



Formação de Eflorescência em Materias de Construção

Maria Margarita Torres Moreno¹, Antenor Zanardo¹, Carolina Del Roveri², Ana Cândida de Almeida Prado³

Recebido em 10 de dezembro de 2010 / Aceito em 11 de março de 2011

Resumo

Neste trabalho são apresentados os resultados de pesquisas sobre a eflorescência formada em diversos materiais, com a finalidade de identificar sua composição, mineralogia, origem e os mecanismos de formação a partir de sais solúveis, contribuindo para a adoção de medidas adequadas para evitar, solucionar ou minimizar os problemas decorrentes desse fenômeno. Foram coletadas e ensaiadas diversas amostras de eflorescências em residências e em materiais usados como matéria-prima em construções (tijolos, telhas, cal, cimento, massa de concreto, argamassa e brita de diabásio). Os resultados mostram que a maioria das matérias-primas estudadas tem potencial para contribuir, em maior ou menor grau, para sua formação e que os sais formados variam de acordo com o tipo e quantidade de matéria-prima utilizada na preparação do produto, método de preparação, modo e local de utilização, tempo e condições climáticas. O enxofre liberado pela combustão da matéria orgânica parece contribuir para a formação de sulfatos, principais componentes da eflorescência.

Palavras-chave: eflorescência, materiais de construção, cerâmica estrutural.

Abstract

In this paper the results of research on the efflorescence formed in diverse materials are presented. The purpose was to identify its composition, mineralogy, origin and the mechanisms of formation from your soluble composites, making possible the adoption of adjusted measures to prevent, to solve or to minimize the decurrently problems of this phenomenon. Samples of efflorescence had been collected in residences and raw material for constructions (bricks, roofing tiles, whitewash, cement, concrete mass, mortar and diabase). The majority of studied raw materials were evidenced to have potential to contribute for its formation depending on some factors: type and amount of raw material used in the preparation of the product, preparation method, way and place of use, time and climatic conditions. The sulfur, liberated by organic material combustion, appears contribute to formation of sulfates, principal components of efflorescence.

Keywords: efflorescence, construction materials, structural ceramics.

1. Introdução

Os depósitos salinos conhecidos como eflorescência, ocorrem com frequência em diversos produtos utilizados na construção civil, tais como tijolos, telhas, pisos, rochas ornamentais, pedra britada e rejuntas, entre outros (Verdusch e Solana, 2000; Zanini et al., 2001; Gama, 2001; Aires-Barros, 1991; Menezes et al., 2006). São compostos solúveis em água mobilizados dentro dos corpos que os contém, migrando para a superfície, mais quente, onde a água evapora lentamente deixando a solução saturada em sais. Estes cristalizam na superfície (Fig. 1) e no interior dos corpos quando o fluxo cessa. O fenômeno é mais visível na superfície de tijolos em épocas secas, pois a eflorescência se acumula por falta de umidade que as dissolva, entretanto, nota-se em qualquer época a deterioração das construções. Nos tijolos, por serem mais porosos, acumula-se maior quantidade de sais cristalizados próximo à superfície das peças provocando expansão. Uma nova entrada de água reinicia o ciclo, dissolução/migração/expansão que, ao ocorrer repetidamente, provoca perda de coesão entre as partículas dos tijolos, deteriorando-os lentamente.

As rochas ornamentais podem apresentar eflorescência, às vezes verdadeira, ou seja, aquela originada pela cristalização direta de sais solúveis, outras vezes o aspecto apresentado se deve à formação de novos minerais decorrentes de alterações químicas da própria rocha provocadas pelas condições ambientais a que se encontram expostas (Aires-Barros, 1991; Gama, 2001; Junginger e Medeiros, 2004). A mesma reação pode ocorrer em placas cerâmicas tipo porcelanato, por deficiência no sistema de rejuntamento, que permite a infiltração de água na argamassa de assentamento, a qual carrega hidróxido de cálcio para a superfície que reage com o gás carbônico da atmosfera formando manchas, normalmente esbranquiçadas, nos cantos e bordas (Junginger, 2004). O hidróxido de cálcio (e/ou de magnésio) pode ser formado a partir de componentes do cimento, por hidrólise ou dissolução e também por hidratação retardada de óxido de cálcio e óxido de magnésio livres no concreto, constituindo um fator limitante no conteúdo

destes óxidos no cimento (Menezes et al., 2006; NORMA DNIT 090/2006-ES).

Não é possível especificar um limite único para os fatores causadores da eflorescência, uma vez que as condições ambientais variam para um mesmo material ou produto colocado/usado. A formação de sulfatos nos produtos cerâmicos é mais influenciada pela temperatura de queima do que pelo tempo de exposição e concentração de enxofre (Jackson, 1926). Os sulfatos foram quantificados em matérias-primas argilosas (Shell, 1943) encontrando valores de 0,01 a 0,28% para *ball clays*, de 0,002 a 0,015% *china clays* e maior que 0,194% para bentonitas.

Neste trabalho foi estudada a eflorescência em materiais utilizados na construção civil analisando produtos acabados, matérias-primas e o processo de fabricação de peças cerâmicas.

2. Experimental

2.1. Materiais

1. Eflorescência de uma residência antiga, onde foram coletadas diversas amostras dada a sua abundância (nas fraturas do reboco, por cima dos tijolos, por cima da argamassa, fragmentos de tijolo e fragmentos de argamassa);
2. Eflorescência coletada em diversas construções, em paredes de tijolo à vista;
3. Eflorescência de cor amarela formada na superfície interna das telhas de uma construção;
4. Amostra de eflorescência em fragmentos de diabásio coletada em uma pedreira, no Município de Araras – SP;
5. Amostras de matéria-prima de uma obra em construção: cimento, cal, massa de concreto (areia, cimento e brita) e argamassa (areia, cal e cimento);
6. Amostras de tijolo úmido, seco e queimado coletadas em olaria localizada no município de Rio Claro - SP, para a realização de teste de eflorescência em laboratório.



Fig. 1 - Eflorescência em tijolos com alteração na coloração e escamação.

2.2. Métodos

As amostras de eflorescência coletadas em diferentes locais foram submetidas a um processo de dissolução em água deionizada e filtração posterior, exceto as que apresentaram material em abundância e sem contaminação. O material dissolvido foi cristalizado por evaporação lenta da água, inicialmente aquecendo em chapa a temperatura de 60°C e, quando o volume ficou reduzido a poucos mililitros, em estufa a 40°C. Para sua identificação por difração de raios X (DRX), foram utilizadas lâminas de vidro e uma quantidade de amostra suficiente para cobrir uma superfície mínima de aproximadamente 2,5 cm². O mesmo tratamento foi adotado para as soluções aquosas contendo os sais solúveis extraídos do concreto e argamassa, enquanto que as amostras de cal e cimento foram analisadas na sua forma sólida.

Para forçar a migração de sais solúveis num tijolo maciço utilizou-se o método da bandeja (Zanini et al., 2001): Usou-se uma bandeja de plástico contendo água deionizada e o tijolo imerso até a metade, sendo aquecido na face superior mediante uma lâmpada de radiação infravermelha (Figura 2). Para evitar excesso de evaporação, uma placa de isopor foi encaixada contornando o tijolo, repondo diariamente a água evaporada. A distância lâmpada-tijolo foi definida pela temperatura de 40°C lida num termômetro colocado na superfície do tijolo. A duração total do ensaio foi de dez dias até secagem completa da peça cerâmica. Após esse período, as alterações apresentadas pelo tijolo foram amostradas

separadamente, com base na diferença de cor, raspando a superfície. Os compostos cristalinos foram identificados por DRX por comparação com padrões (JCPDS, 1986).

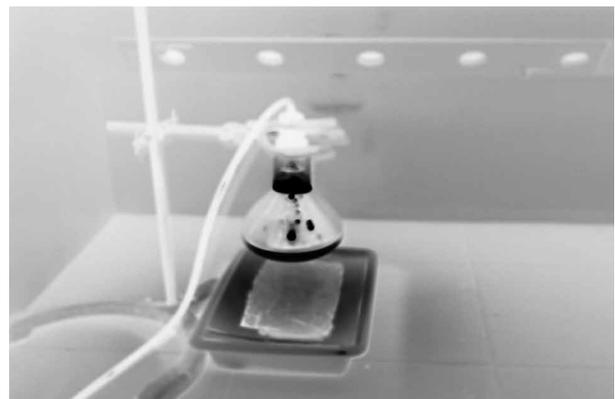


Fig. 2 - Ensaio de laboratório para acelerar a formação de eflorescência.

3. Resultados e Discussão

3.1. Identificação dos componentes da eflorescência

No material coletado na residência antiga, identificou-se nas fraturas do reboco hexaidrita e epsomita (duas formas hidratadas de sulfato de magnésio) e gipsita (CaSO₄·2H₂O). No material coletado por cima dos tijolos e da argamassa, assim como dentro da própria argamassa, identificou-se nitrato de potássio e gipsita como minerais *dominantes* (Fig. 3A) e em quantidades menores epsomita e hexaidrita, nos outros pontos sulfatos de cálcio e magnésio (Fig. 3: B, C e D).

Associado aos compostos cristalinos, apresentou-se um líquido amarelo que cristalizou a baixa temperatura (10°C), esta amostra deixada novamente a temperatura ambiente (23°C) separou-se em líquido amarelo e cristais transparentes, que foram analisadas por DRX, porém, não foi possível identificá-los, devido à precária estabilidade. Aparentemente este líquido é uma mistura de compostos orgânicos, que acompanham o nitrato de potássio e sua origem é externa, provavelmente por infiltração de esgoto. A diferença de composição nos pontos amostrados na residência deve-se à solubilidade diferenciada dos sais (Lange, 1956) favorecendo uma separação parcial dos mesmos, fato que favoreceu à sua identificação por difração de raios X.

Na Tab. 1, são apresentados os compostos cristalinos, identificados por DRX, nas amostras de eflorescência coletadas em construções, na pedra britada, em telhas e a obtida em laboratório e na Fig. 3 são mostrados alguns gráficos representativos de DRX. De maneira geral, os sais dominantes são sulfatos hidratados, principalmente de cálcio e de magnésio e quando amarelos, de ferro, estes não são observados com tanta frequência devido a sua alta solubilidade em água a temperatura ambiente, por exemplo, a solubilidade da coquimbite em 100 partes de água, a 0°C, é 440, sendo 72 para a epsomita e 0,22 para a gipsita (Lange, 1956). Nas paredes das construções a eflorescência aparece principalmente sobre os tijolos, para onde os fluidos são canalizados devido a sua maior porosidade. Uma análise mais detalhada da eflorescência sobre tijolo maciço (Fig. 1) mostra que a epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) domina na camada mais superficial e junto do tijolo é a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), isto é devido a que a gipsita, sendo menos solúvel, satura a solução antes que a epsomita, precipitando primeiro durante o processo de evaporação que ocorre na superfície.

A eflorescência nas telhas, de coloração predominantemente amarela, revelou estar formada por uma mistura de gipsita e duas formas de sulfato férrico hidratado (coquimbite e kornelita), que proporcionam a cor amarela.

Na eflorescência da pedra britada foram identificados sais de cálcio, sódio e ferro (Tab. 1).

Para analisar a contribuição da queima na eflorescência foram utilizados um tijolo queimado em olaria e outro, da mesma procedência, queimado em forno elétrico tipo mufla, simulando as mesmas condições de tempo e temperatura. Ambos foram submetidos ao ensaio de eflorescência e os resultados são mostrados na Fig. 4 onde se nota claramente a maior concentração de eflorescência no tijolo queimado na olaria (B).

Estas diferenças podem ser ocasionados por diferenças no processo de queima, por exemplo, formação de fases mais estáveis na queima em forno elétrico (García Verduchi e Sans Solana, 2000), ou mesmo por efeito dos gases liberados pela lenha utilizada na queima e reações ao estado sólido envolvendo íons SO_4^- (Brownell, 1949). Na Tab. 2 é apresentada uma relação dos compostos cristalinos identificados os quais pertencem ao grupo dos sulfatos.

As seguintes alterações foram observadas: um material branco, um amarelo e outro amarelo esverdeado. Observa-se também uma cor vermelha mais intensa na região que ficou diretamente sob a lâmpada, provavelmente colóides de óxidos de ferro hidratados transportados pela água (o resíduo da lixiviação deste material não apresentou cristalinidade na difração de raios X).

As análises de difração de raios X indicam a existência de sulfatos hidratados de cálcio, de magnésio e de Fe^{3+} (estes responsáveis pela cor amarela) e de sulfatos duplos como picromerita [$\text{MgK}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$] e singenita [$\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$].

A formação destes podem ter sido influenciada pelo processo acelerado a que foram submetidos. A peça queimada na olaria apresentou cor mais vermelha que a queimada em laboratório, devido à maior quantidade de ferro na forma de Fe_2O_3 , indicando que a atmosfera é mais oxidante.

Na Fig. 5 são apresentados os diagramas de difração do produto da lixiviação de argamassa preparada com a cal dolomítica, da lixívia do concreto e de dois tipos de cal (um de origem dolomítica apresentando $\text{Mg}(\text{OH})_2$ abundante e de origem calcítica com predominância de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sobre $\text{Mg}(\text{OH})_2$).

Tab. 1. Compostos solúveis cristalinos identificados por difração de raios X em residência antiga (1), em outras construções (2), em telhas (3), em pedra britada (4) e os sais da eflorescência em tijolo maciço obtida em laboratório (5).

EFLORESCÊNCIA	PRINCIPAIS COMPONENTES CRISTALINOS
(1) Em fraturas do reboco	$MgSO_4 \cdot 6H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
(1) Nos tijolos e na argamassa	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$; KNO_3
(2) Nas demais construções	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; $MgSO_4 \cdot 6H_2O$
(3) Em telhas	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$; $Fe_4(SO_4)_6 \cdot 15H_2O$
(4) Pedra britada	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $Na_4(CO_3)(SO_4)_2$; $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$
(5) Obtida em laboratório	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; $MgSO_4 \cdot 2H_2O$; $K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$; $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$

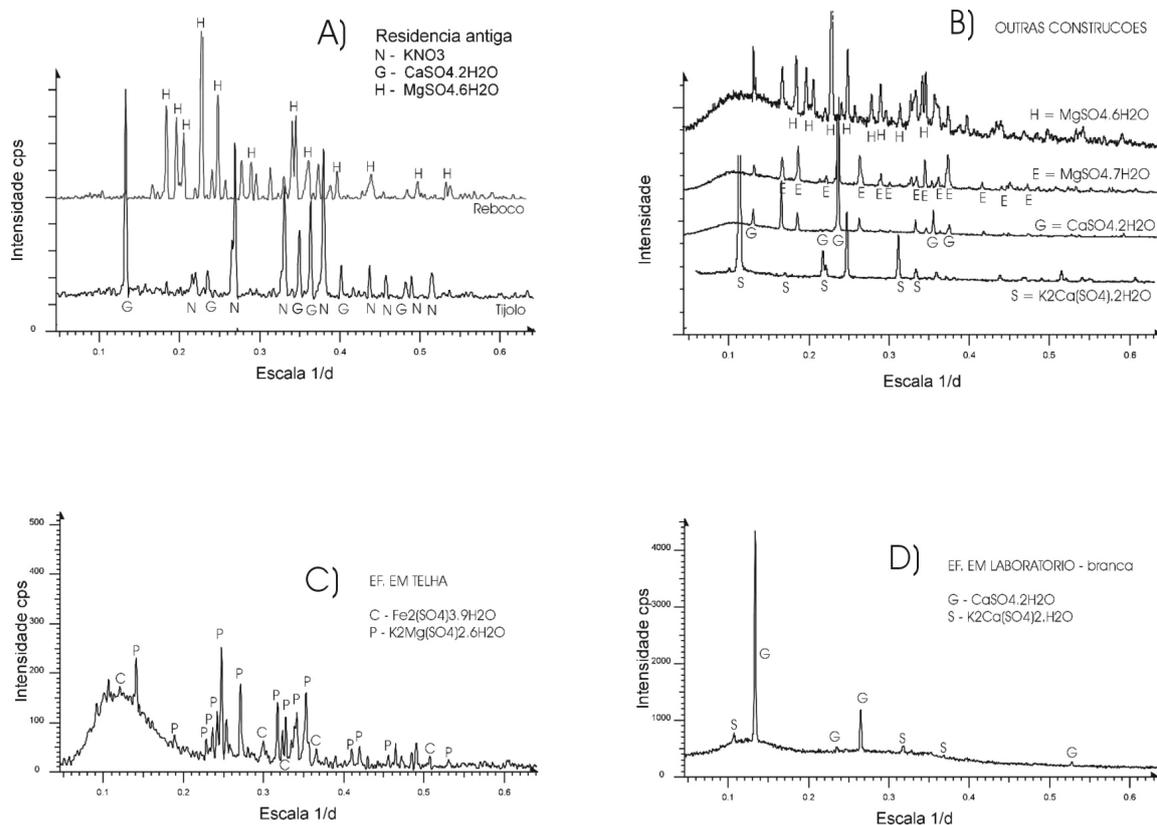


Fig. 3 - Gráficos de difração de raios X em: a) construção antiga; b) parede de tijolo maciço; c) superfície inferior de telhas; d) no ensaio de eflorescência no laboratório (parte branca). Medidas realizadas com Radiação $CoK\alpha$, filtro de Ni e velocidade $3^\circ(2\theta)/min$.

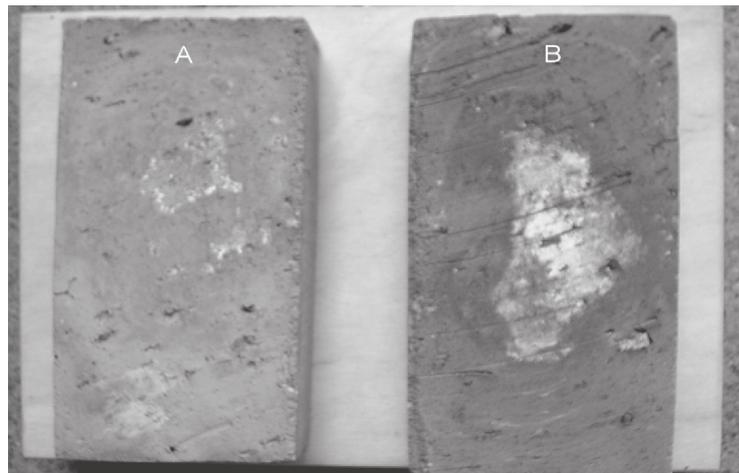


Figura 4.- Tijolos submetidos ao ensaio de eflorescência em laboratório: A) queimado em forno elétrico e B) queimado em olaria.

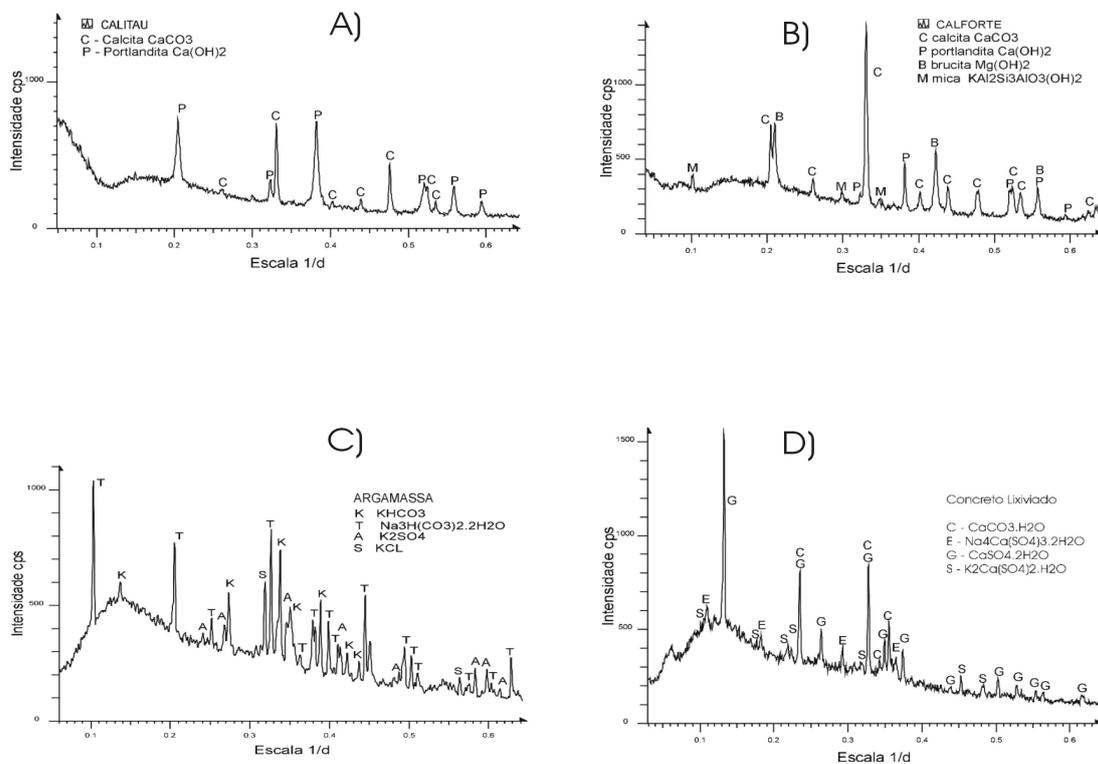


Fig. 5 - Gráficos de difração de A) cal calcítica, B) cal dolomítica, C) sais solúveis lixiviados da argamassa e D) sais solúveis lixiviados do concreto. Radiação $\text{CoK}\alpha$, velocidade $3^\circ(2\theta)/\text{min}$.

As amostras de cimento e cal foram avaliadas quanto a seu conteúdo de compostos cristalinos (Tab. 2), sendo os principais: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gipsita), silicatos de cálcio e óxidos e hidróxidos de cálcio e magnésio. Durante a hidratação do cimento, o sulfato de cálcio contido nele tem a função de retardar a hidratação dos aluminatos e de acelerar as reações de hidratação dos silicatos, assim, quando a reatividade dos

Revista de Geologia, Vol. 23 (2), 2010

aluminatos é baixa e a quantidade de sulfato de cálcio alta, pode ocorrer formação de cristais de gipsita nos poros (Locher et al., 1980). No caso da cal, se a matéria-prima contém muita dolomita o teor de Mg é alto, contribuindo, em condições adequadas, para a formação de sulfatos hidratados de magnésio.

As amostras de concreto e argamassa foram submetidas ao processo de extração com água para determinar o conteúdo de sais solúveis. esta

operação ocorreu seis meses após terem sido coletadas. A análise dos compostos cristalinos lixiviados permitiu a identificação de sulfatos,

carbonatos e cloretos (Tab. 2), onde a presença do sódio ocorre devido à solubilidade dos sais desse elemento existente em fases minoritárias do material sólido, principalmente no cimento.

Tab. 2 - Compostos cristalinos identificados por difração de raios X em amostras de cal, cimento e os sais lixiviados da argamassa e do concreto seis meses após sua preparação.

AMOSTRA	COMPONENTES CRISTALINOS
Cimento	Ca_3SiO_5 ; Ca_2SiO_4 ; CaSiO_3 ; CaO ; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Cal calcítica	CaCO_3 ; $\text{Ca}(\text{OH})_2$; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Cal dolomítica	CaCO_3 ; $\text{Mg}(\text{OH})_2$; $\text{Ca}(\text{OH})_2$; $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$
Lixívia da argamassa	$\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_3\text{H}(\text{CO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; KHCO_3
Lixívia do concreto	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_4\text{Ca}(\text{SO}_4)_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; NaCl

4. Conclusões

Na maioria das amostras analisadas foi identificada a gipsita, porém, nem sempre como o principal componente.

Nas paredes das construções, os sulfatos de cálcio e de magnésio são, predominantemente, os sais constituintes da eflorescência. Na eflorescência das telhas, os sulfatos férricos hidratados (mais solúveis) foram encontrados em maior quantidade que nos outros materiais, uma vez que foram coletados na superfície inferior, sendo menos lixiviados que nas outras superfícies mais expostas.

O aparecimento de nitrato e dos prováveis sais orgânicos na residência antiga é uma exceção e sua origem é externa.

O cimento constitui um fornecedor potencial da gipsita, como mostra o respectivo diagrama de difração, onde entra na formulação como moderador da “pega”, aparecendo nos componentes cristalizados a partir da lixívia do concreto.

Algumas marcas de cal contêm grande quantidade de magnésio, por serem obtidos de calcário dolomítico, contribuindo para a formação da epsomita. As próprias peças cerâmicas contribuem com sua carga de sais solúveis, cujos componentes são variados, a maioria sulfatos.

A origem do enxofre no tijolo maciço da fábrica, submetido ao teste de eflorescência acelerada pode ter a contribuição dos gases liberados pelo combustível de queima no forno, devido a sua alta porosidade sem deixar de considerar a matéria orgânica e sulfetos na matéria-prima (argila).

Na eflorescência da pedra britada e no tijolo maciço foram identificados sulfatos solúveis duplos hidratados contendo íons alcalinos, porém ocorrendo em proporções menores, motivo pelo qual não foram detectados nos materiais coletados nas construções.

Resumindo, os sais identificados foram basicamente sulfatos, sendo suas principais fontes: o enxofre liberado nos gases de queima do combustível, os sulfatos contidos no cimento e que não encontraram as condições para reagir completamente formando fases estáveis; a argila; e, em menor quantidade, na pedra britada. A contribuição principal de magnésio para formar a epsomita vem da cal dolomítica e a de ferro dos óxidos que acompanham a matéria-prima argilosa. Os elementos alcalinos, K e Na, estão presentes em quantidades menores e formam fases menores dentro do conjunto de sais solúveis.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FAPESP (03/01123-7) pelo auxílio concedido.

Referências Bibliográficas

- Aires-Barros, L. Alteração e alterabilidade de rochas, Instituto Nacional de Investigação Científica, Lisboa: Editora do Ministério de Educação, Algueirão, 1991.
- Brownell, W.E., Fundamental Factors Influencing Efflorescence of Clay Products, Journal of the American Ceramic Society, v. 32 n.12 (1949) 385-389.

Gama, H.B. Principais Patologias Associadas ao Uso de Rochas Ornamentais. In: Anais do I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais e II Seminário de Rochas Ornamentais do Nordeste 2001, Salvador-BA. Rio de Janeiro Ed. CETEM/MCT, 2001, p. 22-23

Verduchi, A. G. e Solana, V. S. Formação de eflorescências na superfície de tijolos, *Cerâmica Industrial*, v. 5 n.5 (2000) 38-46

Jackson, F.G., A Chemical study of the Absorption of Sulphur Dioxide from Kiln Gases by Ceramic Ware1, *Journal of the American Ceramic Society*, v.9 n.3 (1926) 154-173

JCPDS, Mineral Powder Diffraction File. U.S.A.: JCPDS (1986) 1390p.

Junginger, M., Medeiros, J.S., Ação da Eflorescência de Carbonato de Cálcio Sobre o Vidrado de Placas Cerâmicas (2004), maxjunginger.pec.usp.br/Pesquisas/realizadas-htm, acessado em 27/04/2009

Lange, N.A. *Handbook of Chemistry*. 9 ed. Ohio: McGraw-Hill, 1956.

Locher, F.W.; Richartz, W. & Sprungs, S., Setting of cement. Part II: Effect of adding calcium sulphate. *Zement-Kalk-Gips*, v. 33, n.6 (1980) 271-277

Menezes, R.R., Ferreira, H.S., Neves, G.A., Ferreira, H.C., Sais solúveis e eflorescência em blocos cerâmicos e outros materiais de construção – revisão, *Cerâmica* 32 (2006) 37-49.

NORMA DNIT 090/2006–ES, Patologias do Concreto - Especificação do serviço, Instituto de Pesquisas Rodoviárias

Shell, H.R., CortelYou, W.P., Soluble Sulfato Content of Pottery Bodie during Preparation, *Journal of the American Ceramic Society*, v.26 n.3 (1943) 179-185.

Zanini, P., Montorsi, P. e Dircetti, G. Mecanismos de Formação de Eflorescências Sobre Peças Cerâmicas Extrudadas. *Revista Cerâmica Informação* n. 18 (2001) 45-59.