

INFLUÊNCIA DAS ADIÇÕES MINERAIS NA CORROSÃO DE ARMADURAS INDUZIDA POR CLORETOS E POR CARBONATAÇÃO NO CONCRETO ARMADO

OLIVEIRA, Andrielli Morais⁽¹⁾, CASCUDO, Oswaldo⁽²⁾

Palavras – chave: Corrosão, adições minerais, durabilidade, técnicas eletroquímicas.

1. INTRODUÇÃO

Esta pesquisa teve origem em um projeto integrado sobre as características do concreto de cobrimento e o seu papel na durabilidade das estruturas de concreto armado (CARASEK; CASCUDO, 2001), desenvolvido pela Universidade Federal de Goiás em conjunto com Furnas Centrais Elétricas, tendo como tema geral a durabilidade do concreto de cobrimento e, como variáveis, as adições minerais (em substituição parcial ao cimento em massa), os procedimentos de cura e a relação água/aglomerante. A presente pesquisa constitui a segunda etapa deste projeto e contextualiza o desempenho de concretos quanto à corrosão de armaduras, analisando, dentre outros, parâmetros eletroquímicos de corrosão em sistemas contendo adições minerais.

Não se pode deixar de ressaltar que estudos na linha de corrosão das armaduras são plenamente justificáveis pelas suas graves implicações econômicas e sociais, além de ser uma das manifestações patológicas de maior gravidade nas obras civis no contexto mundial, justificando-se pelo comprometimento da segurança estrutural que o fenômeno envolve em estágios avançados, pelos altos custos de recuperação e perdas, além da incidência/reincidência do fenômeno que é relativamente alta (CASCUDO, 2000).

Dentro de um conceito de desenvolvimento sustentável, a utilização de resíduos industriais potencialmente poluentes ao meio ambiente concebe uma ação ecológica relevante. Paralelamente, há de ressaltar o efeito benéfico que as adições minerais promovem no sentido de refinar poros e diminuir a sua interconexão na pasta de cimento, reduzindo com isto a permeabilidade do concreto e a entrada de agentes agressivos (CARASEK; CASCUDO, 2001).

Constitui objetivo geral da presente pesquisa, avaliar ao nível de ciência dos materiais, o desempenho no tocante à durabilidade, especialmente no que se refere ao período de iniciação e propagação da corrosão da armadura de concretos produzidos com sílica ativa, metacaulinita e cinza volante, submetidos à ação indutiva de cloretos e de gás carbônico, por meio de técnicas eletroquímicas.

2- METODOLOGIA

O programa experimental está sendo realizado nos laboratórios do Centro Tecnológico de Engenharia Civil de Furnas Centrais Elétricas S.A.

2.1 - Variáveis do experimento

As variáveis estudadas neste programa experimental são as descritas a seguir:

a) tipo/teor de adição mineral

O tipo de adição mineral, empregada no concreto em mistura binária e utilizada em substituição parcial ao cimento (em massa), foi uma variável ao que se propõe estudar. Assim, estão sendo pesquisados, além da situação de referência (sem adições), os sistemas com cinza volante no teor de 25%, sílica ativa no teor de 10% e metacaulinita nos teores de 10%, 20% e 30%, totalizando cinco situações.

b) Composição do concreto pela variação da relação água/aglomerante

Foram confeccionados concretos com relação água/aglomerante 0,40 e 0,55, em conformidade com a Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118 (ANBT, 2003) que estabelece uma relação água/aglomerante máxima de 0,60, em massa para os concretos brasileiros.

Assim como as adições minerais, a variação da relação a/ag propicia concretos com diferentes propriedades relacionadas com a sua durabilidade, tais como: permeabilidade a líquidos e gases, resistividade elétrica e absorção de água, entre outras.

c) classe de resistência mecânica

Os níveis de variação adotados para esta variável foram: classe 30 MPa e 40 MPa. Cabe ressaltar a necessidade de se moldar um traço com relação a/ag 0,33 para o concreto com cinza volante, de forma a atender a classe 40 MPa.

d) condição agressiva

Corresponde ao ataque dos dois agentes principais da corrosão eletroquímica no concreto, quais sejam cloretos e carbonatação.

2.2 - Materiais

Os concretos utilizados neste trabalho foram confeccionados com cimento CP II F-32 (ANBT, 1991), areia natural classificada como fina (ABNT, 1993), agregado graúdo de pedra britada de rocha metamórfica micaxisto, classificada como nº 2 (ABNT, 1993), aditivo plastificante e retardador de pega (Plastiment VZ) para ajustar o abatimento ao requerido (80 ± 10 mm) e aumentar o tempo disponível para moldagem dos corpos-de-prova, e um segundo aditivo superplastificante (Sikament 300) nos casos em que a utilização apenas do plastificante não foi suficiente para garantir a trabalhabilidade. Também foram utilizados os aços CA-50 com diâmetro nominal de 10 mm, e aço CA-60, com 5 mm de diâmetro nominal.

2.3 - Corpos-de-prova

Foram moldados corpos-de-prova cúbicos de concreto armado nas dimensões de 15,0 cm x 15,0 cm x 15,0 cm, armados com quatro barras longitudinais. Para efeito de caracterização, foram também moldados corpos-de-prova cilíndricos de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

Foram moldados 26 corpos-de-prova cúbicos para desenvolvimento do estudo. Ressalta-se que cada corpo-de-prova representa, em decorrência da quantidade de barras, um tamanho de amostra igual a quatro ($n = 4$), o que permitiu quatro leituras individuais por ensaio. As barras longitudinais - em aço CA-50, diâmetro nominal de 10 mm e comprimento de 15 cm - foram parcialmente inseridas no corpo-de-prova projetando-se para fora cerca de 2,5 cm. Elas foram posicionadas garantindo-se o cobrimento de 2,5 cm nas faces laterais e face inferior, tal espessura foi fixada em conformidade com a NBR 6118 (ABNT, 2003). Como estribos, foram empregadas barras de aço CA-60 com diâmetro nominal de 5 mm. A Figura 1 apresentam o modelo descrito do corpo-de-prova.

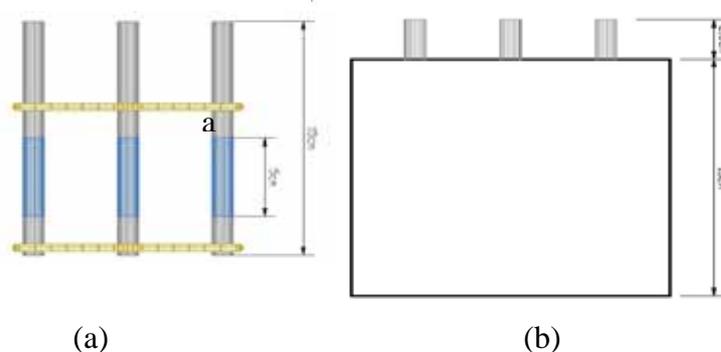


Figura 1 - Detalhamento do corpo-de-prova: (a) armaduras e (b) vista lateral.

A espessura do cobrimento foi garantida com a utilização de espaçadores plásticos de 2,5 cm

fixados às armaduras. Todas as fôrmas receberam uma película de desmoldante num prazo não inferior a uma hora antes da moldagem.

2.4 - Procedimento de cura

O tipo de cura escolhido foi a cura ao ar, o que, segundo Couto (2003), foi a pior cura ao concreto em seu trabalho, optando-se, portanto, pela análise do comportamento sob uma condição em que o concreto não teria fonte externa de água, mas estaria protegido de intempéries.

A cura foi realizada em local seco e protegido de intempéries, semelhantes às condições de laboratório, com variações de temperatura e umidade mais amenas que as variações do ambiente, por um período 56 dias para os corpos-de-prova que foram submetidos a carbonatação e 91 dias para os corpos-de-prova submetidos à ação dos cloretos.

2.5 - Métodos

2.5.1 – Indução da corrosão pelo ataque de cloretos

A avaliação dos concretos estudados sob a ação de cloretos compreendeu a indução e aceleração da corrosão por meio de ciclos alternados de imersão em solução rica em cloretos (5% em massa), compreendendo 5 dias de secagem em sala com ambiente controlado (40°C e $(55 \pm 5\%)$ de umidade) e 2 dias de imersão, conforme a Figura 2.

A determinação da resistividade elétrica superficial do concreto, do potencial eletroquímico de corrosão, da resistência de polarização e espectroscopia de impedância eletroquímica foi efetuada sempre que cada corpo-de-prova era retirado do tanque de imersão, totalizando uma medida semanal.



Figura 2- Imersão em solução agressiva contendo cloretos na concentração de 5% em massa.

A idade para início da indução e aceleração da corrosão por meio de cloretos para o grupo 1, composto pelos concretos de referência e de sílica ativa, de relações água/aglomerante 0,40 e 0,55 foi de 688 dias.

Para os concretos de cinza volante (relação a/c 0,30 e 0,40) e de metacaulinita nos teores de 10%, 20% e 30% (com relação água/aglomerante 0,40), a idade foi de 656 dias. Ainda para os concretos de cinza volante (relação a/c 0,55) e de metacaulinita nos teores de 10%, 20% e 30% e de relação água/aglomerante 0,55, a idade foi de 645 dias.

Os ciclos serão mantidos até a 43ª semana. Ao final dos ciclos de imersão, será determinada taxa de corrosão gravimétrica.

Antes do início dos ciclos de imersão e secagem, ou seja, até os 91 dias de idade, todos os corpos-de-prova foram monitorados semanalmente quanto ao potencial de corrosão. Durante este período, foi possível constatar a passivação de todas as armaduras embutidas nos corpos-de-prova em estudo.

Entre 91 dias e 686 dias, 654 dias e 643 dias de idade, respectivamente para os grupos 1, 2 e 3, os corpos-de-prova permaneceram em ambiente coberto e protegido de intempéries. Somente no 686º, 654º e 643º dias de idade, deu-se início à indução e aceleração da corrosão por meio dos ciclos de cloretos, passando-se a registrar as medidas eletroquímicas no instante

imediatamente após a saída do tanque, ou seja, ao final de cada período de imersão para os demais ciclos, resultando em uma medida semanal até a idade de 968, 950 e 939 dias, totalizando, assim 296 dias de ataque para todas as situações.

2.5.2 - Indução da corrosão pelo ataque de carbonatação ao concreto

Os corpos-de-prova que sofreram indução da corrosão pelo processo de carbonatação acelerada do concreto, após um período de cura de 91 dias, foram submetidos ao ataque do dióxido de carbono (CO_2), por meio de inserção dos corpos-de-prova em uma câmara de carbonatação. Na idade de 56 dias, os corpos-de-prova foram conduzidos à câmara de CO_2 , porém não se teve acesso aos registros de controle de temperatura, umidade e concentração de CO_2 .

No presente caso, a câmara de carbonatação utilizada apresentou diversos problemas técnicos, não sendo possível o controle rigoroso de temperatura, umidade e teor de CO_2 dentro dela. Em etapas mais avançadas da pesquisa, reparos na câmara climática possibilitaram o controle da temperatura e da umidade, entretanto o controle da concentração de CO_2 não pôde ser efetuado. Todos os corpos-de-prova submetidos à indução e à aceleração da corrosão sob a ação da carbonatação sofreram as mesmas variações de temperatura, umidade e concentração de CO_2 e a avaliação dos concretos estudados sob a ação da carbonatação compreende a indução a aceleração da corrosão, monitorando os potenciais eletroquímicos com a idade e estimando o tempo para que a frente de carbonatação atinja a armadura.

5. RESULTADOS PRELIMINARES E DISCUSSÃO

Os aspectos cinéticos da corrosão eletroquímica, estimada por meio das técnicas de resistência de polarização e impedância eletroquímica, e da taxa de corrosão gravimétrica serão apresentados ao fim da pesquisa. Também será apresentada posteriormente a resistividade elétrica superficial aparente dos concretos.

5.1 Avaliação dos concretos sob a ação de cloretos

Como resultado preliminar do presente estudo, tem-se o monitoramento do potencial de corrosão em função da idade para os corpos-de-prova sujeitos ao ataque por cloretos, como na Figura 2.

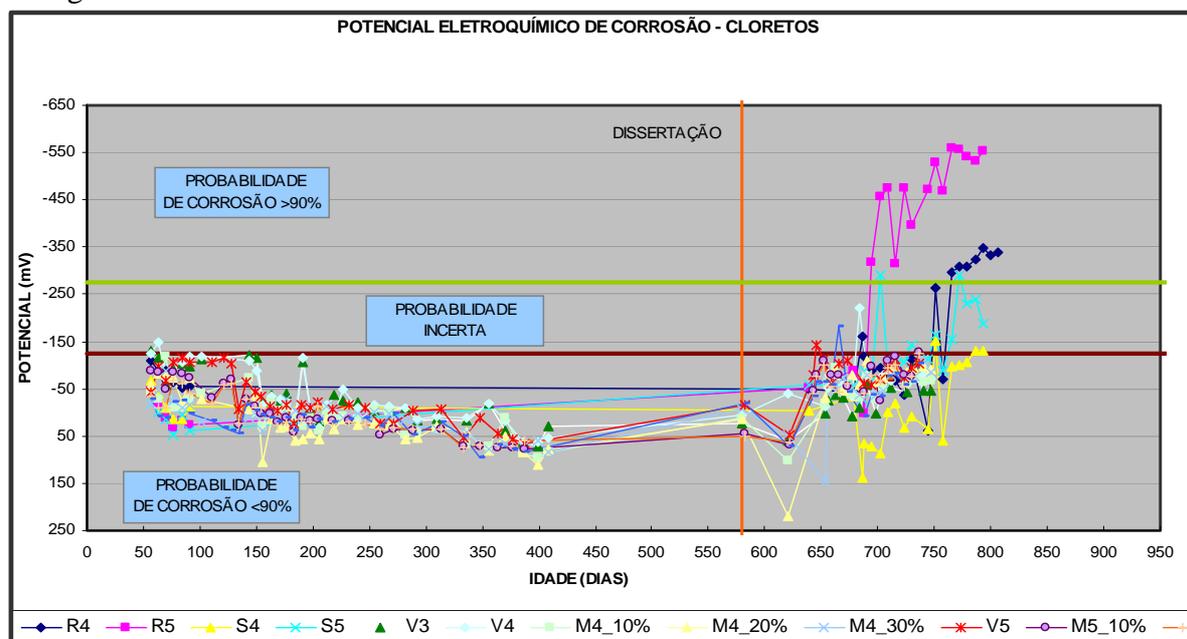


Figura 2 - Potenciais eletroquímicos de corrosão de concretos submetidos à solução agressiva, contendo cloretos na concentração de 5% em massa.

Na figura 2, pode-se perceber nitidamente o papel das adições minerais no refinamento dos poros do concreto, influenciando no parâmetro eletroquímico estudado (potencial de corrosão), uma vez que o concreto referência de relação a/ag 0,55 e 0,40 são os concretos que indicam faixas de potenciais mais eletronegativos, sugerindo maior probabilidade de corrosão. Na figura 3, são apresentados os resultados parciais de potencial de corrosão com a idade para os corpos-de-prova submetidos à carbonatação.

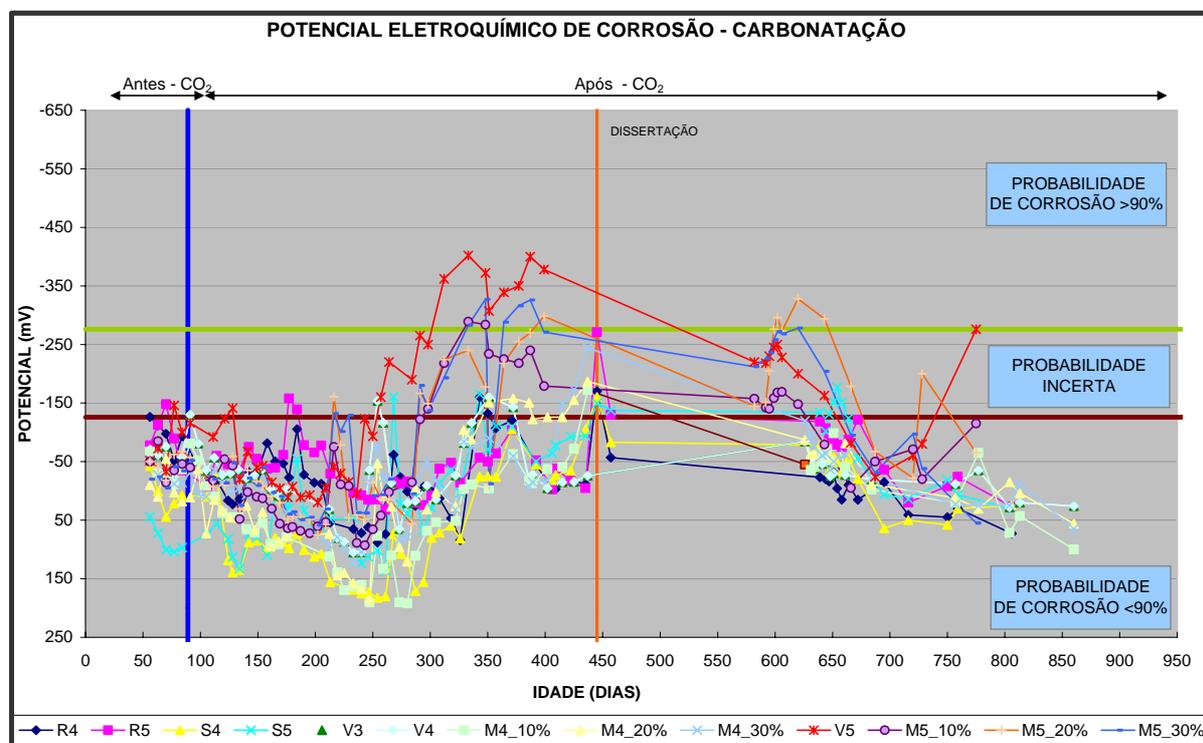


Figura 3 - Potenciais eletroquímicos de corrosão de concretos submetidos ao ataque do CO₂ em câmara climática.

Na figura 3, pode-se afirmar que os corpos-de-prova apresentam-se praticamente na mesma faixa de potenciais de corrosão, sugerindo passividade das armaduras, exceto para o concreto cinza volante de a/ag 0,55, que indica uma provável desp passividade de armaduras.

6. CONCLUSÕES

Espera-se a compreensão clara do processo eletroquímico de corrosão induzida por cloretos e por gás carbônico e dos parâmetros termodinâmicos e cinéticos do processo corrosivo, definindo concretos com melhor desempenho no tocante à ação deletéria desses agentes agressivos.

Acredita-se que as características do concreto de cobrimento com o uso das adições minerais (sílica ativa, metacaulinita e cinza volante) são efetivamente melhoradas frente à ação agressiva dos íons cloretos e do gás carbônico, contribuindo para aumentar a durabilidade e a vida útil dos elementos estruturais de concreto, minimizando assim custos com manutenção e reparos, além de perdas inerentes aos processos de deterioração.

Com o uso das adições minerais, a expectativa é difundir o emprego desses resíduos ou subprodutos industriais, colaborando, portanto, para a preservação do meio ambiente, assim como para a economia energética no país.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11578**:Cimento composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 6118**: Projeto e execução de obras em concreto armado: especificações. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7211**: Agregado para concreto: especificação. Rio de Janeiro, 1993.

CARASEK, H.; CASCUDO, O. **Projeto integrado**: características do concreto de cobrimento e o seu papel na durabilidade das estruturas de concreto armado, 2001. Projeto de pesquisa, Goiânia, 2001.

CASCUDO, O. **Influência das características do aço carbono destinado ao uso como armadura para concreto armado no comportamento frente à corrosão**. 2000. 310p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

PAULA COUTO, A B. **Influência das condições das condições de cura nas características do cobrimento de diferentes concretos**. 2003. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

(1) Mestranda em Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil/EEC-Curso de Mestrado em Engenharia Civil/CMEC/UFG, andriellimorais@yahoo.com.br

(2) Orientador/ Professor Doutor da Escola de Engenharia Civi/EEC/CMEC/UFG, ocascudo@eec.ufg.br