

3.01.99 – Engenharia Civil

ESTUDO DA CORROSÃO PELO MÉTODO CAIM

Nathália Lins Gonzaga^{1*}, Izídio Alencar Pinto², Silvia Beatriz Beger Uchôa³

1. Estudante de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da UFAL

2. Engenheiro Civil pelo Centro de Tecnologia da UFAL

3. Profa. Titular e Vice-Coordenadora do Mestrado Profnit do Centro de Tecnologia da UFAL / Orientadora

Resumo

Os estudos a respeito da durabilidade de estruturas de concreto têm evoluído em virtude do maior conhecimento sobre o transporte de substâncias em meios porosos como o concreto. A corrosão, considerada uma das principais patologias em concretos armados, é responsável por reduzir a durabilidade e interferir na vida útil de edificações. Dessa forma, o presente trabalho propõe o estudo do comportamento de corpos de prova armados de dois concretos autoadensáveis leves, com e sem agregados reciclados, submetidos a ensaios de corrosão acelerada por imersão modificada. A aplicação pretendida para estes concretos é em painéis de vedação sem função estrutural, cuja armação é meramente construtiva. Os corpos de prova foram moldados com três tipos de revestimento e monitorados por 150 horas. Os resultados mostraram que o concreto que melhor resistiu ao processo de corrosão foi o concreto com agregados naturais e que os diferentes tipos de revestimentos influenciaram na velocidade de corrosão.

Palavras-chave: Concreto armado; Agregado reciclado; Durabilidade

Apoio financeiro: CNPq.

Trabalho selecionado para a JNIC: UFAL.

Introdução

Com o avanço da tecnologia no setor da construção e a preocupação com a sustentabilidade, surgem novos materiais no mercado. Dentre estes materiais destaca-se o concreto autoadensável leve, com agregados naturais ou reciclados, alvo de estudo do presente trabalho. Por ser um material novo, poucas são as informações a respeito de sua durabilidade e manifestações patológicas, com destaque para a corrosão.

A corrosão, considerada uma das patologias mais frequentes em estruturas de concreto, é capaz de reduzir a durabilidade e interromper a vida útil de estruturas. Bastos (2014) cita que os principais mecanismos de deteriorização das armaduras são a despassivação por carbonatação e por ação de cloretos, ambos desencadeando o fenômeno corrosivo. Segundo Gentil (2003) este fenômeno ocasiona a deterioração de um material, geralmente metálico, através de mecanismo químico ou eletroquímico, sendo sua origem associada a existência de tensões agindo, em suma, de forma espontânea.

A penetração dos íons cloreto nas armaduras ocorre através dos poros do concreto, sendo que a destruição da passividade acontece localmente em pontos do aço. Os pontos atingidos tornam-se trechos de aço ativo (ânodos) rodeados por aço passivo (cátodos), desta forma, haverá uma diferença de potencial entre os trechos do mesmo metal, que na presença de eletrólito formam uma pilha normalmente chamada pilha ativa-passiva. É possível que este processo ocorra de modo não espontâneo pela aplicação de uma diferença de potencial gerada por uma fonte de energia externa, de forma que os eletrodos podem ser de mesmo material, por exemplo aço (ânodo) e aço (cátodo), e a pilha formada é chamada pilha eletrolítica. Neste princípio baseia-se o ensaio de corrosão acelerada por imersão modificada (CAIM) (GENTIL, 2003).

O presente trabalho apresenta os resultados de estudos de corrosão acelerada em barras de aço imersas em dois concretos denominados CALAN (Concreto Autoadensável Leve com Agregados Naturais) e CALAR (Concreto Autoadensável Leve com Agregados Reciclados). A aplicação pretendida para os concretos é em painéis de vedação, sem função estrutural. Como ainda não existem normas brasileiras específicas para realização da referida análise, utilizaram-se recomendações da norma americana ASTM C876 (ASTM, 1991).

Metodologia

Para o desenvolvimento dos ensaios foram preparados os materiais e equipamentos, de modo a permitir a montagem do circuito para o método CAIM. Foram utilizadas barras de aço CA-50, com diâmetro nominal de 10 mm e cortadas em pedaços de 20 cm, na confecção de corpos de prova de concreto para os ensaios de corrosão. Para garantir a uniformidade das barras utilizadas nos ensaios todas foram submetidas a um método de limpeza indicado pelas definições da norma ASTM G109 (ASTM, 1992). Utilizando-se uma solução de ácido sulfúrico (H₂SO₄) em uma concentração de 10% para facilitar a retirada de produtos de corrosão previamente aderidos ao metal, de forma que as condições iniciais das barras fossem as mesmas em todos os corpos de prova.

Os concretos estudados no presente trabalho foram denominados de CALAN e CALAR. Com relação aos materiais constituintes esses concretos possuíram basicamente os mesmos componentes: cimento Portland

II Z-32, água e aditivos (superplastificante, modificador de viscosidade e incorporador de ar), divergindo apenas com relação ao tipo de agregado utilizado, natural no caso do CALAN e reciclado no caso do CALAR.

O ensaio CAIM foi executado com corpos de prova imersos em uma solução de água e cloreto de sódio (NaCl), em uma concentração de 3,5% típica da água do mar, e envolvidos por telas aramadas, ligados a uma fonte contínua com tensão regulável. Este arranjo proporciona a migração de íons cloreto em direção a armadura confinada no concreto, acelerando o processo de corrosão.

O arranjo montado para o ensaio consistiu em uma ligação, por meio de extensões, da fonte de corrente contínua aos corpos de prova armados e telas de aço, de acordo com o disposto na norma ASTM G109 (ASTM, 1992). A introdução de uma caixa de resistores, com resistências conhecidas no circuito, permitiu a medição da queda de tensão e o cálculo da corrente. Desta forma as medições foram feitas nos resistores correspondentes a cada corpo de prova. Para a montagem dos conjuntos foram providenciados 25 litros de água destilada para cada recipiente contendo três corpos de prova, para preparo de solução 3,5% de NaCl. Também foram necessários cabos, conectores, resistores com 1Ω , fontes, extensões e telas aramadas de aço inoxidável. A fonte de corrente contínua regulável utilizada no experimento foi configurada para a aplicação de uma tensão de 10 V.

Figura 1 - Montagem do ensaio CAIM



Fonte: Autor

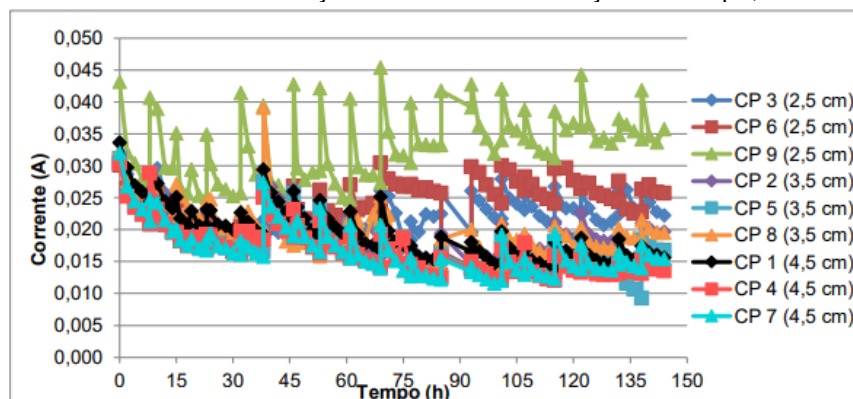
Dessa forma foi realizado o monitoramento da corrente produzida no experimento em nove corpos de prova do tipo CALAN e em nove corpos de prova do tipo CALAR. Dentre estes corpos de prova variou-se também o cobrimento das armaduras, sendo estes cobrimentos de 2,5, 3,5 e 4,5. Ao longo do experimento observou-se o surgimento de manifestações patológicas, como aparecimento de manchas e abertura de fissuras que serão mais detalhadas nos capítulos seguintes.

Resultados e Discussão

As medidas de corrente colhidas durante a realização dos ensaios CAIM permitiram a criação de gráficos relacionando a variação da corrente em função do tempo de exposição ao ensaio. Estes gráficos expõem o comportamento da curva para cada corpo de prova envolvido na pesquisa. Também foram construídos gráficos relacionando a média da corrente percebida no ensaio por cada família de cobrimento.

O gráfico 1 mostra os resultados para o CALAN, onde foi aplicada uma diferença de potencial de 10 V com a fonte de corrente contínua regulável. A baixa tensão aplicada permitiu o minucioso monitoramento da corrente provocada em cada corpo de prova, e o ensaio foi mantido por quase 150 horas. Neste ensaio as curvas não desempenharam trajetória crescente ou decrescente, e os valores de corrente não ultrapassando o valor de 0,045 A. Verifica-se também o comportamento de sobe desce provocado pela polarização do sistema em ciclos. Constatou-se ainda um pequeno número de manchas, sendo mais evidentes nos corpos de prova com cobrimento de 2,5 cm e em apenas um corpo de prova de 3,5 cm.

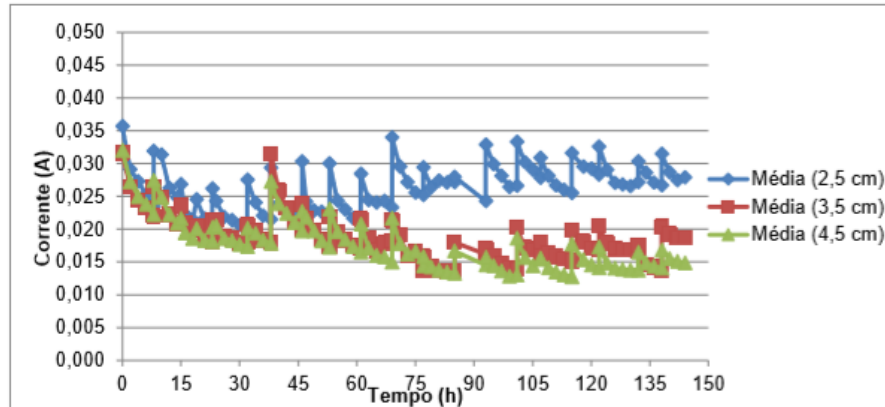
Gráfico 1 - Variação da corrente em função do tempo, CALAN



Fonte: Autor

O gráfico 2 expõe que para o CALAN os corpos de prova com cobrimento de 2,5 cm atingiram valores de corrente pouco superiores aos demais apenas nos ciclos da segunda metade do ensaio, indicando boa resistência do concreto ao ataque de íons cloreto até mesmo nos concretos com cobrimentos menores. Este fato se confirma quando se parte para análise das fissuras, nenhuma fissura foi encontrada nos nove corpos de prova do tipo CALAN.

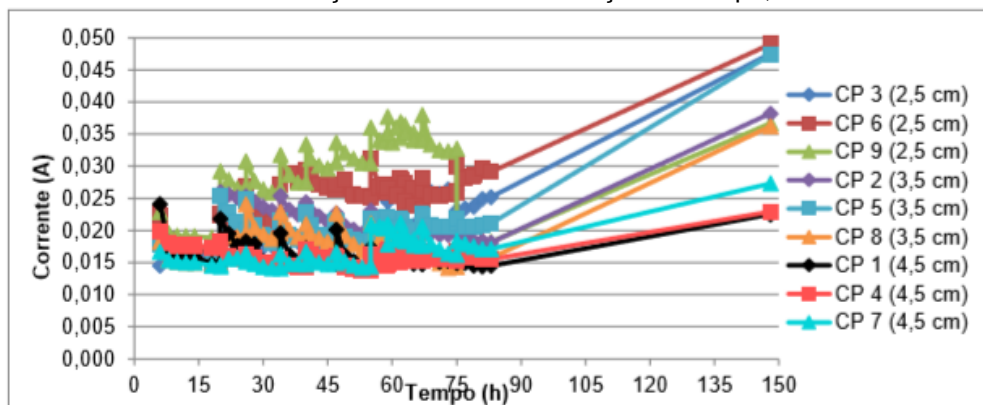
Gráfico 2 - Variação média da corrente em função do tempo, CALAN



Fonte: Autor

O gráfico 3 apresenta os resultados para o CALAR, onde foi aplicada a mesma diferença de potencial, 10 V, com a fonte de corrente contínua regulável. Novamente o ensaio foi mantido por quase 150 horas. Dessa vez as curvas desempenharam trajetória ligeiramente crescente e as correntes atingiram picos superiores a 0,045 A (valor máximo de corrente atingido pelos corpos de prova do CALAN). Novamente foi possível notar o comportamento de sobe desce provocado pela polarização do sistema em ciclos.

Gráfico 3 - Variação da corrente em função do tempo, CALAR



Fonte: Autor

Para as famílias do CALAR os corpos de prova de 2,5 cm e 3,5 cm atingiram valores de corrente superiores aos demais já nos primeiros ciclos. Neste concreto, a ocorrência de manchas foi maior e as fissuras puderam ser observadas ao final do ensaio principalmente nos corpos de prova com cobrimentos menores. Os valores das aberturas de fissuras do CALAN e do CALAR estão dispostos na Tabela 1.

Tabela 1 - Abertura de fissuras dos corpos de prova ao final do ensaio CAIM

Concreto	Abertura de fissuras (mm)								
	CP (2,5 cm)			CP (3,5 cm)			CP (4,5 cm)		
	3	6	9	2	5	8	1	4	7
CALAN	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CALAR	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,0	0,0	0,1

Fonte: Autor

Conclusões

Durante os ensaios de corrosão acelerada em laboratório foi observado que o aparecimento das manifestações patológicas se deu de acordo com a evolução da corrente provocada pelo sistema, de modo que as curvas geradas mostram a grande influência do modelo de fonte adotado e da tensão escolhida para aplicação de diferença de potencial. Os picos observados nas curvas do ensaio CAIM sugerem a despassivação do aço e uma rápida penetração de íons cloreto, e ocorreram simultaneamente ao surgimento de fissuras na superfície dos corpos de prova, provavelmente provocadas pela cristalização de sais nos poros do concreto.

O melhor resultado encontrado entre os dois concretos ensaiados foi o exibido pelo CALAN, nesse concreto o desgaste das armaduras foi inferior ao percebido no CALAR possivelmente por influência do tipo de agregado utilizado. O CALAR apresentou menor resistência à corrosão e maior ocorrência de manchas e fissuras, fato já constatado em ensaios anteriores, confirmando que o material requisita maior precaução em sua utilização.

No CALAN foi constatado que as famílias de cobrimento 3,5 cm e 4,5 cm demonstraram comportamento equivalente, indicando uma possível conveniência no uso da espessura de cobrimento de 3,5 cm, proporcionando economia de concreto e conseqüentemente ganhos econômicos. Por fim conclui-se que apesar dos ganhos ambientais na utilização dos agregados reciclados deve-se ter um cuidado maior com a utilização de concretos com esse tipo de material em ambientes agressivos e sempre que possível associa-lós ao uso de mecanismos de proteção, como inibidores de corrosão.

Referências bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete**: ASTM C876-91. West Conshohocken, 1991.

_____. **Standard Test Method for Determining the effects of Chemical Admixtures on the Corrosion of Embedded Steel Reinforcement in Concrete exposed to Chloride Environments**: ASTM G109. West Conshohocken, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BASTOS, P. S. S. **Estruturas de concreto armado: Introdução, materiais e fundamentos**. 63 f. Apostila - Curso de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2014.

BERTOLINI, L. **Materiais de construção: patologia, reabilitação, prevenção**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GENTIL, V. **Corrosão**. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

RAMANATHAN, V. L. **Corrosão e seu controle**. 3ª ed. São Paulo: Hemus, 2004.

TORRES, A. S. **Avaliação da Sensibilidade do Ensaio CAIM - Corrosão Acelerada por Imersão Modificada - Frente ao Processo de Corrosão em Armaduras de Concreto Armado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.