AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AOS SAIS DE ARGAMASSAS DE CAL COM ADIÇÕES MINERAIS

Tema: Manutenção, reabilitação e restauro
Grupo: 1

ANA CRISTIAN MAGALHÃES[1], ROSANA MUÑOZ[2]

[1]Dr[a], NTPR – Universidade Federal da Bahia/UFBA, anacristian01@gmail.com
[2] Prof. Dr[a]., NTPR – Universidade Federal da Bahia/UFBA, munoz.rosana@gmail.com

RESUMO

As argamassas destinadas às intervenções restaurativas de alvenarias antigas devem apresentar características específicas, dentre elas não introduzir sais solúveis ao suporte, uma vez que estas já podem conter elevados teores de cloretos e sulfatos. O presente trabalho objetiva avaliar o comportamento à ação dos sais solúveis de argamassas de cal com adições minerais de cinzas volantes e de sílica ativa. Para isto, foram realizados ensaios de forma a registrar as variações de massa e a possível degradação ao longo dos ciclos. Os resultados obtidos apontam as formulações com cinzas volantes como as de melhor desempenho face à ação dos sais.

Palavras-chave: adições minerais, argamassa, cal, restauro, sais.

EVALUATION OF RESISTANCE TO SALTS OF LIME MORTARS WITH MINERAL ADDITIONS

ABSTRACT

Mortars repair to interventions of old masonry must have specific characteristics, among them do not introduce soluble salts to the support, since these may already contain high levels of chlorides and sulfates. The present work aims to evaluate the behavior to the action of the soluble salts of lime mortars with mineral additions of fly ash and silica fume. For this, tests were carried out in order to record the mass variations and the possible degradation along the cycles. The results indicate the formulations with fly ash as the best performance against the action of salts.

Key-words: mineral additions, mortar, lime, restoration, salts.

1. INTRODUÇÃO

O patrimônio edificado nacional contempla um vasto conjunto de edificações históricas que em muitos casos apresentam degradação. Entre os principais elementos construtivos danificados, encontram-se os revestimentos, principalmente por serem os mais externos e desempenhar a função de proteção. Em intervenções restaurativas busca-se a conservação destes, realizando-se reintegração pontual, devendo-se evitar ao máximo a sua substituição.

Os danos mais comuns nos revestimentos antigos relacionam-se com as condições climáticas e ambientais, destacando-se a presença de água e de sais solúveis, e as ações antrópicas, principalmente decorrentes da falta de manutenção. Relativamente aos sais solúveis, em presença de água e pressão hidrostática, estes cristalizam na forma de eflorescências ou criptoflorescências. As primeiras não são consideradas como um verdadeiro problema, enquanto são soluções ou cristais que atravessam a camada de revestimento poroso, e se apresentam só como um fenômeno superficial, não prejudicando a durabilidade do material.

As criptoflorescências são causadas quando, com a presença de água, formam-se cristais nos poros dos materiais, podendo afetar a vida útil do material, já que a cristalização se dá, em geral, com dilatação, implicando impulso sobre a camada de material que cobre a cavidade, que tende, assim, a desagregar-se.

Dentre os sais solúveis, os sulfatos são os que causam mais efeitos nocivos aos revestimentos, seguidos de cloretos e nitratos. Os primeiros, devido à maior expansibilidade na cristalização, provocam alteração na coesão das argamassas. A sua ocorrência pode estar associada à poluição atmosférica, à proximidade com o mar, aos materiais com base cimentícia frutos de intervenções inadequadas, ou ainda ao enxofre decorrente do processo de metabolismo de microrganismos que estão em contato com material carbonático.

Os cloretos, cuja presença pode estar relacionada com a proximidade do mar (aerossol salino) ou com a contaminação de alguns tipos solo, podem favorecer a desagregação da superfície do revestimento, por meio de sua hidratação, sob o efeito de variações das condições climáticas. Particularmente, as ações dos sais cloretos, muito frequentes em edifícios localizados próximos de zonas costeiras, são basicamente físicas, por aumento de volume dos sais ao longo da sua cristalização/dissolução[1].

As características de porosidade e o coeficiente de absorção do revestimento controlam a quantidade de água que atravessa o material, fazendo com que se acelere ou atrase o aparecimento desse tipo de anomalia. No que se refere à estrutura porosa, nas argamassas com maior volume de poros pequenos, as pressões de cristalização são mais intensas e capazes de produzir efeitos mais destrutivos. Segundo Rossi-Doria[2] e Oliveira[3], no intervalo de poros entre 0,1 e 1,0µ decorrem os maiores danos. Os efeitos destrutivos da ação dos sais sobre os revestimentos dependem, também, da sua resistência mecânica[1,4].

Diante deste contexto, pesquisas atuais têm mostrado que o uso de alguns materiais, tais como adições minerais, podem ser incorporados às argamassas, objetivando minimizar os efeitos provocados pela ação dos sais solúveis. Entre eles, dois destacam-se por serem comercialmente disponíveis, a exemplo das cinzas volantes e da sílica ativa.

A utilização de adições minerais para melhorar as características das argamassas em relação à ação da água, sobretudo, nas situações em que as alvenarias estão sujeitas a condições úmidas vem desde a antiguidade. São encontradas alusões ao emprego da cerâmica moída ou pó cerâmico, na confecção de argamassas de cal, especialmente, em cisternas, aquedutos, reservatórios, canais, pontes, entre outros, na bibliografia desde a época vitruviana, no século I a.C[5-11].

As cinzas volantes são constituídas, principalmente, de óxidos de sílica (SiO_2) e alumina (Al_2O_3), compostos que reagem com o hidróxido de cálcio, em presença de água, para produzir silicatos e aluminatos de cálcio. Suas partículas são, tipicamente, esféricas e constituídas de grãos muito finos com diâmetros compreendidos, normalmente, entre 1µm e 150µm. O formato esférico das partículas proporciona menor demanda de água para a confecção da mistura e melhor trabalhabilidade. Da mesma forma que as cinzas volantes, a adição de sílica ativa tem demonstrado influência nas propriedades reológicas e mecânicas do concreto[12,13].

Em termos de avaliação do comportamento de argamassas com base em cal com adições minerais em relação aos sais, Velosa[14] verificou menor variação de massa das composições contendo pozolanas, o que representa aspecto positivo em quantidade de íons absorvidos. Nesse sentido, Faria[15], em sua tese, observou que formulações de cal com metacaulim retém maior quantidade de cloretos que as de cinzas volantes. Estas últimas apresentaram menor porosidade aberta e, portanto, reduzida retenção de sais.

Nesse sentido, o presente trabalho objetiva avaliar o comportamento de formulações à base de cal com adição de cinzas volantes e de sílica ativa face à ação dos sais, para serem usadas em intervenções restaurativas. Para alcançar o objetivo, foram realizados ensaios de resistência aos sais, cujos resultados foram comparados com os de argamassas de referência.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental compreendeu a execução de ensaios de caracterização das matérias primas e das argamassas elaboradas em laboratório, realizados no Núcleo de Tecnologia da Preservação e da Restauração – NTPR e no Laboratório de Geotecnia, ambos vinculados à Escola Politécnica da UFBA.

Estabeleceu-se como parâmetro de referência a composição de cal hidratada e areia de rio, com traço 1:3, em volume aparente, fundamentado em estudos antigos[10] e mais atuais[16,17]. As argamassas com adição de cinzas volantes, assim como as de sílica ativa, foram elaboradas com traço volumétrico 1:0,5:3 (cal: adição: areia), proporção definida com base em estudos recentes[14,15], que indicaram relação adição/ligante de 0,5, em volume.

2.1. Ensaio de resistência aos cloretos

Foram moldados corpos de prova prismáticos e após 90 dias de idade, submetidos a ensaios de resistência aos cloretos. Na ausência de normas nacionais diretamente aplicáveis a argamassas de revestimento no que se refere à ação dos sais solúveis, foram seguidas as indicações e os procedimentos utilizados por pesquisadores portugueses[15,18,19], que adotaram, em seus trabalhos, o método de ensaio estabelecido pela NP EN 12370[20] para determinação da resistência à cristalização de sais em pedras naturais. Foi preparada solução saturada de cloreto de sódio, na qual foram imersos os corpos de prova durante 24 horas, tempo considerado favorável em outros estudos, por se tratar de sal pouco expansivo. A seguir, estes foram colocados em estufa, à temperatura de 90±5°C, até massa constante, e registrada a sua massa com os cloretos retidos. A partir da diferença entre as massas secas dos corpos de prova, foi determinada a quantidade de cloretos retidos, em termos de percentagem em relação à massa seca inicial. Logo depois da pesagem, os corpos de prova foram colocados em câmara climática, com temperatura de 23°C, e sujeitos a ciclos sucessivos de 12 horas a 40% e 90% de umidade relativa. Tais ciclos de umedecimento/secagem/pesagem se seguiram para determinação da perda de massa até à conclusão de 80 ciclos ou até à ruptura dos corpos de prova. A cada três ciclos completos, ao fim de cada ciclo seco, as massas foram registradas e, em simultâneo, avaliado o estado de integridade das argamassas.

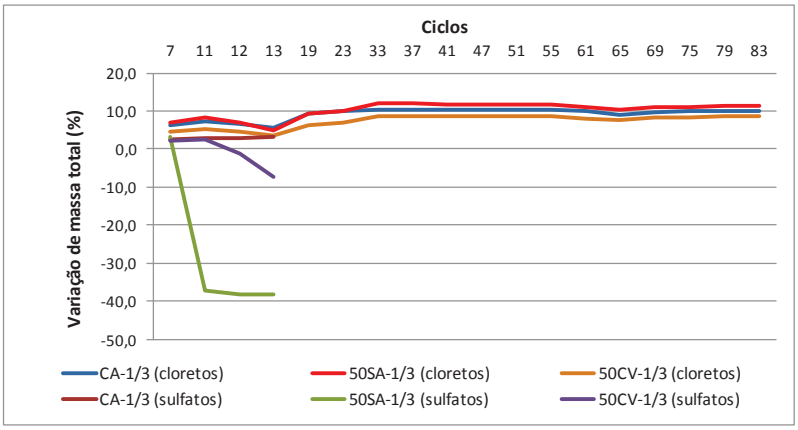
2.2. Ensaio de resistência aos sulfatos

O procedimento utilizado para determinação da resistência aos sulfatos seguiu a metodologia estabelecida pela NP EN 12370[20]. Foi preparada solução saturada de sulfato de sódio, na qual foram submersos os corpos de provas por apenas duas horas pelo fato de ser um sal extremamente expansivo. Após esse período, estes foram colocados, novamente, em estufa a 105°C por, aproximadamente, 21 horas e, em seguida, efetuada sua pesagem. Realizaram-se ciclos sucessivos de imersão/secagem/pesagem, com registro da perda de massa e avaliação da integridade, ao final de cada ciclo, até o instante em que, pelo menos, metade dos corpos de prova apresentasse perda de massa superior a 90% ou até a sua ruptura completa.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios já mencionados, os resultados foram sistematizados em forma de gráfico (ver Figura 1), que ilustra, para os dois tipos de sais, a variação de massa dos corpos de prova nos diferentes ciclos. Da análise deste gráfico, observa-se que as menores retenções de cloretos ocorreram nas composições com cinzas volantes, o que mostra ser menos suscetível à degradação por criptoflorescências. Isto é corroborado pelos resultados de porosidade aberta, cuja média foi de 29%, inferior à das outras composições (35% para a CA-1/3 e 31% para a 50SA-1/3); pelas quantidades de cloretos retidos em relação à massa seca: 2,8% para argamassas com cinzas volantes, 3,4% para as de referência (CA-1/3) e 3,9% para aquelas com sílica ativa (50SA-1/3) e ainda pela análise visual (Figuras 2 e 3). Durante o ensaio, foi verificado um incremento inicial de massa e, a seguir, a sua constância ao longo dos ciclos. A ação dos cloretos é basicamente física, por meio de aumento de volume dos sais durante a sua cristalização/dissolução.

Figura 1 – Variação de massa dos corpos de prova nos ensaios de resistência aos sais



Fonte: Elaboração própria, 2018

Figura 2 – Corpos de prova de cinzas volantes no 1º ciclo do ensaio de cloretos



Figura 3 – Corpos de prova de cinzas volantes no 14º ciclo do ensaio de cloretos



Fonte: Acervo das autoras, 2018

As argamassas que apresentaram maior resistência à ação de sulfatos foram as de referência e aquelas com cal aérea e cinzas volantes na composição. De acordo com o referido gráfico, observam-se grandes variações médias de massa entre 1º e o 14º ciclo de secagem/imersão em solução saturada em sulfato de sódio. A argamassa de referência atinge o término do ensaio (14º ciclo) com perda de massa inferior àquelas com adições, o que traduz o melhor comportamento da primeira comparativamente às demais.

As formulações com sílica ativa foram as que menos resistiram; no 9º ciclo do ensaio ocorreu significativa degradação (Figuras 4 e 5). A ação destes sais dá-se por formação de produtos expansivos, oriundos das reações entre os sulfatos e os aluminatos de cálcio e, entre os sulfatos e a portlandita, que conduzem à ruptura e desagregação das argamassas.

De forma geral, todas as argamassas mostraram maior resistência aos cloretos em relação aos sulfatos até o 13º ciclo, quando houve a interrupção do ensaio de resistência destes últimos, uma vez que os corpos de prova se apresentavam totalmente degradados.

Figura 4 – Corpos de prova de síica ativa no 10º ciclo do ensaio de sulfatos



Figura 5 – Corpos de prova de síica ativa no 13º ciclo do ensaio de sulfatos



Fonte: Acervo das autoras, 2018

4. CONCLUSÕES

As argamassas de reparação/substituição devem apresentar boa resistência aos sais solúveis, uma vez que as próprias paredes antigas podem conter elevados teores, principalmente de íons cloretos e sulfatos. Os ensaios realizados apontam para um melhor desempenho das argamassas de cal aérea com adição de cinzas volantes. Ressalta-se que outros ensaios devem ser realizados, uma vez que as argamassas para intervenção em edificações antigas devem apresentar não somente boa resistência aos sais, mas resistência mecânica e bom comportamento à ação da água.

ISSN 1984-8757

Justifica-se a importância deste trabalho para o avanço da tecnologia dos materiais, principalmente no que tange à aplicação prática, e da Ciência da Conservação e do Restauro, de fundamental relevância para a preservação do vasto patrimônio nacional edificado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PALOMO, A.; BLANCO-VARELA, M.T.; MARTINEZ-RAMIREZ, S.; PUERTAS, F.; FORTES, C. – Historic mortars: Characterization and durability. New tendencies for research. In ARCCHIP Workshops supported from the EC 5th FP Project nº ICA1-CT-2000-70013. **Proceedings…**Prague, 2004. p. 167-183.

2. ROSSI-DORIA, P. Pore structural analysis in the field of conservation: state of the art and future developments. In: Plenary lecture at the RILEM/CNR Symp., Principles and Applications of Pore Structural Characterization, Milan. 1983.

3. OLIVEIRA, M. **Tecnologia da Conservação e da Restauração – materiais e estruturas**. Salvador: EDUFBA, 2006.

4. SOUSA, V.; PEREIRA, F. D.; BRITO, J. Rebocos Tradicionais: Principais causas de degradação. **Revista Engenharia Civil**. Universidade do Minho, Guimarães, n. 23, mai. 2005

5. CATANEO, P. ***I quattro primi libri di architettura***. Venesa: Figliuoli di Aldo, 1554

6. D'AVILER, A. C. ***Cours d'architecture: qui comprend les orders de Vignole, avec les commentaires*****, les figures & descriptions de ses plus beaux bâtimens, & ceux** de Michel-Ange [1699]. Paris: Jean Mariette, 1738.

7. LORIOT, A.-J. ***Mémoire sur une découverte importante dans l'art de bâtir faite par le Sr. Loriot, mécanicien dans lequel l'on rend publique, par ordre de as majesté, la méthode de composer un ciment ou mortier propre à une infinité d'ouvrages, tant pour la construction que pour la decoration.*** Paris: L'Imprimierie Michel Lambert. 1774.

8. BELIDOR, B.F. ***La scienza degli ingegneri nella direzione delle opere di fortificazione e d'architettura civile di Belidor.*** Trad. Luigi Masiere. Mantova: Presso Fratelli Negretti, 1832.

9. SCAMOZZI, V. ***L'idea della architettura universal*** [1615]. Trad. Stefano Tisozzi e Luigi Masieri. Milano: Borroni e Scotti, 1838.

10. VITRÚVIO, M. P. **Os Dez Livros de Arquitectura.** Tradução H. Rua. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 1998.

11. ALBERTI, L. B. **Da Arquitetura**. Organização e tradução de Sergio Romanelli. São Paulo: Hedra, 2009.

12. VIEIRA, F. P. et al.. Durabilidade e resistência mecânica de concretos e argamassas com adição de sílica ativa. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES. 1997, São Leopoldo-RS. **Anais...** São Leopoldo: ANTAC, 1997. p. 107-116.

13. VASKE, N. R. et al.. Aplicação da argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto. **Ambiente Construído**, v. 8, n.3, p.77-95, jul./set. 2008. Disponível em:<http://seer.ufrgs.br/ambiente construido/article/viewFile/5366/4347>. Acesso em: 20 jun. 2016.

14. VELOSA, A. **Argamassas de cal com pozolanas para revestimentos de paredes antigas.** 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Universidade de Aveiro, Portugal, 2006.

15. FARIA, P. **Argamassas de revestimento para alvenarias antigas: contribuição para o estudo da influência dos ligantes.** 2004. Tese (Doutoramento em Engenharia)- Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2004.

16. BOTAS S., VEIGA R., VELOSA, A. Aderência de argamassas de cal aérea em azulejos antigos. Influência da umidade dos azulejos. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Fortaleza, 7 a 9 de maio de 2013. **Anais...**Fortaleza: SBTA, 2013.

17. JAPIASSÚ P., CARVALHO, P. F. DE, CARASEK H., CASCUDO, O. Argamassas com cal e metacaulim para reabilitação de revestimentos de azulejo histórico. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Fortaleza, 7 a 9 de maio de 2013. **Anais...**Fortaleza: SBTA, 2013.

18. BARRETO, M. C. L. **Durabilidade de argamassas de cal aérea e bastardas face à acção de sais solúveis.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

19. BRANCO, T. R. S. **Evolução e comparação das características de argamassa de cal aérea com adição de metacaulino.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

20. INSTITUTO PORTUGUÊS DA QUALIDADE (IPQ). Métodos de ensaio para pedra natural: determinação da resistência à cristalização de sais. Lisboa: IPQ, 2001. **NP EN 12370:2001**.