

# DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÍONS SULFATO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

W. MAZER<sup>1</sup>, G. MACIOSKI<sup>1</sup>, N. SOTO<sup>2</sup> e E. BAETTKER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Construção Civil

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Projetos e Obras  
E-mail para contato: gmacioski@utfpr.edu.br

**RESUMO** – Ambientes agressivos possuem substâncias que causam a degradação do concreto de diversas maneiras, uma delas é o íons Sulfato. No concreto endurecido a formação da etringita resultante do ataque de sulfato pode levar à expansão e fissurar a peça. O objetivo deste trabalho é avaliar a degradação de peças de concreto através da determinação das concentrações de sulfatos existentes nas peças, para que seja possível prever o tempo de penetração de sulfatos e o nível de degradação gerado. A avaliação do teor de sulfato foi realizado retirando-se o pó proveniente da perfuração de pilares e o valor foi obtido após realizada precipitação e calcinação da amostra. A partir dos resultados obtidos foi possível prever como se deu a difusão dos íons de sulfato nas peças de concreto e avaliar seu comportamento ao longo do tempo do ponto de vista da durabilidade.

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das primeiras linhas de pesquisa com relação à durabilidade do concreto armado foi a de estudar a sua resistência quando exposto à água do mar, uma vez que comumente se observam sinais de deterioração em estruturas nessas condições. Com os resultados de alguns estudos constatou-se que ação dos sulfatos presentes na água do mar era a mais severa dentre os agentes agressivos que se tinha conhecimento (SILVA, 2006).

Segundo Silva (2006) além da água do mar, os sulfatos estão presentes em águas de rio, lençóis freáticos, água de pântano e decomposição de matéria orgânica, além de locais poluídos com esgoto, ambientes industriais e nos próprios agregados constituintes do concreto. Para Mehta (1993) a deterioração do concreto dá-se principalmente por fenômenos físico-químicos, sendo os efeitos químicos decorrentes da interação com ambientes agressivos, como aqueles com a presença de sulfatos, um dos fenômenos de maior importância.

Tendo em vista a necessidade de se estimar a durabilidade das estruturas de concreto armado é de essencial importância o entendimento do mecanismo de ataque por sulfatos, principalmente o entendimento dos sulfatos na deterioração do concreto armado e os efeitos da formação de produtos oriundos desse ataque (SANTHANAM, 2001).

O objetivo deste trabalho é determinar o teor de sulfatos em diferentes profundidades em uma

viga de concreto que permaneceu exposta a sulfatos para, assim, prever o nível de degradação que poderá ocorrer na peça.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O ataque por sulfatos se dá por um mecanismo de deslocamento interno de uma frente de ataque. O processo completo de deterioração do concreto pelo ataque de sulfatos dá-se da seguinte forma (SILVA, 2006):

- a. Difusão dos íons agressivos para o interior da matriz cimentícia, que é função da porosidade e permeabilidade;
- b. Reações químicas entre o íon sulfato e certos constituintes hidratados do cimento (portlandita, monossulfoaluminato e outros aluminatos hidratados) formando espécies químicas que resultam em expansão;
- c. Fissuração da matriz, algumas vezes associada à reação química de descalcificação do C-S-H, resultando em perda de resistência e desintegração.

Na Figura 1 observa-se uma estrutura degradada pela ação de sulfatos.



Figura 1 - Pilar degradado pela ação íons sulfato

São três as reações que basicamente descrevem o ataque por sulfatos (COLLEPARDI, 1996):

- a. Combinação de íons sulfato com o hidróxido de cálcio livre e/ou C-S-H, produzidos pela hidratação do cimento portland, formando gesso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ );
- b. Combinação do gesso e aluminatos hidratados de cálcio com o monossulfato hidratado, formando etringita ( $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ );
- c. A combinação do gesso e carbonatos de cálcio com o C-S-H, formando taumasita ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ).

Segundo Collepardi (1996) a formação de gesso causa perda de resistência mecânica, diminuição da adesão, lascamento e expansão. A formação da etringita esta associada à expansão e fissuração do concreto, já a formação da taumasita tem o efeito mais danoso, capaz de transformar o concreto endurecido em uma massa não coesa.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A estrutura de concreto estudada neste trabalho foi um pilar de concreto (Figura 2) que se encontrava em contato direto com a água do Rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba, possivelmente contaminada por efluentes e, portanto, sofrendo degradações e correndo o risco de ser atacada por sulfatos presentes no meio em que se encontrava.

A fim de se realizar a determinação do teor de sulfatos na estrutura, promoveram-se alguns furos na peça em diferentes profundidades: 0,5cm; 1,0cm; 1,5cm e 2,0cm. O pó proveniente dos furos foi devidamente guardado e identificado.



Figura 2 - Pilar da ponte estudada

### 3.1. Método utilizado

O método comumente utilizado para a determinação do ataque por sulfatos em peças de concreto é o ensaio acelerado da expansão de barras de argamassa. No ensaio, são moldados prismas de argamassa com dimensões controladas e é verificado se existe alguma expansão de sua geometria ao longo do tempo devido ao ataque por sulfatos. Uma vez que as peças são deixadas em uma solução com alta concentração de sulfatos e alta temperatura o ensaio pode ser considerado acelerado, normalmente este tipo de estudo costuma durar cerca de dois anos.

Para estruturas já construídas indica-se ensaios químicos para esta determinação. A determinação do teor de íons sulfato neste trabalho foi realizada de acordo com uma adaptação da normativa “4500-SO4 – Sulfate” da *Standard Methods Committee* (1997) para águas residuais.

- Tomar uma porção de 5g de concreto moído e seco de modo que passe na peneira 0,16mm. Aquece-se a amostra a 105°C durante 2 horas, com a finalidade de tirar a umidade.
- Adicionar 25ml de água destilada fria na proveta. Adicionar 10ml de ácido clorídrico, pouco a pouco, mexendo com uma haste de vidro.
- Aquece-se em banho-maria cobrindo o recipiente com um vidro, observando até que haja um ataque completo do ácido clorídrico na amostra de concreto. Adicionar 50 ml de água destilada quente e deixe descansar em banho-maria por mais 15 minutos;
- Filtra-se o material utilizando papel filtro de porosidade média em um funil, acrescentando água destilada até completar 250 ml;
- O material deve ser aquecido até a ebulição, adicionando gota a gota uma solução quente de 10 ml de cloreto de bário, Ferver durante 5 minutos. Se existirem sulfatos produz-se um precipitado, continuando-se com a análise. Deixa-se o recipiente tampado em descanso por 24 horas. Filtra-se a amostra com papel filtro de baixa porosidade, lavando-se com água quente até o desaparecimento dos cloretos nas águas de lavagem.
- Feito isso, transferir o papel filtro, contendo o precipitado para um cadinho de porcelana previamente tarado. Secar em chapa quente e queimarem um Bico de Bunsen, até consumir todo o carbono, tomando cuidado para não deixar o papel inflamar.
- Colocar o cadinho em forno-mufla a 800°C e calcinar por 1 hora. Pesar a amostra de modo a obter o teor máximo de sulfato.

Os diferentes processos de análise podem ser melhores visualizados na Figura 3.



(a) Filtragem após ataque ácido



(b) Precipitação do Sulfato de Bário



(c) Carbonização do papel filtro



(d) Calcinação do papel filtro

Figura 3 – Processos de análise

### 3.2. Cálculos

Para transformar o Sulfato de Bário para Sulfato deve-se levar em consideração as massas atômicas de sulfato no sulfato de bário. Esta constante deverá ser multiplicada pela massa obtida no cadinho após calcinação.

$$SO_4(\%) = \frac{M_{calcinada} \cdot 0,4116}{M_{concreto}} \cdot 100$$

### 3.3. Limites

O sulfato já se encontra em baixa quantidade presente no cimento através do gesso, onde tem a finalidade de retardar o endurecimento do concreto quando aplicado. O teor de sulfato encontrado no

concreto depende do consumo de cimento e do teor de gesso do cimento. Em um concreto com massa específica de  $2.300\text{kg/m}^3$  com 350 kg de cimento por metro cúbico amassado com um cimento de 3% de gesso dará um teor máximo de sulfato de 0,46% por peso total do concreto. Sendo este, portanto, considerado como limite para o teor de sulfatos encontrados no concreto.

#### 4. RESULTADOS

No Gráfico 1 são apresentados os resultados dos teores de sulfatos obtidos na viga estudada para as diferentes profundidades estudadas.

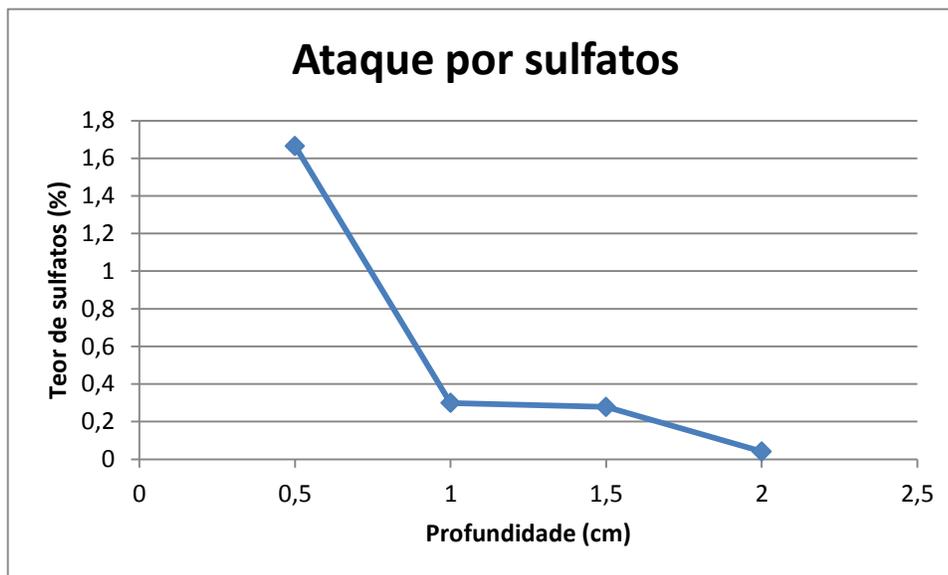


Gráfico 1 - Teor de sulfato em diferentes profundidades.

Ao observar o Gráfico 1 nota-se que a maior concentração do íon se encontra nos primeiros 0,5cm de concreto, com a redução dos teores para maiores profundidades. Na região superficial analisada, já existe um valor demasiadamente alto na região mais exposta ao ambiente agressivo, acima do limite de 0,46%. Já as demais profundidades apresentam valores dentro dos limites permitidos.

Possivelmente esta estrutura irá apresentar fissuras e outros sinais de degradação devido ao ataque já sofrido e o processo de penetração de sulfatos nas demais profundidades será acelerado, levando, por fim, ao colapso da estrutura não apenas pela degradação do concreto, mas favorecendo outros tipos de ataques – como o de cloretos que também poderá causar a corrosão das armaduras.

## 5. CONCLUSÃO

A partir dos ensaios realizados e da análise dos resultados apresentados foi possível concluir que o método adaptado mostrou-se preciso para a determinação da concentração de íons sulfato no concreto e forneceu um perfil coerente da penetração dos íons.

Diante disso, foi possível avaliar a durabilidade da estrutura não mais em termos qualitativos apenas, sendo possível até mesmo realizar uma projeção da profundidade de penetração se o mesmo teste for realizado ao logo do tempo. Desta forma, destaca-se mais uma vez a importância deste estudo, uma vez que ele possibilita prever o melhor plano de manutenção e recuperação para a estrutura.

## 6. REFERÊNCIAS

- DUGATTO, F. L. **Corrosão De Armaduras Em Concreto – Estudo De Caso** - União Dinâmica De Faculdades Cataratas – Udc - Foz Do Iguaçu – Pr 2006
- STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. **4500-SO4 – Sulfate**. Standard Methods Committee, 1997.
- COLLEPARDI, M. **Concrete Deterioration from sulfate and acid attacks. Course on Durability of concrete**. In: International Congress High-Performance Concrete-Performance and Quality of Concrete Structures. Santa Catarina, 1990. Proceedings...Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 1996.
- COUTINHO, Joana de Sousa. **Materiais De Construção** 1, 1999,Edições DEC-FEUP
- LAWRENCE, C. D. Sulphate attack on concrete. Mag. Concr. Res., v.42, p.153, 1990.
- MEHTA, P.K. **Durability of concrete-Fifty years of progress**. In: Seminário sobre a Qualidade e Durabilidade de Estruturas de Concreto. Porto Alegre, 1993. (Anexo aos anais).
- SANTHANAM, Manu. **Studies on sulfate attack: mechanisms, test methods, and modeling**. 2001. 275p. Ph.D. Tesis – Purdue University. 2001.
- SOUZA, R. B. **Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – método de ensaio acelerado**. 2006. 139p. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.