

AVALIAÇÃO DOS PORTAIS DE PEDRA ARENÍTICA DA IGREJA DE SÃO LEONARDO UTILIZANDO TESTES NÃO DESTRUTIVOS

ASSESSMENT OF THE SANDSTONE PORTALS OF ST. LEONARDO'S CHURCH USING NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS

Carlos Chastre¹, Marco Ludovico Marques²

¹Professor Auxiliar, DEC - FCT – Univers. NOVA de Lisboa, Investigador, CERIS – ICIIST – Univers. de Lisboa

²Professor Adjunto, CICC, DEG – ESTB - Instituto Politécnico de Setúbal - Portugal.



RESUMO

Neste artigo é apresentado um resumo das intervenções de conservação realizadas no século passado e dos estudos e testes não destrutivos realizados na última década na Igreja de São Leonardo na Atouguia da Baleia. Em seguida mostra-se o padrão de degradação que ocorre nos portais de arenito da igreja e é analisada a evolução da alveolização que ocorreu nos portais de arenito ao longo dos últimos sessenta a setenta anos. No final, a inspeção visual dos portais de arenito é comparada com um levantamento realizado através de varrimento por laser 3D.

ABSTRACT

In this paper a summary of conservation interventions carried out in the past century in St. Leonardo's Church is presented, as well as a summary of the studies and tests carried out in the last decade. Then the degradation patterns on the sandstone portals of St. Leonard's Church are shown and finally the evolution of the alveolization occurred on the sandstone walls over the last sixty to seventy years is analysed. Visual inspection of sandstone walls is compared with a survey performed by laser scanning 3D.

1. INTRODUÇÃO

As intervenções no património edificado de pedra devem ser realizadas utilizando as técnicas mais adequadas, baseadas num diagnóstico apropriado e na compreensão dos materiais existentes (ICOMOS, 2004). De igual forma, os estudos no edificado de pedra monumental devem ser realizados com o menor grau de intrusão e o máximo respeito pela sua integridade física, seguindo os princípios de salvaguarda do património arquitetónico definido na carta internacional de Atenas

citada pelas de Veneza (ICOMOS, 1965) e Cracóvia (Charter of Cracow, 2000).

Nos estudos efetuados com vista ao diagnóstico das anomalias existentes no património arquitetónico ou com vista a encontrar as soluções de intervenção mais adequadas, coloca-se sempre o dilema entre a necessidade de remoção de algumas amostras de material para a caracterização mecânica e física e a necessidade de respeitar a integridade do edificado monumental. Neste sentido, a comunidade científica tem vindo a defender o princípio

de intrusão mínima e a propor técnicas não destrutivas para avaliar as propriedades mecânicas e físicas dos materiais (Malhotra e Carino 1991, Popovics 2003, Ludovico-Marques 2008, Ludovico-Marques et al. 2012a, 2012b, 2014, Chastre et al. 2014).

As construções em pedra de arenito são importantes em alguns monumentos portugueses, particularmente em Peniche, Lourinhã e Silves. A Igreja de São Leonardo é um monumento nacional construído durante a Idade Média na Atouguia da Baleia no Concelho de Peniche, cujos portais em arenito apresentam uma degradação da pedra com formação de vazios (alveolização) devido à cristalização dos sais que resulta da proximidade do monumento (passada e presente) da orla costeira.

Em seguida, descreve-se o historial de intervenções efetuadas na Igreja de S. Leonardo, mostra-se o padrão de degradação que ocorre nos portais de arenito da igreja, analisa-se a evolução da alveolização que ocorreu nos portais de arenito ao longo das últimas dezenas de anos e mostram-se alguns dos testes não-destrutivos ou quasi não-destrutivos realizados para apoio ao diagnóstico efetuado.

2. A IGREJA DE S. LEONARDO E O HISTORIAL DAS INTERVENÇÕES DE CONSERVAÇÃO EFETUADAS

A Igreja de São Leonardo (Fig. 1) é um monumento nacional localizado na Atouguia da Baleia, perto da cidade de Peniche. Este monumento revela uma arquitetura religiosa na transição do românico para o gótico, manuelina e maneirista. É uma igreja paroquial de planta do tipo mendicante, com três naves de altura diferente com cobertura de madeira e uma cabeceira com capela-mor abobadada (www.monumentos.pt, 2004).

A sua construção remontará aos Séculos XIII/XIV, sendo a única data confirmada a de 1371, inscrita sobre a pedra tumular de Domingos

Bartolomeu, na nave central (Barroca, 2000). No início do Século XVI, construiu-se a porta da sacristia e em 1658, a capela do Santíssimo Sacramento. A partir do Século XVII, a pedra arenítica terá sido consecutivamente substituída por pedra calcarenítica nos panos de alvenaria. Neste monumento nacional, a maior parte dos paramentos exteriores encontram-se revestidos a argamassa de cal. Atualmente os arenitos são visíveis predominantemente nas fachadas Norte, Poente e Sul, nomeadamente em portais, contrafortes, cunhais e vãos de janela. Na Igreja, existem calcários e calcarenitos bem visíveis na ábside e junto desta, do lado Nascente. No interior, os panos de alvenaria são essencialmente constituídos por um aparelho de blocos de calcário e calcarenito, com juntas de argamassa de cal (Ludovico-Marques, 2008).



Fig. 1 – Igreja de São Leonardo (Fonte: Manuel-vbotelho, Wikimedia commons)

2.1 Resumo de intervenções de conservação realizado no século passado

O arquivo histórico da DGEMN, disponível, apenas contém um acervo fotográfico da Igreja de S. Leonardo referente às décadas de 40 (Fig. 2) e 70 (Fig. 3) do Século XX. A DGEMN procedeu à digitalização dessas fotográficas, tendo disponibilizado as que foram solicitadas no âmbito do Programa de investigação estabelecido entre a C.M. Peniche e a Fundação da FCT (Ludovico-Marques, 2008). Na década de 40, a



Fig. 2 - Imagem da igreja de São Leonardo em 1940 (Fonte: DGEMN)



Fig. 3 - A igreja de São Leonardo na década de 1970 do século XX: obras de conservação (Fonte: DGEMN)

superfície exterior revestida de argamassa (Fig. 2) era bastante superior à atual. Nesta altura, praticamente todos os elementos nos paramentos encontravam-se integralmente revestidos de argamassa e cal, com exceção de alguns: cunhais, contrafortes e arcosólios na fachada Norte.

No início da década de 70 do Século XX, a DGEMN efetuou intervenções de conservação amplas, no exterior e no interior da igreja, das quais se salientam, em termos de conservação de pedra arenítica, a picagem do reboco sobre os paramentos de cantaria, tomada de juntas com argamassa hidráulica, picagem do reboco até à alvenaria e aplicação de novo reboco (www.monumentos.pt, 2004). Na Fig. 3 apresenta-se uma imagem mostrando alguns aspetos das intervenções referidas. Nesta época foi removida em definitivo a argamassa de reboco no pano central da fachada principal e nos portais nas fachadas. Assim, permitiu-se a

exposição permanente dos elementos artísticos, nomeadamente os motivos zoomórficos e fitomórficos dos capitéis.

2.2 Programa de investigação levado a cabo na última década

A Igreja de São Leonardo é um excelente exemplo da desagregação dos arenitos devido à cristalização de sal. No âmbito do programa de investigação efetuado e descrito em pormenor em Ludovico-Marques 2008, Ludovico-Marques et al. 2011, 2012a, 2012b, 2014, Chastre et al. 2014, selecionaram-se algumas variedades pétreas representativas dos elementos construtivos da Igreja de São Leonardo e identificou-se material pétreo similar em pedreiras coevas, afloramentos rochosos e em património construído não classificado. Em seguida, realizou-se um estudo petrográfico para determinação da composição mineral, química e de ensaios de caracterização física para obtenção de valores de porosidade e de porosimetria por forma a permitir estabelecer uma “assinatura” das pedras do monumento. Tornando-se assim possível estender o estudo dos elementos pétreos do monumento para amostras similares extraídas de pedreiras ou de edificado não classificado. A obtenção de uma “assinatura” válida a realização de ensaios mecânicos destrutivos em rochas similares às existentes no património construído classificado permitindo a caracterização do comportamento à compressão uniaxial do arenito (Fig. 4).

Posteriormente procedeu-se ao desenvolvimento e calibração de um modelo analítico que permite a simulação do comportamento mecânico das rochas à compressão em função de parâmetros físicos das variedades pétreas (porosidade). O método proposto aplicado a arenitos, encontra-se descrito detalhadamente em Ludovico-Marques et al. 2008 e aplicado a arenitos e granito em Ludovico-Marques et al. 2012b. Este método tem grande interesse em termos de aplicação a monumentos porque permite ter a curva de tensão-deformação da pedra (Fig. 4) em

função de parâmetros que podem ser obtidos através de ensaios não destrutivos, fornecendo parâmetros mecânicos para o projeto. Foram igualmente realizados testes para avaliar o efeito da cristalização salina em provetes de pedra arenítica utilizando uma câmara de envelhecimento acelerado, desenvolvida para o efeito. O comportamento mecânico dos provetes foi avaliado em ensaios de compressão realizados no início, durante e no fim do envelhecimento acelerado. Como se pode observar na Fig. 5 os resultados destes ensaios mostraram uma clara tendência decrescente no desempenho mecânico dos provetes de arenito com o número crescente de ciclos de envelhecimento (Nc).

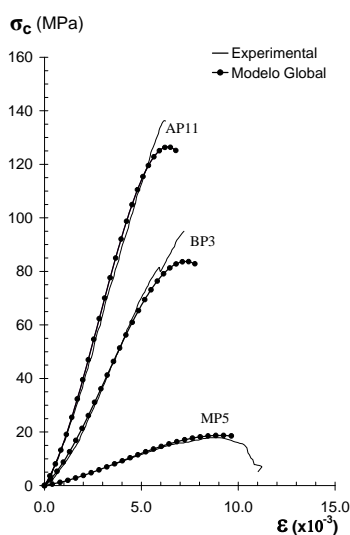


Fig. 4 - Resultados experimentais da caracterização dos arenitos e correspondente modelação dos diagramas tensão-deformação (Ludovico Marques et al. 2012b).

A fim de complementar os trabalhos desenvolvidos anteriormente, fez-se um levantamento em 2014 da Igreja de São Leonardo, usando um equipamento de laser 3D (Fig. 6) no âmbito de um projeto de investigação entre a Universidade Nova de Lisboa e a Universidade da Extremadura (Chastre et al. 2014).

O varrimento por laser 3D é uma nova técnica que permite a obtenção de levantamentos tridimensionais com milhões de pontos e com grande precisão. Utilizando sensores terrestres de curto e longo alcance, o levantamento é possível em poucos minutos,

obtendo modelos 3D com medidas reais. Neste estudo, o dispositivo laser foi colocado na frente da fachada da igreja, no topo de uma estrutura de suporte, a fim de ter uma vista frontal perpendicular à fachada. O equipamento laser utilizado era composto por uma câmara de 70 megapixels, com um peso de 5 kg, e apresentando uma velocidade de leitura de 976.000 pontos/s e uma precisão de ± 2 mm.

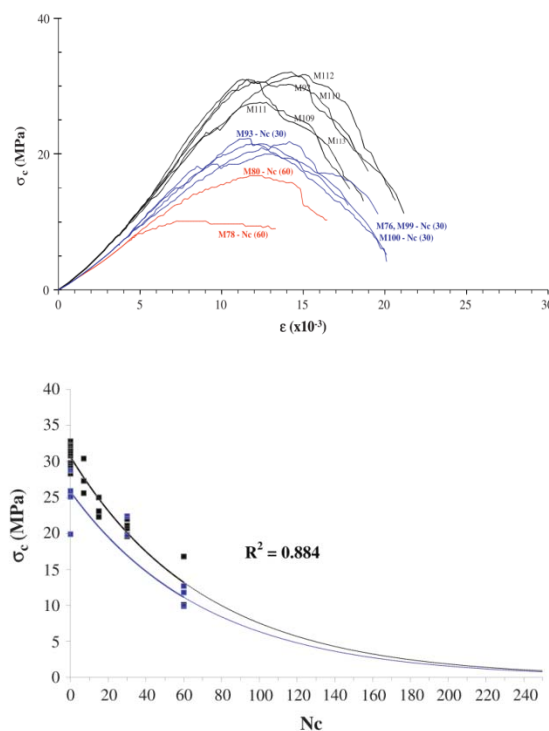


Fig. 5 – Diagramas tensão-deformação dos arenitos sujeitos a envelhecimento artificial por cristalização salina (em cima) e evolução da perda de resistência com o número de ciclos de envelhecimento (Nc) (Ludovico Marques e Chastre. 2012a).

A visualização e exportação dos dados 3D obtidos, foi realizada utilizando um software de digitalização 3D em conjugação com outro de CAD 3D, fazendo-se em seguida o tratamento de dados e a identificação das zonas degradadas e as medições de volumes, áreas e distâncias. O levantamento efetuado, sendo não intrusivo, evita potenciais danos no monumento e no caso presente, permitiu avaliar a dimensão da alveolização existente na pedra em 2014. Esta recolha de informação é crucial para comparar com futuros levantamentos e é fundamental para a identificação das zonas afetadas e do seu estado de degradação, bem como para as

medições relativas aos trabalhos de consolidação a efetuar nestas zonas.



Fig. 6 – Pormenores da Igreja de São Leonardo e do equipamento de laser 3D.

3. PADRÕES DE DEGRADAÇÃO NAS PAREDES DE ARENITO DA IGREJA DE SÃO LEONARDO

Vários autores (Ordaz e Esbert 1988), Henriques et al. 2004, Fitzner e Heinrichs 2004, ICOMOS 2008) bem como a norma Italiana NORMAL-1/88, identificaram e descreveram padrões da pedra em monumentos e edifícios antigos. Existem cinco tipos de padrões de deterioração de pedra, que são ilustrados no glossário do ICOMOS-ICS (2008): fendas e deformações, desprendimento, características induzidas pela perda de material, descoloração e depósitos, e colonização biológica. No presente estudo não foi detetada descoloração e depósito. Em termos de comportamento estrutural, a

fratura e os danos por deformação e perda de material das secções transversais dos elementos estruturais afetam geralmente a estabilidade mais do que os outros dois padrões (descoloração e depósitos, e colonização biológica).

Na Igreja de São Leonardo a deterioração induzida por perda de material é a mais visível, sendo a alveolização a forma de degradação mais perniciososa na pedra do monumento. As fachadas da Igreja de São Leonardo (Fig. 1) mostram cavidades de alguns centímetros, tendo vários delas comprimento e profundidade superior a 10 cm (Fig. 7 à esquerda e ao centro). Outra forma importante de degradação na Igreja de São Leonardo é o descolamento de lascas, como pode ver visto no portal da fachada principal (Fig. 7 à direita).

Hoje em dia a Igreja de São Leonardo está localizada a cerca de 3 km de distância da costa, mas na Idade Média Peniche era uma ilha e a Atouguia da Baleia costumava estar mais perto da costa. Foi no século XV que o canal entre a Atouguia da Baleia e Peniche começou a ser preenchido com sedimentos marítimos e fluviais.

A alveolização generalizada na igreja de São Leonardo é causada principalmente por cristalização de cloreto de sódio nos poros do arenito. A principal fonte destes sais é a água do mar sendo estes absorvidos por capilaridade. A colonização biológica é altamente desenvolvida em extensão superficial.



Fig. 7 – Formas de alveolização observadas nos portais da Igreja (à esq. e ao centro). Escamação nos blocos de arenito, na zona de fecho do arco do portal principal (à direita).



Fig. 8 – Colonização biológica – fungos (à esquerda e ao centro). Colonização biológica – líquenes (à direita)

4. EVOLUÇÃO DA ALVEOLIZAÇÃO NAS PAREDES DE ARENITO DA IGREJA DE SÃO LEONARDO

A avaliação da evolução da alveolização nos elementos de arenito de todo o edificado classificado de Atouguia da Baleia, apenas pode ser efetuada nos portais Poente e Sul da Igreja de S. Leonardo. Apenas estes se encontram documentados no acervo fotográfico da então DGEMN, com um detalhe que permite uma comparação de pormenor. As figuras pormenorizadas dos capitéis do portal Oeste permitem comparar a definição do contorno do relevo dos motivos zoomórficos no período que medeia entre os anos 40, 70, do século XX e a atualidade. Nas fotografias dos anos 40 (Figs. 9 e 10), a definição deste contorno no arenito sob o revestimento é perfeitamente perceptível. Apesar das fotografias dos anos 70 (Figs. 9 e 10) não terem o mesmo pormenor das anteriores, observa-se que o revestimento dos motivos zoomórficos foi removido.

Comparando os mesmos elementos artísticos nas fotografias do século XXI e nas dos anos 40 (Figs. 9 e 10), constata-se que a definição dos respetivos contornos e a

superfície do relevo dos motivos é semelhante. O registo do estado de conservação nos anos 40, revela sob o revestimento, a existência de patologia acentuada. Salienta-se contudo, a existência de alveolização pronunciada com perda de elementos pétreos dos motivos artísticos. Contudo, a evolução da erosão da pedra, em cerca de sessenta anos, não se afigura expressiva, Para o efeito terá contribuído o amenizar dos contrastes dos parâmetros climatéricos, entre estações do ano, em vigor aquando da remoção do revestimento dos paramentos exteriores da igreja.

Na Fig. 11 mostra-se uma vista geral do largo da Igreja de São Leonardo obtida com o varrimento laser 3D e na Fig. 12 mostram-se diferentes vistas do lado sul dos capitéis do portal ocidental, obtidas através de uma fotografia normal (Fig. 12a) e do varrimento laser 3D (Fig. 12b). A imagem apresentada na Fig. 12 b) foi obtida através do tratamento da nuvem de pontos conseguida através do varrimento laser 3D e mostra os cortes de 5 mm realizadas em diferentes níveis usados para medição dos alvéolos.



Fig. 9 – Motivos zoomórficos dos capitéis do lado Norte do portal Oeste (Fonte: DGEMN).



Fig. 10 – Motivos zoomórficos dos capitéis do lado Sul do portal Oeste (Fonte: DGEMN)



Fig. 11 – Vista geral do largo da Igreja de São Leonardo obtida com o varrimento laser 3D.

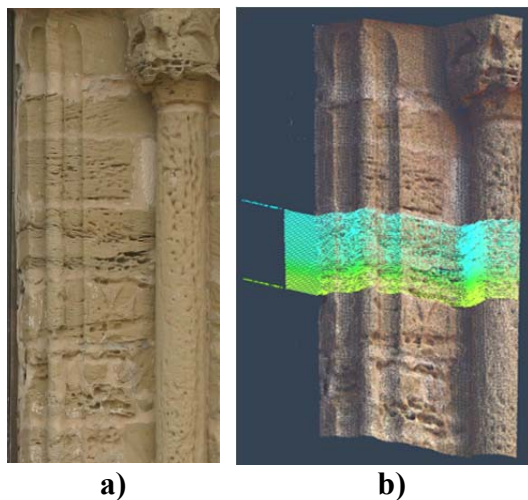


Fig. 12 – Vista do capitel sul existente no portal oeste: a) foto tradicional; b) nuvem de pontos obtida através do varrimento laser 3D.

Deve-se ressaltar o nível de precisão alcançado com o levantamento. Por exemplo, no fundo da Fig. 12 b) é possível observar uma cruz esculpida no portal, bem como o estado avançado de alveolização no portal. O levantamento efetuado por não ser intrusivo evitou potenciais danos no monumento e foi fundamental para a identificação das zonas

afetadas e do seu estado de degradação em 2014, bem como para as medições relativas aos trabalhos de consolidação a efetuar.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Igreja de S. Leonardo na Atouguia da Baleia, constitui um caso de estudo sobre a importância da cristalização salina na degradação de arenitos. Dada a sua proximidade do mar, maior em tempos históricos do que na atualidade, o cloreto de sódio terá manifestado a sua ação degradativa desde o início da construção deste monumento, outrora com maior intensidade, sendo a alveolização a principal forma de degradação existente nos portais da Igreja. No sentido de avaliar os efeitos da cristalização salina sobre a pedra destes portais, realizou-se um estudo em que se desenvolveram vários métodos para a caracterização mecânica da pedra de arenito existente nos mesmos, utilizando testes não-destrutivos. Foram igualmente realizados testes para avaliar o efeito da cristalização salina em provetes de pedra arenítica utilizando uma câmara de envelhecimento acelerado. Por fim, efetuou-se um levantamento do estado de alteração da pedra existente no monumento, utilizando-se para o efeito o varrimento com laser 3D que é um método não intrusivo e que permitiu a modelação geométrica 3D da alveolização existente na pedra. Este levantamento não intrusivo é fundamental como ponto de partida para a observação da evolução futura da degradação da pedra e também para os trabalhos a efetuar de consolidação da mesma.

REFERÊNCIAS

- Barroca, M. (2000). Epigrafia Medieval Portuguesa (862-1422). Fundação Calouste Gulbenkian/ Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Lisboa.
- Charter of Cracow (2000). Trieste Contemporanea, 6/7.
- Chastre, C., Ludovico-Marques, M., Saumell, J., Guerrero, M., e Delgado, M. (2014). Surveying of Sandstone Monuments: New and Traditional Methodologies to Assess Viability of Conservation Actions. 40th IAHS Word Congress of Housing. Sustainable Housing Construction, 16-19 December 2014, Funchal, Portugal.
- Doehne, E. (2002). "Salt weathering: a selective review. Natural stone. Weathering phenomena, conservation strategies and case studies" Geol Soc London Spec Publ, 205, pp.51-64, 2002.
- Evans, I. (1970). "Salt crystallization and rock weathering: a review" Rev Geomorph Dynam, XIX(4), pp.153-177.
- Fitzner, B. e Heinrichs, K. (2004). Photo atlas of weathering forms on stone monuments. Geological Institute, RWTH Aachen University – Working Group Natural stones and weathering.
- Henriques, F., Delgado Rodrigues, J., Aires-Barros, L. e Proença, N. (2004). Materiais pétreos e similares. Terminologia das formas de alteração e degradação. Patologia e Reabilitação da Construção, Eds. LNEC, Lisboa.
- ICOMOS (1965). International charter for the conservation and restoration of monuments and sites (the Venice Charter 1964).
- ICOMOS (2004). Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage.
- ICOMOS (2008). Illustrated glossary on stone deterioration patterns.
- Ludovico-Marques, M. (2008): Contribution to the knowledge of the effect of crystallization of salts in the weathering of sandstones. Application to the built heritage of Atouguia da Baleia, PhD thesis in geotechnical engineering, specializing in rock mechanics. Universidade Nova de Lisboa. Lisbon, p.314.
- Ludovico-Marques, M., Chastre, C. e Vasconcelos, G. (2011). "Modelação do comportamento mecânico em compressão de rochas granulares baseada em ensaios não destrutivos e quasi não destrutivos" Mecânica Experimental, (19), pp. 101-110.
- Ludovico-Marques, M. e Chastre, C. (2012a). "Effect of salt crystallization ageing on the compressive behavior of sandstone blocks in historical buildings" Eng Fail Anal, 26, pp. 247-257.
- Ludovico-Marques, M., Chastre, C. e Vasconcelos, G. (2012b). "Modelling the compressive mechanical behaviour of granite and sandstone historical building stones" Constr Build Mater, 28, pp.372-381.
- Ludovico-Marques, M. e Chastre, C. (2014). "Effect of consolidation treatments on mechanical behaviour of sandstone" Construction and Building Materials, 70(15 November 2014), 473-482.
- Malhotra, V.M., Carino, N. J. (1991): CRC handbook on nondestructive testing of concrete. Boca Raton: CRC Press.
- NORMAL-1/88 (1988). Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: lessico. Alterazioni dei Materiali Lapidari e Trattamenti Conservativi – proposte per l'Unificazione dei Metodi Sperimentali di Studio e di Controllo, CNR-ICR, Rome, p. 36.
- Ordaz, J. e Esbert, R. (1988). "Glosario de términos relacionados con el deterioro de las piedras de construcción" Mater Constr, 38(209), pp. 39-45.
- Popovics, JS. (2003). "NDE techniques for concrete and masonry structures". Prog Struct Eng Mat, vol.5(2):49-59.
- Rodriguez-Navarro, C. e Dohene, E. (1999a). "Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern", Earth Surf Process Landf, 24, pp.191-209.
- Rodriguez-Navarro, C., Dohene, E. e Sebastian, E. (1999b). "Origins of honeycomb weathering: the role of salts and wind" Bull Geol Soc Am, 111, pp.1250-1255.
- Scherer, G. (1999). "Crystallization in pores" Cem Concr Res, 29, 1347-1358, 1999.
- Wellman, H. e Wilson, A. (1965). "Salt weathering, a neglected geological erosive agent in coastal and arid environments" Nature, 4976, pp. 1097-1098.