

CENTRO UNIVERSITÁRIO ATENAS

PAULO RICARDO PEREIRA RAMOS

CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Paracatu

2019

PAULO RICARDO PEREIRA RAMOS

CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Ciências Exatas e Tecnologia.

Orientador: Prof. Msc. Willian Soares Damasceno.

Paracatu

2019

R175c Ramos, Paulo Ricardo Pereira.
Carbonatação do concreto. / Paulo Ricardo Pereira
Ramos. – Paracatu: [s.n.], 2019.
36 f. il.

Orientador: Prof. Msc. Willian Soares Damasceno.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) UniAtenas.

1. Carbonatação. 2. Concreto armado. 3. Corrosão. 4.
Patologia. 5. Influência. I. Ramos, Paulo Ricardo
Pereira. II. UniAtenas. III. Título.

CDU: 62

PAULO RICARDO PEREIRA RAMOS

CARBONATAÇÃO DO CONCRETO

Monografia apresentada ao Curso de Graduação do Centro Universitário Atenas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Ciências Exatas e Tecnologia.

Orientador: Prof. Willian Soares Damasceno.

Banca Examinadora:

Paracatu – MG, 24 de outubro de 2019.

Prof. Msc. Willian Soares Damasceno
Centro Universitário Atenas

Prof. Msc. Hellen Conceição Cardoso Soares
Centro Universitário Atenas

Prof. Msc. Pedro Henrique Pedrosa de Melo
Centro Universitário Atenas

Dedico o presente trabalho a meus amigos e familiares que me acompanharam e me deram forças para continuar todos os dias em minha jornada. A vocês meu muito obrigado!!!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível!!! Me carregou em suas fortes mãos, me trouxe até aqui; me deu apoio nos momentos difíceis e mesmo sem dizer nada, sabia de tudo e confortava o meu coração. Muito obrigado meu Rei, meu Deus!!!

Gostaria de agradecer aos meus pais pelos seus ensinamentos, que muitas vezes sem entender me ensinaram a ser a pessoa que me tornei. E que apesar das dificuldades sempre me apoiaram e fizeram o possível para que eu pudesse chegar até aqui; sem vocês eu não sei o que faria. Meu muito obrigado, minha mãe Maria Zilmar e ao meu pai Flavio Cristiano.

Agradeço aos meus irmãos, que sempre torceram por mim, sempre me entenderam a mão quando precisei e me deram bons conselhos e que para mim são muito especiais, e também aos meus dois amigos que também considero irmãos. Muito obrigado a vocês, Raí Júnio, Lohane Pereira, Gefesson Teixeira e Paulo Henrique.

Agradeço aos meus professores, que com paciência e muita sabedoria, me passou seus conhecimentos, os quais sem eles eu não poderia me tornar um bom profissional. Me ensinaram mais do que uma profissão, me ensinaram a ser uma pessoa melhor, e que sempre acreditaram em nosso potencial, nos encorajando todos os dias a encarar os desafios. Muito obrigado a todos os meus professores da graduação!!! E em especial o professor Matheus Dias, que para mim é uma pessoa excepcional, é uma inspiração profissional, uma pessoa que me mostrou que sempre podemos fazer mais e melhor.

E muito mais especial ainda ao professor Carlos Chula, minha maior inspiração profissional, que me apresentou esse mundo novo que é a área de projetos estruturais, que com uma grande experiência me passou de forma esplêndida muito de sua sabedoria, e de maneira tão simples ao meu entendimento conceitos muitos importantes para minha vida profissional e pessoal; me ensinou muito. Uma pessoa que mesmo eu descreditando do meu potencial ele me olhava e dizia: você pode!!! Sempre que precisei foi alguém que se prontificou a me esclarecer qualquer coisa, a me ajudar. Apesar do fim da faculdade e sem saber do futuro te considero muito, para mim, um amigo que para sempre marcou minha vida. MUITÍSSIMO OBRIGADO!!!!

E não poderia me esquecer do professor William, que me deu todo suporte para que esse projeto pudesse existir. Uma pessoa fenomenal, que foi um ótimo professor de informática, e é um ótimo orientador e que possui um vasto conhecimento em sua área. A você William, muito obrigado!!!

“O pensamento dos Homens
deram mais ouro do que aquele que al-
guma vez foi retirado da Terra.”

Napolean Hill.

RESUMO

O processo de carbonatação é um problema patológico que tem se manifestado com grande frequência nas estruturas de concreto armado em geral. Essa manifestação tem atuado de forma negativa, de forma a prejudicar a estrutura, causando a despassivação das armaduras; o que é um grave problema, pois o concreto atua como uma camada protetora para o aço, porém quando ocorre a redução do pH o aço fica “exposto” como se não se-ouve uma região de proteção. E assim dá se o início do processo corrosivo das armaduras, à medida que evolui este quadro, há uma redução da área de aço o que conseqüentemente reduz a capacidade resistente da peça estrutural. Este trabalho tem como finalidade apresentar a forma que a carbonatação ocorre, bem como os mecanismos que influenciam neste processo e possíveis métodos que possam evitar ou tratar a ocorrência; o conteúdo será abordado de forma qualitativa trazendo uma melhor compreensão, fortalecendo conceitos e melhorando a base científica para os leitores deste trabalho. Utilizaremos como base referencias teóricas em matérias já publicadas como artigos, monografias, livros entre outros.

Palavra-Chave: Carbonatação. Concreto armado. Corrosão. Patologia. Influência.

ABSTRACT

The carbonation process is a pathological problem that has frequently manifested itself in reinforced concrete structures in general. This manifestation has acted negatively, in order to damage the structure, causing the depassivation of the armor; This is a serious problem, as concrete acts as a protective layer for steel, but when pH is reduced the steel is “exposed” as if a protective region is not heard. And so if the beginning of the corrosive process of the reinforcement, as this frame evolves, there is a reduction of the steel area which consequently reduces the resistant capacity of the structural part. This paper aims to present the way carbonation occurs, as well as the mechanisms that influence this process and possible methods that may prevent or treat the occurrence; The content will be approached in a qualitative way bringing a better understanding, strengthening concepts and improving the scientific basis for the readers of this work. We will use as theoretical basis references in articles already published as articles, monographs, books and others.

Keyword: *Carbonation. Reinforced concrete. Corrosion. Pathology. Influence.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema representativo da carbonatação	17
FIGURA 2 - Variação da porosidade na pasta para várias relações a/c	25
FIGURA 3 - Verificação da carbonatação com fenolftaleína	27
FIGURA 4 - Comparação das propriedades de argamassas	29
FIGURA 5 - Esquema da técnica de realcanilização de concreto	31

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

CO₂ - Dióxido de Carbono

CO₃ - Trióxido de Carbono

Ca - Cálcio

CaCO₃ - Carbonato de Cálcio

Ca(OH)₂ - Hidróxido de Cálcio

Ca²⁺ - íon cálcio

Fe₂O₃3H₂O - Óxido de ferro tri-hidratado

Fe₂O₃ - Óxido de ferro

H - Hidrogênio

H₂O - Água

H₂CO₃ - ácido carbônico

H₂S - Gás Sulfídrico

HCO₃ - Bicarbonato de Sais Iônicos

K⁺ - íon potássio

KOH - Hidróxido de Potássio

NaOH - Hidróxido de Sódio

Na₂CO₃ - Carbonato de sódio

Na⁺ - íon sódio

OH⁻ - Hidroxila

pH - potencial de hidrogênio

RAQ - Realcalinização química

RAE - Realcalinização eletroquímica

SO₂ - Dióxido de Enxofre

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA	13
1.2 HIPÓTESES	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 OBJETIVO GERAL	13
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.4 JUSTIFICATIVA	14
1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO	14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 CARBONATAÇÃO	16
2.1 CONSEQUÊNCIA DA CARBONATAÇÃO	17
2.1.1 REDUÇÃO DO PH	18
2.1.2 ALTERAÇÃO DA POROSIDADE E AUMENTO DE MASSA	18
2.1.3 RETRAÇÃO	19
2.1.4 AUMENTO DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL	19
2.1.5 CORROSÃO DO AÇO	20
3 CONDICIONANTES PARA A CARBONATAÇÃO	21
3.1 AMBIENTE DE EXPOSIÇÃO	21
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO	23
3.3 CONCRETAGEM	23
3.4 POROSIDADE	24
3.4.1 FATOR ÁGUA/CIMENTO	24
4 MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA	26
4.1 PREVENÇÃO A CARBONATAÇÃO	26
4.2 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA ESTRUTURA	26
4.3 MEDIDAS CORRETIVAS DOS EFEITOS DA CARBONATAÇÃO NO ESTADO INICIAL A DESPASSIVAÇÃO DA ARMADURA	28
4.3.1 REPARAÇÃO CONVENCIONAL	29
4.3.2 REALCALIZAÇÃO DO CONCRETO	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS	34

1 INTRODUÇÃO

O grande uso do concreto armado mostra que é um método construtivo de grande sucesso no Brasil, seja pelo custo mais baixo quanto pela facilidade que o material tem de ser utilizado e ser moldado a diferentes formatos. O concreto armado nasce da junção do concreto e aço, sendo o concreto composto por pasta de cimento combinado com agregados graúdos e miúdos que é capaz de criar uma mistura altamente resistente a compressão, sendo possível ainda ser modelado de infinitas formas. Assim o concreto além de resistir a compressão, que é uma força que comprime o material, também oferece ao aço proteção contra a ação de intemperes, processos esses que leva a degradação das armaduras e cria pontos de fragilidade na estrutura. O aço apresenta características resistente a trabalhos de tração, então é empregado na estrutura sendo um material complementar, já que o concreto não consegue resistir sozinho a esses esforços, sendo o processo de tração, uma força que faz com que haja um alongamento das fibras solicitadas. (BASTOS, 2014).

A partir desses aspectos, observa-se que com o envelhecer da estrutura, é inevitável que intemperes e erros, cause a deterioração da estrutura de forma prematura, levando-se a patologias, o que torna necessário conhecer de que forma essas manifestações se faz presente e como são capazes de influenciar favoravelmente ou negativamente. (SOUZA; RIPPER, 1998)

O processo de corrosão da armadura é uma das patologias mais comuns em estruturas, sendo essa causada principalmente pela carbonatação do concreto. A carbonatação em si não é prejudicial ao concreto no primeiro momento, já que melhora suas propriedades físicas e mecânicas, porém o avanço dessa manifestação faz com que haja a despassivação da armadura e conseqüentemente sua corrosão, fazendo com que o concreto esteja mais exposto a esforços de tração o qual não é capaz de resistir de forma significativa e pode-se assim levar ao colapso da estrutura. (SOUZA; RIPPER, 1998)

E diante, dessas informações, o presente trabalho visa apresentar, as principais informações, desde a concepção do problema até um desenvolvimento de um referencial teórico, a respeito da carbonatação dentro da construção civil

1.1 PROBLEMA

De que maneira a carbonatação pode influenciar nas estruturas de concreto?

1.2 HIPÓTESES

Acredita-se que a carbonatação é uma manifestação patológica que seja capaz de influenciar estruturalmente, de forma a fazer com que a estrutura composta de concreto não seja mais capaz de resistir a esforços solicitantes de compressão, sendo esse tipo solicitação de extrema importância quando se trata do concreto armado. Pode-se ainda devido aos problemas adquiridos pelo processo da carbonatação, possa causar a perda da capacidade de carga, o que pode levar a ruína de toda a estrutura por falha mecânica.

Estima-se também que possa causar a corrosão das armaduras que compõem o concreto armado, levando a perda da área de aço, o que possivelmente acaba levando o concreto a ser solicitado por forças de tração, para o qual não foi dimensionado, e também não é sua característica de uso estrutural; isso faz com que ocorra a ruptura do concreto por tração, podendo levar toda a edificação a ruína por ser um elemento de sustentação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Descrever sobre a ocorrência da carbonatação do concreto e sua influência nas estruturas de concreto.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Apresentar a respeito da ocorrência da carbonatação do concreto;
- b) Discorrer sobre os principais fatores causadores da carbonatação;
- c) Apresentar possíveis medidas corretivas dos efeitos da carbonatação no estado inicial a despassivação e corrosão das armaduras

1.4 JUSTIFICATIVA

Atualmente a utilização do concreto armado se faz muito necessário independentemente do porte do projeto, o que o torna uma solução econômica e de fácil trabalhabilidade devido a versatilidade quanto as possibilidades de seu uso, assim como também, pela facilidade em se encontrar mão de obra no mercado que saiba trabalhar com tais estruturas. Apesar de ser tão usual, em alguns casos, por falta de conhecimento ou técnica no momento de projetar e executar, é possível que ocorra o aparecimento de patologias, que trarão problemas futuros às obras, seja na forma estética, na utilização ou até mesmo podendo colocar em risco a vida de quem usufrui da obra final.

E assim, o presente trabalho se justifica porque a corrosão da armadura desencadeada pelo processo de carbonatação é uma manifestação patologia que se apresenta com grande ocorrência nos mais diversos tipos e porte de obra. E com isso procura-se discorrer sobre de que forma a carbonatação ocorre para que seja possível expor medidas afim de minimizar ou acabar com este problema. A questão principal desse problema patológico é a corrosão da armadura causada pela exposição da mesma, o que pode causar a perda da resistência das peças estruturais, fazendo com que a estrutura perca eficiência, e ainda de acordo com o grau de manifestação levar a ruína de toda a construção.

1.5 METODOLOGIA DO ESTUDO

A metodologia é a forma como um estudo é elaborado, deve ser feita de forma organizada, e tem como objetivo o direcionamento dos caminhos que serão trilhados na busca de uma pesquisa consistente, utilizando de métodos que possam dar credibilidade ao trabalho, sendo classificado de acordo com a metodologia utilizada. (GERHART; SILVEIRA, 2009)

Segundo Gerhart e Silveira (2009), o presente trabalho se apresenta de abordagem qualitativa, sendo uma pesquisa que busca uma melhor compreensão do assunto, no qual não tem como objetivo a representatividade por meio de dados quantitativos. Sendo uma pesquisa de natureza básica com que objetiva criar conhecimentos no intuito de melhorar a nossa base de conhecimento científico, de forma exploratória para proporcionar familiaridade com o assunto com a utilização de referências

teóricas já publicadas por meio de informação como artigos, livros, monografias, livros entre outros.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A monografia está disposta em 4 capítulos. Sendo que o capítulo 1, contém as informações sobre o tema que será abordado, como os objetivos, justificavas e introdução ao assunto.

O capítulo 2 descreve sobre a forma como o processo da carbonatação ocorre e de que forma influência as estruturas em concreto armado.

Por sua vez, o capítulo 3 discorre a respeito de quais são as condicionantes que interferem diretamente no processo de carbonatação do concreto.

Já o capítulo 4, mostra-se possíveis métodos afim de evitar o processo de carbonatação e tratar essas estruturas carbonatadas.

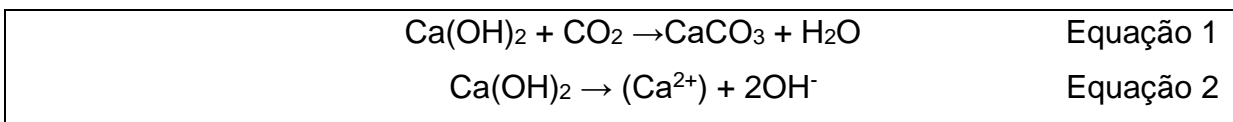
E por fim no capítulo 5 serão apresentadas as conclusões finais acerca do trabalho desenvolvido e possíveis temas que podem vir a complementar esse trabalho posteriormente.

2 CARBONATAÇÃO

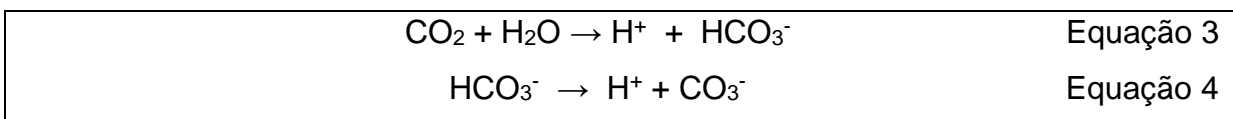
Carbonatação é um processo natural que ocorre do resultado da reação química de gases ácidos presentes no ambiente com elementos alcalinos do concreto, como por exemplo o dióxido de carbono em contato com a área de concreto exposta. Nesta combinação acontece a transformação dos íons alcalinos presente no concreto em carbonatos. É um evento comum devido à grande disponibilidade destes tipos de gases na atmosfera, mas é encontrado principalmente em grandes cidades, devido ao grande número de veículos, que são grandes lançadores desses gases. Essa reação pode acontecer na presença do (CO₂) famoso gás carbônico (é diferente de monóxido de gás carbônico CO), dióxido de enxofre (SO₂) e também o gás sulfídrico (H₂S), indo do de maior proporção para o de menor. Como resultado da pasta de cimento hidratada, são consumidos elementos como hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂) e hidróxido de sódio (NaOH), que são capazes de reagir quimicamente dando origem a carbonatação, sendo a reação entre o gás carbônico com o hidróxido de cálcio sendo a mais comum.

O dióxido de carbono entra no concreto através de pequenas fissuras ou pelos poros do concreto, onde na presença de umidade, ele se dilui formando o ácido carbônico (H₂CO₃) (TOKUDOME, 2009).

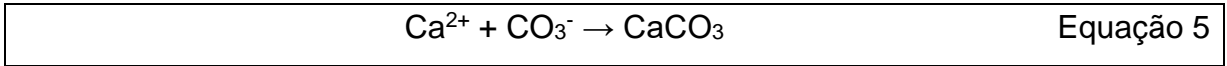
Onde reage com elementos presente no cimento hidratado, como o hidróxido de cálcio (Ca(OH)₂), que dá origem a água e carbonato de cálcio (CaCO₃) (equação 1), posterior o hidróxido de cálcio é diluído pela água contida no interior da estrutura (equação 2).



O gás carbônico aprofunda no interior do concreto, sendo levado no estado gasoso até os poros, onde na presença de umidade se dissolve, até entrar em estado de equilíbrio na camada de valência, conforme equações a seguir.

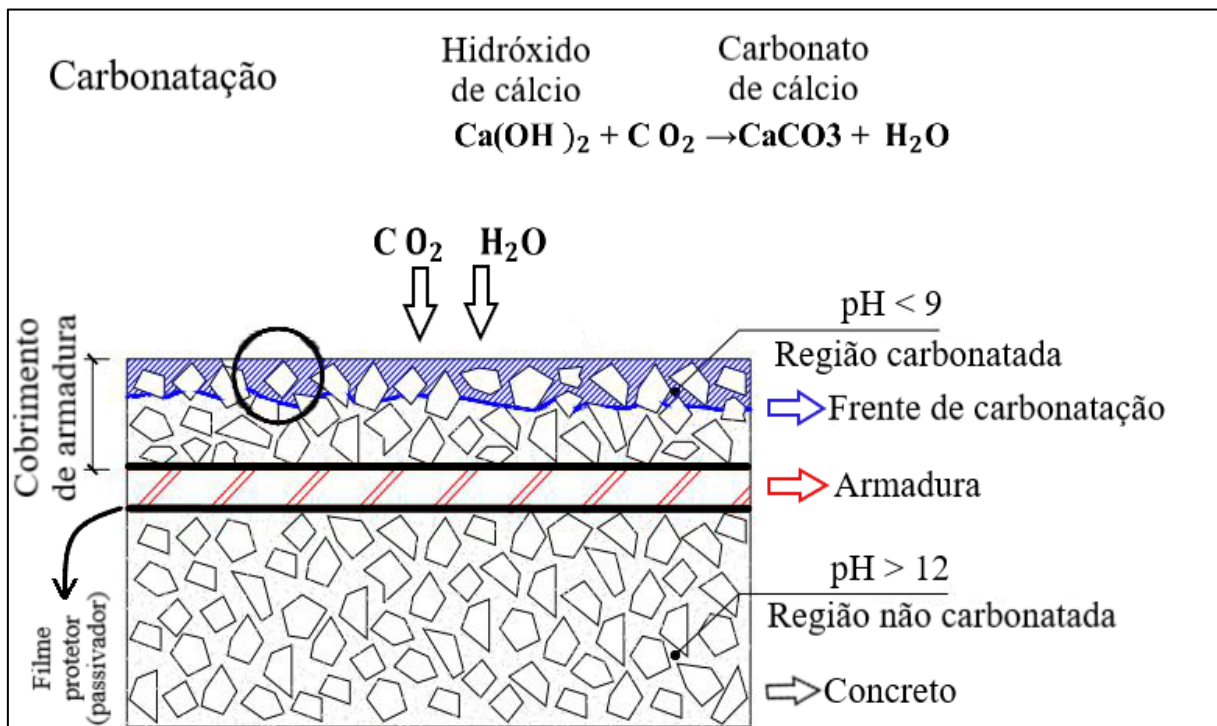


O hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 é dissolvido em conjunto com o gás carbônico (CO_2), da mesma forma que os demais carbonatos da pasta de cimento, ele tende a buscar equilíbrio (equação 5).



Os produtos desta reação do CO_2 , bem como os produtos da hidratação, alteram as estruturas de poros da pasta cimentícia.

Figura 1: Esquema representativo da carbonatação.



Fonte: ARAUJO (2013).

A Figura 1 demonstra um corte esquemático de uma estrutura de concreto que está carbonatando. A imagem mostra a reação entre o hidróxido de cálcio e gás carbônico que dá origem ao carbonato de cálcio e água, onde o carbonato resultante tem pH neutro, ou seja, reduz o pH para menor que 9 na região carbonatada.

2.1. CONSEQUÊNCIA DA CARBONATAÇÃO

Segundo Souza e Ripper (1998), em função das reações químicas acima descritas, há a alteração da estrutura dos poros do cimento, diminuindo o pH do concreto para um valor menor que 9, o que antes da carbonatação variava entre 12,5 e

14. A carbonatação seria excelente, se fosse restrita a camada de cobrimento da armadura, já que aumenta a resistência química e mecânica, porém vai penetrando o concreto até encontrar as armaduras, causando a exposição do aço, deixando vulnerável ao processo de corrosão o que torna o concreto suscetível a falhas ou ruptura pela diminuição da secção da armadura.

2.1.1 REDUÇÃO DO PH

Segundo Souza e Ripper (1998), o carbonato de cálcio CaCO_3 tem pH de precipitação variando de 8,3 a 9. Conforme a carbonatação vai avançando, ela altera o pH do concreto que varia entre 12,5 e 14 o reduzindo-o em função da reação química, perdendo assim as propriedades protetoras da camada de cobrimento das armaduras. Quando esse processo alcança a região das armaduras, ela causa a despassivação, que é a perda de uma película fina de produtos da própria corrosão como o óxido de ferro (Fe_3O_4) levando o aço ao processo de corrosão de forma generalizada, como se o mesmo estivesse exposto de forma direta ao ambiente em que se encontra, e com um agravante de se encontrar em contado direto com a umidade dos poros, facilitando ainda mais o processo de corrosão do aço.

2.1.2 ALTERAÇÃO DA POROSIDADE E AUMENTO DE MASSA

Há também a alteração da estrutura porosa do concreto em função do processo da carbonatação, esse aumento deve-se ao aumento do volume de sólidos. A reação química provoca a cristalização/precipitação dos elementos da carbonatação dentro dos poros, os preenchendo, causando uma diminuição no volume total de poros, e nos tamanhos médios dos poros. O carbonato de cálcio CaCO_3 tem maior volume se comparado aos seus hidratos que dão origem a si, sendo até 11% maior do que o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Glasser e Matschei (2007) mediram um crescimento do número total de sólidos em torno de 18%. Ngala e Page (1997) observaram que em pastas de cimento Portland comum, após a carbonatação, houve uma diminuição que variou de 10% a 15% na porosidade total e a porosidade capilar foi pouco afetada, enquanto que em misturas com adição de cinza volante e escória, a porosidade capilar foi aumentada em torno de 140% e 230%.

Segundo Cascudo e Carasek (2011), de modo geral, há uma redução da porosidade total na capa de concreto carbonatada, causada da precipitação do carbonato de cálcio CaCO_3 , que preenche os poros. Em função dessas reações causarem uma variação do volume, os preenchendo devido a cristalização/precipitação dos carbonatos, gerando um aumento da massa; isso ocorre porque para cada mol de hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 que se transforma em carbonato de cálcio CaCO_3 há um aumento no peso específico de 35% na área carbonatada. Esse aumento é em função da incorporação de gás carbônico CO_2 na estrutura porosa causada pela reação química (PERIM 2013).

2.1.3 RETRAÇÃO

A retração do concreto devido a carbonatação é devido ao próprio mecanismo da reação química, onde na reação principal ocorre a perda das moléculas de água na reação que dá origem a carbonatação; causando assim em paralelo uma diminuição do volume da pasta cimentícia endurecida, com a dissolução do hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 em zonas onde se encontra sob tensão e com a precipitação do carbonato de cálcio em áreas que não estejam sujeito a tensão (PERIM 2013).

Sendo assim a redução volumétrica da massa e causada pela ação destes dois mecanismos, ocorrendo uma redistribuição e reorganização dos espaços do concreto curado; essa reorganização pode gerar uma fissuração não reversível na superfície carbonatada do concreto, podendo favorecer uma fissuração generalizada. Essa fissuração não representa riscos a estrutura, já que a carbonatação efetiva se encontra apenas na camada de proteção do aço, representando uma área “insignificante” se comparado ao volume total da estrutura (PERIM 2013).

2.1.4 AUMENTO DE RESISTÊNCIA SUPERFICIAL

A reação química que ocorre durante a carbonatação, ocasiona na estrutura um ganho de dureza superficial na região carbonatada, sendo assim um forte indicador que pastas cimentícias que contenha mais carbonatos precipitados e menor teor de hidróxido de cálcio são mais duras. Esse ganho de resistência se deve a água liberada pela reação da carbonatação, na qual faz com que o concreto já curado complete a sua hidratação e conclua de modo mais efetiva a reação química entre a pasta

cimentícias e seus agregados, reações estas que dá ao concreto a resistência solicitada em projeto. Vale ressaltar que essa maior resistência superficial contribuiu para que o concreto tenha maior impermeabilidade, dificultando a penetração de umidade e agentes agressores (PERIM 2013).

2.1.5 CORROSÃO DO AÇO

A carbonatação quando avança ao nível das barras de aço resulta na desestabilização do filme passivador formado de óxido de ferro (Fe_3O_3) que é um produto da corrosão, o qual fornece uma barreira química ao processo de corrosão. Esta barreira depende de um pH e superior a 12, o qual é garantido pelo ambiente altamente alcalino, tendo esta alcalinidade obtida da reação química dos compostos cimentícios ao serem hidratados, sendo o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ liberado durante a reação química que garante esse elevado pH e alcalinidade, por ser um componente de maior quantidade no concreto. Quando ocorre a desestabilização deste filme, passa a ser formado óxido de ferro tri-hidratado ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) causado pela reação com elementos quando exposto ao ar atmosférico, como o oxigênio O_2 e umidade.

A corrosão do aço ocasiona o aparecimento de trincas, fissuras, deslocamentos do concreto e principalmente perda da seção da barra de aço provocada pela corrosão, podendo ser esta perda de forma generalizada. As fissuras em si afetam a aparência da estrutura, além de passar insegurança; levando ainda a perda de resistência da peça estrutural exposta ao processo. A corrosão faz com que se perca a seção transversal do aço que serve como suporte de carga quando solicitado a tração, diminuindo a seção conseqüentemente reduz a resistência. Em peças onde o aço está submetido a esforços de tração, como a flexão simples ou composta; a perda da área de aço faz com que na região afetada, quando esta for colocada sob tensão ofereça um menor suporte a esforços de tração; levando então ao rompimento da barra de aço, sendo possível até mesmo ao colapso de toda a estrutura (ROCHA 2015).

3 CONDICIONANTES PARA A CARBONATAÇÃO

A velocidade de propagação da carbonatação é influenciado por diversas causas ligadas ao próprio concreto. O pH e sua rede porosa é o que possibilita que essa reação ocorra, podendo esse processo ser acelerado por fatores externos, como a relação água/cimento, tempo de cura do concreto, porosidade, concentração de CO₂, composição química da pasta de cimento, concretagem, temperatura e umidade. São fatores importantes, pois sabendo disso pode-se tomar ações que possa visar evitar erros na fase de construção da estrutura, ou na fase de reparação garantindo maior durabilidade da mesma (KULAKOWSKI, 2002).

3.1 AMBIENTE DE EXPOSIÇÃO

A Tabela 1 abaixo, mostra alguns fatores para a carbonatação do concreto.

Tabela 1: Fatores influenciadores da carbonatação

FATOR	DESCRIÇÃO
Presença de CO ₂	Para que o fenômeno ocorra é necessário que haja a presença de gás carbônico, o que em nosso planeta é extremamente abundante, variando apenas a concentração disponível em cada local. Em ambientes rurais a concentração de CO ₂ pode variar entre 0,03% e 0,04% e em ambientes urbanos pode variar entre 0,10% e 1,20% devido ao tráfego pesado de veículos. Conforme a lei Fick (lei da difusão) a penetração do gás é proporcional a variação da concentração do gás, ou seja, quanto maior for a diferença da concentração do CO ₂ entre o ambiente e o presente no interior do concreto, mais rápido será a velocidade da carbonatação do concreto.
Umidade	A umidade do ambiente determina a velocidade em que a carbonatação ocorre. Na falta de um meio aquoso não há a ocorrência da reação, pois o fenômeno ocorre através da eletrolise, na diluição do hidróxido de cálcio e do gás carbônico gasoso. Enquanto que em ambientes totalmente saturados também

	não ocorre pois em meios líquidos ocorre de forma extremamente lenta, diferente de meios gasosos onde é 10^4 mais rápida. Então é preciso que haja uma proporção ideal, onde a concentração da umidade entre 60% e 85% a velocidade de carbonatação ocorre de maneira mais efetiva, na sua totalidade.
Temperatura	A temperatura também é um fator que pode acelerar o processo, um acréscimo de 10°C pode chegar a dobrar a velocidade da carbonatação, mas em ambientes em que a reação é induzida para ocorrer de forma mais rápida a temperatura não apresenta aumento significativo na velocidade de propagação da reação química.

Fonte: Adaptado de Kulakowski (2002).

A Tabela 01, demonstra a importância das condições de exposição do concreto, ao nos atentarmos a velocidade de carbonatação percebe-se que para que a carbonatação ocorra é necessária a presença de gás carbônico, o que é mais abundante em grandes centros urbanos devido ao grande número de veículos a combustão; quando maior a diferença de volume de gás carbônico entre o meio ambiente e o concreto, mais rápido é o equilíbrio do volume desse gás entre os meios em que se encontram. Outro fator fundamental é a presença de umidade, pois a umidade dita a velocidade com que a carbonatação avança, pois na falta de um meio aquoso não há a ocorrência da diluição do hidróxido de cálcio e do gás carbônico, o que não permite que a carbonatação ocorra, bem como em ambientes totalmente saturados que ocorre de forma muito lenta pois a reação não é tão rápida quanto que em ambiente gasosos; o ideal é que a concentração de umidade seja entre 60% e 80%. Já a temperatura pode ser um fator que pode acelerar o processo, já que temperaturas mais altas aumenta a agitação das moléculas, conseqüentemente o equilíbrio de gases entre o meio ambiente externo e o interno se dá de forma mais rápida, o que acelera as reações químicas.

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO CIMENTO

A composição química do cimento determina a quantidade de álcalis disponíveis para a ocorrência da carbonatação, quanto mais álcalis maior a dificuldade da penetração de gás carbônico (CO_2) na estrutura, e então para alavancar a reação química, é preciso que o gás carbônico reduza o pH dos poros, reagindo com a totalidade do hidróxido de cálcio do material, para então haver a precipitação do carbonato de cálcio e assim ocorrer o ciclo da carbonatação. Cimentos com grande teor de C_3S (trissilicato de cálcio), tem maior liberação de hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ durante a hidratação, conseqüentemente terá menor carbonatação em comparação a cimentos Portland comum, devido ao menor número de álcalis para a reação com sílica (KULAKOWSKI, 2002).

Porém concretos com adições, apesar de melhorar as grande parte das propriedades do concreto, pode em contra partida acelerar o efeito da carbonatação; isso se deve ao fato de cimentos com adição pozolânica contem menor quantidade de hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ disponível para a reação química da carbonatação devido a substituição de parte da pasta de cimento, conseqüentemente esse menor teor faz com que seja preciso uma quantidade menor de CO_2 para reagir com o hidróxido de cálcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, formando o carbonato de cálcio CaCO_3 . As adições pozolânica torna o concreto mais denso, de modo que a carbonatação seja mais lenta. Mas para se avaliar qual efeito tem maior relevância, dependerá de vários outros fatores, como a relação água cimento, tipo e teor de adições pozolânica, finura, entre outras (PERIM, 2013).

3.3 CONCRETAGEM

A concretagem, no que diz respeito a cura e a compactação. A compactação pode gerar ninhos de concretagem se feita de forma descuidada ou demasiada, o que pode criar bolsas de ar aprisionadas e gerar alteração da porosidade do concreto, propiciando assim o início do processo de avanço da carbonatação. Já a cura do concreto está ligada a estrutura molecular do concreto, onde quanto mais hidratado for o cimento, mais denso o concreto, diminuindo a penetração de agentes agressores

no meio, diminuindo a capacidade de carbonatação, devido a diminuição da capacidade de penetrar o gás carbônico CO₂. Um maior tempo de cura é capaz de reduzir significativamente a profundidade da penetração do gás carbônico CO₂ no concreto, o que é desfavorável a carbonatação, tornando-a mais lenta (KULAKOWSKI, 2002).

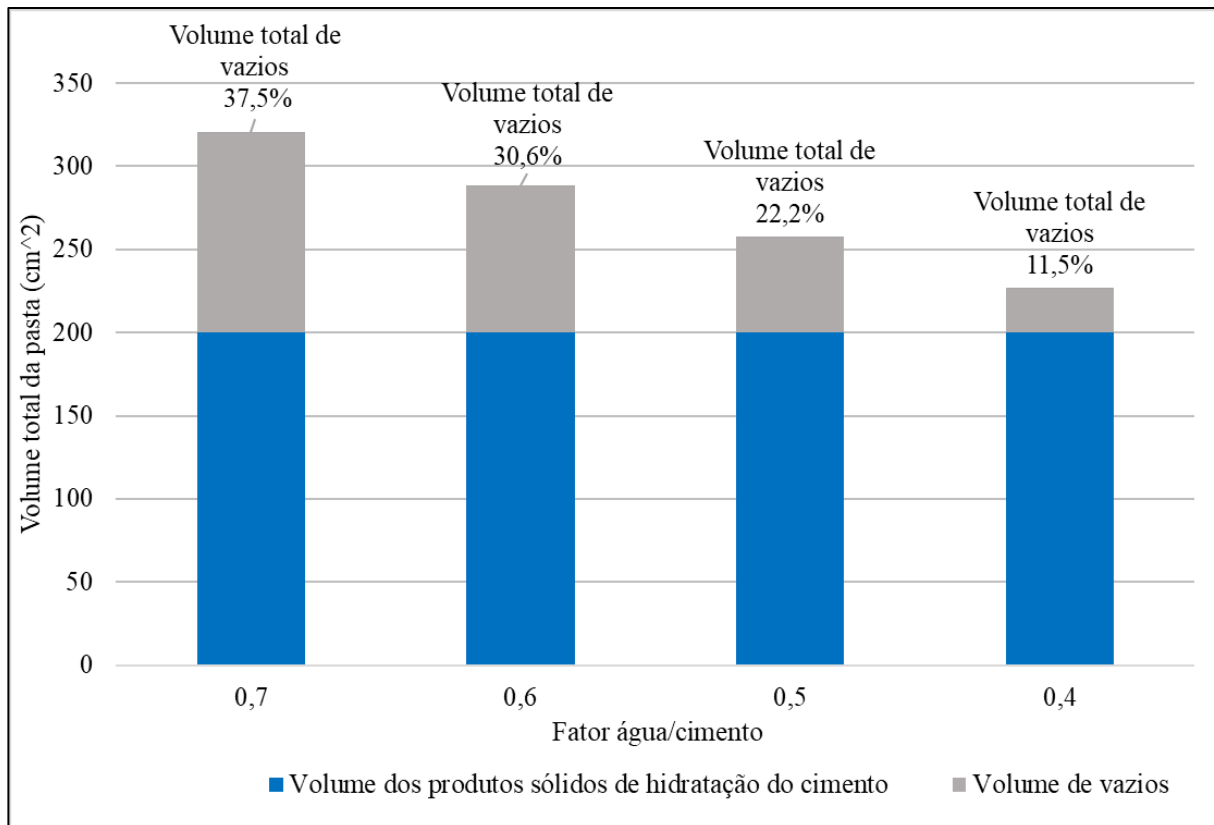
3.4 POROSIDADE

A porosidade do material é um parâmetro extremamente importante, pois a penetração do CO₂ é feita pela estrutura porosa do concreto. A porosidade indica o grau de permeabilidade do material, o que pode facilitar ou impedir a percolação de fluidos líquidos ou gasosos, podendo ser de tamanhos variados, podendo ser chamados de poros gel, poros capilares, e macroporos que são termos relacionados a adição de ar, enquanto que em relação a permeabilidade podem ser classificados como poros abertos ou fechados (KULAKOWSKI, 2002).

A porosidade é um fator fundamental, já que são os caminhos que são percorridos pelos elementos que dão a origem a carbonatação. Um concreto poroso aumenta a velocidade da carbonatação, por ser mais permeável e oferecer mais caminhos para a difusão destes elementos; conseqüentemente concretos menos porosos dificulta a penetração desses elementos, por ser mais impermeável, diminuindo a velocidade da carbonatação, o que é muito benéfico quanto a durabilidade da estrutura.

3.4.1 FATOR ÁGUA/CIMENTO

O Fator água/cimento está diretamente ligado as dimensões dos poros do concreto após a cura, como também as propriedades adquiridas no final do processo. Quanto maior essa relação, mais poroso é o concreto, conseqüentemente mais permeável, isso faz com que o gás carbônico tenha maior facilidade de penetrar e reagir com o concreto. Essa relação se deve ao fato de que a maior parte da água utilizada é apenas para melhorar a trabalhabilidade do concreto, porém o volume de água excedente não é utilizado na hidratação do concreto, gerando muitos vazios. E quanto menor o fator água/cimento menos poroso é o concreto o que dificulta a sua carbonatação, devido a sua maior densidade; o que garante menor quantidade ar no concreto, além de oferecer maior resistência a compressão (NEVES, 2005).

FIGURA 2 - Variação da porosidade na pasta para várias relações a/c.

Fonte: Mehta e Monteiro (1994).

A Figura 2 demonstra como as relações água/cimento pode atuar gerando vários vazios na estrutura. Pode-se observar que uma relação água/cimento de 70% pode gerar até 37,5% de vazios do volume total do concreto, enquanto que uma menor relação reduz significativamente esse número de vazios, como é no caso o fator água/cimento de 40% que gera um volume de vazios de 11,5% do volume total do concreto.

4 MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA

Para garantir a durabilidade e a eficiência da estrutura é necessário que se realize inspeções periódicas, afim de avaliar a situação e o progresso da degradação do concreto, verificando se há a necessidade de intervenção ou de medidas para apenas tardar o processo.

4.1 PREVENÇÃO A CARBONATAÇÃO

As patologias podem nascer na fase de concepção do projeto e execução do projeto, segundo Sousa e Ripper, (1998), no Brasil 52% das patologias decorrem da má execução da obra, sendo provavelmente causada pela má qualidade da mão de obra ou pela falta de treinamento, sendo utilizadas técnicas obsoletas. Um concreto de qualidade aceitável depende de um traço com medidas de cimento e agregados adequadas; bem como a relação água cimento máxima de 60%; adensamento adequado; manutenções que garanta um ambiente de exposição desfavorável a carbonatação; e cobrimento de armadura adequado. Essas observações garantem que o concreto tenha uma melhor resistência frente a carbonatação, conseqüentemente garante-se uma maior proteção da armadura e menor necessidade de manutenção.

4.2 TÉCNICA DE AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DA ESTRUTURA

A inspeção periódica visual tem a função de nos dar parâmetros, para que se tome ciência das condições em que a estrutura se encontra, e assim dando condições para que se necessário possa tomar medidas que garantam a durabilidade e a segurança estrutural. Quando se percebe o estado de corrosão, há o surgimento de fissuras paralelas as armaduras; fragmentação; e em estágios mais avançados destacamentos e lascamento do concreto. Para se avaliar o processo de avanço frente a carbonatação, retira-se pequenas amostras do concreto para avaliar a profundidade da carbonatação afim de garantir a durabilidade do concreto e do aço. Com o corpo de prova em mãos, aplica-se fenolftaleína diluída em álcool e água que reage com o hidróxido de cálcio, e de acordo com a coloração, podemos identificar o quão profundo

é a penetração da carbonatação. A coloração rosa resultante da reação indica que a profundidade do concreto que se encontra com pH normal, consequentemente em bom estado, e a área incolor indica a área carbonatada. Após identificar a situação patológica, torna-se possível diagnosticar a situação final, sendo esta fase a mais importante, pois a partir dela é que se toma as decisões contra a patologia. Assim, baseado no diagnóstico tem-se a opção de corrigir, impedir ou controlar a evolução patológica, ou apenas suportar o tempo máximo de vida útil da estrutura, ou até mesmo limitar a sua utilização ou em último caso recomendar a demolição (SOUZA & RIPER, 1998).

FIGURA 3: Verificação da carbonatação com fenolftaleína.



Fonte: Dynamis Techne (2019)

A Figura 3 demonstra a um ensaio, em que em um ponto mais favorável ao avanço a carbonatação (regiões com umidade frequente, como próximo ao piso por exemplo) foi realizado a remoção do revestimento e aplicação de fenolftaleína. A região completamente incolor do concreto determina que foi carbonatada, enquanto que na região de cor magenta mostra que ainda não foi carbonatado, e assim com a trena ou

outro equipamento de medidas, realiza-se a medição da profundidade carbonatada, o que neste caso se encontra bem próxima a profundidade da armadura, o que indica que já existe uma certa necessidade de intervenção ou até mesmo monitorar mais frequentemente para evitar que a carbonatação chegue muito próximo as armaduras, propiciando a corrosão da mesma.

Quando não nos atentamos a situação da estrutura e a carbonatação avança, deve-se ter um diagnóstico adequado, onde deva-se levar em conta considerações sobre as possíveis consequências sobre o desempenho de toda a estrutura. Costuma-se separar as considerações patológicas em 2 tipos: Os que interferem diretamente na segurança da estrutura, no caso o estado limite ultimo que se refere ao estado de ruptura, o que pode evoluir e causar o colapso da estrutura; e o grupo dos que afeta as condições de estética, e conforto quanto ao uso, no caso o estado limite de serviço, que nesse caso não apresenta risco de ruptura mas causa insegurança aos moradores, e que se não sanado com o tempo pode levar a afetar a segurança da estrutura. Em ambos os casos, caso seja possível realizar o reparo da região afetada, deve ser levado em consideração o fator custo-benefício, que provavelmente terá um custo menor caso a degradação não seja generalizada. O custo da reparação depende da natureza como: quantidade de pisos, materiais a ser empregados e localização do empreendimento (ROCHA, 2015).

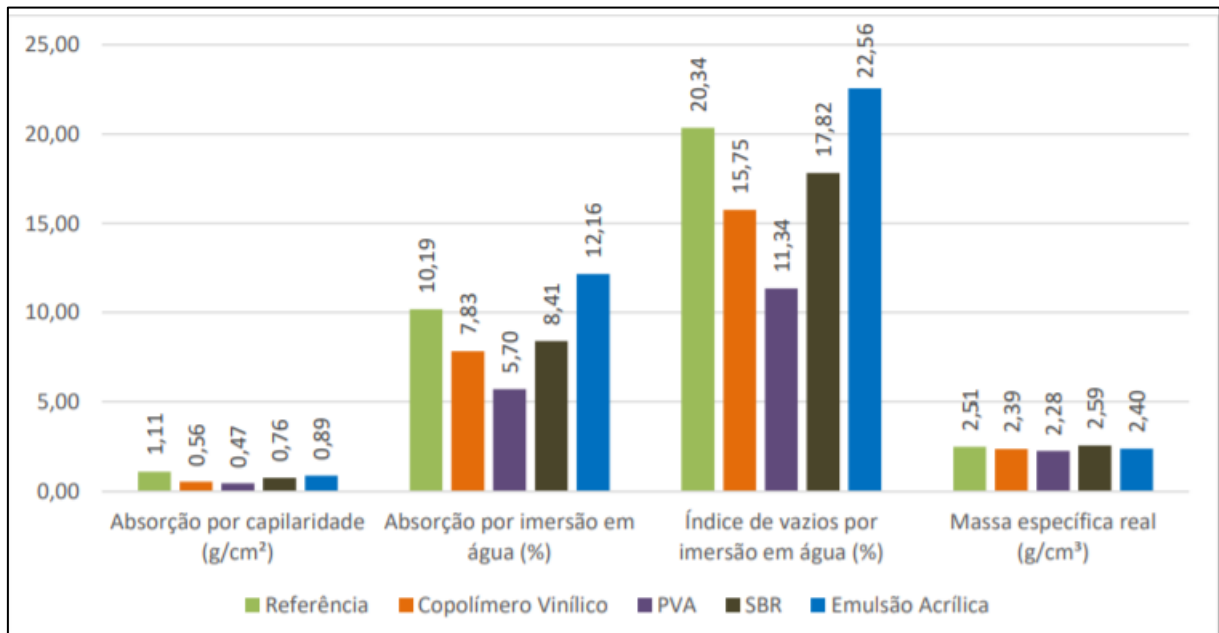
4.3 MEDIDAS CORRETIVAS DOS EFEITOS DA CARBONATAÇÃO NO ESTADO INICIAL A DESPASSIVAÇÃO DA ARMADURA

Em casos de estruturas onde a carbonatação se encontra avançada, propiciando o início da despassivação e corrosão da armadura, as técnicas mais empregadas para que seja realizada a reparação da estrutura antes do processo de corrosão iniciar ou ainda na fase inicial, são as técnicas de reparação convencional e o procedimento de realcalinização do concreto (ROCHA, 2015).

4.3.1 REPARAÇÃO CONVENCIONAL

A reparação convencional consiste na retirada da camada de cobrimento do aço que se encontra carbonatada e posteriormente substituída por uma nova camada protetora de concreto ou a utilização de argamassa polimérica. As argamassas poliméricas são o resultado da adição de polímeros a argamassa comum, sendo estas recomendadas para a recuperação da área superficial da estrutura carbonatada, devido a sua elevada fluidez e a capacidade de melhorar as propriedades da argamassa como propriedades mecânicas, físicas, resistência química, baixa permeabilidade, capacidade de endurecimento rápido (ROCHA, 2015; SOUZA, 2018).

FIGURA 4 - Comparação das propriedades de argamassas.



Fonte: Souza (2018).

A Figura 4 mostrada acima, ilustra uma característica de grande importância das argamassas poliméricas, onde argamassar com adição de PVA apresenta o menor índice de vazios, conseqüentemente menor permeabilidade se comparado ao concreto convencional (referência). Essa característica dificulta ainda mais a propagação de uma nova carbonatação. Outros tipos de polímeros apresentam benefícios semelhantes, exceto a emulsão acrílica, que nesse caso aumenta a permeabilidade do concreto, o que é favorável a carbonatação. Com isso percebe-se que a adição deve ser analisada de forma a obter o melhor resultado. Após a aplicação do novo cobrimento das áreas carbonatadas, eleva o pH do concreto o que após alguns dias

ocasionado pelo ambiente altamente alcalino cria-se uma nova camada passivadora do aço.

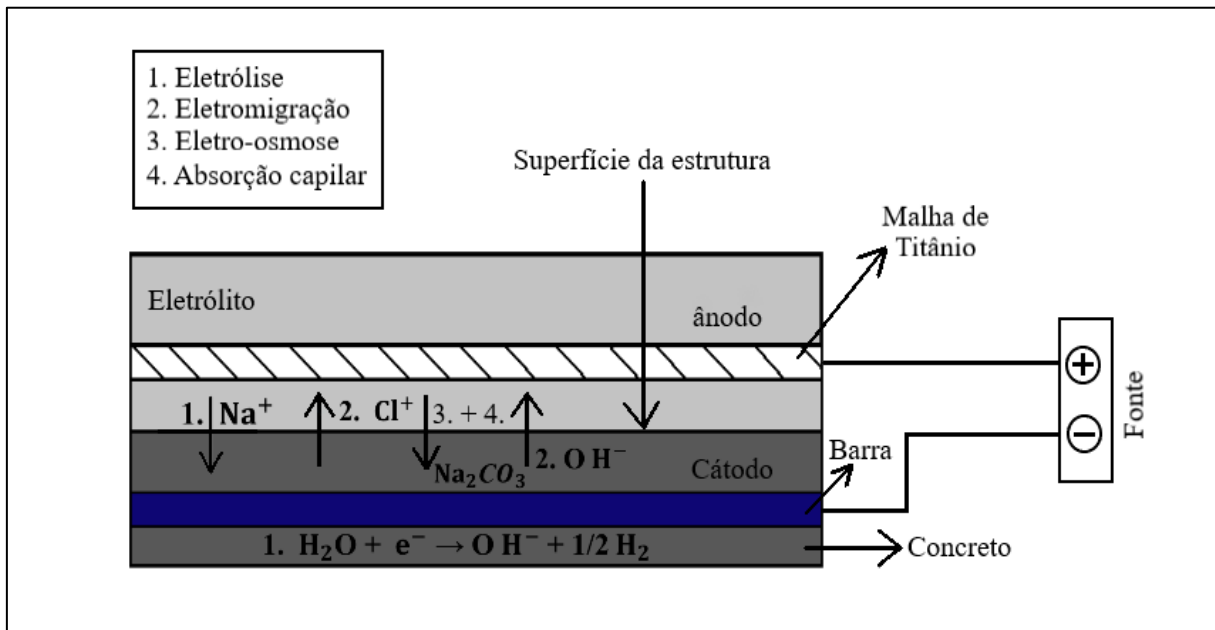
4.3.2 REALCALINIZAÇÃO DO CONCRETO

É um processo que pode ser realizado por realcalinização eletroquímica (RAE) e realcalinização química (RAQ). Nesse tópico abordaremos apenas da realcalinização eletroquímica devido a inviabilidade técnica da aplicação da realcalinização química na estrutura, apesar de estudos mostrarem que ela é bastante funcional.

A técnica de realcalinização eletroquímica permite atacar a carbonatação ainda na fase inicial da despassivação, reduzindo custos e intervenções futuras. Através deste processo, é restabelecida a proteção contra a corrosão da armadura, propiciado pelo aumento do PH em função do processo eletro-osmótico onde os álcalis da solução, aplicada na superfície da área carbonatada penetra no concreto devido a aplicação de uma corrente elétrica, criando um campo elétrico entre a superfície do concreto e a armadura. Quando se aplica uma corrente, a armadura funciona como um cátodo que através da eletrolise da água, produz hidrogênio (H^+) e hidroxila (OH^-). A solução alcalina ao ser transportada para o interior do concreto carbonatado em conjunto com as hidroxilas formadas ao redor da armadura, cria-se um ambiente bastante alcalino, propiciando o aumento do pH além de provocar a diminuição dos poros, diminuindo a capacidade de reentrada de CO_2 no concreto. A repassivação da película de óxidos de ferro depende dos íons alcalinos introduzidos pela realcalinização eletroquímica, sendo esse processo o mais eficaz para essa restauração.

A técnica consiste na aplicação de 1 ou 2 semanas de um campo elétrico com corrente entre 0,2 e 8 A/m^2 através de uma fonte retificadora, que devera ligar-se a armadura, que se encontra no concreto, ao ânodo externo, colocado sobre o concreto. O ânodo externo, geralmente utilizado é uma malha de titânio que é condutora e deve estar emersa em eletrólitos, os quais é utilizada uma polpa de celulose saturada (eletrólitos) localizada na região carbonatada. O titânio é o mais utilizado por formar um produto de corrosão menos expansivo e por ser um material nobre que possui um consumo bastante lento durante o processo. Como regra, não é recomendado tratar áreas maiores que 100m², caso sendo maior, deve se dividi-la em setores (ARAÚJO, 2009).

Figura 5: Esquema da técnica de realcanilização de concreto.



Fonte: Yeih (2005) com adaptação de Reus (2015).

A Figura 5 representa a realcalinização do concreto pela aplicação de corrente elétrica. Conforme a imagem temos o cátodo que é a barra de aço, o ânodo que é a malha de titânio e a solução alcalina que pode ser uma solução de carbonato de potássio ou carbonato de sódio, que são os mais conhecidos e eficientes no caso é utilizado carbonato de sódio (Na_2CO_3). Com a fonte, aplicamos eletricidade, ligando-se o polo positivo no ânodo e o negativo na barra, o qual se dá a movimentação de eletros do polo positivo para o negativo da fonte. Com a aplicação ocorre:

1º Ocorre a eletrolise, que é um o processo de utilizar a eletricidade para forçar uma redução não espontânea, no caso oxirredução onde ânodo (-) se-oxida e perde eletros para o catodo (+).

2º Em consequência da eletrolise, a oxirredução causa a movimentação dos elétrons (e^-) do anodo (-) para o catodo (+), o qual estes elétrons (e^-) reagem com a água (H_2O) presente ao redor da armadura produzindo íons de hidroxilas (OH^-), sendo os íons os responsáveis pelo aumento do pH.

3º A eletro-osmose que é a penetração forçada de álcalis da solução alcalina causada pela aplicação de corrente elétrica.

4º Absorção de álcalis da solução alcalina pelo concreto por capilaridade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que a carbonatação era capaz de reduzir a resistência a compressão do concreto, porém como foi descrito neste trabalho, foi possível observar que a carbonatação aumenta a resistência a compressão da área carbonatada. Esse ganho se deve a água liberada durante a reação, a qual faz com que o concreto já curado complete o processo de hidratação iniciado durante a sua preparação, o que torna mais efetiva a ligação química entre a pasta cimentícia e seus agregados. Vale ainda ressaltar que esse ganho de resistência aumenta também a impermeabilidade do concreto, o que dificulta a ação de agentes agressores e a penetração de umidade na estrutura de concreto.

Nota-se também que a carbonatação causava a corrosão das armaduras, e poderia levar a ruína da estrutura devido à perda de resistência a tração do aço. Conforme foi apresentado no decorrer desta monografia, observou-se que a carbonatação não é o fator causador da corrosão das armaduras, mas sim um gatilho. A carbonatação causa a desestabilização do filme passivador da armadura, sendo este responsável por proteger o aço. Quando ocorre essa despassivação, as armaduras ficam sujeitas a intemperes como a umidade e o gás carbônico, que dá início ao processo de corrosão. O processo de corrosão causa a perda da seção transversal da barra, conseqüentemente diminuiu a resistência a tração do aço, o que em caso de solicitação acima da resistência da barra corroída pode levar a estrutura ao colapso; pois a barra já não oferece o mesmo suporte de carga de antes da perda da seção.

Valida-se as hipóteses e alcança-se os objetivos desse trabalho, por meio do entendimento da ocorrência da carbonatação bem como as modificações e seus efeitos nas estruturas, da compreensão fatores que causam a carbonatação, e que é viável atrasar este processo, propiciando ambientes menos favoráveis a este processo químico, além do entendimento das possíveis técnicas que podem ser utilizadas quando a carbonatação está na fase de despassivação da armadura, na qual a corrosão do aço se encontra na fase inicial. Com o presente trabalho, conclui-se que a carbonatação é uma reação química que inevitavelmente ocorre, porém se houver cuidado com os fatores condicionantes para que a reação ocorra, como obter uma concretagem adequada, um concreto de qualidade, fator água/cimento e cobrimentos

de armaduras adequados, pode-se atrasar o avanço deste fenômeno, consequentemente uma estrutura mais durável e com menos manutenções.

Este trabalho se faz relevante para acadêmicos e profissionais atuantes da área da engenharia civil pelo fato da corrosão ser uma das patologias mais comuns nas estruturas de concreto armado, sendo esta causada em sua grande maioria pelo processo da carbonatação. E assim foi possível compreender os mecanismos causadores desta patologia, bem como os cuidados a serem tomados para uma estrutura mais duradoura e sem a presença deste problema patológico que pode levar a ruína da estrutura. Como sugestão de pesquisas complementares indicaria um estudo mais aprofundado das técnicas de realcalinização do concreto, para melhor entendimento e complemento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Fernanda Wanderley Corrêa de. **Estudo da repassivação da armadura em concretos carbonatados através da técnica de realcalinização química.** 297 p. Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia. São Paulo, 2009

BASTOS, Paulo Sérgio Santos. **Estruturas de concreto armado I, Fundamentos do concreto armado.** 98 p. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de engenharia, departamento de engenharia civil. São Paulo, 2014.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa.** Coordenado pela Universidade Aberta do Brasil- UAB/UFRGS, curso de graduação tecnológica-Planejamento e gestão para o desenvolvimento rural da SEAD/UFRGS- Porto alegre: Editora da UFRGS, 2009.

HELENE, Paulo Roberto do Lago. **Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto, como projetar para durabilidade.** Msc, Phd, full professor. University of São Paulo PCC.USP. Education, research e consultancy on concrete materials e structures. Escola politécnica. Chairman of civil constrution e Urban engineering graduate courses. 1997.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. **Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa.** 199 p. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica, Minas e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

MARQUES, Vinícius Silveira. **Recuperação de estruturas submetidas a corrosão de armaduras: Definição das variáveis que interferem no custo.** Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, escola de engenharia, departamento de engenharia civil, 2015.

MEHTA, Ponvidar Kumar; MONTEIRO, Paulo .J.M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo, PINI, 1994.

OLIVEIRA, Tatiane Rodrigues de. **Análise da frente de carbonatação em concreto convencional: Estudo de caso em edificações com idade diferenciada na cidade de Juazeiro do norte-CE.** 53 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso), Engenharia civil, Centro de ciências e tecnologia – CCT, Juazeiro do Norte, Ceará, 2017.

ROCHA, Bruno dos Santos. **Manifestações patológicas e avaliação de estruturas de concreto armado**. 76 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso), Engenharia Civil, Curso de especialização em construção civil, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

SOUZA, Vicente Custodio; RIPPER, Thomaz José. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1998.

SOUZA, Mateus Henrique de; **Análise de Argamassas de Reparo de Base Polimérica**. 138 p. Dissertação de mestrado apresentado ao programa de pós-graduação em engenharia Urbana da Universidade Estadual de Maringá para obtenção de título de Mestre em Engenharia Urbana. Maringá, 2018.

TOKUDOME, Naguisa. **Resultado de uma reação química afeta pH do material e pode reduzir a durabilidade da estrutura**. Jun 2009.

VITÓRIO, Afonso. **Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia**. Instituto Pernambucano de Avaliações e Perícias de Engenharia. Recife, 2003.