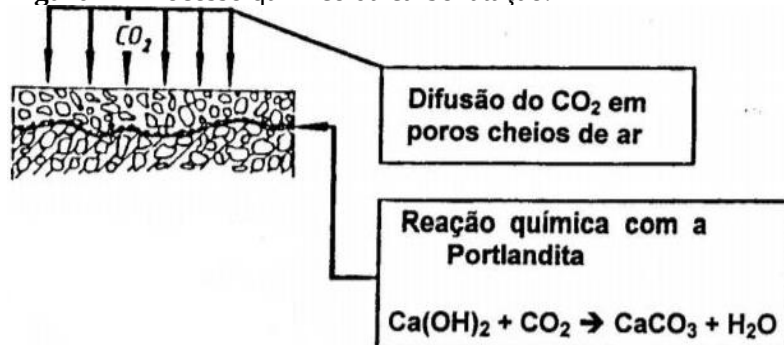
- a) Verificar as características dos ambientes dos locais de amostras;
- b) Indicar ações de intervenção nas estruturas que, devido ao processo de carbonatação, tenham sua vida útil reduzida;
- c) Estimar o tempo de vida útil das estruturas sob o ponto de vista da carbonatação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Carbonatação do concreto

Ripper e Souza (2009), definem carbonatação como sendo o transporte do gás carbônico presente na atmosfera para dentro dos poros do concreto, que reage com o hidróxido de cálcio, resultando no carbonato de cálcio, como pode ser observado no Figura 1.

Figura 1 - Processo químico da carbonatação.



Fonte: Freire (2005).



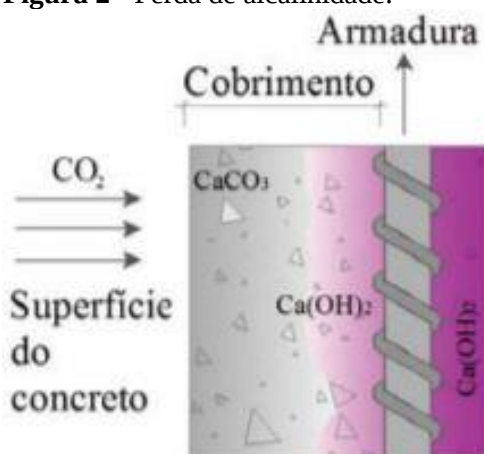
De acordo com Ferreira (2000), esse processo diminui a alcalinidade do concreto, reduzindo o pH para valores inferiores a 9. Ferreira (2009), ainda afirma que, a carbonatação em si não causa deterioração do concreto. Entretanto, quando a camada carbonatada atinge a armadura, a mesma perde o filme óxido que a protege de corrosão.

2.2 Despassivação da armadura

Segundo Freire (2005), a passivação da armadura está ligada com a perda de reatividade química sob as condições do ambiente em que se encontram. Dessa forma, o aço torna-se inerte, atuando como um metal nobre como o ouro e a platina.

Helene (1993), explica que o aço inserido no concreto encontra-se protegido da corrosão devido à alta alcalinidade do material. Esse ambiente, com pH em torno de 12,7 e 13,8 favorece a criação de uma camada de óxidos microscópica passivante, compacta e aderente ao $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ sobre a superfície da armadura. No entanto, Helene (1993), acrescenta que, essa passivação pode ser desfeita com a entrada de CO_2 . Pode ser observado na Figura 2 a parcela alcalina do concreto identificada pela cor roxa. Pode-se observar também que a coloração natural do concreto é a parcela já sofreu mudança de pH devido à reação com o CO_2 .

Figura 2 - Perda de alcalinidade.



Fonte: Freire (2005).

Helene (1993), também comenta que a perda dessa passivação causa um processo de deterioração da armadura, muitas vezes progressivo e acelerado.

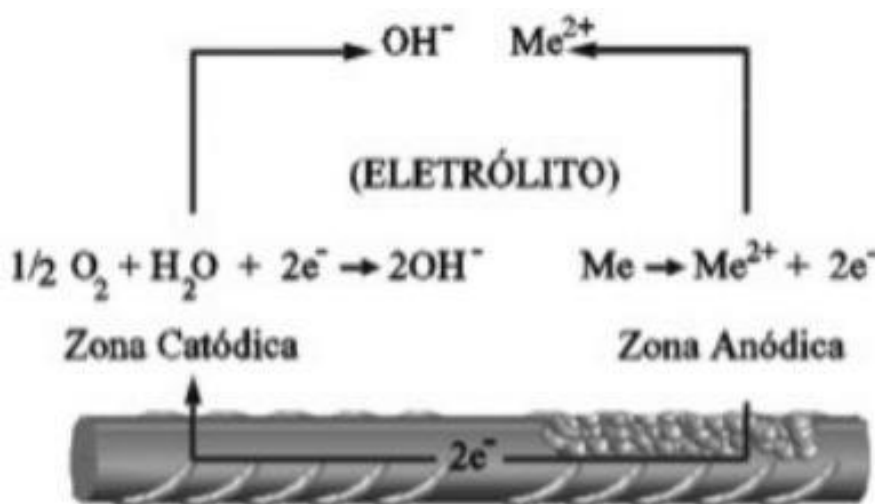
2.3 Corrosão da armadura

Pereira e Monteiro (2011), explicam que o processo de corrosão das armaduras começa a se desenvolver quando o material entra em contato com o meio ambiente, através de reações químicas ou físicas que acontecem devido à sua interação. Segundo os autores, para que ocorra a corrosão é necessária uma despassivação da armadura, que pode ocorrer devido à penetração de ou diminuição da alcalinidade do concreto.

Segundo Helene (1993), a deterioração do aço pode ocorrer por meio da corrosão eletroquímica ou pela oxidação direta. Na corrosão eletroquímica, o material corrói devido à presença de umidade, água ou solução aquosa em sua superfície, já na oxidação direta, o aço age diretamente com o oxigênio.

De acordo com Figueiredo e Meira (2013), a maioria dos casos de corrosão são de natureza eletroquímica. Figueiredo e Meira (2013), apontam que esse tipo de corrosão desencadeia-se através da formação de uma pilha, com um polo anódico caracterizado pela passagem do material do estado metálico para o estado iônico e outro polo catódico onde são consumidos elétrons gerados na região anódica. Esse processo pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 - Representação de uma pilha de corrosão



Fonte: Figueiredo e Meira (2013).

Figueiredo e Meira (2013), explicam que com a diferença de potencial entre o ânodo (potencial mais eletronegativo) e cátodo (potencial eletropositivo), os elétrons movimentam-se sobre o material para a direção catódica, corroendo o aço na direção anódica.



2.4 Fatores que influenciam na carbonatação do concreto

Freire (2005), explica que, devido ao concreto ser um material poroso, o gás carbônico penetra com certa facilidade para seu interior. Segundo Possan (2010), quanto maior for o tempo de cura, maior será a hidratação do concreto, minimizando a porosidade. Além disso, a quanto maior for a relação de água e cimento, menor é a resistência do concreto e maior é a quantidade e o tamanho dos poros.

Ripper e Souza (2009), demonstram que a profundidade de carbonatação está diretamente ligada ao tempo e a porosidade do concreto. Em seu estudo, a profundidade de carbonatação pode ser dada pela Equação 1.

$$-X = k \times \sqrt[n]{t} \quad (1)$$

Onde:

X: Profundidade carbonatada;

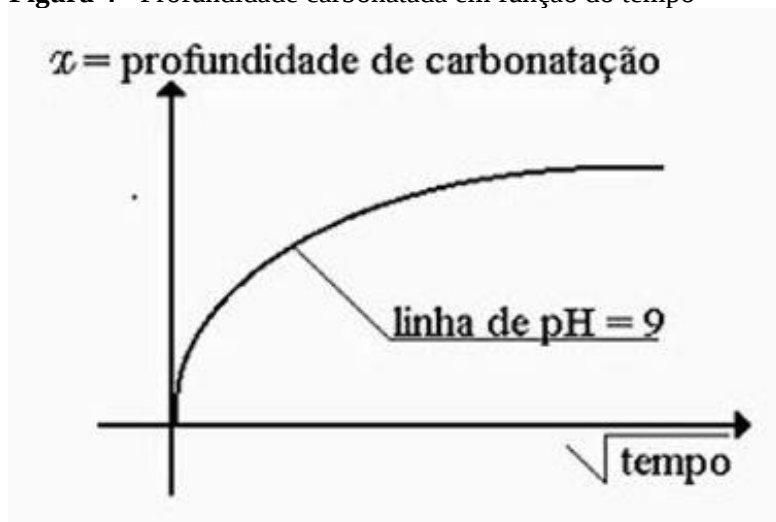
K: Constante que representa a porosidade e permeabilidade do concreto;

n: Constante que representa o ambiente, sendo 2 para ambientes internos e menor que 2 para ambientes externos;

t: Tempo que o elemento de concreto está exposto ao ambiente.

Pode ser observado na Figura 4 a profundidade carbonatada em função do tempo.

Figura 4 - Profundidade carbonatada em função do tempo



Fonte: Ripper e Souza (2009).



A porosidade, porém, não é o único responsável por essa reação de carbonatação. Possan (2010) completa que, outros fatores podem ter impacto elevado na carbonatação do concreto. A umidade relativa do ar tem influência na velocidade de difusão do CO₂ através do concreto. Em poros saturados, o CO₂ tem dificuldade para difundir-se, enquanto que em poros com baixa umidade a reação de carbonatação não ocorre devido à pouca quantidade de água. Mas nos casos em que os poros estão parcialmente úmidos, a carbonatação acelera-se devido à presença simultânea de água e facilidade de difusão por meio do concreto. Dessa forma, Possan (2010), também aponta a exposição à chuva um fator de importância elevada para o processo de carbonatação.

Possan (2010), aponta também para a concentração de gás carbônico no ambiente, que possui impacto elevado na carbonatação em concentrações acima de 0,1%. Segundo a mesma autora, a concentração de CO₂ no ar varia de 0,03% a 1,2%.

2.5 Vida útil das estruturas

A NBR 6118 (ABNT, 2014), que trata do procedimento do projeto de estruturas de concreto, estabelece que a vida útil de projeto é o tempo no qual as características das estruturas de concreto mantêm-se, sem intervenções significativas. Conforme a norma, o concreto armado pode ser abalado por mecanismos de deterioração que afetam diretamente o concreto, como lixiviação, expansão por sulfato ou reação álcali-agregado, ou por mecanismos que afetam a armadura, sendo elas a despassivação por carbonatação ou despassivação por ação de cloretos.

Sobre esse prisma, a NBR 6118 (ABNT, 2014), estabelece que a armadura deve ser envolvida pelo concreto para que a mesma não sofra corrosão devido às condições do meio em que se encontra. Além disso, estabelece que a espessura da camada que envolve o aço deve ser proporcional à agressividade do ambiente.

Para ambientes urbanos a NBR 6118 (ABNT, 2014), determina que elementos de laje devem possuir 25 milímetros de cobrimento, enquanto que para vigas, pilares e elementos em contato com o solo devem possuir 30 milímetros.

Conforme Araújo (2014), diversos fatores influenciam na vida útil de uma estrutura e elas devem ser observadas na fase de projeto. Araújo (2014), enfatiza que a durabilidade é altamente dependente das características do concreto, da espessura e da qualidade do concreto de cobrimento das armaduras.



3. METODOLOGIA

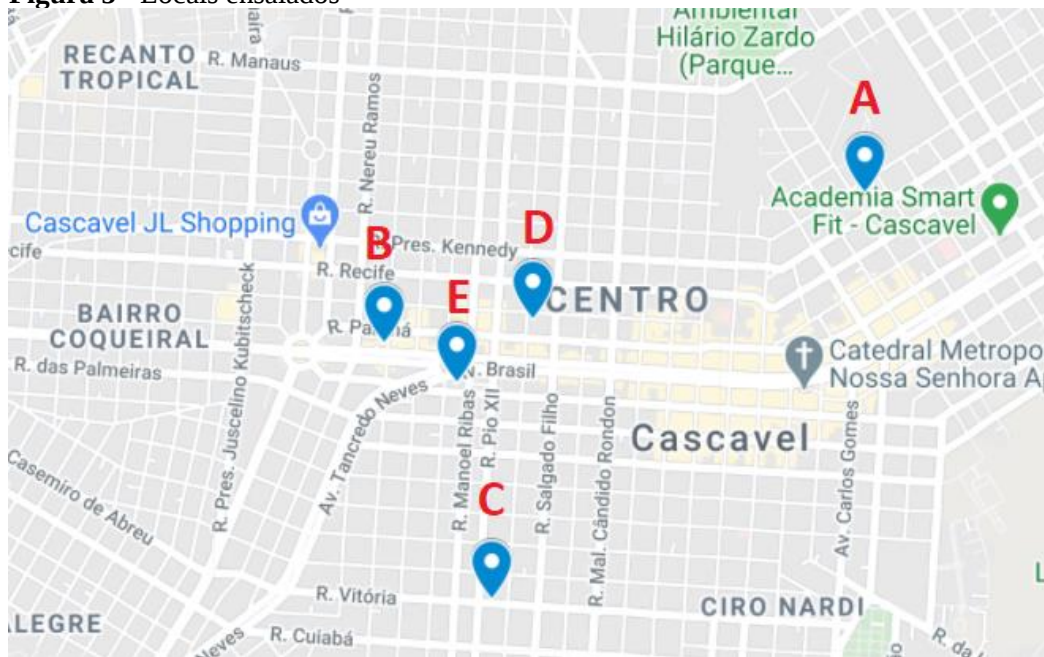
3.1 Tipo de estudo

Esta pesquisa referiu-se a um estudo de campo, com determinação da profundidade de carbonatação de elementos de concreto de 5 edifícios no município de Cascavel-PR. A pesquisa foi realizada pelo método recomendado pela revista científica Rilem CPC 18 – *Measurement of hardened concrete carbonation depth* (1988). O método consiste na determinação da profundidade de carbonatação por meio de um indicador. O ensaio foi realizado em estruturas já completas, o que implicou na retirada uma amostra para que fosse ensaiada.

3.2 Caracterização da amostra

Na Figura 5, pode ser observada a localização das estruturas ensaiadas na realização da pesquisa. O nome das edificações foi omitido por motivos de exposição dos locais.

Figura 5 - Locais ensaiados



Fonte: Google Maps, (2020).

Pode ser observado no Quadro 1 a localização, a idade e o local em que a amostra foi retirada.



Quadro 1: Identificação dos edifícios.

Amostra	Localização	Data de construção (ano)	Local da amostra	Tipo de estrutura
A	R. Riachuelo, 2420 – Centro, Cascavel – PR, 85812-111	2014	Piso do estacionamento	concreto armado convencional
B	R. Mal. Deodoro, 3025 - Centro, Cascavel - PR, 85810-200	2009	Piso do estacionamento	concreto armado convencional
C	R. Vitória, 1532 - Neva, Cascavel - PR, 85802-020	2015	Piso do estacionamento	concreto armado convencional
D	R. Pernambuco, 2602 - Centro, Cascavel - PR, 85807-050	2012	Piso do estacionamento	concreto armado convencional
E	R. Manoel Ribas, 105 – Centro, Cascavel – PR, 85801-011	1974	Viga interna	Concreto armado convencional

Fonte: Autor (2020).

O local onde as amostras foram retiradas não receberam reformas estruturais, conforme conversado com os responsáveis de cada edificação. Além disso, o edifício E foi demolido antes da realização dos ensaios *in loco*. Portanto, foram coletados elementos de concreto que ainda se mantinham íntegros para a realização dos ensaios.

3.3 Materiais utilizados

Conforme a Rilem (1988), a solução de 1% fenolftaleína diluída em álcool etílico 70% é adequada para a determinação da profundidade carbonatada do concreto. A fenolftaleína muda a coloração do concreto não carbonatado para arroxeadado, mas a parte carbonatada permanece sem mudança de cor.

Para a extração da amostra foi utilizada uma serra copo da marca Vonder, diamantada com 50 milímetros de diâmetro, própria para concreto acoplada a uma furadeira de impacto da marca Bosch, de 1100W de potência. O corte foi feito até atingir o aço, ou a profundidade de 5,0 centímetros para dentro da peça de concreto. Tais ferramentas podem ser observadas na Figura 6.



**CENTRO
UNIVERSITÁRIO**

Figura 6 - Serra copo diamantada de 50 milímetros e furadeira de impacto 1100W



Fonte: Catálogo da fabricante (2020).

Para realizar as medições da profundidade carbonatada foi utilizado um paquímetro digital de 150 milímetros, com precisão de 0,1 milímetros, conforme pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 - Paquímetro digital



Fonte: Catálogo do fabricante (2020).

Foi realizada a calibração do equipamento no mês anterior à realização dos ensaios.

3.4 Procedimentos para realização dos ensaios e coleta de dados

O ensaio foi iniciado com a perfuração da serra-copo no elemento de concreto utilizando a furadeira de impacto. Após alcançar a profundidade desejada o corpo de prova foi retirado para fora da peça e imediatamente aspergida a solução de fenolftaleína sobre a amostra. Após o contato da solução com a amostra, a mesma descansou por 24 horas.



Passadas as 24 horas, foram realizadas 8 medições em torno de todo o corpo de prova. Para a coleta dos dados foi utilizado o Quadro 2, que abrange todos as informações solicitadas pela Rilem (1988).

Quadro 2: Modelo para coleta de dados.

Edifício	Ano de construção	Local da amostra	Orientação da superfície		Medidas
			Vertical		
			Horizontal		
			Data da extração		
			Data da medição		
			MÉDIA		

Fonte: Autor (2020).

A extração foi realizada em período integral, de acordo com a disponibilidade do síndico do prédio para o acompanhamento do ensaio que foi previamente informado, ocorrendo tanto em dias ensolarados quanto chuvosos.

Após a coleta das medidas de profundidades carbonatadas, foram realizadas uma média das 8 medidas de cada amostra. Os dados das amostras foram tabulados em uma planilha específica no *Excel* a fim de apresentar um gráfico, onde no eixo das ordenadas foi apresentado a profundidade de carbonatação e no eixo das abscissas, o tempo de vida da estrutura.

3.5 Análise dos dados

Conforme a NBR 6118 (ABNT, 2014), que trata do procedimento para projeto de estruturas de concreto, o cobrimento mínimo que a armadura deve ter, é de 30 milímetros para viga, pilar e elementos em contato com o solo. Além disso, Rilem (1988) estabelece que, se a fração carbonatada do concreto estiver a 1 milímetro do aço, deve ser realizada alguma intervenção na estrutura a fim de evitar a corrosão da armadura.

Sobre esse prisma, considerando que o cobrimento mínimo das estruturas do município está conforme estipulado pela NBR 6118 (ABNT, 2014), entende-se que a profundidade máxima carbonatada é de 29 milímetros para os elementos em contato com solo, vigas e pilares. Já para as lajes, essa fração passa a ser de 24 milímetros.

A partir dessas considerações, foi estimado o tempo de vida útil das estruturas através de uma análise gráfica. Tal análise levou em consideração uma curva que representa a profundidade de carbonatação em relação ao tempo das edificações de estudo. Dessa forma, foi possível estimar o tempo de vida útil da estrutura, do ponto de vista da carbonatação, conforme o cobrimento mínimo da armadura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Profundidade de carbonatação das amostras

Para dar início à pesquisa verificou-se que os ambientes em que as amostras foram coletas. Conforme a NBR 6118 (ABNT,2014), para ambientes urbanos classifica-se em agressividade moderada, classe de II. Uma amostra foi coletada de uma viga externa, onde recebia a umidade da chuva e ventilação constante. As demais amostras foram coletadas do estacionamento de diferentes edifícios, que possuem alta concentração de gás carbônico, umidade moderada e pouca ventilação.

O ensaio iniciou-se com a definição dos pontos de coleta das amostras, priorizando um local afastado dos blocos de pilares. Foi então realizado a perfuração da peça de concreto, retirando a amostra com auxílio de um formão, conforme pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 – Perfuração da peça de concreto



Fonte: Autor (2020).



Após a retirada, aspergiu-se a solução de fenolftaleína na amostra, conforme pode ser observado na Figura 9, que posteriormente foi inserida dentro de saco plástico, a fim de conservar a amostra.

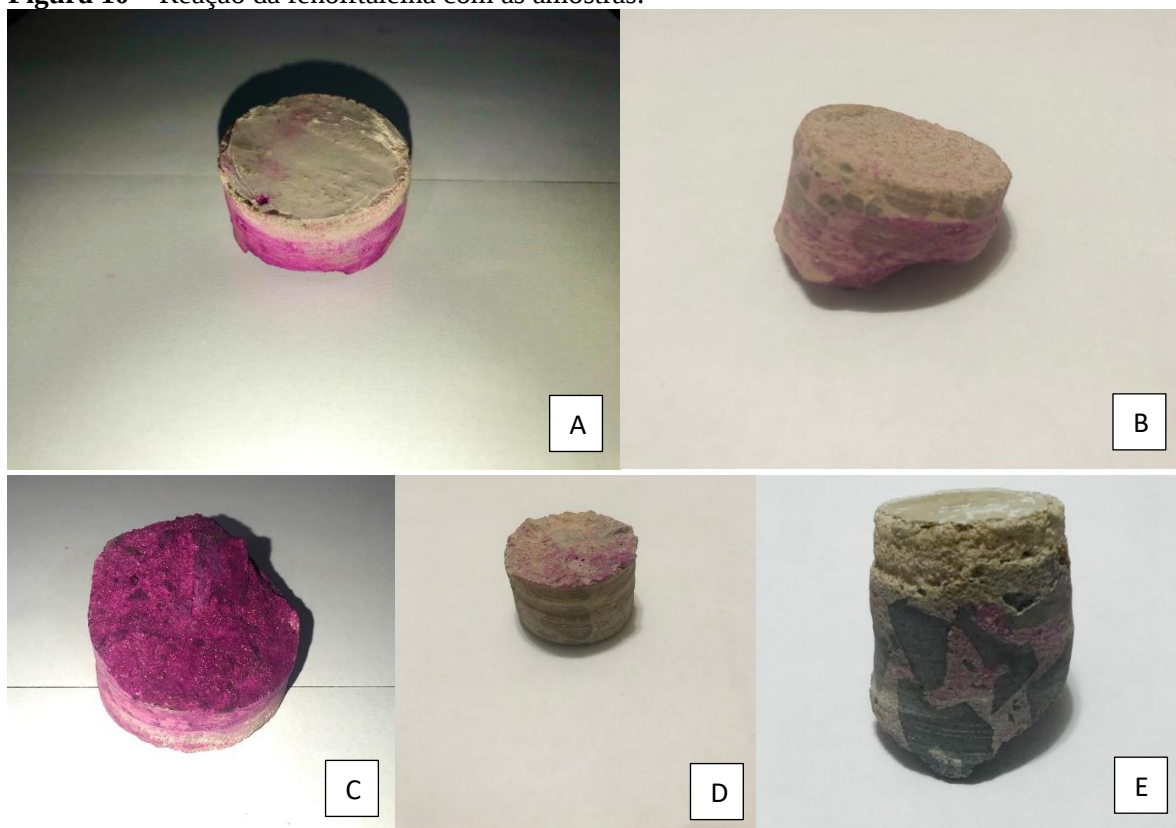
Figura 9 – Amostra reagindo com a fenolftaleína



Fonte: Autor (2020).

Após o contato com a solução de fenolftaleína, a solução reagiu com o concreto, assumindo a cor roxa, conforme pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 – Reação da fenolftaleína com as amostras.



Fonte: Autor (2020).



Nos pontos em que foram retiradas as amostras, após a realização da perfuração, a peça de concreto foi reconstituída. Realizou-se a limpeza das peças perfuradas, livrando-as de poeira e em seguida a peça foi preenchida com nata de cimento.

Passadas 24 horas após a aspersão da solução indicadora de pH, foram realizadas as medidas de profundidade de carbonatação, e anotadas as mesmas na tabela modelo de coleta de dados, que podem ser observados no Apêndice A. Na Tabela 2 pode-se observar o resumo das profundidades médias e máximas das edificações pesquisadas.

Tabela 2: Resumo das profundidades de carbonatação das edificações pesquisadas.

Amostra	Ano de construção	Profundidade média de carbonatação	Profundidade máxima de carbonatação
A	2014	7,49	8,10
B	2009	8,12	8,60
C	2015	6,10	6,50
D	2012	27,85	28,30
E	1974	19,03	19,30

Fonte: Autor (2020).

Observou-se que as amostras retiradas nos Edifícios A, B, C e E apresentaram uma profundidade carbonatada abaixo do limite de 29 milímetros, com máximas de 8,1; 8,6; 6,5 e 19,30 milímetros respectivamente.

Contudo, a amostra coletada no Edifício D apresentou grande fragilidade ao efeito da carbonatação, atingindo uma média de 27,85 milímetros. Conforme a NBR 6118 (ABNT,2014), o cobrimento mínimo da armadura em peças de concreto em contato com o solo é de 30 milímetros. A Rilem (1988), estabelece que a fração carbonatada não deve passar de 1 milímetro de distância do aço, logo a profundidade máxima de carbonatação nesse caso é de 29 milímetros. Sendo assim, a amostra do Edifício D detém 1,25 milímetros de concreto com capacidade de passivação da armadura. A consequência de um concreto carbonatado é que a armadura fica vulnerável as reações do ambiente, podendo sofrer oxidação e comprometer a peça estrutural.

Posto isso, é fundamental realizar um estudo nos demais elementos de concreto da edificação D, pois caso apresentem uma fração considerável de concreto carbonatado, será

necessário realizar uma ação de intervenção, evitando o início de uma possível corrosão da armadura.

4.2 Propostas de ações de intervenção

Visto que a edificação D apresentou uma profundidade de carbonatação acima do limite, sugere-se que seja realizado um tratamento em sua estrutura, evitando-se um possível desenvolvimento de corrosão das armaduras. Conforme Soares (2016), quando se encerra a capacidade do concreto de manter a passividade da armadura, deve ser realizada uma intervenção estrutural convencional. Essa recuperação baseia-se na substituição do concreto carbonatado por um material cimentício. De acordo com Soares (2016), esse método inicia-se com uma análise das condições da estrutura, a fim de definir os locais mais críticos que deverão ser trabalhados. Após definidos os pontos a serem recuperados, deve-se retirar o concreto degradado e realizar a limpeza das armaduras, garantindo dessa forma uma boa adesão com o novo concreto.

Soares (2016) explica que a limpeza das armaduras pode ser feita através de métodos mecânicos ou mediante jato de areia. Os produtos oriundos da oxidação do aço e as partes de concreto não aderentes devem ser removidos com cuidado para não danificar a armadura. Após a limpeza, deverá ser aplicado um material a base de cimento Portland, como uma argamassa polimérica. Esse processo pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 – Intervenção estrutural convencional



Fonte: Policrete Engenharia (2020) - adaptado.

Outra forma de intervenção em estruturas carbonatadas pelo dióxido de carbono é a realcalinização do concreto. Conforme Araújo (2009), esse processo pode ser realizado quimicamente ou eletroquimicamente. No processo químico, a realcalinização é estabelecida



por meio da aplicação de uma solução alcalinizadora, que é absorvida pelo concreto por capilaridade.

Conforme Ribeiro (2009), no processo eletroquímico o elemento de concreto que será tratado deve ser envolvido por uma malha de titânio sobre uma camada de fibra celulose saturada de solução alcalina. O sistema é conectado à uma fonte retificadora, que deverá conectar-se também à armadura. A fonte irá produzir uma corrente elétrica com voltagem ajustada para não deteriorar o concreto. Como resultado da eletrólise, a água é reduzida a íons hidroxila e o oxigênio é consumido, produzindo hidroxila, conforme a Equação 2.

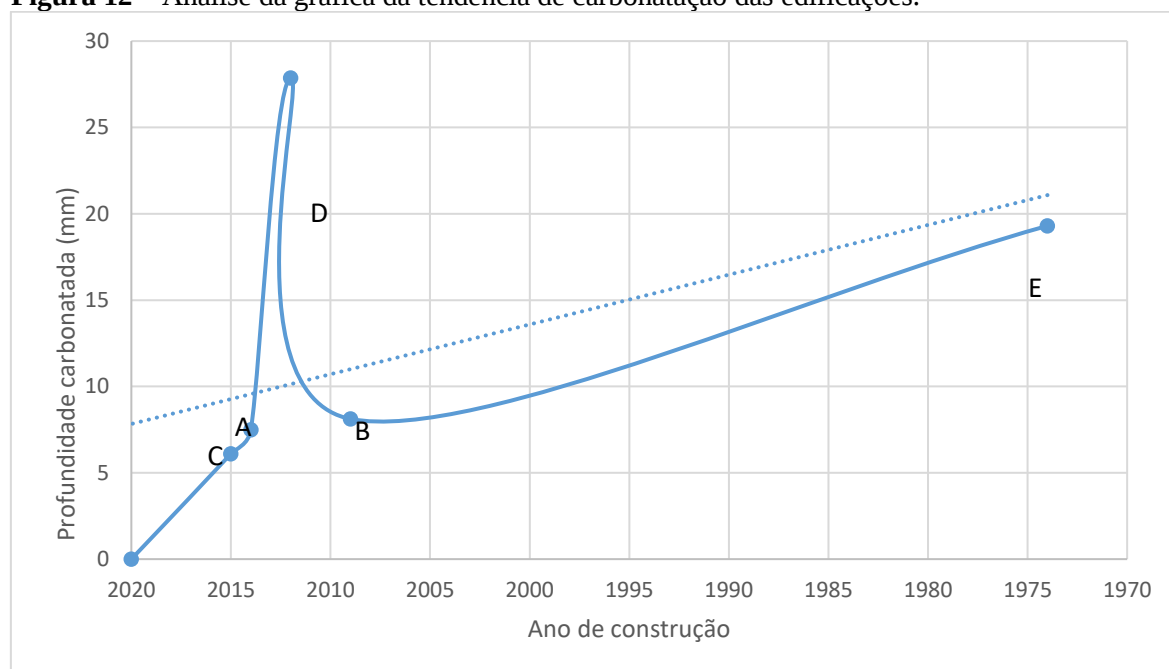


Estas reações resultam em um aumento de pH entorno da armadura, tornando o concreto mais alcalino e restaurando a passivação da armadura.

4.3 Análise gráfica da vida útil das estruturas

Na análise gráfica constatou-se que a profundidade de carbonatação tende a aumentar com o passar do tempo, conforme pode ser observado na linha de tendência (pontilhada) da Figura 12.

Figura 12 – Análise da gráfica da tendência de carbonatação das edificações.



Fonte: Autor (2020).



Considerando uma tendência linear do avanço da carbonatação, obteve-se uma equação em função do tempo, dada pela Equação 3.

$$P = -0,2881t + 589,77 \quad (3)$$

Onde:

P: Profundidade carbonatada;

t: Ano em que a estrutura foi construída.

Dessa forma, com base nos resultados dos 5 edifícios de estudo, a capacidade passivadora do concreto é de 77 anos para cobrimento de 30 milímetros, e de 60 anos para cobrimento de 25 milímetros.

Conforme Ripper e Souza (2009), existem alguns fatores que podem ter provocado o aumento da profundidade carbonatada da amostra D em relação às demais amostras. Dentre esses fatores, pode-se destacar a porosidade acentuada do concreto, a concentração de gás carbônico do ambiente e a umidade. Entretanto, pode-se destacar que a concentração de gás carbônico e a umidade do ambiente podem não ser os fatores principais que influenciaram nessa desproporção, uma vez que os ambientes das amostras A, B, C e D eram semelhantes. Conclui-se então que o concreto do piso do edifício D pode ter uma porosidade maior, sendo esse um dos fatores que podem ter influenciado na velocidade da carbonatação. Outras possíveis causas podem ser a forma de lavagem do piso, utilizando produtos ácidos, ou a composição do concreto utilizado no piso.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da realização deste trabalho pode-se observar que os objetivos propostos foram alcançados. Concluiu-se que a profundidade carbonatada aumenta em função do tempo, e é influenciada pela concentração de gás carbônico, porosidade e umidade do ambiente que a estrutura de concreto se encontra.

Verificou-se que os ambientes eram que possuíam altas concentrações de dióxido de carbono, alta umidade e ventilação reduzida. A partir do levantamento, constatou-se que a



amostra D é a mais crítica, do ponto de vista da carbonatação, com profundidade de carbonatação média de 27,85 milímetros.

Para estruturas que têm o processo de carbonatação avançado, sugeriu-se algumas ações de intervenção. Pode-se destacar a intervenção estrutural convencional, que pode ser realizada pela substituição do concreto. Outro processo de intervenção é o processo eletroquímico, no qual revitalizará o pH alcalino entorno da armadura.

Do ponto de vista da carbonatação, constatou-se que as estruturas com cobrimento da armadura de 30 milímetros possuem vida útil de 77 anos. Mas para as estruturas com cobrimento de 25 milímetros, a vida útil diminui para 60 anos. Percebe-se então que o processo de carbonatação deve ser acompanhado, pois pode levar à problemas estruturais graves.



REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. W. C. **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica da realcalinização química**. 2009. Tese (doutorado em engenharia) – Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARAÚJO, J. M. **Curso de concreto armado**. 4 ed. Rio Grande: editora Dunas, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2018.

_____. **NBR 6118: Projeto em estruturas de concreto – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

CATÁLOGO BOSCH. **Furadeira de impacto GSB 24-2 profissional**. Disponível em: <https://www.bosch-professional.com/br/pt/products/gsb-24-2-060119C8E0>. Acesso em: 28 de abr. 2020.

CATÁLOGO DIGIMESS. **Paquímetro digital (dígitos grandes)**. Disponível em: <https://www.digimess.com.br/paquimetros-digitais-digitos-grandes-2>. Acesso em: 28 de abr. 2020.

CATÁLOGO VONDER. **Serra copo diamantada com haste 50mm**. Disponível em: http://www.vonder.com.br/produto/serra_copo_diamantada_com_haste_50_mm_vonder/14064. Acesso em: 28 de abr. 2020.

FERREIRA, R. M. **Avaliação de Ensaios de Durabilidade do Betão**. 2000. Dissertação (Materiais e Reabilitação da Construção) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Guimarães – Portugal, 2000.

FIGUEIREDO, P. E.; MEIRA, G. **Corrosão das armaduras das estruturas de concreto**. 1 ed. México: Alconpat, 2013.

FREIRE, K. R. R. **Avaliação do desempenho de inibidores de corrosão em armaduras de concreto**. 2005. Dissertação de mestrado – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 2005.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em estruturas de concreto armado**. São Paulo, 1993.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **General Principles on the Design of Structures for Durability**. ISO 13823. Geneva: ISO/TC, 2008.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, **Organização meteorológica mundial alerta para níveis recordes de gases de efeito estufa na atmosfera**. Disponível em <https://nacoesunidas.org/organizacao-meteorologica-mundial-alerta-para-niveis-recordes-de-gases-de-efeito-estufa-na-atmosfera/>> Acesso em: 28 de abr. 2020.



PEREIRA, V. C. O.; MONTEIRO, E. C. B. **Avaliação da capacidade de proteção de adições minerais em relação à corrosão de armaduras devido à carbonatação.** Belo Horizonte, 2011.

POLICRETO ENGENHARIA. **Recuperação estrutural de concreto.** Disponível em: <https://tratamentodeconcreto.com.br/recuperacao-estrutural-de-concreto.php>. Acesso em: 04 de nov. 2020.

POSSAN, E. **Modelagem da carbonatação e previsão de vida útil de estruturas de concreto em ambiente urbano.** 2010. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

RILEM. **Measurement of hardened concrete carbonation depth.** TC56-CPC 18, 1988.

RIBEIRO, P. H. L. C. **Realcalinização eletroquímica de estruturas de concreto armado carbonatadas inseridas no meio urbano – influência de características da estrutura no comportamento do tratamento.** 2009. Dissertação – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa – PB, 2009.

RIPPER, T.; SOUZA, V. C. M. de **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1 ed. São Paulo: editora Pini, 1998.

SOARES, M. E. A. **O passo a passo da recuperação estrutural convencional.** Disponível em <http://www.secovi-ce.com.br/index.php/noticias/1907-o-passo-a-passo-da-recuperacao-estrutural-convencional-.html> Acesso em: 20 de out. 2020.



APÊNDICE A: Tabela de coleta de dados das amostras.

Tabela de coleta de dados das amostras:				
Edifício	Ano de construção	Local da amostra	Orientação da superfície	Medidas (mm)
				7,50
				8,10
A	2014	Piso do estacionamento	Vertical	8,00
			Horizontal X	7,60
			Data da extração 05/09/2020	7,30
				7,30
			Data da medição 06/09/2020	7,10
				7,00
			Média	7,49
Edifício	Ano de construção	Local da amostra	Orientação da superfície	Medidas (mm)
				7,20
				7,60
B	2009	Piso do estacionamento	Vertical	8,60
			Horizontal X	8,20
			Data da extração 05/09/2020	8,40
				8,40
			Data da medição 06/09/2020	8,60
				8,10
			Média	8,12
Edifício	Ano de construção	Local da amostra	Orientação da superfície	Medidas (mm)
				6,00
				6,30
C	2015	Piso do estacionamento	Vertical	6,50
			Horizontal X	6,10
			Data da extração 29/08/2020	5,80
				5,90
			Data da medição 30/08/2020	6,00
				6,20
			Média	6,10



APÊNDICE A, continuação: Tabela de coleta de dados das amostras.

Tabela de coleta de dados das amostras.				
Edifício	Ano de construção	Local da amostra	Orientação da superfície	Medidas (mm)
				27,30
				27,90
D	2012	Piso do estacionamento	Vertical	27,80
			Horizontal X	27,60
			Data da extração 12/09/2020	28,30
				28,00
			Data da medição 13/09/2020	28,00
				27,90
			Média	27,85
Edifício	Ano de construção	Local da amostra	Orientação da superfície	Medidas (mm)
				18,80
				18,90
E	1974	Viga externa	Vertical X	19,30
			Horizontal	19,20
			Data da extração 06/09/2020	18,80
				18,90
			Data da medição 07/09/2020	19,00
				19,30
			Média	19,03

Fonte: Autor (2020).

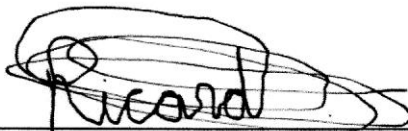
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MAURICIO ARIEL GARCIA

**ESTUDO DE CASO: LEVANTAMENTO DA PROFUNDIDADE DE
CARBONATAÇÃO EM ELEMENTOS DE CONCRETO NO MUNICÍPIO DE
CASCAVEL-PR**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor Mestre Ricardo Paganin.

BANCA EXAMINADORA



Orientador Prof. Mestre Ricardo Paganin
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora Doutora Ligia Eleodora Francovig Rachid
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil



Professora Mestre Debora Felten
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel, 04 de dezembro de 2020.