ESTADO LIMITE DE ABERTURA DAS FISSURAS EM CONCRETO E SUA INFLUÊNCIA NA DURABILIDADE

M. PAULINO DA COSTA JÚNIOR
Professor
Universidade Federal do Espírito Santo
Vitória/ES; Brasil
milton.paulino@gmail.com

RESUMO

Devido à preocupação com as fissuras em relação à durabilidade, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece abertura máxima característica (Wk) para fissuração e proteção das armaduras. Essa norma define aberturas máximas, cujas especificações variam em função da classe de agressividade ambiental, do tipo de estrutura de concreto e as combinações de ações de serviço. O objetivo deste trabalho é avaliar a influência da abertura de fissura induzida por carregamento na durabilidade (profundidade de carbonatação) de corpos-de-prova prismáticos de concreto, ao longo de dois anos de exposição ao meio ambiente natural e névoa salina artificial. Adotou-se como parâmetro para limite de abertura de fissura o preconizado pela norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014). Observa-se através dos resultados que a fissura pode ser um caminho preferencial para que a difusão do dióxido de carbono ocorra no interior do concreto, porém, esse processo no interior da fissura ocorre lentamente, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre os resultados de profundidade de carbonatação até os 24 meses de idade.

Palavras-chave: Fissura. Carregamento. Carbonatação.

ABSTRACT

Due to the concern with cracks in terms of durability, NBR 6118 (ABNT, 2014) establishes a maximum characteristic opening (Wk) for cracking and protection of reinforcing bars. This norm defines maximum openings, whose specifications vary according to the environmental aggressiveness class, the type of concrete structure and the combinations of service actions. The objective of this work is to evaluate the influence of crack opening induced by loading on durability (carbonation depth) of prismatic concrete specimens, over two years of exposure to natural environment and artificial salt spray. As a parameter for the limit of the crack opening the recommended one by the Brazilian standard NBR 6118 (ABNT 2014) was adopted. It is observed from the results that the fissure can be a preferential way for the diffusion of the carbon dioxide to occur inside the concrete, however, this process inside the fissure occurs slowly, since no significant differences between the results of the depth of carbonation were observed in up to 24 months of age.

Keywords: Cracking. Loading. Carbonation.

1. INTRODUÇÃO

Em condições naturais de exposição, a durabilidade do concreto é controlada pela habilidade de impedir a entrada e o transporte de íons e fluidos no seu interior. Muitas vezes o concreto está sujeito a vários tipos de solicitação (térmica, mecânica, etc) que geram tensões de tração que excedem a resistência do material gerando fissuras, que podem afetar o transporte de agentes agressivos à mistura.

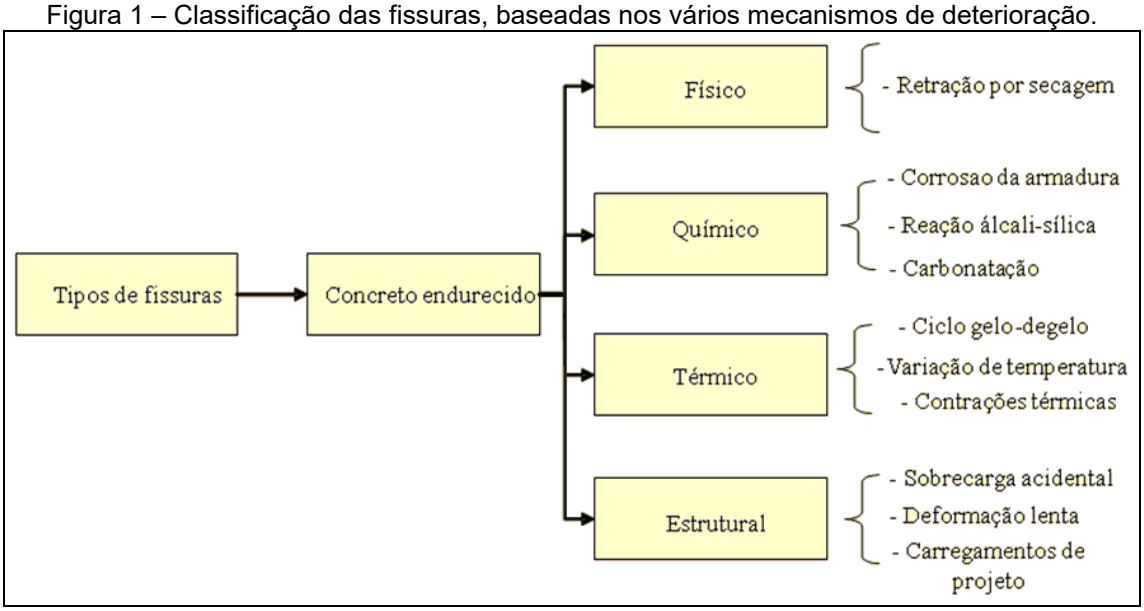
Fissuras manifestadas devido à ação de cargas externas podem agir como um fator importante para a entrada de agentes agressivos como íons cloreto e o CO_2 (carbonatação). O problema maior na entrada dos agentes agressivos, no caso o CO_2 está na despassivação da armadura, pois se os compostos básicos

presentes na pasta de cimento forem neutralizados ocorrerá uma redução do pH tornando a armadura mais vulnerável à instalação de um processo de corrosão. Atingindo a armadura, conforme as condições de umidade ambiente, pode ocorrer a corrosão com aparecimento de manchas, fissuras, destacamento de partes do concreto, com casos até de perda da seção resistente e da aderência (FIGUEREDO, 2005).

As cargas que atuam diretamente na estrutura como a sobrecarga, cargas de impacto, além das cargas que atuam aliadas às características do material, como as térmicas e a umidade. Na maioria das obras correntes, essas cargas são inevitáveis, assim, são importantes para o bom desempenho do material os cuidados relativos à qualidade do concreto (GERARD; MARCHAND, 2000; WANG et al, 1997).

As características das fissuras; ou seja, conectividade, abertura, largura, comprimento, etc; exercem um papel fundamental na durabilidade das estruturas de concreto. As fissuras podem ser classificadas com base nos vários tipos de mecanismos existentes, chamados de mecanismos de deterioração. Na figura 1 são apresentados esquematicamente os processos ou mecanismos de deterioração em que o concreto endurecido pode estar submetido (HEARN; FIGG, 2001).

Figura 1 – Classificação das fissuras, baseadas nos vários mecanismos de deterioração.



Fonte: HEARN; FIGG, 2001.

Dependendo de qual seja o mecanismo, as fissuras são apenas uma etapa do processo de deterioração, como é o caso do mecanismo químico, onde o surgimento de fissuras apenas compõe uma etapa da corrosão da armadura ou da reação álcali-sílica. Nos outros mecanismos têm-se processos como, por exemplo, a retração por secagem, sobrecarga e variação de temperatura, que irão causar microfissuras e/ou fissuras no material deixando-os susceptíveis a entrada de agentes agressivos (RINGOT; BASCOUL, 2001).

Devido à preocupação com as fissuras em relação à durabilidade, a NBR 6118 (ABNT, 2014) estabelece abertura máxima característica (Wk) para fissuração e proteção das armaduras quanto à durabilidade. Essa norma define abertura máxima de fissuras de 0,4mm para concreto armado, que variam em função da classe de agressividade ambiental, do tipo de estrutura de concreto e as combinações de ações de serviço.

As exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental, definidas na NBR 6118 (ABNT, 2014) são apresentadas na tabela 1. De acordo com essa norma, as fissuras podem ocorrer por várias causas, como retração e reações internas no concreto nas primeiras idades, e as mesmas devem ser evitadas ou limitadas por cuidados tecnológicos, com destaque para a definição do traço e para a cura. A norma ainda ressalta que os limites de aberturas de fissuras reais podem não corresponder estritamente aos valores estimados, ou seja, fissuras reais podem eventualmente ultrapassar esses limites.

Tabela 1 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e à proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de proteção	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	-
Concreto armado	CAAI	ELS-W wk ≤ 0,4 mm	Combinação frequente
	CAA II a CAA III	ELS-W wk ≤ 0,3 mm	
	CAA IV	ELS-W wk ≤ 0,2 mm	

ELS-W: estado em que as fissuras se apresentam com aberturas iguais aos máximos especificados em 13.4.2

Fonte: NBR 6118, 2014.

Considerando a deterioração do concreto decorrente de fissura e microfissuras, o código do American Concrete International (ACI 318-89) limita abertura de fissura de 0,4 mm em ambiente interno e 0,33 mm em ambiente externo (WANG et al, 1997).

Um problema observado pelos profissionais que atuam diretamente nas obras é a despreocupação, em muitos casos, quando surgem fissuras nas estruturas de concreto armado com abertura dentro dos limites estabelecidos pela norma brasileira, como observado na figura 2. Uma vez que fissuras na estrutura apareçam, se estiverem dentro dos limites estabelecidos pela NBR 6118 (ABNT, 2007), não se tem uma investigação mais aprofundada do real problema ou a causa do seu aparecimento. Nesse contexto, vê-se que o estudo sobre esse assunto é importante para que os profissionais de obra se conscientizem quanto a real contribuição da abertura de fissura na perda de durabilidade da estrutura de concreto.

Figura 2 – Abertura de fissura em estruturas de concreto armado.



Fonte: Autor.

O objetivo deste artigo é avaliar a influência da abertura de fissura induzida por carregamento na durabilidade (profundidade de carbonatação) de corpos-de-prova prismáticos de concreto, ao longo de dois anos de exposição ao meio ambiente natural e névoa salina artificial. Adotou-se como parâmetro para limite de abertura de fissura o preconizado pela norma brasileira NBR 6118 (ABNT, 2014).

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização dos materiais

Para produção dos corpos-de-prova prismáticos de concreto e corpos-de-prova cilíndricos, foi utilizado cimento Portland de alto-forno (CP III 40-RS), cujo teor de escória granulada de alto-forno no cimento pode chegar a 70%. Também foram utilizados os seguintes materiais para composição da mistura: areia (média) de rio, disponível e utilizada na região de Campinas – SP, pedra britada número 1 (basalto) com dimensão máxima característica de 19mm e aditivo plastificante multidosagem redutor de água.

2.2 Misturas experimentais

As misturas experimentais escolhidas em função da dosagem do concreto utilizado nesta pesquisa, cuja proporção adotada aglomerante:agregados foi de 1:5 em massa. Neste sentido, atendendo a esse requisito, o traço adotado foi de 1:2:3 (cimento:areia:brita) (em massa), com a relação água/cimento de 0,42.
A escolha da proporção (cimento: areia: brita) 1:2:3 ocorreu por apresentar bom teor de argamassa. A relação água/cimento utilizada neste estudo foi adotada com o objetivo de se obter concretos mais resistentes quando expostos em meios agressivos, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014).

O índice de consistência, encontrado por meio de um tronco de cone (conforme a NBR 7223:1992), foi de 40 ± 10mm. O consumo de materiais empregados para a moldagem das vigas pode ser observado na tabela 2.

Tabela 2 – Especificação dos materiais utilizados no trabalho experimental

Traço	Cimento (Kg)	Aditivo (%)	Areia (Kg)	Brita (Kg)	Água (Kg)
1:2:3:0,42	50	0,6	100	150	21

	Cimento(Kg/m3)	Aditivo (Kg/m3)	Areia (Kg/m3)	Brita (Kg/m3)	Água (Kg/m3)
1:2:3:0,42	398	2,4	796	1194	167

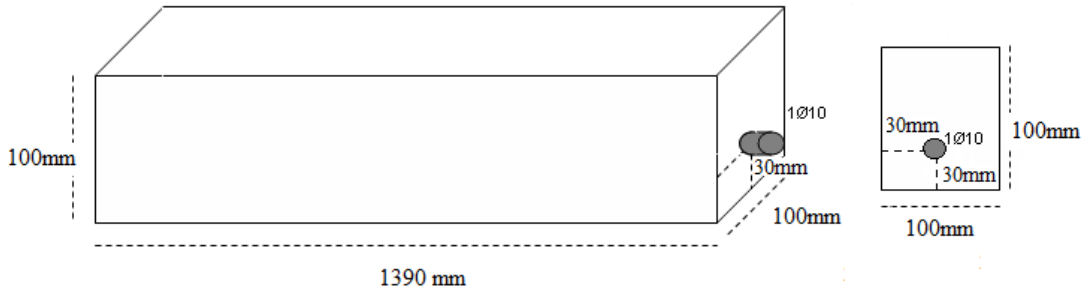
Fonte: Autor.

A mistura do concreto para a produção dos corpos-de-prova prismáticos foi mecânica em betoneira de eixo inclinado.

2.3 Moldagem, cura e ensaios dos corpos-de-prova prismáticos

Para cada série foram moldados corpos-de-prova prismáticos nas dimensões 1,39x0,1x0,1m, como apresentado na Figura 3. Foi utilizada uma barra de aço CA50 com diâmetro nominal de 10 mm (Ø 10), com cobrimento nominal de 30 mm, embora a corrosão do aço não seja escopo deste trabalho. O cobrimento adotado (30 mm) foi definido em função do trabalho realizado no Laboratório de Materiais de Construção por Martins (2001) que observou, em concretos produzidos com cimento Portland de alto-forno, profundidades de carbonatação máximas de 20mm e teor de cloretos na faixa de 0,1 % (massa de cimento) na profundidade de cobrimento 30 a 40mm. Ressalta-se que a barra de aço colocada no corpo-de-prova prismático foi importante para o manuseio do corpo-de-prova, para a avaliação da carga e também para manter o concreto com as fissuras para a avaliação do concreto de cobrimento.

Figura 3 – Esquema de dimensões das vigas



Fonte: Autor.

Os corpos-de-prova prismáticos permaneceram nos moldes por 48 horas. Após a desmoldagem eles passaram pela etapa de cura, sendo imersos em água saturada de cal até a idade de 7 dias. Após esse período os corpos-de-prova prismáticos foram submetidos a carregamento central permanente ou não sofreram nenhum tipo de carregamento e foram expostos ao meio ambiente até a data de ensaio. Nesta etapa foi aspergida uma solução simulando uma névoa salina ou ambiente salino ou de cloreto. A concentração de sal na água de mar é de 35 g/l de NaCl. Neste sentido, foi utilizada essa concentração para a névoa salina, a qual era aspergida com borrifador, até o umedecimento dos corpos-de-prova, 3 vezes

por semana, três vezes ao dia. Essa aspersão, simulando uma névoa salina, ocorreu até as datas de ensaios.

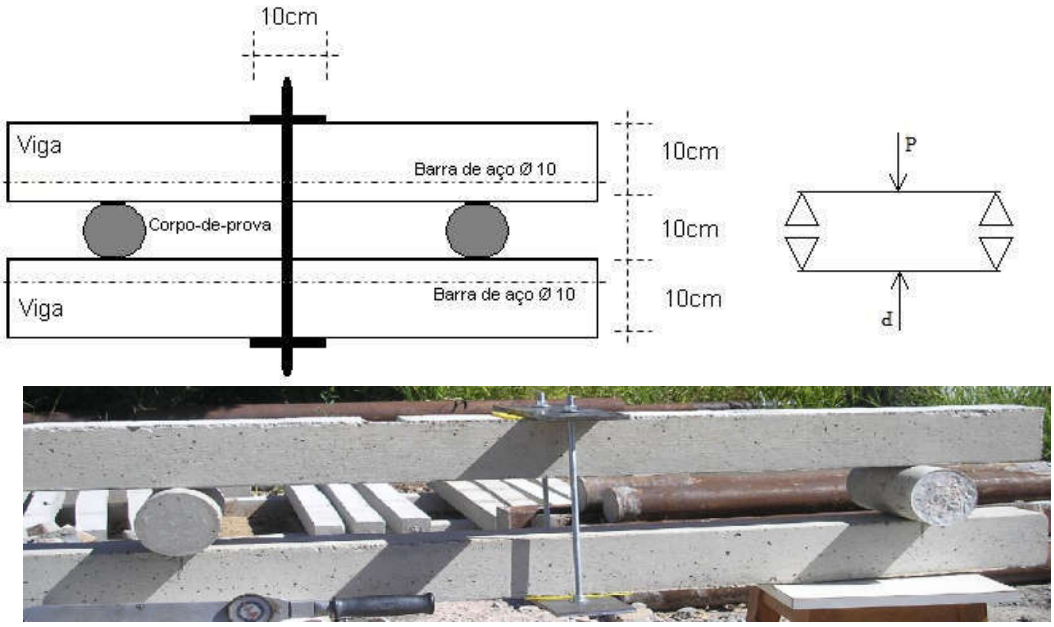
A escolha dessa metodologia foi em função do trabalho de Arya e Darko (1996) que realizaram ensaios de corrosão em vigas de concretos armado, submetendo-as a um ambiente com temperatura de 20 ºC e Umidade Relativa do ar de 90%, aspergindo uma solução de 3% de NaCl três vezes por semana e três vezes ao dia.

Durante todo o período em que os corpos-de-prova prismáticos foram expostos ao meio ambiente ou ambiente natural, foi monitorada a umidade relativa e temperatura, para verificar se o ambiente era propício para o desenvolvimento de deterioração química.

2.3.1 Carregamento dos corpos-de-prova prismáticos

Uma das maiores dificuldades da pesquisa experimental foi quanto à definição de como seria o carregamento permanente, ou seja, como as vigas ficariam sob carregamento permanente até as datas de ensaios. Após muitas alternativas e formas de operacionalização analisadas, definiu-se que os corpos-de-prova prismáticos seriam submetidos a um carregamento de tração na flexão, conforme observado na Figura 4.

Figura 4 – Carregamento permanente nas vigas



Fonte: Autor.

O esquema apresenta os corpos-de-prova prismáticos biapoiados em corpos-de-prova cilíndricos de concreto (10x20 cm) com um pórtico central composto de duas chapas de aço e duas barras rosqueadas (de 9,5 mm, 3 porcas, 3 arruelas e duas chapas de aço de 8x300x100 mm) aplicando o carregamento de 250 kgf, ocasionado fissuras nas vigas, com abertura até de 0,4 mm (dentro dos limites da norma). O carregamento era realizado aplicando-se um torque de 0,5 Kgfm, com torquímetro.

A sequência para o carregamento foi: montagem da estrutura, com os corpos-de-prova prismáticos e os apoios (corpos-de-prova cilíndricos); colocação do pórtico (barras rosqueadas, chapas de aço, porcas e arruelas); aplicação do torque definido anteriormente, que ocasionava a abertura de fissura dentro dos limites da norma; anotação das fissuras, aberturas e posicionamento nas vigas; colocação sobre apoios (em ambiente natural e sob névoa salina) até a data dos ensaios.

Após a montagem do esquema de carregamento, as vigas voltaram à condição de exposição ao ambiente natural e névoa salina. O torque foi monitorado durante todo o período de exposição até as idades de ensaios. As cargas eram constantemente aferidas com torquímetro.

E na outra situação, após a de cura úmida, os corpos-de-prova prismáticos ficavam em ambiente externo até a data de ensaio, não sofrendo nenhum tipo de carregamento.
A série de corpos-de-prova prismáticos produzidos, com suas respectivas datas de ensaio é apresentada na tabela 3.

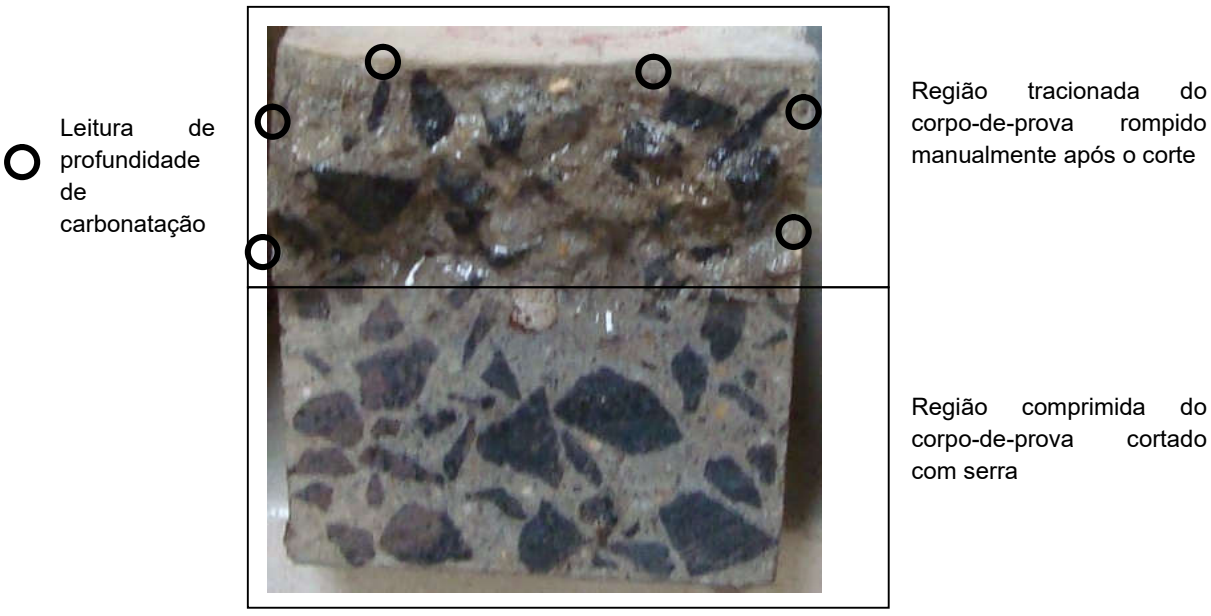
Tabela 3 – Série de corpos-de-prova prismáticos produzidos

Amostra	Amostra sem carregamento	Amostra sob carregamento central permanente	Data de ensaio
M6um	M6SC	M6CCP	06 meses
M12um	M12SC	M12CCP	12 meses
M18um	M18SC	M18CCP	18 meses
M24um	M24SC	M24CCP	24 meses

Fonte: Autor.

A observação da profundidade de carbonatação foi realizada em seções transversais rompidas nos corpos-de-prova prismáticos, nas idades de 6, 12, 18 e 24 meses. O corte foi realizado em pelo menos três locais: nos terços médios, onde se tem a visão das áreas comprimidas e tracionadas dos corpos-de-prova prismáticos, assim como as áreas mais e menos atingidas pelos carregamentos. Foi cortado até a armadura e o restante da viga era rompido, conforme a´resentado na Figura 5.

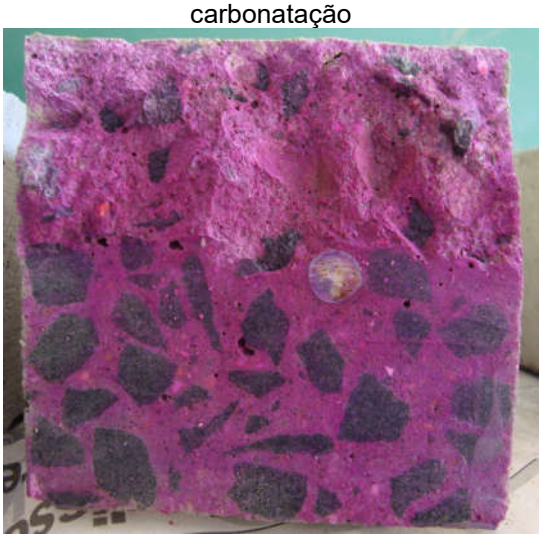
Figura 5 – Esquema de corte dos corpos-de-prova prismáticos, mostrando parte do corpo-de-prova cortado e rompido.



Fonte: Autor.

Para determinar a profundidade de carbonatação foi aspergida uma solução de fenolftaleína na área rompida, preparada com a dissolução de 1g do reagente em 100 ml de etanol, conforme recomendado por Kasmierczak e Lindenmeyer (1996). Após a aspersão, a área carbonatada fica incolor e a área não carbonatada apresenta cor vermelho carmim. Antes da realização desse ensaio, fez-se fazer a limpeza da superfície da fratura para remover as impurezas. Com a ajuda de um paquímetro com precisão de 0,5mm é feita a leitura da profundidade de carbonatação. Geralmente há um tempo de espera de pelo menos 10 minutos após a aspersão da fenolftaleína para que a área esteja mais nítida para leitura (Figura 6).

Figura 6 – Corpo-de-prova com solução de fenolftaleína, pronto para a leitura de profundidade de carbonatação



Fonte: Autor.

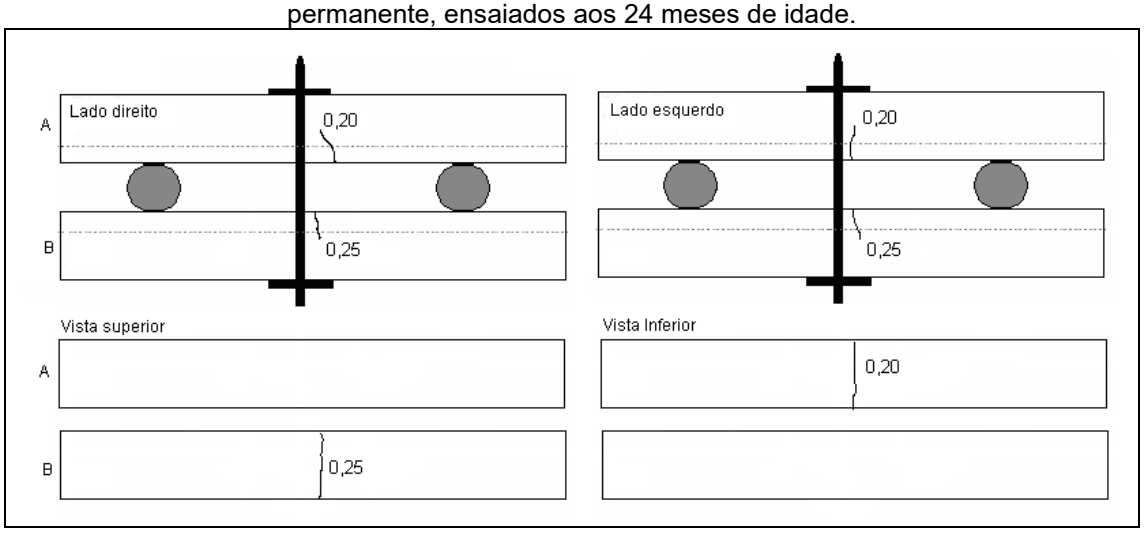
Para determinar diferenças estatisticamente significantes (o nível de significância adotado será de 5%) entre as médias dos resultados são utilizados testes de hipóteses paramétricas de ANOVA e DUCAN (MONTGOMERY, 1991).

3. RESULTADOS OBTIDOS

Foi realizado um mapeamento das fissuras nos corpos-de-prova prismáticos sob a ação de carregamento contínuo no período em que os mesmos ficaram expostos, até a idade de ensaio.

Na Figura 5 é apresentado o mapeamento esquemático das fissuras nos corpos-de-prova prismáticos ensaiados aos 24 meses de idade.

Figura 5 – Mapeamento das fissuras nos corpos-de-prova prismáticos que ficaram sob carregamento permanente, ensaiados aos 24 meses de idade.



Fonte: Autor.

Na Figura tem-se um exemplo da verificação das fissuras nos corpos-de-prova.

Figura 6 – Verificação da abertura de fissuras nos corpos-de-prova prismáticos que ficaram sob carregamento permanente, ensaiados aos 24 meses de idade.



Fonte: Autor.

Nos corpos-de-prova prismáticos apresentados na Figura 6 as fissuras ficaram com abertura em torno de 0,20 mm a 0,25 mm, mas ao longo dos 24 meses até a idade de ensaios as aberturas nas amostras ficaram na faixa de 0,30 mm a 0,40 mm.

A média dos resultados de profundidade de carbonatação dos corpos-de-prova prismáticos, referentes às amostras submetidas a carregamento central permanente (M6CCP a M24CCP) é apresentada na tabela 4.

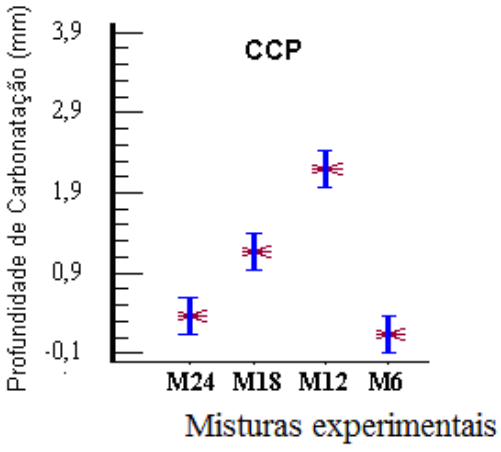
Tabela 4 – Media dos resultados de profundidade de carbonatação da amostra MC1 a MC4 (sob carregamento permanente pontual)

Amostra	Média (mm)	Desvio padrão
M6CCP	0,1	0,0
M12CCP	2,1	0,7
M18CCP	1,1	0,8
M24CCP	0,3	0,6

Fonte: Autor.

Pode-se observar na Figura 7 o gráfico com os resultados de profundidade de carbonatação para as amostras com carregamento central permanente.

Figura 7 – Profundidade de carbonatação para os concretos que não foram submetidas a nenhum tipo de carregamento



Fonte: Autor.

No caso das amostras que não foram submetidas a nenhum tipo de carregamento, que se pode adotar como situação referência, verificou-se a mesma tendência que o outro caso, com maiores profundidades nas idades de 12 e 18 meses.

Pode-se observar a comparação dos resultados de profundidade de carbonatação obtidos das amostras submetidas às situações de carregamento na tabela 5.

Tabela 5 – Comparações entre os concretos com os tipos de carregamentos utilizados neste trabalho e sem carregamento, nas diferentes idades de ensaio.

Concreto (corpos-de-prova-prismáticos)	Idade de ensaio	Diferença entre resultados de profundidade carbonatação
M6CCP – M6SC	6 meses	Não (Prof.Carbon. CCP = Prof.Carbon. SC)
M12CCP – M12SC	12 meses	Não (Prof.Carbon. CCP > Prof.Carbon. SC)
M18CCP – M18SC	18 meses	Não (Prof.Carbon. CCP > Prof.Carbon. SC)
M24CCP – M24SC	24 meses	Não (Prof.Carbon.CCP = Prof.Carbon. SC)

Fonte: Autor.

Nas idades de ensaio de 12 e 18 meses, os concretos submetidos ao carregamento central permanente tiveram profundidade de carbonatação maior do que os concretos sem carregamento, aos 6 e 24 meses a profundidade de carbonatação foi similar em relação a situação sem carregamento e com carregamento central permanente. Apesar do observado nos concretos estudados neste trabalho, em que a profundidade de carbonatação foi maior em concretos sob carregamento central permanente não houve diferença significativa entre os resultados, ou seja, até a idade aos 24 meses a abertura de fissura não influenciou estatisticamente no resultado de profundidade de carbonatação.

Outro fator que também deve ser levado em consideração nesse contexto é a importância da adequada espessura de cobrimento para garantir a durabilidade da estrutura, conforme recomendações da NBR 6118 (2014) e orientações de Martins (2001).

4. CONCLUSÕES

Em termos gerais, a exposição do concreto por um período de dois anos é um prazo relativamente curto para se obter diferenças significativas e dados expressivos de profundidade de carbonatação, principalmente quando se tem estudos com amostras sujeitas a carbonatação natural, sem processos de aceleração artificial.

Conforme citado na literatura, alguns fatores são necessários para que ocorra a deterioração do concreto pela entrada de agentes agressivos (como o CO_2), os quais estão relacionados com as variáveis deste trabalho, como as etapas do processo produtivo (cura), as condições do ambiente externo (umidade e temperatura), as fissuras superficiais no material e a qualidade do material (WIN et al, 2004). A partir desses fatores a concentração de agentes agressivos no concreto pode ser maior ou menor. No caso deste estudo vê-se que o fator fissura foi importante para profundidades maiores de carbonatação, aliado ao ambiente e cura, além da qualidade do material e suas propriedades.

Um problema decorrente da fissuração pela ação de carregamento é a interligação dos poros e capilares da mistura aumentando assim a permeabilidade do concreto. Essa permeabilidade, devido a fissuras e micro fissuras na pasta, permite que mais água ou íons químicos agressivos penetrem na estrutura, facilitando a deterioração (WANG et al, 1997; GERARD; MARCHAND, 2000).

Ao se comparar os resultados obtidos neste trabalho com os outros estudos, observa-se que as idades utilizadas para realização dos ensaios em sua maioria ultrapassam 5 anos, como no estudo de Vidal e colaboradores (2004), tendo-se com essas idades avançadas melhor observação da durabilidade do concreto e da ação dos agentes agressivos na mistura ao longo de sua vida útil. Em algumas pesquisas os concretos ficaram submetidos à ambiente com névoa salina (artificial). Porém, o mais importante a se comparar com essas pesquisas são os resultados obtidos, como os de Castel e colaboradores (1999) que

verificaram em seu estudo que a carga aplicada em uma viga de concreto armado e sua intensidade desempenha um papel significativo na penetração do CO_2, devido ao aumento das microfissuras de tensão no concreto, localizadas principalmente na interface pasta-agregado e que essas microfissuras/fissuras de tensão reduzem o tempo necessário para os agentes agressivos alcançarem a armadura; Vidal e colaboradores (2004) observaram que quanto maior a abertura da fissura na viga maior será seu grau de deterioração ao longo do tempo.

Do ponto de vista macro, nota-se que a fissura pode ser um caminho preferencial para que a difusão do dióxido de carbono ocorra no interior do concreto, porém, esse processo no interior da fissura ocorre lentamente, uma vez que não foram observadas diferenças significativas entre os resultados de profundidade de carbonatação até os 24 meses de idade.

Além da abertura de fissuras e do tempo de exposição ao carregamento, outros fatores são importantes para que a fissura influencie na profundidade de carbonatação, como a quantidade de fissuras superficiais no concreto. Esse fato foi observado nos concretos ensaiados aos 12 meses de idade, que tiveram menor módulo de elasticidade, consequentemente maior quantidade de fissuras na aplicação do carregamento e os piores resultados quanto à profundidade de carbonatação em comparação as outras idades. O clima também pode influenciar na entrada do CO_2 pela fissura e carbonatar o concreto, uma vez que para que se desencadeiem as reações químicas a umidade relativa deve estar na faixa de 60 a 80%. Apesar dos valores máximos e mínimos de umidade, na média eles ficaram na faixa de 60 a 80%, contribuindo assim para que as reações ocorressem no interior da fissura.

5. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118 (2007)**. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. NBR 6118, Rio de Janeiro, 242 p, 2007.

ARYA, C.; OFORI-DARKO, F.K. **Influence of crack frequency on reinforcement corrosion in concrete**. Cement and Concrete Research, v.26, No. 3, p. 345-353, 1996.

CASTEL, A., FRANCOIS, R. ARLIGUIE, G. **Effect of loading on carbonation penetration in reinforced concrete elements**. Cement and Concrete Research, v. 29, p. 5161–565, 1999.

FIGUEREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**. In: Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C. Isaia. São Paulo: IBRACON, 2005, 2 v. Volume 2. p. 829-856.

GERARD, B.; MARCHAND, J. **Influence of cracking on the diffusion properties of cement-based materials Part I: Influence of continuous cracks on the steady-state regime**. **Cement and Concrete Research**, v. 30, p. 37–43, 2000.

HEARN, N.; FIGG, J. **Transport mechanisms and damage: Current issues in permeation characteristics of concrete. In: Materials science of concrete**. Ed. By Jan Skalny, **American Ceramic Society**. v. VI, p.327-376, 2001.

KAZMIECZAK, C. S., LINDENMEYER, Z. **Comparação entre metodologias utilizadas para a determinação da profundidade de carbonatação em argamassas**. In: International Congress on High-Performance Concrete, and Performance and quality of concrte structures. **Proceedings**. Florianópolis, 1996.

MARTINS, A.R. **Efeito da cura térmica e de cimento com escória granulada de alto-forno na durabilidade do concreto de cobrimento**. Unicamp. Dissertação (mestrado) 2001.

RINGOT, E.; BASCOUL, A. **About the analysis of microcracking in concrete**. Cement and concrete composites, v. 23, p. 261-266, 2001.

VIDAL, T., CASTEL, A., FRANCOIS, R. **Analyzing crack width to predict corrosion in reinforced concrete**. Cement and Concrete Research, v. 34, p. 165–174, 2004.

WANG, K.; JANSEN, D. C.; SHAH; S. P.; KARR, A. F. **Permeability study of cracked concrete**. Cement and Concrete Research, v. 27, No. 3, p. 381-393, 1997.

WIN, P.; WATANABE, M.; MACHIDA, A.. **Penetration profile of chloride ion in cracked reinforced concrete**. Cement and Concrete Research, v. 34, p. 1073–1079, 2004.