

AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE PROTEÇÃO DE ADIÇÕES MINERAIS EM RELAÇÃO À CORROSÃO DE ARMADURAS DEVIDO À CARBONATAÇÃO

Victor Correia de Oliveira Pereira – Eng. Civil, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, – Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: victor.napster@gmail.com

Eliana Cristina Barreto Monteiro – Profª. Drª. Departamento de Engenharia Civil – Escola Politécnica de Pernambuco – Universidade de Pernambuco, Brasil – e-mail: nana.monteiro@uol.com.br

RESUMO

O concreto é considerado o principal material de construção utilizado na sociedade moderna, e quando combinado com o aço aumenta, ainda mais, a variedade de aplicações na construção de estruturas. Todavia, as estruturas de concreto armado podem apresentar patologias, sobretudo a corrosão de armaduras. A corrosão ocasionada pela carbonatação do concreto representa uma das maiores ameaças à durabilidade das estruturas de concreto armado. Com a finalidade de melhorar algumas propriedades tecnológicas do concreto e conseqüentemente a sua durabilidade frente à corrosão de armaduras são utilizadas adições minerais, principalmente a sílica ativa e o metacaulim. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar a profundidade de carbonatação entre corpos-de-prova moldados com e sem a utilização de adições de metacaulim e sílica ativa. Através das análises realizadas pode-se concluir que os corpos-de-prova com menores teores de adição apresentaram uma maior resistência a carbonatação em relação aos com maiores teores de adição.

Palavras-chave: Corrosão, concreto, durabilidade, carbonatação, adição.

ABSTRACT

The concrete is the main construction material used in modern society, and when combined with the steel increases even more, the variety of applications in building structures. However, the concrete structures may exhibit pathologies, especially the reinforcement corrosion. The corrosion caused by carbonation of concrete is one of the greatest threats to the durability of concrete structures. Aiming to improve some technological properties of concrete and hence its durability against corrosion of reinforcement are used mineral admixtures, especially silica fume and metakaolin. Therefore, this study aims to evaluate the depth of carbonation between body-molded into test samples with and without the use of additions of metakaolin and silica fume. Through the analysis conducted can be concluded that the specimens used in the test with lower levels of addition showed a greater resistance to carbonation than those with higher levels of addition.

Keywords: Corrosion, concrete, durability, carbonation, addition.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização que o homem tem se preocupado com a construção de estruturas adaptadas às suas necessidades, sejam elas habitacionais (casas e edifícios), laborais (escritórios, indústrias, galpões, etc.), ou de infra-estrutura (pontes, cais, barragens, metrô, etc.). Com isso a humanidade acumulou um grande acervo científico ao longo dos séculos, o que permitiu o desenvolvimento da construção.

Apesar disto tem se constatado que algumas estruturas acabam por ter desempenho insatisfatório para a finalidade a que se propunham devido à incidência de manifestações patológicas. Várias manifestações patológicas podem incidir sobre uma estrutura de concreto armado ocasionando a diminuição da sua vida útil. Em estudos realizados, Andrade (1997) aponta que 64% das manifestações patológicas em estruturas de concreto armado no estado de Pernambuco correspondem à corrosão das armaduras de concreto armado.

As armaduras de concreto armado se encontram inicialmente de forma passiva, pois o concreto possui elevada alcalinidade devido ao seu pH ser elevado. O pH do concreto estando acima de 12,6 mantém as armaduras protegidas e não desenvolvem corrosão. No entanto, esta situação de equilíbrio é afetada quando o pH do concreto é reduzido, como conseqüência da carbonatação ou penetração de cloretos. Quando existe esta situação de desequilíbrio ocorre o fenômeno de despassivação da armadura.

Alguns fatores limitam o ingresso de substâncias agressivas no concreto, a relação água/cimento e a cura são os principais

fatores que limitam o avanço dessas substâncias devido à influência na porosidade, ou seja, na forma, no volume e na distribuição do tamanho dos poros. O ingresso de substâncias agressivas é menor quanto maior for o período de cura e menor for a relação água/cimento.

O tipo de cimento influencia na velocidade de carbonatação, já que a reserva alcalina é função, dentre outros fatores, da composição química do cimento e das adições. Cimentos com adições apresentam uma velocidade de carbonatação mais rápida em relação a cimentos sem adições.

CORROSÃO EM ARMADURAS DE CONCRETO DEVIDO À CARBONATAÇÃO

Entende-se por corrosão de armaduras como sendo um processo de deterioração causado pela interação entre o material e o meio ambiente, através de uma reação química ou eletroquímica. Esse processo de deterioração causa a perda da seção da barra de aço e a formação de produtos expansivos. Esses produtos acumulados geram tensões de tração no concreto (o concreto resiste à tração apenas 10% do valor referente a sua resistência à compressão) as quais invariavelmente fissuram o concreto, havendo na seqüência do processo o lascamento e, posteriormente o destacamento da camada de revestimento do concreto.

Para que haja o início da corrosão, portanto, é determinante a despassivação da armadura, o que ocorre frente a pelo menos uma das duas condições básicas seguintes: presença de quantidade suficiente de cloretos ou diminuição da alcalinidade do concreto, esta última causada principalmente pelas reações de carbonatação do concreto.

A carbonatação é um processo de neutralização da fase líquida intersticial saturada de hidróxido de cálcio e de outros compostos alcalinos hidratados do concreto, dissolvidos nessa fase líquida e da fase sólida do concreto. Como resultados dessa reação obtém-se uma diminuição do pH a valores inferiores a 9 (RILEM, 1988).

A carbonatação não prejudica o concreto simples, o maior problema é sua ocorrência no concreto armado devido a redução da alcalinidade, reduzindo assim a estabilidade química da película passivadora do aço.

O dióxido de carbono avança desde o meio externo, passando pelo concreto através dos seus poros e chegando até a película passivadora que protege a armadura. Essa película em contato com o dióxido de carbono se dissolve e o metal pode corroer dependendo da presença ou não de umidade.

Esse processo recebe o nome de carbonatação devido a maior incidência de dióxido de carbono (CO₂) nas reações

de neutralização, tendo em vista que outros constituintes presentes na atmosfera podem produzir essa reação tais como o dióxido de enxofre (SO₂) e o gás sulfídrico (H₂S).

CIMENTO COM ADIÇÃO DE METACAULIM

O metacaulim é uma adição mineral aluminossilicosa obtida, normalmente, da calcinação, entre 600°C e 900°C, de alguns tipos de argilas, como as caulínicas e os caulins. Normalmente a argila caulínica utilizada possui grande percentagem de fases pozolanicamente inertes (quartzo e muscovita).

Segundo Dal Molin (2005), as pequenas partículas, em grande número, agem como bloqueadoras de poros, aumentando o contato sólido-sólido. Dessa forma os concretos com adições tendem a ser mais coesos, com a redução considerável da tendência a segregação e exsudação, quando comparados a um concreto sem adição.

A adição de metacaulim ao concreto causa uma melhora notável na sua resistência a compressão, fato explicado pelo refinamento dos poros e dos cristais presentes na pasta do cimento que tem um papel fundamental no aumento das resistências mecânicas.

Estudos de Ramcholan, citados por Lacerda e Helene (2002), comprovam que adicionando metacaulim na composição do concreto a expansão devido à reação álcali-agregado mantém-se abaixo de 0,04%, aos dois anos de idade. A quantidade necessária para obter esse resultado é de até 10% em relação à quantidade da massa de cimento utilizada.

CIMENTO COM ADIÇÃO DE SÍLICA ATIVA

A sílica ativa, conhecida comercialmente como microssílica, é um subproduto resultante do processo de obtenção do ferro sílico-metálico. A microssílica é altamente reativa e apresenta uma superfície específica média de 20000 m²/Kg, muito superior a do cimento Portland (350 a 600 m²/Kg). A sua massa específica encontra-se em torno de 220 Kg/m³, menor do que a do cimento, de aproximadamente 315 Kg/m³ (MALHOTRA *et al.*, 1992).

Devido à extrema finura da sílica ativa a água necessária em concreto com esta adição normalmente aumenta com o aumento da porcentagem adicionada. Alguns estudos relatam que pequenas adições de sílica ativa (2% a 3% sobre a massa do cimento), em vez de aumentar o consumo de água, podem ser úteis no sentido de melhorar a estabilidade e a trabalhabilidade do concreto (MEHTA; MONTEIRO, 2008).

De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a sílica ativa é capaz de contribuir para a resistência de um determinado concreto mesmo no período inicial da hidratação (1 a 3 dias), sendo que a contribuição mais significativa ocorre até os 28 dias de idade.

A utilização de sílica ativa reduz a permeabilidade do concreto. Além disso, a substituição de um composto solúvel e lixiviável, como o hidróxido de cálcio, por um composto estável e resistente gera um concreto de maior capacidade de impedir a passagem de água em seus poros capilares.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é o estudo comparativo para avaliar a profundidade de carbonatação, utilizando a fenolftaleína como indicador, entre corpos-de-prova de argamassa moldados com e sem adição de metacaulim e de sílica ativa.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Em geral, a frente de carbonatação do concreto é medida pelo emprego de indicadores como a fenolftaleína, a timolftaleína ou o amarelo alizarina, borrifados em perfis de concreto de cobertura. Esses indicadores são substâncias químicas que, em contato com a solução alcalina do concreto, rica em hidróxido de cálcio, adquirem colorações típicas a partir de uma faixa de pH da solução.

Neste trabalho foi utilizada a fenolftaleína como indicador. Quando aspergida sobre o concreto a fenolftaleína adquire uma coloração vermelha carmim com pHs iguais ou superiores a uma faixa entre 8,0 e 9,8.

Kazmierczac e Zara (1996) alertam para alguns cuidados que devem ser tomados durante o processo de execução da fratura e mensuração da frente de carbonatação, ressaltando que a superfície não deve ser serrada, molhada ou apresentar excesso de poeira, pois estes fatores prejudicam a visualização e podem falsear os resultados. Recomenda-se a limpeza da fratura com pincel ou jato de ar comprimido e a aspersão do indicador em um período não superior a um minuto após a fratura.

Quando é colocado o indicador, após um a dois minutos deve ter alterado a cor do corpo-de-prova e a medida da espessura incolor deve ser tomada com uma precisão de milímetros. Se a linha de troca é ondulada, devem-se tomar pelo menos dez medidas em pontos diferentes e calcular a média aritmética e a profundidade máxima. Recomenda-se a medida em certas regiões críticas tais como canto, esquinas, ao redor de agregados graúdos e outros pontos onde se esperam profundidades maiores de carbonatação.

Em nível prático admite-se que o concreto não esta carbonatado quando, ao se aspergir o indicador, ele adquirir em sua superfície a coloração vermelha carmim; caso fique incolor, assumi-se que o concreto esta carbonatado.

Nos experimentos foi utilizado o cimento CP-III-40 RS BC (Cimento Portland de Alto Forno Resistente a Sulfatos e com Baixo Calor de Hidratação). Foi utilizado como agregado miúdo, material proveniente da região, peneirado com auxílio da peneira nº4 (4,75mm). A água que foi utilizada no experimento foi a água potável proveniente da rede pública de abastecimento local. As adições utilizadas foram o metacaulim e a sílica ativa.

Os equipamentos que auxiliaram a realização do experimento foram: Peneira 4,8 mm (ABNT nº4), balança de precisão, moldes de corpo-de-prova (5cm x 10cm), soquete padrão, argamassadeira, paquímetro, borrifador, proveta graduada, pincel e prensa.

O ensaio foi realizado no laboratório de materiais de construção civil da Universidade Católica de Pernambuco.

Foram moldados de acordo com a ABNT NBR 7215:1997 24 corpos-de-prova com 5cm de diâmetro e 10cm de altura. A Tabela 1 apresenta as características dos corpos-de-prova moldados:

Tabela 1 – Características dos corpos-de-prova moldados

Traço	Nome	Nº de corpos-de-prova	Cimento: adição:areia; água/aglomerante	Cura (dias)
1:3	Referência (R1)	4	1:0:3;0,6	3
1:3	Metacaulim (M1)	4	0,9:0,1:3;0,6	3
1:3	Sílica Ativa (S1)	4	0,9:0,1:3;0,6	3
1:3	Referência (R2)	4	1:0:3;0,6	0
1:3	Metacaulim (M2)	4	0,9:0,1:3;0,6	0
1:3	Sílica Ativa (S2)	4	0,9:0,1:3;0,6	0

A quantidade de adição utilizada foi de 10% em relação à massa de aglomerante, pois segundo a literatura esse teor demonstra os melhores resultados no que se refere à redução da porosidade não sendo aconselhável utilizar teores maiores uma vez que irão atingir os mesmos resultados e ocasionará uma diminuição ainda maior da reserva alcalina.

Metade dos corpos-de-prova moldados tiveram um período de 3 dias de cura ficando submersos em um tanque com água, e os outros 12 corpos-de-prova não tiveram nenhum tipo de cura para poder acelerar o processo de carbonatação natural e servir como objeto de estudo para comparação dos resultados.

Vale salientar que todos ficaram carbonatando ao natural em temperatura ambiente por 28 dias.

Após esse período foi realizado o ensaio de carbonatação. Os corpos-de-prova foram fraturados diametralmente, limpos com pincel e borrifados com fenolftaleína diluída em álcool puro. Posteriormente foi medida, com o auxílio do paquímetro, a profundidade de carbonatação dos mesmos.

RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados do ensaio de carbonatação realizado nos corpos-de-prova de argamassa com e sem a utilização de metacaulim e sílica ativa. Foram realizadas dez medições da espessura carbonatada, com o auxílio do paquímetro, em cada corpo-de-prova e em seguida foi realizada a média dos valores obtidos.

Tabela 2 – Profundidade de carbonatação média nos corpos-de-prova dos diferentes tipos de traço

Traço	Corpos-de-prova (CP)	Profundidade de carbonatação (mm)
Referência (R1)	CP1- R1	1,89
	CP1- R1	2,07
	CP1- R1	2,07
	CP1- R1	1,68
Metacaulim (M1)	CP1- M1	2,58
	CP2 - M1	2,18
	CP3 - M1	3,00
	CP4 - M1	2,43
Sílica Ativa (S1)	CP1- S1	2,37
	CP2 - S1	2,22
	CP3 - S1	2,12
	CP4 - S1	2,06
Referência (R2)	CP1- R2	3,68
	CP1- R2	3,58
	CP1- R2	3,37
	CP1- R2	3,32
Metacaulim (M2)	CP1- M2	4,50
	CP2 - M2	3,73
	CP3 - M2	3,89
	CP4 - M2	4,10
Sílica Ativa (S2)	CP1- S2	5,55
	CP2 - S2	5,23
	CP3 - S2	5,32
	CP4 - S2	5,29

Nos corpos-de-prova submetidos à cura, os resultados demonstraram que o traço de referência, sem utilização de adição, obteve como maior profundidade média de carbonatação o valor de 2,07mm, apresentando o valor de 3,5mm como maior profundidade durante a realização das medições. O traço que continha adição de metacaulim apresentou como maior profundidade média de carbonatação o valor de 3,0mm, e 4,2mm como sendo o pico durante as medições. Já o traço que contava com adição de sílica ativa alcançou 2,37mm como maior profundidade média de carbonatação e 3,0mm de pico durante a realização das medições.

Os corpos-de-prova que não receberam nenhum tipo de cura apresentaram maior profundidade média de carbonatação em todos os casos. O traço de referência teve como maior profundidade média de carbonatação o valor de 3,68mm, apresentando o valor de 6,4mm como maior profundidade encontrada durante a realização das medições. O traço com adição de metacaulim alcançou 4,5mm como maior profundidade média e 6,6mm como maior profundidade durante a realização das medições. Já o traço com adição de sílica ativa apresentou o valor de 5,55mm como maior profundidade média de carbonatação e o valor de 8,3mm como pico observado durante as medições.

A Figura 1 apresenta a média dos resultados da profundidade de carbonatação entre os quatro corpos-de-prova de cada traço utilizado.

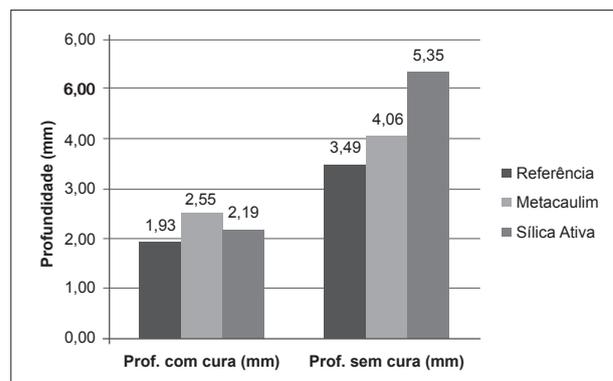


Figura 1: Profundidade média de carbonatação.

De acordo com os resultados apresentados podemos concluir que:

- O traço utilizado como referência teve a menor profundidade de carbonatação em ambos os casos, como já era esperado, pois o traço sem as adições de metacaulim e sílica ativa apresentou um desempenho superior aos traços que continham adições de metacaulim ou de sílica ativa, no que se refere à resistência a carbonatação, devido à maior alcalinidade que os cimentos com menores teores de adição apresentam;

- Entre os traços que continham adições, o traço que empregou sílica ativa como adição obteve um desempenho superior ao traço que empregou o metacaulim como adição quando os corpos-de-prova de ambos os traços foram submetidos a cura por imersão. Quando os corpos-de-prova não foram curados o traço que continha metacaulim apresentou um resultado melhor em relação ao traço que contava com sílica ativa no que se refere à resistência a carbonatação;
- Cimentos que utilizam maiores teores de adições possuem um desempenho inferior no que se refere à resistência a carbonatação apesar do efeito benéfico de refinamento dos poros, ou seja, a reserva alcalina se sobrepõe ao refinamento dos poros promovidos pelas adições; e que a cura é de fundamental importância para se alcançar um melhor desempenho.

LACERDA, C. S., HELENE, P.R.L. Metacaulim – A Nova Opção para os Concretos de Alto Desempenho. Instituto Brasileiro do Concreto. *Anais*. 44º Congresso Brasileiro do Concreto. Belo Horizonte, 2002.

MALHOTRA, V. M.; CARRETE, G. G.; STVASUNDARAM, V. Role of sílica fume in concrete: a review. In: ADVANCES IN CONCRETE TECHNOLOGY, 1992, Athens. *Proceedings*. Montreal: CANMET, 1992. P. 925-991.

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

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

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todos que fazem o Programa de Pós-Graduação da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (PEC-POLI-UPE), a CAPES e ao Laboratório Avançado de Construção Civil (LACC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7215: Cimento Portland - Determinação da resistência a compressão*. Rio de Janeiro, 1997.

ANDRADE, J. J. O. *Estudos das manifestações patológicas nas estruturas de concreto armado no estado de Pernambuco*. 1997. 139 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

DAL MOLIN, D. C. C. Adições minerais para concreto estrutural. In: ISAIA, Geraldo C. (Ed). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. v.1. São Paulo, SP: IBRACON, 2005. Cap. 12, p. 345 – 379.

KAZMIERCZAC, C. S.; ZARA, L. Comparação entre metodologias utilizadas para a de terminação da profundidade de carbonatação em argamassas. In: INTERNETIONAL COGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE, AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 1996, Florianópolis. *Anais*. Florianópolis: UFSC, 1996. P. 402-13.