



**CENTRO UNIVERSITÁRIO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS
UNIPAC BARBACENA
ENGENHARIA CIVIL**

AMANDA BARROSO MAMEDES

**PATOLOGIA DO CONCRETO ARMADO
CARBONATAÇÃO**

**BARBACENA/MG
2022**

AMANDA BARROSO MAMEDES

PATOLOGIA DO CONCRETO ARMADO
CARBONATAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Presidente Antônio Carlos – FUPAC como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.
Orientadora: Dra. Suymara Toledo Miranda

BARBACENA/MG**2022**

MAMEDES, Amanda Barroso Mamedes. **Patologia no concreto armado. Carbonatação.** Barbacena: ano. 2022. 18p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Centro Universitário Presidente Antônio Carlos.

Resumo: O concreto, por ser um material construtivo amplamente utilizado há muitos anos, pode apresentar algumas doenças, as ditas patologias, no decorrer do tempo. Com o aumento de dióxido de carbono ou, como é mais conhecido, gás carbônico, foi observada a patologia de carbonatação, que age de fora para dentro, pelos poros do concreto, carbonatando a sua superfície até atingir seu interior, diminuindo o pH até que chegue na armadura, destruindo a película que protege esse aço, e assim acontece a corrosão. Dessa forma, este artigo tem por objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, identificar as causas patológicas da carbonatação, bem como os fatores que influenciam na ocorrência dessa patologia, a fim de evitar ou, no mais tardar, tentar corrigi-la. Por mais que se trate de um processo razoavelmente lento, o processo de carbonatação pode chegar mais rapidamente até o aço de acordo com a má execução, falta de qualidade no cimento e o não cumprimento da norma NBR 6118/2014, que cita a espessura de cobrimento que protege a armadura. Outros fatores que podem aumentar a velocidade da carbonatação são o meio em que a estrutura se encontra, a temperatura e umidade relativa do ar. Pode-se utilizar alguns métodos para que os poros do concreto sejam preenchidos, impermeabilizando sua frente e dificultando a entrada de agentes agressivos, tudo isso para que diminua a velocidade e até mesmo a chance de acontecer a carbonatação, evitando que a estrutura seja afetada e conservando assim o concreto dessa patologia, prolongando a vida útil da construção.

Palavras-chave: Patologias do concreto. Vida útil do concreto. Carbonatação. Execução preventiva. Dióxido de carbono.

Abstract: Concrete, as a constructive material widely used for many years, can present some diseases, such as pathologies, without the occurrence of time. With the increase of carbon dioxide or, as it is better known, carbonic gas, a pathology of carbonation was observed, which was from the outside to the inside, through the pores of the concrete, carbonating its surface until reaching its interior, observing the pH until it reached arrives at the armor, destroying the film that protects this steel, and thus corrosion occurs. Thus, this article aims, based on a bibliographical review, to identify the pathological causes of carbonation, as well as the factors that affect the occurrence of this pathology, in order to avoid or, at the latest, try to correct it. As much as it is a reasonably slow process, the carbonation process can reach the steel more quickly due to poor execution, lack of cement quality and non-compliance with the NBR 6118/2014 standard, which mentions the thickness of covering that protects the armor. Other factors that can increase the speed of carbonation are the medium

in which the structure is located, the temperature and relative humidity of the air. Some methods can be used to fill the pores of the concrete, waterproofing its front and making it difficult for aggressive agents to enter, all this to reduce the speed and even the chance of carbonation, preventing the structure from being protected and thus preserving the concrete from this pathology, prolonging the useful life of the construction.

Keywords: Concrete pathologies. Concrete lifetime. Carbonation. Preventive execution. Carbon dioxide.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil está presente no cotidiano das pessoas há milhares de anos e, como toda tecnologia, vem se renovando gradativamente. Com isso, novos problemas vêm surgindo e estudos têm de ser feitos para a correção. No Brasil, grande parte da construção civil é realizada em concreto armado e o mesmo apresenta uma grande quantidade de patologias. Essas patologias podem gerar vários prejuízos à estrutura e, além disso, podem levar ao desabamento e mortes em alguns casos (CHEN *et al.*, 2020).

O concreto armado é composto pela massa do próprio concreto junto com barras de aço. Esse aço, conhecido como ferragem, é responsável por tornar a estrutura muito mais rígida, isso porque enquanto o concreto resiste muito bem a movimentos verticais (compressão), o aço é resistente aos movimentos laterais (tração). Sendo assim, a estrutura de concreto armado é a mais utilizada em diversos tipos de construção, em vigas, lajes e pilares (BASTOS, 2019).

A melhor forma de aumentar a vida útil de uma edificação é prevenindo, preservando e corrigindo patologias que surgem. Uma causa muito comum, por exemplo, é o ambiente onde se está construindo ser atingido por agente físicos causadores de patologias comuns (CARVALHO, 2014). As patologias são ditas como estruturas doentes, isso porque, em algum estágio do seu desenvolvimento, alguma etapa ou norma não foi cumprida de acordo. Como as edificações em concreto armado não têm uma durabilidade definida, patologias não previstas vão surgindo de acordo com o desgaste do concreto, assim, novos estudos vão sendo iniciados para correção da mesma (CAPRARO *et al.*, 2019).

Uma das patologias que acometem o concreto armado é conhecida como carbonatação. O agente causador dessa patologia é o gás carbônico (CO_2), que penetra na face do concreto, reagindo com a umidade encontrada no interior da

estrutura, chegando até o aço, desestabilizando sua película passivo-protetora. (TRINDADE, 2015).

Dessa forma, este artigo tem por objetivo, a partir de uma revisão bibliográfica, identificar as causas patológicas da carbonatação, bem como os fatores que influenciam na ocorrência dessa patologia, a fim de evitar ou, no mais tardar, tentar corrigi-la.

2 DESENVOLVIMENTO

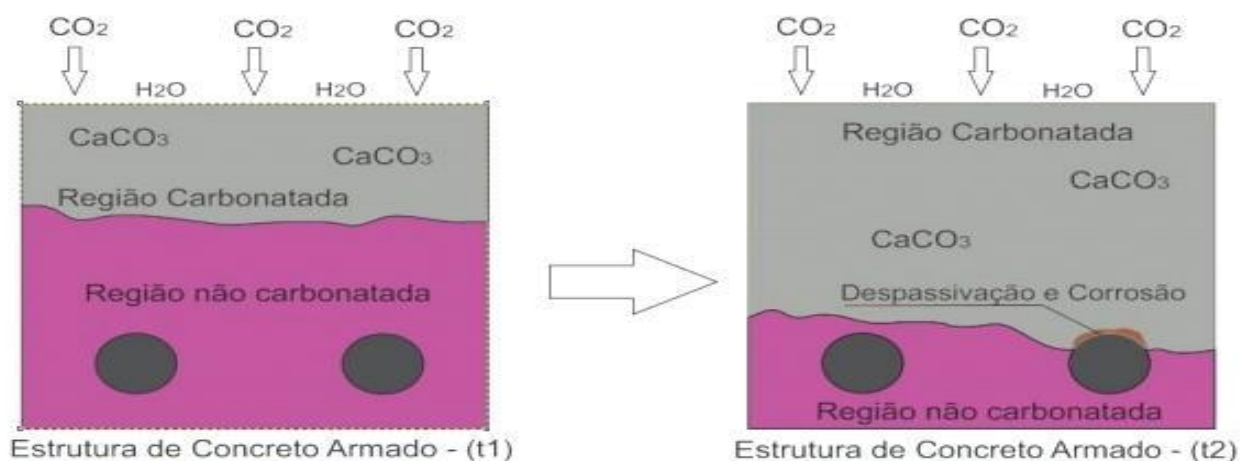
2.1 Carbonatação

A palavra patologia tem origem grega: *páthos* = doença e *logos* = estudos (NAZÁRIO E ZANCAN, 2011), então pode ser dito que é o estudo de doenças. Trazendo isso para a engenharia, estudo dos danos em edificações, na maioria das vezes causados por falhas em projetos, fiscalização incorreta da obra e má execução. Sabe-se que apenas um desses fatores não gera o problema, mas na maioria das vezes a junção dos vários pequenos erros (TRINDADE, 2015).

São inúmeras as possíveis causas das patologias, seja por ação química, física, químico-física etc., ainda mais se tratando de concreto armado. Como um dos problemas mais prevalentes na durabilidade do concreto, a carbonatação é definida como uma reação química pela qual o CO_2 permeia o concreto através de microdefeitos e reage com os produtos de hidratação, formando principalmente carbonato de cálcio (CaCO_3). Isso leva à corrosão do aço de reforço, interferindo nas propriedades mecânicas das estruturas. A carbonatação abrange gradativamente a superfície interna do concreto até que chegue na armadura (BARIN, 2008).

Na FIG. 1, está representado um esquema ilustrativo elaborado por Tasca (2012), referente à frente de carbonatação no concreto até a despassivação e corrosão da armadura.

Figura 1. Carbonatação até a despassivação e corrosão da armadura.



Fonte: Tasca, 2012.

Se a carbonatação se mantivesse apenas na parte do cobrimento, ela não seria algo negativo. Na verdade, localizada apenas na parte do cobrimento, ela aumentaria a resistência química e mecânica do concreto. No entanto, com a carbonatação atingindo o aço, acontece a desestabilização da película passivadora da armadura (CHEN *et al.*, 2020). Nesse momento o problema aumenta, uma vez que sem sua proteção o aço começa a oxidar e sofre um aumento de volume, modificando a estrutura dos poros, causando fissuras no concreto, facilitando ainda mais a entrada do CO_2 (FIG. 2). A estrutura, quando submetida a esse estado, deixa de ter as características estabelecidas para que ela cumpra seu propósito, perdendo parte da sua resistência mecânica, ductilidade e segurança, podendo em piores situações levar a estrutura a colapso (ARAÚJO, 2017).

Figura 2. Armadura em estado de corrosão devido a carbonatação.

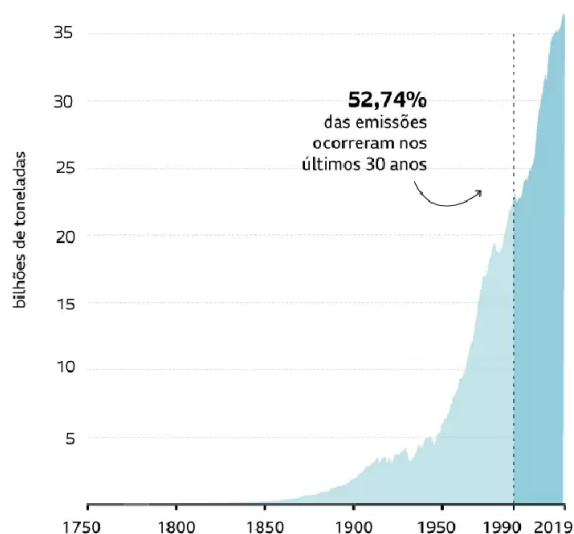


Fonte: Tecnosil, 2022.

A urbanização tem influência direta nessa patologia, pois com o crescimento urbano novas indústrias vão surgindo. Além disso, ocorre ainda o aumento de automóveis para a circulação, levando a um acréscimo das emissões de gases, como por exemplo o gás carbônico. Na FIG. 3 observa-se que 52,74% da emissão de gás carbônico ocorreu de 1990 até 2019, isso significa que nesses quase 30 anos a liberação de gases foi maior que nos 240 anos anteriores. O gás de maior influência da carbonatação é o mesmo que é liberado nas indústrias e em veículos, por isso as áreas que mais sofrem esse processo são os viadutos, pontes e até mesmo os estacionamentos (CHEN *et al.*, 2020).

Figura 3. Emissões totais de CO₂ por ano.

Emissões totais de CO₂ por ano



Fonte: Global Carbon Project (2020)

Apesar de ser um processo lento, a carbonatação acontece sem que possa ser percebida, pois começa da superfície externa para a interna do concreto e, justamente por isso, torna-se de extrema importância a camada de cobrimento do concreto (FERREIRA, 2013). De acordo com a NBR 6118/2014 p. 20.

“O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão transversais à armadura principal dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento da armadura. Aberturas características limites de fissuras na superfície do concreto, dadas em 13.4.2, em componentes ou elementos de concreto armado, são satisfatórias para as exigências de durabilidade. 7.6.2 Devido à sua maior sensibilidade à corrosão sob tensão, o controle de fissuras na superfície do concreto na região das armaduras ativas deve obedecer ao disposto em 13.4.2.”

A forma mais comum de perceber essa patologia é quando a armadura já está em estado de corrosão e por isso exposta, mas há um produto utilizado que pode detectar a carbonatação, a fenolftaleína. Por se tratar de um indicador ácido-base, ao misturar a fenolftaleína ao álcool e jogar esse produto na estrutura é possível identificar quando o pH está alto ou baixo. Quando o pH está alto, à medida que a mistura fenolftaleína + álcool seca, aparece uma coloração no tom de roxo, que significa que não está carbonatada, já a parte sem coloração, terá o pH abaixo de 8,3, o que indica que essa parte já está carbonatada (VALENÇA, 2016).

2.2 Fatores de influência da carbonatação

Embora a carbonatação aconteça em um processo lento e gradativo, há alguns fatores que podem ajudar na velocidade e profundidade de sua ocorrência: condições ambientais do local em que a estrutura se encontra, o material utilizado e a qualidade do concreto, bem como o processo de execução (PAULETTI, 2009).

2.2.1 Quanto às características do material

O cimento é um aglomerante muito importante na construção civil e a partir da sua composição encontra-se a quantidade de álcalis para a reação da carbonatação. O tipo de cimento, a relação água/cimento e os agregados têm interferência no tamanho dos poros, que é por onde se dá passagem do gás carbônico. No processo de execução, principalmente compactação e cura, pode-se intensificar a frente a ser carbonatada, isso porque a cura tem relação com a hidratação, que impacta diretamente na penetração de agentes agressivos, pois quanto maior for a hidratação, melhor será a densificação depois de pronto e menor a taxa de penetração desses agentes (LOLLINI E REDAELLI, 2021).

A carbonatação será diretamente influenciada pela relação água/cimento, tipo de cimento e pelo processo de execução:

- a) Relação água/cimento (a/c): possui relação direta com a velocidade e a profundidade da carbonatação. À medida que vai sendo atingida certa profundidade do concreto, vai ficando mais difícil a penetração do CO_2 , e quanto menor a relação a/c, menor será a permeabilidade, ocorrendo o preenchimento dos poros, conseqüentemente diminuindo a velocidade da carbonatação (FIGUEIREDO, 2004). Em alguns casos, para diminuir essa relação água/cimento, são utilizados aditivos plastificantes, que têm como objetivo reduzir ou manter o consumo de água do concreto sem que a consistência do material seja alterada, melhorando a resistência final (FUSCO, 2008).
- b) Tipo de cimento: um fator importante é a composição química do cimento, que possui uma reserva de alcalinos, neutralizando e retardando a carbonatação.

O cimento *Portland* puro possui uma reserva de álcalis maior do que o cimento com adições minerais, fazendo com que haja menor difusão do CO_2 no *Portland*. Dois efeitos ocorrem eventualmente na pasta de cimento, bem como na estrutura de concreto: o efeito fíler, que se trata de uma ação física, e o efeito pozolânico, que é resultado de uma ação química (FERREIRA, 2013). Segundo Mehta e Monteiro (2008), o fíler é a substituição de parte do cimento por adições minerais, fazendo com que haja diminuição dos vazios do concreto, deixando-o mais compacto, aumentando assim sua resistência e retardando a carbonatação, uma vez que há a redução da entrada dos agentes agressivos. Os autores, após um estudo de cimentos com adição de fíler, calcário e escória de alto forno, verificaram que o tipo de cimento tem mais interferência na velocidade da carbonatação que as condições de cura. Já o efeito pozolânico significa que o material tem a capacidade de reduzir o calor de hidratação do cimento, de inibir a reação álcali-agregado, de elevar a resistência ao ataque por cloretos e sulfatos, ou seja, em suma, a pozolana é uma adição que eleva a durabilidade do concreto com relação a muitos agentes agressivos (RAISDORFER, 2015).

- c) Execução: o processo de execução e a cura afetam diretamente a durabilidade do concreto. A cura afeta a microestrutura do meio, dessa forma, quanto maior o tempo de cura, maior será a hidratação do concreto, diminuindo a permeabilidade e porosidade (KULAKOWSKI, 2002). A permeabilidade está relacionada à boa execução em obra, Souza e Ripper (1998) cita que o lançamento incorreto do concreto nas fôrmas ou até mesmo a utilização inadequada de instrumentos específicos para o adensamento, mal posicionamento das armaduras, acréscimo de água sem seguir o traço, são fatores que afetam a qualidade da estrutura, diminuindo a permeabilidade. A compactação não é diferente, sua frente pode ser carbonatada com maior velocidade caso haja uma ineficiência ou deficiência na execução, pois quando acontece falha na compactação, como o excesso de ar aprisionado e aumento dos poros, facilita a entrada dos gases responsáveis por essa patologia (KULAKOWSKI, 2002). O cimento, após endurecido, pode influenciar na espessura do cobrimento através das propriedades mecânicas e pelos poros, esse cobrimento é o que vai proteger a película protetora

(camada passivadora) da armadura, evitando que aconteça a corrosão. Portanto, quanto mais fino esse cobrimento, menor será o tempo até que os agente agressores tomem conta da estrutura e, além disso, aumenta a chance de fissura e deslocamento do concreto, deixando assim a armadura mais exposta aos meios agressivos, favorecendo a carbonatação (FERREIRA, 2013).

2.2.2 Quanto às condições do ambiente e de exposição

De acordo com o lugar que a obra for construída, o ambiente vai interferir na aceleração da carbonatação. Nos centros urbanos, a emissão de gases é muito maior devido à poluição concentrada nestes pontos, tendo uma concentração de gás carbônico mais elevada do que em áreas rurais, por exemplo (VALENÇA, 2016).

Chen *et al.*, (2020) fizeram um estudo sobre mudanças climáticas no século 21 com base na previsão do clima e se concentrou em estudar o quanto essas alterações afetariam a durabilidade do concreto, um modelo de carbonatação considerando concentrações de CO_2 , temperatura e umidade. De acordo com os autores a mudança de temperatura tem um impacto significativo na penetração de CO_2 no concreto, na taxa de reação entre CO_2 e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e na taxa de dissolução de CO_2 e $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na água dos poros. As temperaturas globais aumentaram cerca de $0,86^\circ\text{C}$ em comparação com o final século 19 e estão aumentando em $0,12^\circ\text{C}$ por décadas, até o final do século 21 estima-se que exceda $1,5^\circ\text{C}$ em relação a 1850 a 1900. No estudo em questão, portanto, observou-se que os resultados do modelo de carbonatação estavam em concordância. Por estar analisando a mudança climática de três cidades, descobriu-se que a alta relação A/C induz o concreto à carbonatação mais rápida do que a do concreto com baixa relação A/C.

Assim, Chen *et al.* (2020) concluíram que as mudanças climáticas aumentam a taxa de carbonatação das estruturas de concreto e, no pior cenário, a taxa de carbonatação continuará aumentando; para os melhores cenários de emissão, atingirá o máximo em meados do século e depois declina nas três cidades. A mudança climática resultaria em profundidades finais de carbonatação muito mais altas a longo prazo. O efeito de mudanças climáticas nas estruturas de concreto armado existentes e novas devem ser consideráveis. As mudanças climáticas

alteraram o ambiente de atendimento das estruturas em prazos mais longos, causando aceleração do processo de deterioração, levando a rachaduras e fragmentações induzidas pela corrosão, especialmente causando corrosão das barras de aço. O resultado disso é que a estrutura entrará na fase de manutenção antes do previsto.

Outros fatores ambientais interferem no processo de carbonatação, sendo eles:

- a) Umidade relativa do ar: em um primeiro momento, a umidade pode influenciar na hora da cura do concreto, afetando a hidratação e consequentemente os poros. O grau de saturação também tem relação com a umidade relativa do ar, controlando a passagem de gás carbônico para o interior do concreto (FIGUEIREDO, 2004). O concreto absorve umidade com facilidade e a secagem acontece de forma lenta, quando a umidade é alta obstrui os poros dificultando a passagem de gás para dentro do concreto. Da mesma forma, quando a umidade relativa é muito baixa, o processo de carbonatação também não ocorre facilmente, pois o CO_2 não tem as moléculas de H_2O para reagir. O avanço da frente de carbonatação acontece com mais recorrência em ambientes com 60% de umidade, pois assim os poros não estarão obstruindo a passagem dos gases e com essa porcentagem de umidade acontece a difusão do gás carbônico com as moléculas de água (TASCA, 2012).
- b) Temperatura: a temperatura do ar para a carbonatação acontece de forma indireta, uma vez que ela contribui, na verdade, para o desenvolvimento das reações (TASCA, 2012). A variação da temperatura afeta a velocidade da carbonatação, pois afeta a saturação dos poros e evaporação da água, aumentando a velocidade da difusão. Sob a temperatura entre 20°C e 40°C , a difusão é controlada, tendo influência quase nula (LOLLINI E REDAELLI, 2021).
- c) Condição de exposição: a condição em que se encontra a estrutura, seja um pilar, laje ou qualquer componente feito de concreto armado, faz a diferença para o avanço da carbonatação. Quando se trata de um ambiente externo, a velocidade da carbonatação costuma ser maior que a de um ambiente interno. E quando ambos os ambientes são externos, o

que não estiver protegido da chuva terá velocidade de carbonatação menor do que comparado ao ambiente protegido de chuva (CHEN *et al.*, 2020).

- d) Concentração de gás carbônico (CO_2): o dióxido de carbono, mais conhecido como gás carbônico, é um componente natural da atmosfera, inodoro e incolor, emitido principalmente pelo uso de combustíveis fósseis, sendo eles, o petróleo, carvão e gás natural. A concentração de CO_2 em volume nas atmosferas rurais varia de 0,03 a 0,05%, em lugares de tráfego pesado de 0,1 a 1,2% e em certos ambientes e atmosferas viciadas, como silos, tanques industriais, etc., essa concentração pode atingir até 1,8%. A concentração de dióxido de carbono é um fato preponderante para a evolução da carbonatação (VALENÇA, 2016).

2.3 Como a carbonatação afeta a estrutura

A detecção precoce da patologia é a chave para evitar que maiores danos ocorram no futuro (FUSCO, 2008). A corrosão da armadura pode ocasionar vários danos estruturais, além de afetar a estética da estrutura, além disso, um problema que também ocorre é a diminuição da seção do aço, fazendo com que o mesmo perca a aderência com o concreto levando ao deslocamento, afetando diretamente a durabilidade e reduzindo a sua vida útil. A corrosão do aço é considerada uma anomalia grave, resultando na perda de parte da resistência da armadura e, não atendendo ao esforço que lhe é solicitado, a estrutura pode chegar a colapso estrutural, com desabamento de pilares, lajes, edifícios (VALENÇA, 2016).

Em seu estudo, Lollini e Redaelli (2021) relataram a carbonatação natural de concretos com diferentes ligantes, relações água/ligante e cura. Nesse teste utilizou-se o cimento *Portland* e cinco cimentos misturados. Os cimentos misturados foram obtidos substituindo parte do cimento por 15% e 30% de calcário moído (15LI e 30LI), 30% de cinzas volantes da classe F (FA), 30% de pozolana natural (PZ) e 70% de granulada de alto forno (GGBS). Também foram utilizadas três relações água/aglutinante, curada 1, 7 e 28 dias e exposta por mais de 12 anos em condições de abrigo. Os autores verificaram que os concretos com cimento *Portland*

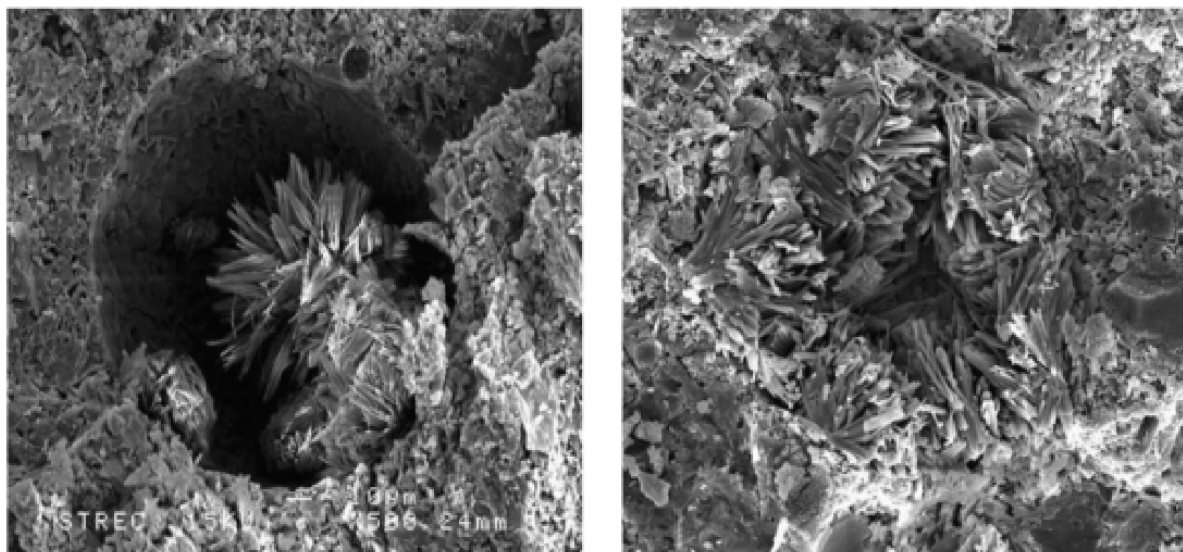
apresentaram maior carbonatação se comparados aos concretos com calcário e cimentos pozolânicos. No entanto, a cura pareceu ser menos eficaz do que o tipo de ligante e a relação água/ligante. Ainda segundo Lollini e Redaelli (2021) o conhecimento da resistência à carbonatação no ambiente de exposição é necessário, testes de exposição natural são essenciais para validar testes de curto prazo e fazer previsões confiáveis do comportamento em um ambiente real.

2.4 Maneiras corretivas e preventivas

Ao notar que a estrutura ou parte dela está carbonatada, a primeira providência a ser tomada é realizar uma vistoria para certificar-se dessa anomalia e avaliar causas e soluções para recuperar ou reforçar a estrutura (MARIANO, 2020). Em casos de carbonatação, a solução que se tem é realizar realcalinização, que consiste em elevar o pH do concreto. Para isso, utiliza-se uma malha de titânio imersa em eletrólito alcalino, reestabelecendo o pH. Não é necessária a remoção do concreto carbonatado, servindo também como forma de prevenção. No entanto, quando a parte carbonatada é muito extensa, esse processo acaba se tornando inviável (ARAÚJO, 2009).

Outra medida que pode ser tomada para evitar essa patologia é diminuir a porosidade do concreto. Medeiros, Andrade e Helene (2011) citam algumas formas, dentre elas os bloqueadores de poros, compostos por silicato, que entra nos poros e cria uma camada superficial, reduzindo a permeabilidade dos elementos e mantendo a aparência do concreto. Pode-se contar ainda com os hidrofugantes de superfície, que têm uma propriedade impermeabilizante, criando uma camada hidrófuga que dificulta a passagem de água em forma líquida, porém, permite a saída em vapor, fazendo com que o concreto possa “respirar”. Um exemplo pode ser o sistema de vedação cristalina que, além da possibilidade da aplicação na estrutura, pode ser acrescentado no concreto, fazendo parte do traço, reduzindo os poros através da formação de cristais insolúveis, como visto na FIG. 4, preenchendo os vazios de forma a tornar a estrutura impermeável.

Figura 4. Início da cristalização no poro no lado esquerdo até todo o preenchimento de cristais no lado direito.



Fonte: Kalsing, 2020.

Como medida de proteção superficial, existem os formadores de películas, que podem ser divididos em dois grupos, de tintas e vernizes, tendo como diferença principal a pigmentação, embora ambos possuam o mesmo efeito em caso de proteção contra a carbonatação, que é formar uma película sólida sobre a superfície (MEDEIROS, ANDRADE, HELENE, 2011).

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme visto ao decorrer deste trabalho, o concreto é um componente muito importante para a construção civil, sua empregabilidade está desde a fundação até a laje da estrutura, por isso é tão importante que o conhecimento sobre ele seja cada vez mais expansivo. Sua execução e o cumprimento das normas, principalmente no que se refere à espessura de cobrimento e qualidade do cimento, faz toda a diferença no final do projeto, pois é dessa forma que será minimizado o possível surgimento de patologias, principalmente se tratando de carbonatação, e assim aumentando a vida útil da estrutura.

Observou-se ainda que a principal causa da ocorrência da carbonatação é devido ao dióxido de carbono, que é inevitável nos dias atuais. A evolução da carbonatação vai depender da localidade em que se encontra a estrutura, uma vez

que em locais mais urbanizados, a velocidade dessa carbonatação será mais avançada do que em áreas rurais, assim como em viadutos essa patologia tende a ser mais acelerada também. Isso ocorre devido à concentração de gás carbônico na atmosfera.

O concreto tem um pH altamente alcalino, e esse pH alto é o que forma a película de proteção da armadura. Como a carbonatação acontece de fora para dentro da estrutura, ela vem diminuindo o pH do concreto e quando atinge a armadura, destrói a película passivadora do aço. Nesse estágio começa acontecer a corrosão, que por sua vez vai causando fissuras no concreto e expondo a armadura ao ambiente.

Em caso de edifícios, quando o concreto já está carbonatado e sua armadura aparecendo, denota uma imagem estética ruim e traz insegurança aos moradores, além de oferecer um risco para a estrutura, pois reduz a resistência sob a qual a obra foi projetada, de forma que possa levar ao colapso. Com o avanço e os novos estudos, há sempre medidas paliativas a que se possa recorrer, porém, o mais viável nessa patologia é realmente evitar.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Fernanda Wanderley Correa de. **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

ARAÚJO, Renata, **Avaliação da Profundidade de Carbonatação em Estruturas de Concreto Armado de uma Refinaria de Petróleo com Vida Útil Maior de 40 anos**. 2º Simpósio Paranaense de Patologia das Construções (2º SPPC), artigo 2SPPC1022, pp. 266–274, 2017. DOI: 10.4322/2SPPC.022. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 238 p. Rio de Janeiro, 2014.

BARIN, Daniel Sacchet. **Carbonatação e absorção capilar em concretos de cimento Portland branco com altos teores de adição de escória de alto forno e ativador químico**. 2008. 171 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

BASTOS, Paulo Sérgio. **Estrutura do concreto I**: Fundamentos do concreto armado. Textos para aula 2117 do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Bauru/SP, 2019.

CAPRARO, Ana Paula Brandão et al. Estudo da previsão da vida útil de uma estrutura em concreto armado: iniciação da corrosão por carbonatação. **Revista de Engenharia Civil IMED**, v. 6, n. 2, p. 53-68, 2019.

CARVALHO, Rodrigo R. Engenharia e Estruturas. **Patologias em concreto armado**. 2014.

CHEN, Guofang. Et al. Mingqian Yang Carbonation depth predictions in concrete structures under changing climate condition in China. **Journal Pre-proofs**, 2020.

FERREIRA, Murillo Batista. **Estudo da carbonatação natural de concretos com diferentes adições minerais após 10 anos de exposição**. 2013. 197 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

FIGUEIREDO, Chenia Rocha. **Estudos da carbonatação em estruturas de concreto armado em Brasília** - Avaliação de pilares, tese de doutorado. Publicação E.TD-003 A/2004, departamento de engenharia civil e ambiental, universidade de Brasília, Brasília, DF, 218p. 2004.

FUSCO, Pérciles Brasiliense. **Tecnologia do concreto estrutural**: tópicos aplicados. 1ª ed. São Paulo: PINI. 2008.

KALSING, Felipe Schneider. K14c **Causas e efeitos da carbonatação na durabilidade do concreto armado** [recurso eletrônico]. Felipe Schneider Kalsing. – 2020. 1 recurso online (iv, 46 f. : il., color.) : pdf. 2020.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa**. 2002. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LOLLINI, Federica; REDAELLI, Elena. **Carbonation of blended cement concretes after 12 years of natural exposure**. 2021.

MARIANO, Gustavo Henrique Costa. **Manutenção preventiva corretiva em edificações**: uma revisão de literatura. Engineering Sciences, v. 8, n. 2, p. 10-17, 2020.

MEDEIROS, Marcelo Henrique de; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; HELENE, Paulo Roberto do Lago. Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. In: ISAIA, Geraldo Cechella. **Concreto: Ciência e Tecnologia**. 1ª ed. São Paulo: IBRACON, 2011.

MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo. J. M. **Concreto**: microestrutura, propriedades e materiais. 3. ed. São Paulo: IBRACON. 674 p, 2008.

NAZARIO, Daniel; ZANCAN, Evelise C. **Manifestações das patologias construtivas nas edificações públicas da rede municipal e Criciúma**: Inspeção dos sete postos de saúde. 2011. 16f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina, 2011.

PAULETTI, Cristiane. **Estimativa da carbonatação natural de materiais cimentícios a partir de ensaios acelerados e de modelos de predição**. 2009. 285 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

RAISDORFER, Janderson William. **Influência da adição ou substituição de adições minerais ao cimento portland**: efeitos na carbonatação, absorção capilar e resistividade de concretos, 2015.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. Ed. Padrão. São Paulo: Pini, 1998.

TASCA, Maisson. **Estudo da carbonatação natural de concretos com pozolanas**: monitoramento em longo prazo e análise da microestrutura. 2012. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2012.

TECNOSIL, soluções especiais. **O que é e como a carbonatação do concreto?** 2022.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em Estruturas de Concreto Armado**. 2015. 88 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). UFSM - Universidade Federal de Santa Maria. Centro De Tecnologia. Santa Maria: UFSM, 2015.

VALENÇA, Daniel Victor da Costa. **Análise da deterioração do concreto por carbonatação natural com exposição às classes de agressividade ambiental marinha e respingos de maré.** 2016. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.