

GAMA; Matheus Ferreira¹

RESUMO

Resumo

O processo de carbonatação do concreto é uma manifestação patológica frequente que pode fragilizar a eficiência da estrutura de uma edificação. Tal patologia se apresenta devido à diminuição do pH dos materiais cimentícios do concreto, causado pela reação físico-química entre os compostos hidratados do cimento e o gás carbônico presente na atmosfera. As três constantes que provocam essa reação físico-química em um prazo não previsto são: a facilidade que o gás carbônico encontra para difundir-se no interior do concreto, as condições ambientais e as propriedades do concreto. A consequência mais evidente, além da diminuição da seção do concreto, é a corrosão da armadura, que causa a diminuição da seção do mesmo. Além disso, pode provocar a despassivação do aço e sua aderência com o concreto. Para tratar a carbonatação do concreto, é possível utilizar do processo de realcalinização, que basicamente se trata do restabelecimento da alcalinidade do concreto através da elevação do seu pH.

Abstract

The carbonation process of concrete is a frequent pathological manifestation that can weaken the efficiency of the structure of a building. Such pathology is due to the decrease in the pH of the cementitious materials of the concrete, caused by the physical-chemical reaction between the hydrated compounds of the cement and the carbon dioxide present in the atmosphere. The three constants that cause this physical-chemical reaction in an unforeseen period are: the facility that carbon dioxide finds to diffuse inside the concrete, the environmental conditions and the properties of the concrete. The most obvious consequence, in addition to the decrease in the concrete section, is the corrosion of the reinforcement, which causes a decrease in the concrete section. In addition, it can cause the steel to become non-passive and adhere to the concrete. To treat the carbonation of the concrete, it is possible to use the realcalinization process, which basically involves restoring the alkalinity of the concrete by raising its pH.

1. Introdução

O ramo da Engenharia referente ao estudo das patologias das construções é relativamente recente e veio como uma demanda diretamente ligada à crescente do número de estruturas danificadas. Para Gonçalves (2015), a implantação do Código de Defesa do Consumidor em 1990 cedeu ao cliente artifícios para fazer valer seus direitos, provocando o surgimento de conceitos como: “qualidade”, “desempenho” e “certificações de conformidades”, exigindo melhorias em todo o processo construtivo, como material e também mão-de-obra.

Segundo Braga (2010), a evolução das tecnologias trouxe edifícios mais leves, com componentes mais esbeltos e menos contra ventados. Aliados à uma conjuntura socioeconômica, ocasionou-se em obras com desenvolvimento mais rápido, mas com menor rigor no controle dos materiais e serviços. A mão de obra qualificada foi destinada para setores industriais mais nobres gerando uma queda gradativa da qualidade das construções de edificações. Com isso, o surgimento de manifestações patológicas ao longo do tempo se tornou mais comum.

Segundo Souza e Ripper (1998), o conceito de patologias das estruturas é

¹ Faculdade do Futuro, matheusfgama@hotmail.com

designado de forma genérica como o estudo das origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrências das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas. Para Helene (1992), Patologia das construções pode ser entendida como a parte da engenharia que estuda os sintomas, os mecanismos, as causas e origens dos defeitos das construções civis, ou seja, é o estudo das partes que compõem o diagnóstico do problema.

O entendimento e a definição de fatores referentes às manifestações patológicas é bem difundido atualmente no campo da engenharia civil e se tornou um estudo minucioso para o tratamento de tais patologias, bem como, para a aplicação de medidas preventivas. Segundo Cánovas (1988), a patologia na execução pode ser consequência da patologia de projeto, havendo uma estreita relação entre elas. Porém, isso não quer dizer que quando o projeto for bem feito sem margens para possíveis patologias, o processo de execução também será. No que se refere ao estudo das causas das patologias construtivas, Oliveira (2013), evidencia que os problemas patológicos têm suas origens atreladas por falhas que ocorrem durante a realização de uma ou mais atividades do processo genérico da construção civil, processo este que pode ser dividido em: concepção, execução e utilização

No que diz respeito a tipos de patologias, a carbonatação do concreto é uma manifestação patológica comum e que acarreta uma série de fatores que fragilizam a estrutura de uma edificação. Dessa forma, o objetivo por meio desse estudo é definir o processo de carbonatação do concreto, suas causas/origens, consequências e o método de realcalinização como forma de prevenção e/ou reabilitação.

2. Metodologia

Segundo Rother (2007), os artigos de revisão, assim como outras categorias de produções científicas, são uma forma de pesquisa que utilizam de fontes de informações bibliográficas ou eletrônicas para a obtenção de resultados de pesquisa de outros autores, com o objetivo de fundamentar teoricamente um determinado objetivo.

O trabalho foi desenvolvido através de uma revisão bibliográfica, ou seja, o material utilizado foi de fontes primárias, sendo o trabalho de cunho descritivo com resoluções qualitativas, definindo o processo de carbonatação do concreto, bem como suas causas, origens e consequências em um contexto da construção civil.

O levantamento de dados e informações se dá por meio de pesquisa eletrônica via internet, via livros dos autores mais reconhecidos no ramo da Engenharia Civil, bem como em dissertações, publicações de revistas e boletins técnicos.

3. Resultados e Discussão

3.1. Processo de Carbonatação.

Segundo Pauletti (2007), a carbonatação é um fenômeno no qual o pH de materiais cimentícios é reduzido através da reação físico-química entre os compostos hidratados do cimento e o gás carbônico da atmosfera. Com isso, a reação principal de carbonatação no concreto ocorre entre o gás carbônico e o hidróxido de cálcio.

Papadakis, et al (1991), explicitam que o processo físico-químico da carbonatação do concreto se dá pelas seguintes etapas:

1. O hidróxido de cálcio, formado nas reações de hidratação do cimento é dissolvido pela água presente na solução dos poros.
2. O gás carbônico penetra no concreto e se transporta por difusão através da fase gasosa do poro matriz, e se dissolve na solução aquosa.
3. O gás carbônico dissolvido reage com o dióxido de cálcio dissolvido, bem como com outros produtos carbonatáveis da pasta de cimento

Dessa forma, os produtos oriundos da reação de gás carbônico, bem como os produtos de hidratação, alteram a estrutura de poros da pasta de cimento. Além disso, o vapor d'água contido nos poros condensa e entra em equilíbrio com as

condições do ambiente no qual é exposto o concreto.

Para Bakker (1988), a partir dos princípios da termodinâmica e considerando uma situação de equilíbrio ideal, teoricamente, o concreto poderia ser completamente carbonatado. Contudo, Neville (1997) explicita que o processo de carbonatação no concreto está sujeito a uma barreira física, constituída pela rede de poros, modificada ao longo do tempo em função da modificação de carbonatos, e assim a frente de carbonatação ocorre sob uma velocidade decrescente, desenvolvendo sob uma determinada taxa que sofre a influência de vários fatores.

3.2. Causas da Carbonatação em estruturas de concreto.

Segundo Pauletti (2007), o avanço da frente de carbonatação está intimamente ligada à três fatores principais: facilidade que o gás carbônico encontra para difundir-se no interior do concreto, às condições ambientais e às propriedades do concreto.

3.2.1 Facilidade do gás carbônico em difundir-se no interior do concreto.

Kulakowski (2002), evidencia que a carbonatação é controlada pela difusão do gás carbônico nos poros da matriz de concreto e que a difusão de gases em meio aquoso é bem mais lenta que a difusão no ar. Com isso, em poros saturados, a difusão do gás carbônico é desprezível. Contudo, em poros com umidade relativamente baixa não existe eletrólito suficiente para que a reação ocorra.

A penetração de gás carbônico no concreto se dá então através do mecanismo de difusão e pode ser modelada conforme a primeira Lei de Fick, onde a penetração do gás é diretamente proporcional à concentração de gás carbônico entre dois meios. Dessa forma, quanto maior o gradiente de concentração entre o meio externo e o meio interno do concreto ou entre a porção carbonatada e não carbonatada, maior será a velocidade da frente de carbonatação.

Em relação à concentração de gás carbônico na atmosfera, Helene (1993) explicita que a concentração de gás carbônico no ar pode ser de 0,03% a 0,05% em atmosferas rurais, 0,1% a 1,2% em locais com tráfego pesado e em locais viciados (com silo de certos materiais ou granel, por exemplo) podem chegar a concentrações acima de 1,8%. Contudo, esses valores podem ser modificados ao longo do tempo, sendo mais acentuado a influência da concentração de gás carbônico na vida útil das estruturas de concreto armado.

3.2.2 Condições ambientais.

Em relação às condições do ambiente, tem-se a umidade relativa, no qual determina o grau de saturação dos poros do concreto influenciando diretamente na difusão do gás carbônico pelos poros do concreto, como mencionado anteriormente. Para Helene (1993), as maiores velocidade de carbonatação ocorrem em umidade relativa entre 60% a 85%.

A temperatura é outro fator influente na carbonatação, uma vez que, segundo John (1993), uma variação de 10°C na temperatura média pode dobrar a taxa de uma reação química. Para Roy, et al (1999), a temperatura pode influenciar significativamente na profundidade de carbonatação. Contudo, o estudo de Loo, et al. (1994), evidencia que a temperatura não se apresenta tão significativamente para a profundidade de carbonatação quanto a concentração de gás carbônico.

3.2.3 Propriedades do concreto.

O cimento é um componente aglomerante importantíssimo para definir as propriedades do concreto e segundo Baker (1988), é a partir de sua composição química que irá determinar a quantidade total de álcalis para a reação de carbonatação, ou seja, a quantidade de hidróxido de sódio, hidróxido de potássio, dióxido de potássio, silicato de cálcio hidratado e aluminato de cálcio hidratado. Este teor de álcalis disponível para carbonatação é definido por Helene (1993) como reserva alcalina, evidenciando que quanto maior a concentração de hidróxido de cálcio na solução intersticial dos poros menor será a penetração de gás carbônico. Dessa forma, para a frente de carbonatação avançar é preciso que o gás carbônico rebaixe o pH dos poros e reaja com todo o hidróxido de cálcio disponível para, então, continuar penetrando e precipitar o carbonato de cálcio

Segundo Helene (1993), o consumo de cimento por m³ de concreto não influencia na profundidade de carbonatação, uma vez que, o avanço do gás carbônico é regido pelo teor de dióxido de cálcio na solução dos poros e não pelo teor total de dióxido de cálcio no concreto. Por sua vez, a concentração de hidróxido de cálcio na solução intersticial dos poros depende do tipo de cimento, da relação água/cimento e do grau de hidratação do cimento.

As propriedades do concreto também são definidas pelo processo de execução do mesmo, principalmente a compactação e cura. A compactação deficiente pode intensificar a propagação da frente de carbonatação e a cura influencia diretamente na hidratação e formação da microestrutura do concreto. Com isso, quanto maior o grau de hidratação do cimento, maior será a densificação da matriz e menor será a taxa de penetração de agentes agressivos. Segundo Loo, et al., (1996), um aumento no período de cura diminui significativamente a profundidade de penetração do gás carbônico. Neville (1997), explicita também que a ineficiência no processo de cura é bastante desfavorável ao concreto no processo de carbonatação.

3.3. Consequências da Carbonatação do Concreto em Edificações.

A consequência mais evidente, além da diminuição da seção do concreto, é a corrosão da armadura, consequentemente sua seção. Além disso, pode provocar a despassivação do aço e sua aderência com o concreto. A corrosão induzida por carbonatação é normalmente associada a uma uniformidade do ataque. Segundo Parrot (1994), dados publicados para corrosão em concreto carbonatados em relação à influência da proporção da mistura de concreto, tipos de cimento e condições de cura são frequentemente difíceis de serem interpretados. Porém, o autor afirma que várias publicações indicam um crescimento exponencial da corrosão com o aumento da umidade acima de 70% até próximo da saturação.

Segundo Alonso (1986), a corrosão da armadura provocada pela carbonatação, com formação de produtos expansivos, que provocam fissuração do concreto, estão relacionados ao concreto úmido. Em ambiente interno seco de uma edificação não se produzem danos por corrosão, mesmo que o cobrimento do concreto esteja carbonatado.

Segundo Claisse, et al., (1999), uma consequência da carbonatação para propriedades eletroquímicas do concreto é o aumento da resistência ôhmica devido à redução na concentração de íons hidroxila, que são os principais transportadores de carga na pasta de cimento hidratado. Parrot (1994), sugere que a taxa de corrosão do aço em concreto carbonatado é controlado por reações anódicas, às quais são limitadas pela resistividade do concreto e por suas condições de umidade.

Nos casos em que ocorram simultaneamente a carbonatação e o ingresso de íons cloreto, Ho e Lewis (1998) afirmam que a carbonatação causa distúrbios no equilíbrios entre os íons cloreto livres e combinados no concreto e, como resultado, ocorre um incremento da concentração de íons cloreto livres na solução dos poros do concreto, com um efeito máximo localizado aproximadamente 15 mm além da frente de carbonatação.

Alonso (1986), explicita que a carbonatação acelerada pode provocar, a longo prazo, velocidades de corrosão mais baixas, uma vez que a brusca alteração decorrente deste tipo de carbonatação, ao alcançar um novo equilíbrio, pode conduzir a uma carbonatação parcial que atrase o processo de corrosão.

3.4. Método para tratamento de estruturas sob ação da carbonatação do concreto.

Ao se verificar que uma estrutura de concreto armado está "doente", isto é, que apresenta manifestações patológicas, torna-se necessário efetuar uma vistoria detalhada e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a recuperação

ou o reforço. (SOUZA; RIPPER, 1998)

No caso de estruturas em processo de carbonatação, é fundamental a aplicação da técnica e realcalinização do concreto para restabelecer a alcalinidade do mesmo, através da elevação do seu pH. O processo de realcalinização tem como vantagem, seja como método preventivo ou de reabilitação, de não necessitar a remoção do concreto carbonatado. (ARAUJO, 2009)

Segundo Araujo (2009), são três os mecanismos de restabelecimento da alcalinidade do concreto. O primeiro se trata da difusão e absorção de uma solução alcalina por ação capilar e de forças hidráulicas, denominado realcalinização química, que independem do campo elétrico e do fluxo de corrente aplicado. O segundo e terceiro ocorrem com o uso de corrente elétrica e consequentemente com a formação de um campo elétrico, chamado de realcalinização eletroquímica. Sendo o segundo através da produção de íons hidroxila, devido a reação catódica na superfície das armaduras, e o terceiro através de um fluxo eletro-osmótico que transporta a solução alcalina para o interior dos poros capilares do concreto.

4. Conclusão

É evidente que o processo de carbonatação possui consequências circunstanciais para a estrutura, fragilizando-a através do encurtamento das seções de pilares e principalmente com a corrosão de armaduras. Com isso, foi evidenciado as causas referentes a esse processo. Consequentemente, foi ressaltado formas de prevenção, bem como a definição do método de realcalinização como forma de tratamento da estrutura carbonatada para reabilitação.

5. Referências bibliográficas

ALONSO, C. Estudio de la corrosion de armaduras em hormigón carbonatado. 1986. Tesis (Doctoral). Facultad de Ciencias, Universidad Complutense de Madrid. Madrid – España. 360 p

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

BAKKER, R.F.M Initiation period. In.: SCHIESSL, P. (Ed.) Corrosion of steel in Concrete – Report of Technical Committee 60CSC RILEM. London: Chapman & Hall Ltda, 1988.

BRAGA, Natalia Maria Teixeira et al. Patologias nas construções: Trincas e fissuras em edifícios. 2010.

CLAISSE, Peter A.; EL-SAYAD, Hanaa; SHAABAN, Ibrahim G. Permeability and pore volume of carbonated concrete. ACI materials Journal, v. 96, n. 3, p. 378-381, 1999.

GONÇALVES, Eduardo Albuquerque Buys. Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações. Rio de Janeiro: UFRJ, 2015.

HELENE, P. R. L. Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. São Paulo: Pini, 1992.

HO, D. W. S.; LEWIS, R. K. The specification of concrete for reinforcement protection—performance criteria and compliance by strength. Cement and Concrete Research, v. 18, n. 4, p. 584-594, 1988.

JOHN, V. M.; TUDISCO, M. Durabilidade e carbonatação do concreto na revisão da NBR 6118. In.: SEMINÁRIO QUALIDADE E DURABILIDADE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO, Porto Alegre, 1993. Anais... Porto Alegre: UFRGS/CPGEC/NORIE, p. 62-73, 1993.

KULAKOWSKI, Marlova Piva. Contribuição ao estudo da carbonatação em concretos e argamassas compostos com adição de sílica ativa. 2002.

NEVILLE, Adam M. Propriedades do Concreto-5ª Edição. Bookman Editora, 2015.

LOO, Y. H. et al. A carbonation prediction model for accelerated carbonation testing of concrete. Magazine of Concrete Research, v. 46, n. 168, p. 191-200, 1994.

OLIVEIRA, Daniel Ferreira. Levantamento de causas de patologias na construção civil. 2013.

PAPADAKIS, Vagelis G.; VAYENAS, Costas G.; FARDIS, Michael N. Fundamental modeling and experimental investigation of concrete carbonation. Materials Journal, v. 88, n. 4, p. 363-373, 1991.

PARROTT, L. J. A study of carbonation-induced corrosion. Magazine of Concrete Research, v. 46, n. 166, p. 23-28, 1994.

PAULETTI, Cristiane; POSSAN, Edna; DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho. Carbonatação acelerada: estado da arte das pesquisas no Brasil. Ambiente construído, v. 7, n. 4, p. 7-20, 2007.

ROTHER, Edna Terezinha. Revisão sistemática da literatura X revisão narrativa. Acta Paulista de Enfermagem, v. 20, n. 2, p. v-vi, 2007

ROY, S. K.; POH, K. B.; NORTHWOOD, D. O. Durability of concrete—accelerated carbonation and weathering studies. Building and environment, v. 34, n. 5, p. 597-606, 1999.

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

PALAVRAS-CHAVE: Carbonatação, Concreto, realcalinização, corrosão