



## ATAQUE FÍSICO E QUÍMICO EM FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS: MECANISMOS E DANOS.

CAROLINE MELO DA SILVA, Anne (1); MARQUES DA SILVA CABRAL, Fiori (2); ALMEIDA DE OLIVEIRA, Romilde (3).

*Universidade Católica de Pernambuco, anne.carolinemelo@hotmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, fioricabral2015@gmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, romildealmeida@gmail.com*

### RESUMO

O ataque por sulfato é o termo comumente utilizado para descrever reações químicas entre os íons sulfato e os componentes do concreto endurecido, especialmente a pasta de cimento, como mostram diversas pesquisas realizadas em todo o mundo. Este trabalho abordará de forma sucinta, o ataque dos íons sulfato nas estruturas de concreto e seus mecanismos na formação de produtos como a etringita. Um breve comentário sobre a ação dos sulfatos em estações de tratamento de esgoto também será feito, assim como a utilização de cimentos Portland resistentes a sulfatos como uma medida de proteção contra seus efeitos. Serão mostrados alguns danos de ataques típicos produzidos por sulfatos, principalmente em fundações superficiais de concreto, de modo a exibir sua aparência e sugerir possíveis técnicas de reparo. Especialistas por sua vez explicam que a melhor defesa contra o ataque nocivo dos sulfatos é a efetividade do controle de qualidade. A baixa permeabilidade do concreto é a melhor proteção contra o ataque por sulfatos. Entre os fatores que contribuem para reduzir a permeabilidade do concreto estão a espessura adequada, baixa relação água-cimento, compactação e cura. Por fim será exposto um panorama geral do ataque de sulfatos no mundo e um estudo de caso sobre o colapso da estrutura de um edifício residencial, situado em Olinda, na Região Metropolitana do Recife, em novembro de 1999.

**Palavras-chave:** Ataque por sulfato. Fundação superficial. Permeabilidade do concreto.

### ABSTRACT

*Sulphate attack is the term commonly used to describe chemical reactions between sulfate ions and components of hardened concrete, especially cement paste, as shown by several surveys conducted around the world. This work will briefly discuss the attack of sulfate ions on concrete structures and their mechanisms in the formation of products such as ettringite. A brief comment on the action of sulfates in sewage treatment plants will also be made, as well as the use of sulfate-resistant Portland cements as a protective measure against their effects. Some damage from typical sulphate attacks will be shown, especially on shallow concrete foundations, in order to show their appearance and suggest possible repair techniques. Experts in turn explain that the best defense against the harmful attack of sulfates is the effectiveness of quality control. The low permeability of concrete is the best protection against attack by sulphates. Among the factors contributing to reduce the permeability of concrete are the proper thickness, low water-cement ratio, compaction and cure. Finally, an overview of the sulfate attack in the world will be presented and a case study on the collapse of the structure of the residential building, located in Olinda, Metropolitan Region of Recife, in November 1999.*

**Keywords:** Etching sulphate. Surface foundation. Concrete permeability.

## 1 SULFATOS E SEU ATAQUE

Os compósitos cimentícios são suscetíveis à ação destrutiva de meios aquosos contendo sulfatos; esta ação danosa é chamada de “ataque por sulfatos”. O ataque por sulfatos está associado à interação de íons sulfatos com pasta de cimento hidratada, podendo se manifestar de várias formas, pois a origem dos íons sulfato pode ser tanto externa quanto interna. São exemplos de fontes de íons sulfatos a água do mar e o lençol freático (SOUZA, 2006). O processo completo de deterioração do ataque por sulfatos envolve três etapas: (a) difusão dos íons agressivos para o interior da matriz cimentícia, que é função da porosidade e permeabilidade; (2) 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 (etringita e gipsita) e (c) fissuração da matriz, algumas vezes associada à reação química de descalcificação do C-S-H, resultando em perda de resistência e desintegração. Paralelamente a este processo de deterioração pode ocorrer uma ação danosa oriunda da cristalização de sais. Irassar et al. (1996) concluíram que o mecanismo de ataque por sulfato de sódio pode ser dividido entre formação de etringita, formação de gipsita e cristalização de sais. Os compostos formados pela reação química de degradação ocupam mais espaço que os compostos originais, causando expansão, ruptura e fissuração. Conjuntamente a este efeito, os sais de sulfatos cristalizados também ocupam mais espaço na matriz cimentícia do que dissolvidos.

Segundo Ciria Report C569 (2002, apud MILITITSKY et al, 2005, p.168), o mais significativo agente agressivo ao concreto de fundações é o sulfato, que tem ocorrência natural nos solos e em suas águas. De acordo com o Building Research Establishment (2001, apud MILITITSKY et al, 2005, p.168), os fatores que influenciam o ataque por sulfatos são: (1) a quantidade e natureza do sulfato presente (quanto maior a concentração de sulfatos no solo ou na água subterrânea, mais severo será o ataque), (2) o nível da água e sua variação sazonal, (3) o fluxo da água subterrânea e a porosidade do solo, (4) a forma da construção e (5) a qualidade do concreto.

## 2 CIMENTO PORTLAND RS

Neville aborda que diminuir o teor de C3A dos cimentos Portlands seria a solução para se ter cimentos resistentes a sulfatos. A adição de pozolanas também tem a capacidade de, além de reagir com o hidróxido de cálcio, diminuir o teor de C3A devido à diminuição da quantidade de clínquer (SILVA FILHO, 1994, pág 79).

A ABNT-NBR 5737 (1992) afirma que cinco tipos de cimento podem ser considerados resistentes a sulfatos, desde que se enquadrem em pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico (C3A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- Cimentos do tipo alto forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto forno em massa;
- Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25 % e 40% de material pozolânico, em massa;

- Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

### 3 ATAQUES DE SULFATOS E SEUS ORGANISMOS

A formação de gipsita, etringita ou taumasita, associadas com as reações por troca de cátions, estão acompanhadas de diferentes mecanismos. Assim, a formação de gipsita está acompanhada da perda de adesão e de resistência, lascamento e expansão, o que explicaria a diminuição de resistência à tração dos concretos; a formação de etringita está associada com a expansão e a fissuração e, a formação de taumasita, está acompanhada pelo mais severo efeito danoso, capaz de transformar o concreto endurecido em uma massa não coesa, devido à dissolução do C-S-H principal composto responsável pela resistência do concreto (WERITZ et al., 2009)

Fuad e Oliveira (2016) afirmam que os sulfatos no solo não prejudicarão o concreto se permanecerem secos. A água é necessária para dissolver os sulfatos e levar seus ânions para o concreto por difusão. Por sua vez, não é necessária uma grande quantidade de água, a terra ao seu redor não precisa estar saturada, apenas úmida. Em alguns casos, o teor de água no solo só precisa ser entre 12% e 14%.

#### 3.1 Sulfatos e a etringita

Basicamente o ataque por sulfatos ocorre pela sua reação com o aluminato tricálcico ( $\text{CaO}_3\text{Al}_2\text{O}_3$ , C3A ou celita) do cimento hidratado, entretanto, enquanto o sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) apenas reage com o aluminato tricálcico, o sulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) reage com o hidróxido de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) livre formando sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4$ ) que por sua vez irá reagir com os aluminatos. O resultado destas reações é a formação de gesso e etringita, significativamente mais volumosos do que os reagentes iniciais (1,2 a 2,2 vezes) o que provoca expansão e, por conseguinte, fissuras e deterioração (AL-AKHRAS, 2006).

Segundo Fuad e Oliveira (2016) para produzir quantidades prejudiciais de etringita, a reação requer a presença de:

- Uma concentração significativa de sulfatos solúveis em água;
- Os concretos que contenham um teor substancial de hidrato de aluminato de cálcio, no caso do concreto produzido com a maioria dos cimentos Portland;
- Presença de umidade.

"Quando a análise do concreto revela um alto teor de sulfato, isso não significa necessariamente deterioração, embora, inversamente, a perda de força ou deterioração visual acompanhada de um alto teor de sulfato seja evidência de um ataque de sulfato" (Neville, 2004). Ele também aponta que "a presença de etringita por si só não é um sinal de um ataque de sulfato".

#### 3.2 Sulfatos no esgoto

Segundo Souza (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.

Deve ser dada especial atenção ao ataque por ácido sulfúrico biogênico, uma vez que este é um composto altamente degradante em estruturas de esgoto. Estas bactérias são aeróbias e requerem a presença de oxigênio e, por conseguinte, a ação oxidante destas bactérias normalmente provoca uma corrosão mais intensa na parte superior (teto) e tubos grandes nos sistemas de tratamento de esgotos. Seus processos metabólicos causam valores de pH devido ao ácido sulfúrico biogênico ( $H_2SO_4$ ) de cerca de 2, podendo atingir valores inferiores a 0,7 (Takagi et al, 2009).

#### **4 ATAQUES DE SULFATOS EM BLOCOS ESTRUTURAIS DE CONCRETO**

As manifestações patológicas em estruturas de concreto devido ao ataque por sulfatos têm sido verificadas em diversas partes do mundo. Na maioria dos casos, os sulfatos são externos ao concreto, não sendo incomum encontrar concentrações deletérias destes em ambientes urbanos e industriais, como exemplo indústrias de produtos químicos e estações de tratamento de esgoto (DE BELIE et al., 2004; CHANG et al., 2005; PADILLA et al., 2010; YUAN et al., 2013).

Quanto aos sulfatos de origem interna, Brunetaud et al. (2012) apresentaram relatos de concentrações significativas de sulfatos presentes em agregados utilizados em concretos, o que torna a reação ainda mais perigosa, uma vez que o agente agressivo já se encontra dentro da estrutura.

Cada forma de mecanismo de ataque de sulfato a ser discutida é abordada como um processo físico-químico levando a consequências físico-mecânicas. Tais consequências incluem alterações na porosidade e permeabilidade, estabilidade volumétrica, resistência à compressão e à tração, módulo de elasticidade, dureza, e assim por diante. Todas estas mudanças implicam perda de durabilidade e menor vida útil (FUAD e OLIVEIRA, 2016).

#### **5 DANOS DE ATAQUES TÍPICOS PRODUZIDOS POR SULFATOS**

O concreto atacado por sulfatos tem uma aparência esbranquiçada característica. A deterioração geralmente começa nos cantos e arestas seguida de uma fissuração progressiva e lascamento que reduzem o concreto a uma condição friável ou mesmo mole (NEVILLE, 1997).

Mehta e Monteiro, 2008, relata que o ataque por sulfato pode se manifestar em forma de fissuração e expansão, podendo causar graves problemas estruturais como o deslocamento de paredes de uma edificação.

As consequências do ataque por sulfatos não compreendem somente a desagregação por expansão e fissuração, mas também a perda de resistência do concreto devido à perda de coesão na pasta de cimento e à perda de aderência entre a pasta e as partículas de agregado (NEVILLE, 1997).

Se não pode impedir a água com sulfato de atingir o concreto, a única defesa

contra o ataque está no controle do fator (MEHTA e MONTEIRO, 2008). Neste caso é de fundamental importância priorizar a qualidade na execução e materiais utilizados, como espessura adequada, baixa relação água/ cimento, alto consumo de cimento, compactação e cura apropriadas, fatores que tornem a permeabilidade do concreto o mais baixa possível, aliando-se o uso de cimentos portland resistentes a sulfatos ou compostos e uso de películas impermeabilizantes.

O tipo de cimento e o controle da permeabilidade são essenciais para o controle de ataque por sulfato.

Segundo Mehta e Monteiro, 2008 algumas recomendações podem ser adotadas quando o concreto se encontrar exposto ao sulfato, com base em normas desenvolvidas originalmente pelo U.S. Bureau of Reclamation, são elas (Tabela 1):

Tabela 1 - Recomendações do tipo de cimento em relação ao nível de ataque sofrido

| CLASSE DE AGRESSIVIDADE | TEOR DE SULFATO |                | RECOMENDAÇÃO  |
|-------------------------|-----------------|----------------|---|
|                         | SOLO (%)        | AGUA (MG/L)    |   |
| negligenciável          | menor 0,1       | abaixo 150     | não há restrição do tipo de cimento, nem relação a/c  |
| moderado                | 0,1 - 0,2       | 150- 1500      | CP- II ou Portland pozolânico ou portland com escória. Relação a/c menor q 0,5, para concreto c peso normal |
| severo                  | 0,2 - 2,0       | 1.500 - 10.000 | CP- V com relação água cimento menor que 0,45   |
| muito severo            | acima de 2      | acima 10.000   | Cimento ASTM - V mais adição de pozolana, com relação a/c menor 0,45  |

Fonte: Mehta e Monteiro (2008)

## 6 FUNDAÇÕES SUPERFICIAIS E O CAIXÃO VAZIO

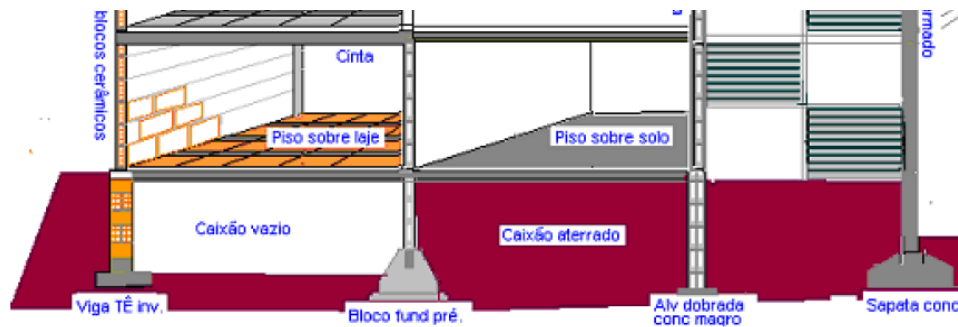
Nos anos 70, a fim de minimizar o déficit habitacional no Brasil, o governo liberou incentivo financeiro para construções habitacionais. Começou então uma construção em grande escala de um sistema de habitação feitos por alvenaria de blocos cerâmicos ou de concreto onde todos os esforços são distribuídos e suportados pelas alvenarias.

Para que estas construções se tornassem viáveis financeiramente, não poderia ter fundação profunda, fato que convergiu para a construção de edificações com até 4 pavimentos.

As fundações, geralmente construídas em alvenaria, simples ou dobrada, em continuidades as paredes da edificação, podendo estar assentadas sobre vigas TÊ invertido de concreto, sobre componentes de fundação em pré-moldadas ou simplesmente sobre camada de concreto magro.

Na figura 1 vemos que o interior das fundações pode estar preenchido e o piso assentado diretamente sobre o solo, ou seu interior pode não estar preenchido, utilizando laje pré-moldada como piso, sendo esta caracterizada como caixão vazio ou perdido (P. SOBRINHO et al., 2009).

Figura 1 - Croquis de fundação superficial em caixão vazio e com caixão aterrado.



Fonte: P. Sobrinho et al, 2009

Com a intenção de fazer os custos cada vez menores, além de não receberem revestimento nos blocos, algumas fundações também não receberam o aterro do caixão, como mostra a figura 1, fazendo com que as paredes do caixão vazio exerçam a função de contenção do aterro externo. Como atenuante, algumas alvenarias foram assentadas de forma singela.

A Região Metropolitana do Recife possui, em muitos locais, o nível do lençol freático elevado, o que faz com que muitas fundações recebam variações de nível de água.

Abaixo da laje de piso do térreo, encontra-se a tubulação da rede de esgoto na qual passam dejetos, que, com a deterioração da tubulação, contamina a água do lençol freático na qual se encontra no interior do caixão perdido como mostra a figura 2.

Observa-se que a taxa de ataque em uma estrutura de concreto, com todas as faces expostas à água com sulfato, é menor do que se a umidade for perdida por evaporação a partir de uma ou mais superfícies. Portanto, porões, galerias, muros de arrimo e lajes no solo são mais vulneráveis que fundações e estacas. (VILASBOAS, 2004, p.42)

Figura 2 – Caixão perdido em alvenaria de blocos de concreto.



Fonte: P Sobrinho et al. (2009)

Um edifício residencial, localizado no bairro de Piedade - Jaboatão dos Guararapes; o bloco-B de um Conjunto Residencial e um outro edifício residencial, ambos localizados na cidade de Olinda, no bairro de Jardim Fragoso; as três construções na Região Metropolitana do Recife, colapsaram com estas características. O localizado Em Jaboatão, colapsou em 1997. Não houve vítimas, pois continha cinta de amarração em sua estrutura; Os outros dois desabaram ambos em 1999, sendo que o primeiro teve 7 vítimas fatais e, 45 dias após, a outra edificação ruiu deixando 5 vítimas fatais. O que estas três construções têm em comum é a utilização da técnica do caixão vazio na sua fundação.

## 7 ESTUDO DE CASO – EDIFÍCIO RESIDENCIAL EM OLINDA

Este edifício localizado no Município de Olinda, colapsou deixando cinco vítimas fatais. Sua construção utilizou alvenaria mista em tijolos cerâmicos de oito furos e blocos de vedação em concreto, com dimensões 39x19x9cm.

Segundo, Oliveira e Pires Sobrinho (2005), a fundação desta edificação foi executada em caixão vazio e as paredes em alvenaria singela mista. Apresentava em alguns pontos vazios de até 1,70m entre o solo natural e a laje de piso do pavimento térreo.

O laudo de avaliação conduzido por um órgão estadual (PE) competente, apontou como causa principal de ruína a perda de resistência dos blocos de concreto utilizados na fundação em decorrência da degradação produzida pela ação continuada de íons de sulfatos sobre os componentes do cimento (CODECIPE, 2000).

Conforme relata Fuad e Oliveira (2016), foram verificados que os blocos de concreto da estrutura estavam excessivamente fracos e apresentavam baixa resistência, quebrando-se mesmo com o transporte cuidadoso. Diante disto foram realizados ensaios de esboço e raio-x nos quais foi comprovado que o traço ali presente era de 1:20, quando deveria ser, no mínimo 1:10 e foi constatada a presença de etringita. As figuras 3 e 4 apresentam algumas vistas do edifício após o colapso.

Fig. 3 – Edifício residencial- frente e parte da lateral



Fonte: FUAD e OLIVEIRA (2016)

Fig. 4 – Edifício residencial- parte posterior



Fonte: FUAD e OLIVEIRA (2016)



Alguns outros aspectos que denunciaram a presença do sulfato nos blocos, de acordo com Fuad e Oliveira (2016), foram: profundidade do lençol d'água coincidindo com o nível da fundação e o fluxo de água subterrânea e porosidade do solo.

Aliado ao ataque do sulfato, estes autores observaram outros fatores de contribuição para o colapso da estrutura, na fundação:

- Paredes exteriores foram construídas em alvenaria única, 14 cm de espessura, agindo como muros de contenção de um aterro elevado que acelerou a degradação dos blocos de concreto; (FUAD e OLIVEIRA, 2016).
- O contato constante do aterro com os blocos de concreto altamente porosos utilizados na fundação das paredes externas, onde uma das superfícies estava sujeita à umidade e a outra superfície livre para evaporação beneficia o processo químico que resulta na lixiviação (NEVILLE, 2004);
- Usando uma variedade de blocos de concreto e tijolos de cerâmica inadequadamente colocados no lugar. (FUAD e OLIVEIRA, 2016).

## 8 CONCLUSÕES

O ataque por sulfato se mostra extremamente agressivo para estruturas de concreto, transformando suas características, principalmente reduzindo a resistência, fato que o torna um agente na qual se deve ter preocupação extrema.

Antes de realizar uma construção, é primordial que seja realizada investigação no solo e no ambiente para se determinar o nível de contaminação à qual ficará exposta, pois para o ataque por sulfato, a forma de combate é a prevenção.

O sistema construtivo utilizando o caixão vazio como base de edificações mostrou-se falho, inadequado e ambiente ideal para o ataque de sulfato, devendo portanto, ser totalmente descartado.

Após tantos casos de colapso despertou a comunidade para a correta utilização de sistemas construtivos e manutenção nos imóveis. No caso do Edifício residencial em Olinda, ficou evidenciado que as causas do colapso foi um conjunto de equívocos cometidos: a técnica construtiva utilizada sem critérios de segurança, somada a erros de construção em conjunto com o ambiente propício, presença de águas contaminadas dentro do caixão vazio, acentuada pela presença do sulfato.

Seguir as recomendações técnicas para a realização da boa engenharia, uso de materiais adequados e obedecer às normas referendadas pela ABNT, inclusive adotando como parâmetro a norma de desempenho, uma vez que estabelece responsabilidades de construção e manutenção, promovendo a garantia, no mínimo, da vida útil idealizada em projeto é condição *sine qua non* para a prevenção de acidentes e preservação da vida.



## REFERÊNCIAS

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.

IRASSAR, E.F.; MAIO, A. DI.; BATIC, O.R.; **Sulfate attack on concrete with mineral admixtures**, Cement and Concrete Research. 26(1):113-123. 1996.

MILITITSKY, Jarbas; CONSOLI, Nilo Cesar; SCHNAID, Fernando. **Patologia das Fundações**. Editora: oficina de Textos, São Paulo, 2005, 207 p.

SILVA FILHO, L.C.P. **Durabilidade com concreto à ação de sulfatos: análise do efeito da permeação de água e da adição de microssílica**. 1994. 143f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5737: **cimento Portland resistente a Sulfatos – especificação**. Rio de Janeiro, 1992.

WERITZ, F.; TAFFE, A.; SCHAURICH, D.; WILSCH, G. **Detailed depth profiles of sulfate ingress into concrete measured with laser induced breakdown spectroscopy**. Constructon and Building Materials. vol. 23, pp. 275 – 283, 2009.

Fuad Carlos Zarzar Júnior and Romilde Almeida de Oliveira: **“Behavior of Concrete in Relation to Physical and Chemical Sulfate Attacks in Foundation Elements”** Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 2016 (21.21), pp 6809-6826. Available at ejge.com.

AL-AKHRAS N. M. **Durability of metakaolin concrete to sulphate attack**. Cement and Concrete Research. v. 36, p. 1727-1734, 2006.

NEVILLE, Adam. Review article: “The confused world of sulfate attack on concrete”, April 8, 2004.

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).

Takagi, Emílio Minoru & Pinto, Jaques. **“Sistemas de impermeabilização e proteção de obras de saneamento”** [Waterproofing and protection systems of sanitation works]. [www.casadagua.com.br/pdf/artigo\\_saneamento.pdf](http://www.casadagua.com.br/pdf/artigo_saneamento.pdf). Consulted 11.08.2009.

DE BELIE, N.; MONTENYA, J.; BEELDENS, A.; VINCKE, E.; VAN GEMERT, D.; VERSTRAETE, W. **Experimental research and prediction of the effect of chemical and biogenic sulfuric acid on different types of commercially produced concrete sewer pipes**. Cement and Concrete Research. vol, 34, pp. 2223–2236, 2004.

CHANG, Z. T.; SONGA, X. J.; MUNNA, R.; MAROSSZEKYA, M. **Using limestone aggregates and different cements for enhancing resistance of concrete to sulphuric acid attack.** Cement and Concrete Research. vol. 35, pp. 1486 – 1494, 2005.

PADILLA, G. D. G.; BIELEFELDT, A.; OVTCHINNIKOV, S.; HERNANDEZ, M.; SILVERSTEIN, J. **Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes.** Cement and Concrete Research. vol. 40, pp. 293–301, 2010.

YUAN, H.; DANGLA, P.; CHATELLIER, P.; CHAUSSADENT, T. **Degradation modelling of concrete submitted to sulfuric acid attack.** Cement and Concrete Research. vol. 53, pp. 267–277, 2013.

BRUNETAUD, X.; KHELIFA, M. R.; AL-MUKHTAR, M. **Size effect of concrete samples on the kinetics of external sulfate attack. Cement and Concrete Composites.** vol. 34, pp. 370–376, 2012.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** 2. Ed. São Paulo: Pini, 1997.

MEHTA, P.K. e MONTEIRO, P.J.M. – **Concreto : Microestrutura, Propriedades e Materias.** 1ª edição. São Paulo: IBRACON, 2008.

PIRES SOBRINHO, C.W.A et al - **Caracterização de Grau de Risco ao Desabamento para Edificações em Alvenaria Resistente na Região Metropolitana do Recife,** anais do 51º Congresso Brasileiro de Concreto - IBRACON. Curitiba, Brasil., 2009.

VILASBOAS, J.M.L. **durabilidade das edificações de concreto armado em Salvador: uma contribuição para a implantação da Nbr 6118:2003.** 2004. 42f. Dissertação (Mestrado em gerenciamento e tecnologias ambientais no processo produtivo), Universidade Federal da Bahia, Salvador.

OLIVEIRA, R.A. e PIRES SOBRINHO, C.W.A. – **Acidentes com prédios construídos com alvenaria resistente na região metropoolitana do Recife,** In 4ª Internacional Conference on the Behaviour of DEmaged Structures. João Pessoa, Brasil, 2005.

CODECIPE- **Causas do Desabamento do Edifício Érica,** Jardim Fragoso , Olinda, fevereiro 2000.