

## **ESTADO DA ARTE DO ESTUDO DO ATAQUE POR SULFATOS EM CONCRETOS – AVALIAÇÃO DE ENSAIOS ACELERADOS VERSUS ENSAIOS DE CAMPO**

MARCOS ANTONIO PADILHA JÚNIOR<sup>1\*</sup>, ANDRÉ LUIZ SANTOS PATRIOTA<sup>2</sup>,  
EDUARDO DA CRUZ TEIXEIRA<sup>3</sup>, LEILA SOARES VIEGAS BARRETO CHAGAS<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Esp. Professor Edificações, IFSERTÃO-PE, Salgueiro-PE. Fone: (87) 3421-0050, marcos.padilha@ifsertao-pe.edu.br

<sup>2</sup> Msc Professor Edificações, IFSERTÃO-PE, Salgueiro-PE. Fone: (87) 3421-0050, andre.patriota@ifsertao-pe.edu.br

<sup>3</sup> Msc Professor Edificações, IFSERTÃO-PE, Salgueiro-PE. Fone: (87) 3421-0050, eduardo.teixeira@ifsertao-pe.edu.br

<sup>4</sup> Msc Professor Edificações, IFSERTÃO-PE, Salgueiro-PE. Fone: (87) 3421-0050, leila.viegas@ifsertao-pe.edu.br

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015  
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre o estudo do ataque por sulfatos em concretos, elencando os principais trabalhos sobre o tema e evidenciando a necessidade de estudos de campo para combinar métodos já utilizados em laboratório. Tendo em vista que na natureza as variáveis agem de forma conjunta, é necessário que o estudo destas variáveis também seja da mesma forma, pois trará resultados mais próximos da realidade. É sabido que em um mesmo ambiente pode haver um ou mais agentes deletérios e estes agindo de forma conjunta podem reduzir drasticamente a vida útil de estruturas de concreto armado. Ensaios apenas de laboratório restringem também a análise de dados, pois haverá uma quantidade menor de variáveis a serem consideradas. A complexidade imposta por ensaios de campo muitas vezes podem afastar os pesquisadores, entretanto, evidenciará valores mais reais possíveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ataque por sulfatos, concreto, ensaios de campo, ensaios de laboratório.

### **STATE OF THE ART OF STUDY IN SULFATES ATTACK IN CONCRETE - TESTS OF ACCELERATED RATE VERSUS FIELD TRIALS**

**ABSTRACT:** This work aims to present the state of the art on the study of the sulfates attack in concrete, listing the major works on the subject and suggesting the need for field studies to match methods already used in the laboratory. Given that in nature the variables act jointly, it is necessary to study these variables is also the same way as it will bring results closer to reality. It is known that in the same environment can be one or more deleterious agents and those acting jointly may drastically reduce the service life of reinforced concrete structures. Only laboratory tests also restrict the data analysis, because there will be fewer variables to be considered. The complexity imposed by field trials can often ward off researchers, however, will reveal more real values possible.

**KEYWORDS:** Sulfates attack, concrete, field trials, laboratory tests.

### **INTRODUÇÃO**

Dentre todos os materiais utilizados na construção, o concreto é o material estrutural que é mais utilizado mundialmente. Seu baixo custo e a fácil disponibilidade dos materiais constituintes torna sua utilização mais atraente do que os outros materiais de construção (Maslehuddin, 2003). Assim sendo, Mehta & Monteiro (2008) estimam que o atual consumo mundial de concreto seja da ordem de 11 bilhões de toneladas por ano.

Contudo, o concreto deve ser especificado de forma correta para aumentar a sua vida útil, de acordo com o ambiente ao qual estará exposto quando em serviço. De modo que Glasser et al (2008),

afirma que ao interagir com seu ambiente de serviço, o concreto, muitas vezes, sofre alterações significativas que têm efeitos adversos significativos sobre suas propriedades de engenharia. Ramadan (2010), descreve que o estabelecimento de especificações em função do ambiente de exposição e da vida útil requerida é uma tarefa que deve se fundamentar nas classes de durabilidade potencial, nas classes de exposição e nos valores limites dos critérios de durabilidade.

De acordo com o ACI - AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (2008), a durabilidade do concreto de cimento Portland é definida como sua capacidade de resistir à ação de intempéries, ataque químico, abrasão, ou qualquer outro processo de deterioração, isto é, o concreto durável conservará a sua forma original, qualidade e operacionalidade quando exposto ao ambiente.

Al-Amoudi (1998), descreve que apesar do fato do concreto de cimento Portland ser o material de construção mais usado para projetos de engenharia civil, há uma grande quantidade de dados de que revela que o concreto endurecido não é totalmente imune a deterioração, e talvez a mais difundida e comum característica de ataque químico é a ação de íons sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) no concreto. O ataque por sulfato é geralmente atribuído à reação de íons sulfato com hidróxido de cálcio e aluminato de cálcio hidratado para formar gesso e etringita. O gesso e etringita formada como um resultado de ataque de sulfato é significativamente mais volumosos (1,2 a 2,2 vezes) do que os reagentes iniciais, causando rachaduras, deterioração de muitas estruturas de engenharia civil expostas ao meio ambiente. Os íons sulfato em solução podem vir do solo, águas subterrâneas e a água do mar, são encontradas em combinação com outros íons como o sódio, íons de magnésio, potássio e cálcio (Al-Akhras, 2006).

## REVISÃO

A deterioração atribuível ao ataque por sulfato recebeu atenção muito mais cedo, quando comparada a outras formas de degradação, tais como, por exemplo, corrosão de armaduras de aço ou reações álcali-agregado. Embora Vicat, em 1818, tenha sido o primeiro a relatar um produto de ataque químico atribuído à presença de sulfatos na água do mar, uma pesquisa bibliográfica revela que Candlot, em 1890, parece ter sido o primeiro a estabelecer a formação de um produto de hidratação expansiva pela interação de soluções aquosas de aluminatos de cálcio e sulfato de cálcio. Michaelis, em 1892, também foi o primeiro a atribuir a ruptura do concreto, quando atacadas por águas sulfatadas, para a reação entre íons sulfato e C3A em cimento Portland para formar etringita, (Al-Amoudi, 1998).

Ataque externo de sulfato em materiais a base de cimento tem sido uma chave da questão da durabilidade e um objeto de extensa investigação por muitas décadas (Skalny, 2002, apud Bassuoni & Nehdi, 2009). Polêmica e confusão sobre este tipo de ataque e seus mecanismos subjacentes levaram alguns autores a revisitar o tema várias vezes.

Vários processos diferentes podem estar envolvidos e a literatura sobre o assunto tem crescido notavelmente nos últimos anos, o que levou um revisor para descrever a situação atual como mais do que um pouco confusa (Neville, 2004).

No caso de ataque de sulfato, no entanto, o mecanismo de deterioração do concreto depende de numerosos fatores, incluindo os efeitos do ambiente de serviço, tais como a concentração de sulfato na solução, temperatura e variações de umidade. Assim, a fim de prever desempenho concreto em situações que envolvem ataque de sulfato, é essencial para incorporar esses efeitos em qualquer modelo que seja desenvolvido para efeitos de previsão (Santhanam et al, 2002).

De acordo com Vedalakshmi et al (2011), os dados de desempenho de concretos sob condições reais são bastante esparsas. Além de deterioração por poluentes agressivos em trabalhos de campo sujeitos a intempéries.

Diante destas lacunas, observa-se a importância no estudo do transporte de íons sulfatos em estudos de campo, e como os parâmetros ambientais tais como temperatura, precipitação, umidade e velocidade e direção do vento podem influenciar neste transporte.

## DISCUSSÃO

A pesquisa sobre o ataque por soluções agressivas de sulfatos precisa ainda avançar, especialmente para o melhor entendimento dos efeitos da formação dos vários produtos oriundos do

ataque, como gipsita, etringita e taumasita, e também na influência dos cátions (Na, Mg, Ca, etc) combinados com os sulfatos ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) na deterioração (Santhanam, 2001).

Vários fatores influenciam no ataque por sulfatos em estruturas de concreto, podemos destacar o tipo de cimento, tipo e concentração do sulfato, qualidade do concreto, condições de exposição. Em função da origem da fonte de sulfatos nos materiais cimentícios, Collepardi (2003) classifica os processos de deterioração em dois tipos:

- Deterioração por sulfatos de origem externa – os sulfatos têm origem no ambiente de exposição, como solo contaminado por sulfato ou exposição a águas agressivas contendo sulfato.
- Deterioração por sulfatos de origem interna – os sulfatos têm origem intrínseca ao concreto ou argamassa, isto é por contaminação ou adição excessiva de sulfatos aos materiais constituintes, também por sulfatos provenientes da clinkerização com combustíveis alternativos ricos em enxofre.

Na literatura, é vasto o estudo do ataque por sulfatos como os de Abdelkader et al (2010); Shanahan & Zayed (2007); Liu et al (2012); Basista & Weglewski (2009) e Najimi et al (2011), mas estes estudos baseiam-se em experimentos artificiais feitos em laboratório reproduzindo situações reais, diferentemente de resultados de pesquisas realizadas em laboratório, que estudam os processos individualmente, resultados de campo podem ser mais precisos, pois naturalmente estes processos ocorrem de forma associada.

Esta lacuna poderá ser mais bem preenchida se forem obtidos dados mais conclusivos no mundo ainda meio confuso do ataque por sulfatos, e para analisar estes parâmetros, devem ser utilizadas ferramentas para análise matemática de modo a sugerir um modelo que leve em consideração todas as variáveis envolvidas no processo, bem como, o transporte e taxas de deposição de sulfatos.

## CONCLUSÕES

Embora ainda seja considerado meio conturbado o estudo do ataque por sulfatos em estruturas de concreto, as pesquisas a respeito do assunto pouco a pouco estão dirimindo os principais questionamentos. Contudo, é fato que, análises em ambientes controlados podem vir a mascarar certos resultados os quais não levam em consideração todas as variáveis envolvidas no processo.

Análises realizadas em campo visam sucumbir às lacunas deixadas por processos simplificados, entretanto, antes de se ater a determinadas conclusões a respeito de qualquer pesquisa é importante definir quais variáveis são dependentes ou independentes entre si. O ideal é sempre ser realizada uma análise estatística dos resultados obtidos visando definir um espaço amostral coerente.

Para obter um grau de refinamento na pesquisa é interessante realizar ensaios de campo concomitante com ensaios de laboratório, assim sendo, pode-se definir a interdependência de variáveis.

Não existe o ensaio mais correto possível, mas, o ensaio indicado deverá ser aquele que consiga responder aos questionamentos advindos da pesquisa em questão, de modo, a não deixar dúvidas.

## REFERÊNCIAS

- Abdelkader, S. M.; Pozo, E. R.; Terrades, A. M.. Evolution of microstructure and mechanical behavior of concretes utilized in marine environments. In: Materials and Design. v. 31, n. 7, p. 3412–3418. 2010.
- Al-Amoudi, O. S. B.. Sulfate attack and reinforcement corrosion in plain and blended cements exposed to sulfate environments. In: Building and Environment. v. 33, n.1, p. 53-61. 1998.
- Al-Akhras, N. M.. Durability of metakaolin concrete to sulfate attack. In: Cement and Concrete Research. v. 36, n. 9, p. 1727-1734. 2006.
- American Concrete Institute - ACI - Committee 201. Guide to Durable Concrete. Report No. ACI 201-2R-08, American Concrete Institute. Farmington Hills – Michigan - USA, 2008.

- Bassuoni, M. T.; Nehdi, M. L.. Durability of self-consolidating concrete to sulfate attack under combined cyclic environments and flexural loading. In: Cement and Concrete Research. USA. v. 39, n. 3, p. 206-226. 2009.
- Basista, M.; Weglewski, W.. Chemically Assisted Damage of Concrete: A Model of Expansion Under External Sulfate Attack. In: International Journal of Damage Mechanics. v. 18, n. 2, p. 155-175. 2009.
- Collepardi, M. A state of the art review on delayed ettringite attack on concrete. Cement and Concrete Composites, v.25, p.401-407. 2003.
- Glasser, P. F.; Marchand, J.; Samsom, E.. Durability of concrete — Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions. In: Cement and Concrete Research. v. 2, p. 226-246. 2008.
- Liu, Z.; Deng, D.; De Schutter, G.; Yu, Z.. Chemical sulfate attack performance of partially exposed cement and cement + fly ash paste. In: Construction and Building Materials. v. 28, n. 1, p. 230–237. 2012.
- Maslehuddin, M.. Special Issue on Concrete Durability. In: Cement & Concrete Composites. v.25, n. 4-5, p. 399. 2003.
- Mehta, P. K. ; Monteiro, P. J. M.. Concreto - Microestrutura, propriedades e materiais. 674p. Editora IBRACON, 3ª Edição, São Paulo – SP, 2008.
- Neville, A.. The confused world of sulfate attack on concrete. In: Cement and Concrete Research, v.34, n.8, p. 1275-1296. 2004.
- Najimi, M.; Sobhani, J.; Pourkhorshidi, A. R.. Durability of copper slag contained concrete exposed to sulfate attack. In: Construction and Building Materials. v. 25, n. 4, p. 1895–1905. 2011.
- Ramadan, J. T.. Contribuição para o Desenvolvimento de Especificações por Desempenho para Concretos com Escória de Alto-Forno. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2010. 319p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2010.
- Santhanam, M.; Menashi D. C.; Olek, J.. Modeling the effects of solution temperature and concentration during sulfate attack on cement mortars. In: Cement and Concrete Research. v. 32, n. 4, p. 585–592. 2002.
- Shanahan, N.; Zayed, A.. Cement composition and sulfate attack. In: Cement and Concrete Research. v.37, n. 4, p. 618–623. 2007.
- Vedalakshmi, R.; Saraswathy, V.; Ki Yong, A.. Performance evaluation of blended cement concretes under MgSO<sub>4</sub> attack. In: Magazine of Concrete Research, v.63, n.9, p. 669–681. 2011.