

# Análise da resistividade de estruturas de concreto submetidas ao ataque corrosivo de sulfato de magnésio

## Analysis of resistance of concrete structures submitted to magnesium sulfate corrosive attack

Leonardo Domingues de Lima e Silva<sup>†</sup>, Marcus Vinícius Teixeira de Souza<sup>†</sup>, Natália Moreno Marques<sup>†</sup>, Izabela Sara dos Santos Silva Alves<sup>†</sup>, Gustavo José da Costa Gomes<sup>‡\*</sup>

**Como citar esse artigo.** De Lima e Silva, LD; De Souza, MVT; Marques, NM; Alves, ISSS; Gomes, GJC. Análise da resistividade de estruturas de concreto submetidas ao ataque corrosivo de sulfato de magnésio. Revista Teccen. 2018 Jul./Dez.; 11 (2): 23-31.

### Resumo

O estudo do comportamento do concreto diante ao ataque de íons sulfatos, pode ser descrito por meio de ensaios acelerados que, além do rígido controle das invariáveis intervenientes no processo, no que diz respeito à qualidade dos materiais envolvidos, na dosagem dos agregados e do aglomerante, controle na etapa de cura do concreto, oferece baixo custo e certa velocidade na coleta de dados. Busca-se ao máximo estender a durabilidade das estruturas visando diminuir custos com reparos e manutenções ao longo da vida útil da mesma. Uma boa maneira de se chegar a resultados satisfatórios é na escolha certa dos materiais a serem utilizados buscando as características necessárias para resistir às ações a qual a edificação estará submetida. Neste trabalho, busca-se orientar e propor uma descrição do mecanismo de ataque do agente agressor, para elaboração de projetos, as diferentes formas em que o Sulfato de Magnésio pode entrar em contato com o concreto, e também comprovar a relevância da relação água/cimento (a/c) e comparar a resistividade entre dois tipos de cimento, onde constatou a melhor eficiência do cimento CPIII RS - 40, comparado ao cimento CPII E 32, quando ambos submetidos às mesmas condições de agressividade, em ensaios de corrosão acelerada.

**Palavras-Chave:** cimento, concreto, sulfato de magnésio.

### Abstract

The study of the concrete's behavior in face of the attack of sulfate ions, can be described by means of accelerated tests that, besides the rigid control of the invariables that intervene in the process, about the quality of the involved materials, the dosage of the aggregates and the binder, control in the concrete healing step, offer low cost and a certain speed in data collection. The search for the maximum understanding about the durability of the structures aims to reduce costs with repairs and maintenance throughout the useful life of the structure. A good way to achieve satisfactory results is in the right choice of materials to be used for the characteristics necessary to resist the actions to which the building will be submitted. In this work, the aim is to guide and propose a description of the attack mechanism of the aggressor agent, to elaborate projects, the different ways which the Magnesium Sulphate can come into contact with the concrete, and also to prove the relevance of the relation water / cement (a/c) and to compare the resistivity between two types of cement, in which the best CPIII RS cement efficiency was compared to CPII E 32 cement, when both are submitted to the same aggressive conditions, in accelerated corrosion test.

**Keywords:** cement, concrete, magnesium sulfate.

## Introdução

A mistura de cimento Portland com areia, pedra e água, dá origem ao material mais largamente usado em construções: o concreto. Segundo Mehta e Monteiro (2008), o consumo mundial do concreto é estimado em cerca de 5,5 bilhões de toneladas por ano, cerca de uma tonelada por ser humano vivo. Após a água, o homem não consome nenhum outro material em tal quantidade.

De acordo com Lima (2005), de modo geral, as considerações sobre a Durabilidade das Estruturas levam em conta características próprias quantos aos constituintes dessa estrutura (Agregados, cimento,

água e outros); a sua mistura (relação água/cimento ou água/aglomerante uso de aditivos etc.); ou então a sua construção (processo de cura, por exemplo). No entanto, o autor certifica sobre a importância e conhecimento do Meio ambiente onde a estrutura estará alocada para compreendermos o comportamento sabendo que o meio pode levar a redução do tempo de vida útil do concreto.

Segundo os conceitos da NBR 6118 (2014), durabilidade é a capacidade da estrutura ou seus componentes em resistir satisfatoriamente às situações adversas do meio ambiente a qual está inserida, com o intuito de assegurar sua segurança e estabilidade previstas em projeto.

Afiliação dos autores:

<sup>†</sup> Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, RJ, Brasil;

<sup>‡</sup> Docente no curso de Engenharia Civil na Universidade de Vassouras, RJ, Brasil.

\* Email para correspondência: [gustavojcg@id.uff.br](mailto:gustavojcg@id.uff.br)

Recebido em: 06/05/2018. Aceito em: 23/06/2018

Para Mehta e Monteiro (2008), teoricamente qualquer meio com pH menor que 12,5 pode ser qualificado como agressivo porque a redução da alcalinidade do fluido dos poros levaria, no final, a uma desestabilização dos produtos cimentícios de hidratação. Para que o desgaste químico se manifeste com efeitos nocivos, efeitos físicos precisam ser manifestados tais como: aumento na porosidade e permeabilidade, diminuição da resistência, fissuração e lascamento. Na prática, os processos químicos, físicos e mecânicos atuam ao mesmo tempo e podem até reforçar-se mutuamente.

Há uma inópia regulamentação sobre os procedimentos para obtenção de dados qualitativos e quantitativos referentes aos ensaios laboratoriais de ataque por íon sulfato, cabendo, portanto, a necessidade de elaboração de métodos eficazes para se obter dados necessários para estudos pertinentes.

Este artigo tem como objetivo analisar a resistividade de dois tipos de cimento frente ao ataque químico provocado pelo Sulfato de Magnésio ( $MgSO_4$ ) a fim de possibilitar uma melhor escolha do aglomerante a ser utilizado em obras específicas, minimizar ou anular custos excessivos com reparos e manutenções garantindo os requisitos mínimos quanto ao desempenho em serviço, durabilidade e a vida útil dos elementos sujeitos ao ataque. Para efeito de melhores amostras e assim conseguir uma coleta de dados mais satisfatória, optou-se por elaborar corpos de prova de Argamassa (Cimento, agregado miúdo e água), dispensando a utilização de agregado graúdo (brita), uma vez que a mesma proporciona uma não linearidade na difusão dos agentes agressivos, influenciando diretamente na observação da penetrabilidade do ataque no interior dos corpos de prova.

## Estruturas de concreto

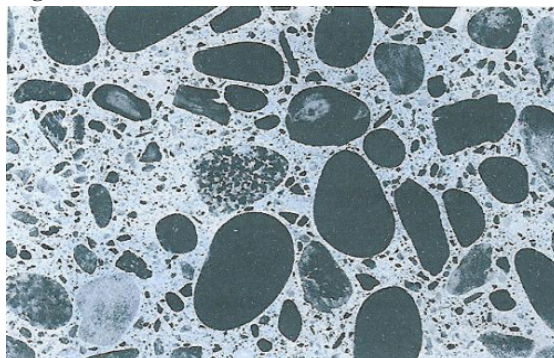
O concreto por proporcionar baixa permeabilidade, minimiza a penetração de substâncias que podem contribuir à corrosão. Devido a isto, a corrosão do aço geralmente não ocorre na maioria dos elementos de concreto. Todavia, pode ocorrer se o concreto não apresentar a qualidade estimada, se houver erros quanto ao projeto da estrutura para o ambiente de serviço, ou caso esse ambiente se modifique, variando a vida útil desse concreto.

O concreto é, com uma estrutura bastante heterogênea, um material poroso e complexo. Em sua macroestrutura (Figura 1) é possível identificar dois constituintes: as partículas de agregado e a pasta de cimento endurecida. Em termos macroscópicos, o concreto pode ser considerado uma mistura bifásica.

Devido às reações de hidratação e da quantidade de água utilizada, a pasta de cimento apresenta três

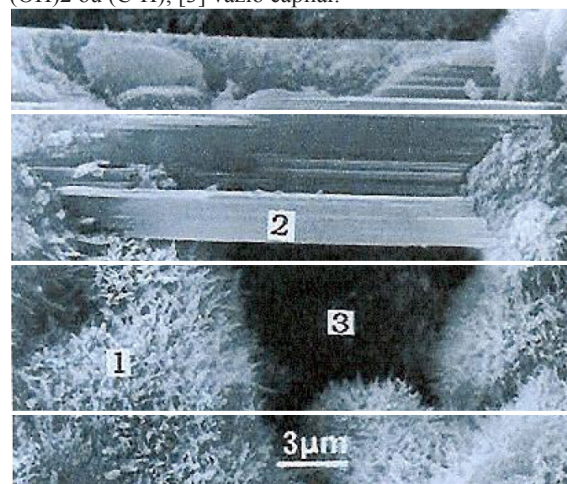
formas: água, poros e sólida como mostrado na Figura 2.

Figura 1. Macroestrutura do concreto.



Fonte: Mehta e Monteiro (2008).

Figura 2. Microestrutura do concreto [1] – C-S-H; [2] Ca(OH)<sub>2</sub> ou (C-H); [3] vazio capilar.



Fonte: Moranville (2008).

## Procedência de sulfatos

Segundo Neville (1997), em solos e águas subterrâneas, os tipos mais recorrentes de sulfato são: sulfato de sódio, sulfato de cálcio e sulfato de magnésio. Há ainda os sulfatos de origem industrial (efluentes industriais), fertilizantes, os provenientes do esgoto, chuva ácida e dos agregados integrantes do concreto.

Dentre os sulfatos mais perigosos para o concreto, destacam-se: sulfato de amônio  $[(NH_4)_2SO_4]$ , o sulfato de cálcio ( $CaSO_4$ ), o sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ ) e o sulfato de sódio ( $Na_2SO_4$ ).

Mehta e Monteiro (2008) dizem que, sob a forma de gipsita, grande parte dos solos traz quantidades pequenas de sulfato (no intervalo de 0,01 a 0,05%), quantidades estas inofensivas ao concreto. Entretanto, os autores evidenciam que não é incomum encontrar

concentrações superiores de sulfato, suficiente para se tornarem nocivas ao concreto, em ambientes industriais e naturais: águas subterrâneas com sulfato de sódio, magnésio e potássio, águas e solos agrícolas com sulfato de amônia, indústrias químicas, decomposição de matéria orgânica, tubulação de esgoto, onde há formação de H<sub>2</sub>S, entre outros.

## Sulfato nas águas

Dois mecanismos de atividade de águas com sulfato sobre o concreto são destacados por Bauer (1994): reação química e mecânica de microfissuração. As reações químicas resultam em produtos de características de expansão, causando fissuração, na qual estas reações são causadas entre os constituintes do concreto e a água sulfatada. A ação mecânica de microfissuração ocasiona deterioração do concreto, como resultado da cristalização de sais provenientes da evaporação da água.

De acordo com Helene (1986), as regiões ao ar livre sobre o mar e perto da costa, são denominadas atmosferas marinhas. Essas atmosferas apresentam sulfatos, cloretos de sódio e cloretos de magnésio. A proporção média de sulfato no Oceano Atlântico é cerca de 2800mg/L.

O sulfato ocupa a terceira maior frequência, dentre os íons mais presentes nos oceanos, depois apenas dos íons cloreto (Cl<sup>-</sup>) e sódio (Na<sup>+</sup>). A proporção do ataque diminui no passo que a profundidade aumenta.

Outra evidência de água sulfurosa provém da chuva ácida, que é altamente agressiva ao concreto, em razão da sua acidez (pH varia de 2,2 a 4,5), ocasionando a desagregação da pasta de cimento. É um processo, no qual são lançados nas atmosferas compostas de procedência ácida, principalmente o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), provenientes do uso de derivados do petróleo e carvão mineral e a utilização de aerossóis de composição ácida.

A ejeção de águas afetadas por sulfato pode ter origem natural, ou de efeito humano. As águas naturais são provocadas por bactérias responsáveis pelas transformações de matéria orgânica, pelas águas dos oceanos e sais inorgânicos presentes nos solos, onde pode haver sulfatos. Já as de causa humana são atribuídas aos esgotos industriais e domésticos

## Sulfato nos solos

O reconhecimento de solos agressivos, segundo Bauer (1994), pode ser feito por meio da coloração. Quando a colocação varia do castanho ao castanho-amarelo, esses solos são conceituados normais, todavia quando a coloração for de cinza a negra (podendo apresentar manchas castanhas de ferrugem), são

conceituados solos suspeitos.

## Reações do sulfato de magnésio

Souza (2006) cita Santhanan, Cohen e Olek (2003) ao descreverem os passos do ataque do sulfato de magnésio, onde se inicia com a penetração da solução agressiva de sulfato de magnésio no interior do material.

Logo após, forma-se rapidamente uma camada de Mg(OH)<sub>2</sub> (brucita) na região superficial do elemento atacado, produzida a partir da reação da solução agressiva de sulfato de magnésio com a portlandita (Ca(OH)<sub>2</sub>) da pasta de cimento hidratada. Esse processo contribui para a descalcificação da estrutura, uma vez que a formação de Mg(OH)<sub>2</sub> consome considerável quantidade de portlandita, ocasionando um decréscimo do pH da pasta, e, para manter o equilíbrio, o C-S-H libera portlandita aumentando o pH novamente.

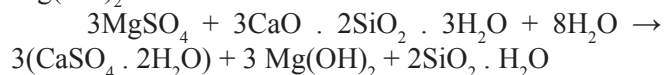
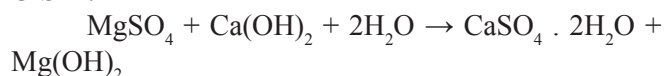
A solução agressiva de sulfato se difunde no interior do corpo de prova depois da formação da camada de Mg(OH)<sub>2</sub>, contudo esta é dificultada uma vez que Mg(OH)<sub>2</sub> é um gel impermeável.

Sob a camada de Mg(OH)<sub>2</sub>, formam-se gipsita e etringita, ainda em regiões próximas a superfície, ocasionando expansão e tensões internas em camadas inalteradas, provocando fissurações nessas regiões, como ocorre de maneira similar no ataque de sulfato de sódio.

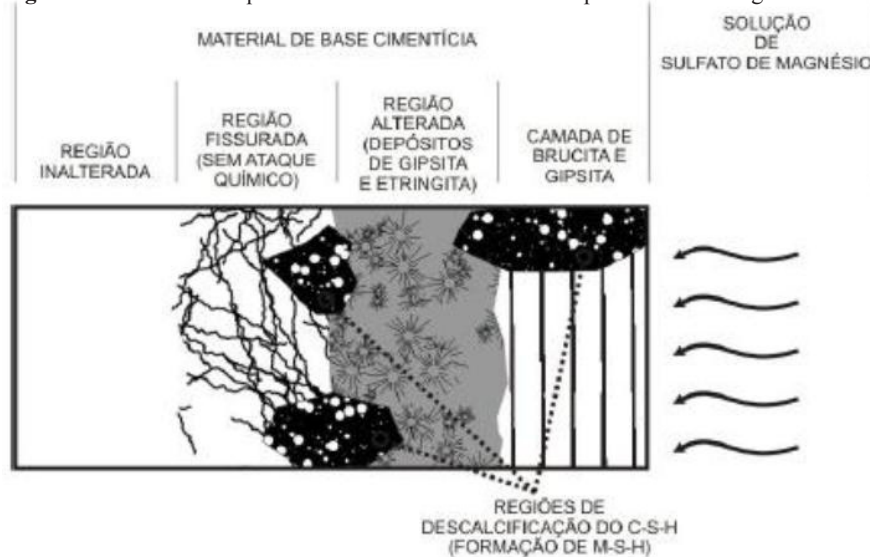
Por fim, a perda de resistência e desintegração da pasta ocorre em algumas regiões onde a solução agressiva de sulfato degrada diretamente o C-S-H, devido à ação do cátion Mg<sup>2+</sup>.

A divisão da seção de material cimentício atacado por sulfato de magnésio se configura da seguinte maneira: camada de Mg(OH)<sub>2</sub> e gipsita paralela à superfície do corpo-de-prova; região de depósito de produtos de ataque; regiões isoladas de descalcificação do C-S-H, formando M-S-H; região com fissuração e; região sã, conforme mostra a Figura 3.

O sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>) ao atacar o concreto, possui uma característica especial, pois existe dois caminhos de ataque: a formação de gipsita e hidróxido de magnésio, a partir da reação com hidróxido de magnésio e a fragmentação em gipsita, hidróxido de magnésio e sílica, a partir da reação com elementos C-S-H.



O sulfato de magnésio é quase duas vezes mais solúvel que o sulfato de sódio, e trinta vezes mais solúvel que o sulfato de cálcio. Por essa razão, o sulfato de magnésio é considerado mais agressivo que os demais.

**Figura 3.** Modelo de ataque em material de base cimentícia por sulfato de magnésio.

Fonte: SOUZA, R. B. (2006).

## Qualidade de concreto

Frequentemente, de forma equivocada, o controle qualitativo do concreto se delimita aos ensaios de resistências com a mistura já endurecida, como se este fator, de forma isolada, atestasse a qualidade do concreto. A qualidade terminante do concreto armado está intimamente ligada ao controle de suas particularidades tanto no estado fresco como no estado endurecido.

Outras perspectivas devem ser preconizadas quando se deseja obter concretos de qualidade, dentre elas o domínio das propriedades do concreto fresco, uma vez que estes aspectos são primordiais ao desempenho das estruturas e às propriedades do concreto já endurecido. A comercialização do concreto pode ser orientada exclusivamente pela sua resistência característica ( $f_{ck}$ ), pode ser uma medida falha por não apresentar as propriedades totais que garantem um bom funcionamento e uma longevidade adequada, como diz Mehta e Monteiro (2008).

Ainda no estado não endurecido (pasta), o controle do concreto ainda fresco não pode ser unicamente dependente do Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone (*Slump Test*), uma vez que essa técnica examina meramente as características da mistura que é a sua consistência. A trabalhabilidade, a segregação, a exsudação, a quantidade de ar incorporado e a coesão, são fatores equitativamente responsáveis pela qualidade final da mistura de concreto, e que por isso devem ser averiguadas.

A qualidade do concreto garante atributos essenciais para o seu uso tais como a desenvoltura para a manipulação, resistência mecânica satisfatória,

durabilidade e impenetrabilidade quando já endurecido.

Sendo assim, a qualidade do concreto está diretamente ligada às suas características enquanto no estado fresco, e conseqüentemente no estado endurecido, bem como uma proporcionalidade adequada, controle na dosagem, no preparo e no fornecimento. A realização de ensaios tecnológicos avalia e sugere a aceitação do concreto fresco, de forma que responda as especificações de projeto.

## Trabalhos relacionados

Assim como no processo de carbonatação do concreto, que é uma manifestação patológica onde o concreto é agredido pelo composto  $\text{CO}_2$ , principalmente quando o mesmo se encontra em altas concentrações e ao diluir-se em água ou na própria unidade do concreto, penetra pelos poros, transforma hidróxido de cálcio em carbonato de cálcio e conseqüentemente diminuindo a alcalinidade do concreto (redução do pH) possibilitando a formação de células eletroquímicas causadoras da corrosão. Este processo corrosivo recebe o nome também de Frente de Carbonatação e geralmente sua verificação pode ser de modo visual e é feita pelo uso de um indicador como a fenolftaleína a fim de saber a qual profundidade o ataque prosseguiu. Contudo, sabe-se que, o ataque por Sulfato de Magnésio ao concreto também manifesta/propicia reações entre o agente agressor e composto do material cimentício, alternando e deteriorando a estrutura do concreto, como por exemplo, a redução do grau alcalino (redução do pH), então, podemos dizer que há também uma eficiência metodológica de avaliação do presente trabalho, ou

seja, utilizando a fenolftaleína como um indicador onde podemos visualizar a profundidade a qual o concreto consegue resistir ao ataque de Sulfato de Magnésio.

Oliveira (2017) descreveu a metodologia experimental de uma análise semi-destrutiva de campo, para a verificação visual da profundidade da frente de carbonatação por meio da aspersão do indicador de alteração de pH, fenolftaleína. Em resultado da referida análise, a região acometida por carbonatação, devido a exposição à dióxido de carbono, apresenta aspecto incolor, devido a redução de seu pH, após aspersão do indicador fenolftaleína. Em contrapartida, a região não acometida pelo contato com o dióxido de carbono apresenta tonalidade rosada ao aspergir o mesmo indicador, denotando um pH mais alcalino, uma vez que a carbonatação não ocorreu na região, portanto observa-se uma fronteira não acometida, conferindo resistência ao concreto. Oliveira (2017) ainda concluiu que análise de processos submetidos a carbonatação podem contemplar diagnósticos referentes à profundidade de ataque, o comportamento diante à corrosão, parâmetros de resistência e a designação de materiais escolhidos.

Real et al. (2015) formalizaram em seu trabalho, como metodologia, uma análise visual por meio da aspersão de um indicador, nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), para identificar por meio da alteração da coloração (redução do pH) a variação da profundidade de penetração do cloreto no concreto. Real et al. (2015) ainda relatam sobre a amplitude da utilização de outro indicador de pH, a fenolftaleína, em análises realizadas para estudos de carbonatação, devido a sua facilidade de manuseio e alta confiabilidade.

Mehta & Monteiro (2008) afirmam que quando o componente ou a estrutura de concreto sofre o ataque por sulfato de magnésio, a mutação do hidróxido de cálcio em gipsita ocorre paralelamente a produção de hidróxido de magnésio, que tem por característica reduzir o grau alcalino do sistema (redução do pH do concreto), assim como também é indissolúvel. Com o desaparecimento de íons hidroxila na solução, o C-S-H perde estabilidade e se torna propenso ao ataque da solução de sulfato.

## Projeto experimental materiais

Visando contemplar uma comparação da eficiência dos aglomerantes frente ao ataque corrosivo de sulfato de magnésio, adotou-se para este projeto experimental o cimento CII E 32 e o cimento CP III 40 RS (resistente a sulfato), utilizando três fatores de água cimento (0,45; 0,55 e 0,65) com três amostras em cada fator para cada um dos dois tipos de cimentos citados acima. Como agregado miúdo foi utilizado areia média lavada, comprada na cidade de Vassouras.

A água para elaboração do traço proveio da rede de abastecimento do município de Vassouras (RJ).

Foram utilizadas formas de EPS (Isopor), com intuito de preservar a água de amassamento e padronizar os corpos de prova.

Para promover o ataque, foi elaborada uma solução de Sulfato de Magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ), na concentração de 25,5 g/100 mL, respeitando o coeficiente de solubilidade da substância à temperatura ambiente, a qual o ataque foi submetido.

Para precisar os traços elaborados, foram utilizadas balança de precisão e proveta. Os traços foram elaborados com: 1 kg de cimento Portland, 2,17 Kg de areia (Agregado miúdo) e variando de acordo com os fatores de água especificado para cada grupo de corpos de prova a quantidade de água, utilizadas as dosagens de 0,450, 0,550 e 0,650 L.

Para a identificação do acometimento da solução agressiva foi utilizada fenolftaleína na seguinte concentração: 1 g/50 mL de álcool etílico sendo diluído até completar os 100 mL.

## Confecção dos corpos de prova

O experimento desenvolvido consistiu em avaliar o ataque químico do sulfato de Magnésio no concreto. Foram utilizadas duas especificações do cimento, cada um com três fatores de água/cimento distinto, e cada fator com três corpos de prova, totalizando dezoito corpos de prova.

Cada corpo de prova foi adensado por meio de vibração mecânica, conforme preconizado na NBR 5738:2003, para melhor homogeneização da mistura. Para produzir os corpos de prova foram utilizadas formas de isopor em um formato prismático com as seguintes medidas: 10,5 x 13,0 x 6,0 cm, conforme figura 4.

Figura 4. Corpo de prova.



Fonte: Acervo dos autores.

Após as misturas dos componentes constituintes do concreto terem sido elaboradas, as mesmas foram despejadas nas formas. A fim de ter um maior padrão no experimento todos os dezoito corpos de prova foram preenchidos no mesmo dia. Após os 28 dias do processo de cura do concreto ocorreu a desforma dos corpos de prova.

Os traços elaborados seguiram distintas proporções conforme a Tabela 1 indica. Caldas Branco (1974) em sua tabela de traços elaborados, estabelece a proporção de 1:2:3 como a relação dos constituintes que determina o fck de 25 MPa.

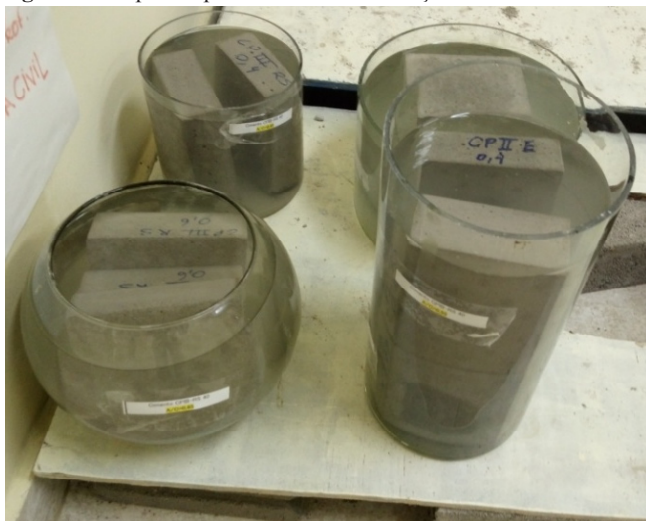
Tabela 1. Traços de concreto.

TRAÇO	CIMENTO (TIPO)	CIMENTO (kg)	ÁGUA (l)	FATOR ÁGUA/CIMENTO	AREIA (kg)
1	CP III 40 RS	1	0,450	0,45	2,17
2	CP III 40 RS	1	0,550	0,55	2,17
3	CP III 40 RS	1	0,650	0,65	2,17
4	CP II E 32	1	0,450	0,45	2,17
5	CP II E 32	1	0,550	0,55	2,17
6	CP II E 32	1	0,650	0,65	2,17

## Ensaio de penetrabilidade de sulfato de magnésio

Os corpos de prova foram imersos em solução de sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ ), onde permaneceram por 7 dias conforme a figura 5. Foram adicionados 15 litros de água potável em um balde de aço inoxidável com 450 mg/L de sulfato de magnésio.

Figura 5. Corpos de prova imersos em solução.



Fonte: Acervo dos autores.

## Metodologia para análise penetrabilidade de sulfato de magnésio

Posteriormente à imersão em solução de sulfato de magnésio, foi realizado um corte nos corpos de prova de concreto para que fosse executada a aspersão da fenolftaleína para a indicação e a intensidade do ataque químico em cada peça.

O ensaio consiste na visualização da alteração do pH do concreto, o que é possível pela aspersão de um indicador de pH. Usualmente, utiliza-se uma solução de fenolftaleína ( $C_{20}H_{16}O_4$ ) de 1 g da fenolftaleína em 50 mL de álcool etílico e diluição desta mistura em água destilada até completar 100 mL, conforme a figura 6. Para o ensaio, o corpo de prova é fraturado e, após a limpeza da área, feita a aspersão da solução. Na oportunidade, pode-se observar o ataque, e assim analisar a profundidade resistente de cobrimento, que possibilita a proteção da armadura.

A norma DIN EN 14630 (2007) recomenda a aspersão da solução de fenolftaleína perpendicularmente à área fraturada, até que o concreto esteja saturado (o escorrimento da solução na superfície deve ser evitado). A frente de carbonatação é o valor médio da espessura da camada incolor. Quanto da obtenção de valores significativamente maior dos demais o mesmo não deve ser incluído no cálculo do valor médio, embora deva ser informado.

Andrade (1992) cita que, com o uso de

Figura 6. Fenolftaleína.



Fonte: Acervo dos autores.

fenolftaleína, é detectada a região carbonatada do concreto que é aquela que não apresenta alteração de coloração, tendo pH inferior a 8,3. A região não carbonatada assume cor entre rosa a vermelho-carmim, de pH entre 8,3 e 9,5, ou somente vermelho carmim, de pH superior a 9,5.

## Resultados e discussão

### Análise dos corpos de prova elaborados com cimento CII e 32

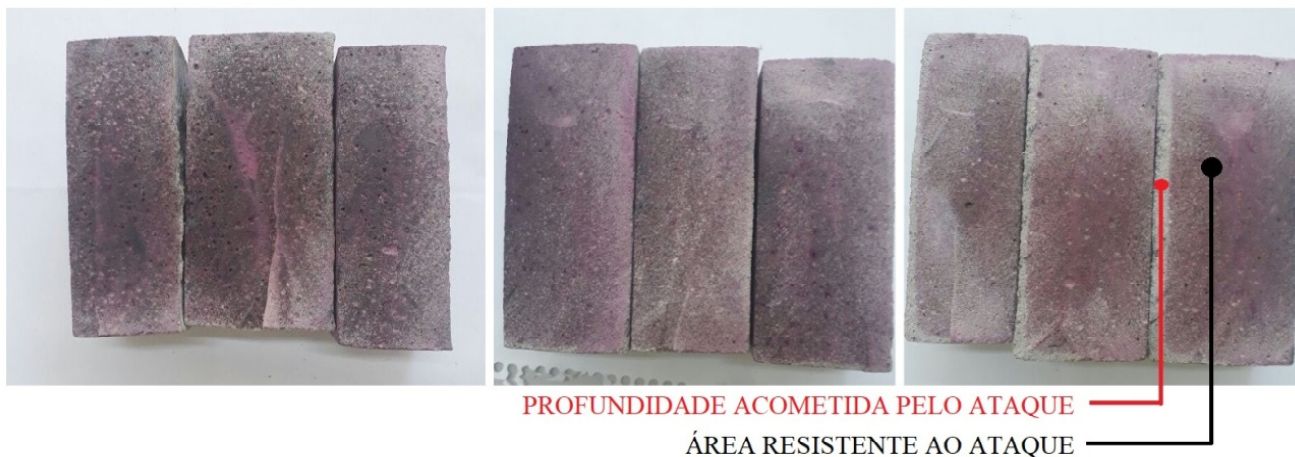
Dentre as variações de resistividade deste lote de

corpos de prova, elaborados com argamassa e feitos com Cimento Portland CP II E – 32, embora não apresentam resistências contra o ataque químico em questão, observou-se visualmente uma variação na resistência onde a relação água-cimento (A/C) influenciou diretamente na profundidade de penetrabilidade da agressão do Sulfato de Magnésio ( $MgSO_4$ ), sendo assim, os corpos de prova com fator A/C=0,45 apresentaram resistência satisfatória.

### Análise dos corpos de prova elaborados

Neste lote de corpos de prova, confeccionados

Figura 7. Corpo de prova cimento CP II E 1 = Fator A/C 0,45; 2 = Fator A/C 0,55; 3 = Fator A/C 0,65.



Fonte: Acervo dos autores.

**Figura 8.** Corpo de prova cimento CP III RS 1 = Fator A/C 0,45; 2 = Fator A/C 0,55; 3 = Fator A/C 0,65.

Fonte: Acervo dos autores.

com argamassa, com cimento Portland do tipo CP III RS – 40, cuja especificação é para ambientes sujeitos ao ataque de Sulfatos, que é o agente agressor em questão, foi analisado que, mesmo para a condição mais desfavorável, onde a relação  $A/C=0,6$  que faz com que a argamassa apresente um índice de porosidade maior, o desempenho foi favorável se comparados com a espessura mínima prevista em norma.

Em observação visual aos corpos de prova submetidos à um processo de corrosão acelerada por meio de sulfato de magnésio, é possível observar que as amostras elaboradas com o cimento do tipo CPHI 40 RS (resistente a sulfato) apresentou coloração avermelhada mais intensa, quando comparadas com as amostras elaboradas com o cimento CPHI 32, o que sugere segundo a reação com fenolftaleína que funciona com um indicador de pH, onde em um pH mais ácido apresenta aspecto incolor (região atacada pela corrosão) e em meio básico apresenta aspecto em tom de rosa (região não acometida pela corrosão).

Quando definidos em projeto as necessidades de proteção da estrutura devido ao ataque corrosivo, parâmetros como o conhecimento da eficiência da massa utilizada e cobertura de revestimento das armaduras, gastos como a necessidade de inibidores de corrosão, por exemplo, podem ser minimizados, visto que outros parâmetros mais econômicos podem ser aplicados, desde que se tenha ciência da competência e efetividade dos insumos.

Segundo as condições da NBR 5737 (1992), os concretos destinados às obras onde há presença de íons sulfato recebem medidas básicas de fabricação para reduzir o máximo a permeabilidade do material, por meio do aumento do teor de escória ou pozolana, que ao serem incorporados no cimento, reduzem proporção de clínquer, logo há menor proporção de compostos que beneficiam o ataque de sulfato, outrossim, as adições liberam baixa quantidade de, ou nenhuma quantidade de hidróxido de cálcio durante o período de hidratação,

uma vez que este composto substancial para reagir com sulfatos (El-Alfi *et al.*, 2004; Singh & Garg, 2002).

A pouca penetrabilidade da solução de sulfato de magnésio no concreto deve-se, provavelmente, pela formação de sulfato de cálcio e a quantidade de escória e/ou material pozzolânico adicionado ao cimento resistente ao ataque de sulfatos solúveis.

## Conclusão

O método de análise deste trabalho mostra-se eficiente, pois, trata-se de um ensaio acelerado, então foi adotada uma solução bastante agressiva para que pudesse simular uma situação real que teria intervalo de tempo maior para que ocorresse o ataque do sulfato. Na análise dos corpos de provas, concluiu-se que o Cimento CP III 40 RS é o mais indicado para ambientes agressivos, pois se mostrou mais resistente frente ao ataque do que o Cimento CP II E 32, comprovando o que diz as informações do fabricante de que sua finalidade que é representada pela sua sigla de especificação – RS (Resistente a Sulfatos) – onde foi analisado também um desempenho gradativo devido as diferentes relações  $A/C$ , que faz com que haja uma variação na proporção de espaços vazios no corpo-de-prova, denominado porosidade de concreto.

## Referências

- Andrade, C. (1992). Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. Trad. De Antonio Carmona e Paulo Helene. São Paulo, Pini.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (1992). NBR 5737. Cimentos Portland Resistentes a Sulfatos. São Paulo.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2015). NBR 5738. Procedimentos Para Moldagem e Cura De Corpos de Prova. São Paulo.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2014). NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto. São Paulo.
- Bauer L. A. F. (1994). Materiais de construção, Rio de Janeiro: Ed. LTC, 5ª



edição v.2.

DIN - Deutsches Institut Fur Normung. (2007). DIN EN 14630: Products And Systems For The Protection And Repair Of Concrete, Structures – Test Methods – Determination Of Carbonation Depth In Hardened Concrete By The Phenolphthalein Method, English version, DIN. Berlin.

El-Alfi, E. A., Radwan, A. M., Abed El-Aleem, S. (2004). Effect of limestone fillers and silica fume pozzolana on the characteristics of sulfate resistant cement pastes. *Ceramics Silikaty.*, v. 48, n. 1, p. 29-33.

Helene, P. R. L. (1986). *Corrosão em Armaduras para Concreto Armado*, São Paulo: Pini.

Lima, M. G. (2005). *Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações*. 1 ed. São Paulo: Ibracon. 1v.

Mehta, P. K.; Monteiro, P. J. M. (2008). *Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais*. 3. ed. São Paulo: Ibracon.

Neville, A. M. (1997). *Propriedades do Concreto*. 2º ed. São Paulo: Editora Pini.

Real, L. V.; Oliveira, D. R. B.; Soares, T.; Medeiros, M. H. F. (2015). Método colorimétrico por aspersão de nitrato de prata para avaliação da penetração de cloretos em concreto: Estado da arte. *Alconpat*.

Santhanam, M.; Cohen, M. D.; Olek, J. (2003). Effects of gypsum formation on the performance of cement mortars during external sulfate attack. *Cement and Concrete Research*, v. 33, n. 3, p. 325-332.

Singh, M. & Garg, M. (2002). Calcium sulfate hemihydrate activated low heat sulfate resistant cement. *Construction and Building Materials*, v.16, n.3, p 181-186.

Souza, R. B. (2006). *Suscetibilidade de pastas de cimento ao ataque por sulfatos – método de ensaio acelerado*. São Paulo. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Oliveira, T. R. (2017). *Análise da frente de carbonatação em concreto convencional: estudo de caso em edificações com idade diferenciada na cidade de Juazeiro do norte – CE*. 52 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Regional Cariri, Ceará, Brasil. altura. Disponível em: <http://www.saudeetralho.com.br/download/trabaluraalex.pdf> Acesso 2016.

Salim, C. A. (2011). *FUNDACENTRO, Saúde e Segurança de Trabalho. Aspectos Institucionais de sistema de informação e indicadores*. Disponível em: [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3033/1/Livro\\_Saúde\\_e\\_segurança\\_no\\_trabalho\\_no\\_Brasil\\_aspectos\\_institucionais\\_sistemas\\_de\\_informação\\_e\\_indicadores](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/3033/1/Livro_Saúde_e_segurança_no_trabalho_no_Brasil_aspectos_institucionais_sistemas_de_informação_e_indicadores) Acesso 2017.

SESMT. (2012). Disponível em: Acesso em 04. Nov. 2012. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1361/1/CT\\_CEEEST\\_XXIV\\_2013\\_32.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1361/1/CT_CEEEST_XXIV_2013_32.pdf) Acesso 2017.

Silva, M. F. S.; Formoso, C. T.; Heineck, L. F. M. (2009). *Melhorias de qualidade e produtividade: iniciativas das empresas de construção*. Porto Alegre: Programa de Qualidade e Produtividade da Construção Civil no Rio Grande do Sul. 288p.

Waldheim-Neto, N. (2014). *Acidente de trajeto*. Goiás: Copyright 2014. Disponível em: Acesso em: 03 maio 2015.

Brasil. (2007). Ministério do Trabalho. NR-6: equipamento de proteção individual - EPI. In: *Segurança e Medicina do Trabalho*. 61a. ed. São Paulo: Atlas. p.73-80.