



O crescimento de algas sobre os arenitos dos edifícios

<http://www2.rgu.ac.uk/schools/mcrg/mialga.htm>

Factores que afectam o crescimento das algas nos arenitos de construção depois da sua limpeza

Última actualização em Maio de 1998

Tem sido registado que, de uma forma um pouco anedótica, a seguir à limpeza da pedra dos edifícios o crescimento ou o reaparecimento de algas acontecem rapidamente e em maior abundância do que anteriormente a essa limpeza. Esta investigação tenta descobrir como é que os métodos físicos (por exemplo, o jacto de areia) e químicos de limpeza da pedra podem influenciar a velocidade de crescimento das algas sobre os arenitos.

Esta investigação, parte da qual foi conduzido dentro de um programa de investigação mais amplo fundado pela [Historic Scotland](#), sobre o uso dos [biocidas nos arenitos para construção](#), foi empreendida por [Maureen Young](#) como um trabalho de doutoramento. Esta nota apresenta um sumário da introdução e das conclusões dessa tese.

A referência completa é:

Young, M.E. (1997).

Biological growths and their relationship to the physical and chemical characteristics of sandstones before and after cleaning.¹

PhD Thesis. The Robert Gordon University, Aberdeen.



¹ Os crescimentos biológicos e o respectivo relacionamento com as características físicas e químicas do arenito antes e depois da sua limpeza.

Programa de investigação

1. Introdução

O trabalho que aqui se apresenta foi, nas suas fases iniciais, parte de um programa de investigação mais amplo fundado pela [Historic Scotland](#) para investigar os crescimentos biológicos e os tratamentos com biocidas sobre os edifícios de arenito na Escócia (Urquhart *et al.*, 1995). Parte do trabalho que aqui se apresenta teve o contributo de outros membros do grupo de investigação e esses contributos são identificados no texto.

A acção dos métodos de limpeza (físicos ou químicos) sobre os arenitos dos edifícios podem alterar as respectivas propriedades e podem alterar a susceptibilidade desses arenitos aos crescimentos biológicos. Nesta tese, é investigada a colonização dos arenitos dos edifícios por crescimentos biológicos, nos termos da respectiva dependência de determinados parâmetros físicos e químicos desses arenitos, que incluem o fornecimento de nutrientes, a rugosidade da superfície e a disponibilidade de humidade. Põe-se a hipótese de que as alterações destas características, provocadas pela limpeza da pedra, poderão afectar a colonização dos arenitos por organismos. Pela identificação de factores importantes que determinam a extensão da colonização de um arenito com crescimentos biológicos, pode ser construído um modelo predictivo sobre a importância e a controlabilidade dos diversos factores da colonização dos arenitos dos edifícios por algas.

Os objectivos desta investigação são os seguintes:

- Investigar os efeitos das características físicas e químicas dos arenitos na colonização da pedra de construção, particularmente, pelos crescimentos de algas.
- Determinar como é que as alterações físicas e químicas dos arenitos, provocadas pela limpeza da pedra, alteram as características da colonização e do crescimento de organismos (em particular das algas) sobre esses arenitos.
- Estabelecer um modelo conceptual para a sujidade biológica nos arenitos dos edifícios.

Foi feita uma selecção de seis arenitos diferentes para o trabalho experimental. Estes arenitos cobrem a larga gama de características físicas e químicas encontradas nas pedras de construção da Escócia.

Foi construído um dispositivo de ensaio que se situou numa localização onde as amostras de arenitos com que era constituído estivessem sujeitas à meteorização natural. Isto permitiu o estabelecimento e crescimento de microrganismos sobre esses arenitos durante um período aproximado de 44 meses. As amostras de arenitos incluíram amostras não tratadas e arenitos que tinham sido submetidos a limpezas físicas e químicas, ou à aplicação de biocidas. Foi estabelecido outro conjunto de blocos de arenito com maiores dimensões, foram usados crescimentos biológicos preexistentes para se monitorizar a eficácia de uma larga gama de biocidas que fosse possível serem usados no dispositivo de ensaio. Para além disso, um programa de estudos sobre edifícios e monumentos em toda a Escócia permitiu a investigação em campo da distribuição dos microrganismos (principalmente algas) sobre uma larga quantidade de pedras de construção. Estas observações, apesar de necessariamente limitadas em extensão, forneceram uma indicação sobre as variações dos crescimentos biológicos em toda a Escócia.

O relacionamento da colonização e da velocidade de alteração nos crescimentos biológicos com as características dos arenitos permitiu a determinação de características importantes desses arenitos, no que respeita aos crescimentos biológicos. Foi possível estabelecer-se quando é que as alterações, provocadas pela limpeza da pedra nos arenitos, aumentavam a susceptibilidade desses arenitos no que respeita aos crescimentos biológicos e também ao reaparecimento da sujidade a seguir à limpeza. Foi desenvolvido um modelo conceptual, predictivo da sujidade biológica nos arenitos dos edifícios.

1.1 O crescimento biológico sobre a pedra de construção

A interacção entre os agentes da degradação e os arenitos é reconhecida como sendo um fenómeno complexo (Eckhardt, 1978; John, 1988; Krumbein e Dyer, 1985; Seaward, 1979). Os mecanismos da degradação e da sujidade que afectam os arenitos dos edifícios são processos que resultam da interacção entre muitos fenómenos, incluindo as características físicas e químicas desses arenitos, os efeitos do clima, dos poluentes atmosféricos e terrestres, o movimento dos fluidos e os processos biológicos (Jones e Wilson, 1985; Mehta *et al.*, 1978; Meinke *et al.*, 1989; Raistrick e Gilbert, 1963; Seaward, 1988).

Para além de ser uma potencial causa de degradação a longo prazo, a sujidade superficial, biológica ou não-biológica, pode ser esteticamente desfiguradora da pedra. A desfiguração dos edifícios e dos monumentos pelos crescimentos biológicos, especialmente nos edifícios recentemente limpos, é causa de grande preocupação. Considera-se que os crescimentos biológicos são um dos principais factores envolvidos na conspurcação das fachadas dos edifícios (Grant, 1982; Seaward, 1979).

Os crescimentos biológicos, tais como as algas, as bactérias, os fungos, os líquenes e os musgos, são muito vulgares no exterior dos edifícios, especialmente nas zonas rurais. Eles vão colonizar a alvenaria sempre que existam as adequadas condições de humidade, luz, temperatura e nutrição. Apesar de os microrganismos poderem provocar danos à pedra de construção, os crescimentos podem ser não-destrutivos e podem mesmo, como por exemplo os líquenes, ser frequentemente considerados como desejáveis, já que podem dar um aspecto de maturidade a uma fachada. No passado, eram frequentemente encorajados os crescimentos sobre as fachadas por meio de alguns métodos, incluindo a aplicação de uma aguada de excrementos de vaca, de urina ou de leite desnatado (BRS, 1972; BRE, 1992; Richardson, 1973).

1.2 Os crescimentos biológicos como causa de degradação da pedra

Os crescimentos biológicos são capazes de provocarem o desfiguramento e de danificarem a pedra de construção, pelo que, em certos casos, a sua presença pode ser considerada indesejável, especialmente quando a pedra estiver exposta à água da chuva ou a condições de elevada humidade, uma vez que os crescimentos biológicos são mais activos sob essas condições. Muitos organismos segregam ácidos e outras substâncias em resultado dos seus processos metabólicos, as quais podem afectar os minerais constituintes das rochas e podem ser destrutivos para a pedra (Jones e Wilson, 1985; Krumbein, 1988; Lewis *et al.*, 1985; Ortega-Calvo *et al.*, 1993; Sand e Bock, 1991). Os crescimentos podem obscurecer e provocar a degradação das inscrições (Wainwright, 1986) e das esculturas, e alguns podem manchar as paredes (Wee and Lee, 1980). Os crescimentos biológicos podem reter a poeira e os poluentes, provocando a aceleração de sujidade na superfície de um edifício e ajudando ao estabelecimento de plantas maiores que aumentam a retenção da água e que podem provocar o entupimento de caleiras e tubos de queda de águas pluviais (BRE, 1992; Grant, 1982; Grant & Bravery, 1985; Richardson, 1973). Ao longo do tempo, as alterações de cor na superfície das pedras têm sido atribuídas a causas biológicas, por alguns autores (Knight, 1777 and Liebig, 1853 in Krumbein, 1993), e as preocupações sobre a degradação da pedra através de processos biológicos não são um fenómeno

recente. Krumbein e Dyer (1985) e Krumbein (1993) indicam alguns dos primeiros escritos a respeito da biodegradação, incluindo as referências bíblicas sobre fungos na pedra:

... se, na inspecção, ele descobrir manchas nas paredes consistindo em depressões esverdeadas ou avermelhadas, aparentemente indo mais profundamente do que a superfície, ele deve sair da casa e colocá-la sob quarentena... se a mancha se tiver espalhado pelas paredes, ele deve ordenar que as pedras infectadas sejam retiradas e deitadas fora longe da cidade num lugar sujo (Levítico 13:14).

As preocupações recentes com o possível relacionamento entre os crescimentos biológicos e a degradação da pedra, datam dos primeiros anos do século XX, quando alguns autores sugeriram que a acção dos líquenes, das bactérias e das algas podem contribuir para a presença da degradação da pedra observada.

1.3 O estabelecimento de organismos sobre a pedra

Os organismos encontrados sobre a pedra podem ter sido aí depositados por esporos ou rebentos existentes na atmosfera, ou por contacto directo com organismos no solo. As condições necessárias para a colonização de um substrato variam conforme o tipo e a espécie de organismo. Os organismos fotossintéticos, que usam a luz para fixarem o carbono do CO₂ atmosférico, podem sobreviver com humidade, sais minerais e luz. Outros organismos exigem a humidade e os nutrientes, mas não a luz. Muitos organismos podem suportar a secura durante períodos relativamente longos, mas o seu crescimento activo exige, habitualmente, elevados níveis de humidade.

Nas zonas urbanas, a diversidade e a abundância de muitos crescimentos biológicos tem sido fortemente reduzida pela poluição atmosférica. Isto pode resultar no domínio de uma fachada por uma espécie tolerante à poluição, dando-lhe uma aparência desagradável e monótona, em vez do mosaico de espécies que ainda podem ser encontradas nas zonas rurais. É possível que, se os níveis de poluição do ar diminuírem no futuro, uma fauna mais variada possa regressar à paisagem urbana.

1.4 A influência das intervenções sobre a pedra, no que respeita aos crescimentos biológicos

Durante os últimos 20 anos, muitas fachadas de edifícios, na Escócia, foram submetidas à limpeza da pedra. A limpeza da pedra é feita com o objectivo de se remover a sujidade escura da superfície da pedra. Esta sujidade é, frequentemente, encarada como sendo não-biológica, apesar de uma inspecção mais aproximada revelar, também frequentemente, a presença de algas verdes. Normalmente, estão presentes outros organismos, invisíveis a olho nu, incluindo fungos e bactérias. A seguir à limpeza da pedra, o regresso da sujidade constituída por materiais inorgânicos pode demorar muitos anos, no entanto, o regresso da sujidade sob a forma de crescimentos de algas verdes pode suceder em consequência directa da intervenção de limpeza da pedra (Bluck and Porter, 1991). Na prática, o controlo destes crescimentos (BRE, 1992; Grant, 1982; John, 1988) é difícil e, por vezes, ineficaz. Podem ser usados tratamentos biocidas, mas os organismos reaparecem, habitualmente, dentro de alguns meses ou anos a seguir ao tratamento. A legislação recente, que acabou por ser revogada, por razões de segurança, sobre alguns produtos biocidas mais eficazes, exacerbou esta situação e reforçou a necessidade de uma compreensão mais fundamentada sobre os factores envolvidos na colonização da pedra de construção e sobre os mecanismos de acção dos tratamentos biocidas no interface organismo-pedra.



2. Discussão dos resultados

2.1 O crescimento das algas e a porosidade dos arenitos

Há dois aspectos da porosidade que podem afectar os crescimentos biológicos. São eles o volume efectivo dos poros, que controla a quantidade de água que pode ser retida por um arenito, e a distribuição da dimensão dos poros, que controla a disponibilidade de água bem como o espaço dentro da pedra que está disponível para ser colonizado. O tamanho de um organismo constitui o limite inferior para a dimensão do poro dentro do qual ele pode crescer. Geralmente, os poros com diâmetros inferiores a 10 micrones só permitem o crescimento de bactérias. Os fungos e as algas, sendo bastante maiores, ficam confinados aos poros de maior dimensão. No entanto, acontecem muitos crescimentos de algas sobre as superfícies de arenitos, e este crescimento superficial só é afectado pela porosidade na medida em que esta afecta a disponibilidade em humidade e a rugosidade. As algas também podem aparecer abaixo da superfície exterior, no caso de organismos fotossintéticos, onde a profundidade a que podem acontecer está dependente da penetração da luz (Nienow *et al.*, 1988). Nessas circunstâncias, a distribuição da dimensão dos poros irá controlar os organismos que podem colonizar o ambiente sub-superficial.

Os resultados da medição da porosidade ao mercúrio indicaram que, entre todos os arenitos usados nestes ensaios, o de Leoch era excepcional sob o ponto de vista de que a maior parte da sua porosidade era menor do que 0,1 micrones de diâmetro. Portanto, o arenito de Leoch não continha, praticamente, nenhum espaço de poros (<1%) com uma dimensão que conseguisse conter microrganismos ou água biodisponível. Não foi, por isso, surpreendente, que o arenito de Leoch demorasse mais tempo a ser colonizado. Entre os outros tipos de arenitos, nos casos dos arenitos de Blaxter, Clashach, Corsehill e Lochabriggs, mais de 75% da porosidade total tinha um diâmetro superior a 1 micron. No arenito de Cat Castle, esta proporção era ligeiramente menor, mas ainda aproximada dos 75%. Isto indicava que, para todos os tipos de arenitos, com a excepção do de Leoch, a maior parte da água retida nos poros da pedra estava disponível para os microrganismos.

No caso dos arenitos não tratados, descobriu-se existir uma correlação bastante razoável entre a porosidade efectiva total e a quantidade de crescimento de algas, com maior crescimento de algas a ocorrer nos arenitos mais porosos. Isto é, muito provavelmente, consequência das diferenças na disponibilidade de humidade, já que os arenitos mais porosos podem reter mais humidade do que os arenitos menos porosos. A correlação encontrada entre a porosidade e o crescimento de algas não era exacta, e pode não o ser mesmo, já que, para além da porosidade, outros factores influenciam o crescimento de algas. Encontraram-se, também, alguns problemas na comparação da grandeza do crescimento de algas entre os diversos tipos de arenitos.

2.2 Os efeitos dos tratamentos de limpeza da pedra sobre o crescimento das algas

Não existe nenhum método de limpeza da pedra que seja capaz de remover a sujidade de uma pedra sem também afectar, de alguma forma, a própria pedra. Os métodos abrasivos de limpeza, que trabalham pelo desgaste da camada de sujidade, também resultam, inevitavelmente, nalguma perda de material da própria pedra. Os métodos químicos de limpeza trabalham pela dissolução das substâncias presentes na camada de sujidade e pela quebra das ligações que agarram a sujidade aos minerais da pedra. Inevitavelmente, isto resulta nalguma dissolução dos componentes da pedra e, além disso, é altamente improvável que os líquidos aplicados numa pedra porosa sejam completamente removidos depois da limpeza, pelo que podem permanecer alguns resíduos desses químicos de limpeza.

O objectivo da limpeza da pedra é a remoção da sujidade indesejada da fachada de um edifício. A percepção comum sobre esta sujidade é a de que se trata de uma simples acumulação de poeira sobre a alvenaria. No entanto, esta “poeira” é uma complexa mistura de materiais que inclui partículas de fuligem, hidrocarbonetos, gesso e outros sais, minerais portadores de ferro, compostos de chumbo, pós minerais, asfalto e borracha proveniente dos pneus dos automóveis (Nord e Tronner, 1993; Nord e Ericsson, 1993). A camada de sujidade também contém um componente biológico que pode incluir algas, bactérias, fungos e líquenes.

A limpeza da pedra de uma fachada de um edifício que esteja suja pode afectar as suas características como substrato para os organismos, de um grande número de formas. Se não o fizer de qualquer outra maneira, é provável que a limpeza da pedra afecte o crescimento dos organismos, muito simplesmente, através da remoção da própria sujidade. A maior parte da sujidade sobre a pedra é de natureza hidrofóbica. Conforme a sujidade se vai acumulando sobre a pedra, ela reduz gradualmente o acesso da humidade à pedra. Se a sujidade se acumular a um nível suficiente, ela pode cortar completamente o movimento fluido para dentro e para fora dessa pedra, através da sua face, apesar de a humidade ainda ser capaz de entrar e de sair da pedra na fase de vapor, e de ainda poderem existir internamente alguns movimentos de humidade. Conforme foi demonstrado, a remoção desta camada hidrofóbica de sujidade, por meio de uma limpeza abrasiva, pode mesmo aumentar grandemente a quantidade de humidade que consegue penetrar numa pedra. No entanto, MacDonald (1993) descobriu que alguns métodos de limpeza por via química podem aumentar ou diminuir as velocidades de absorção da água (apesar de estes resultados se terem verificado num arenito inicialmente fresco), tornando imprevisíveis os resultados da limpeza, em termos dos seus efeitos sobre as velocidades de absorção da humidade. É provável que qualquer aumento, na disponibilidade de humidade, aumente a quantidade de crescimentos biológicos e a gama de espécies presentes sobre uma pedra. O acrescido movimento de fluidos através de uma pedra pode mobilizar um conjunto, previamente estável, de minerais nas camadas exteriores da pedra, alterando a sua adequabilidade para determinados organismos. A remoção da maioria dos poluentes (por exemplo, dos sulfatos) presentes na sujidade pode permitir que os organismos colonizem a pedra, o que era anteriormente inibido pela toxicidade de certos componentes da camada de sujidade. Pelo contrário, alguns organismos (por exemplo, bactérias) podiam utilizar anteriormente alguns componentes da sujidade (por exemplo, hidrocarbonetos) como nutrientes. A remoção de uma camada de sujidade, habitualmente escura, vai aumentar penetração da luz solar abaixo da superfície da pedra, o que, num arenito poroso de cor clara, pode permitir a sua colonização por organismos fotossintéticos até maiores profundidades do que aquelas que eram anteriormente possíveis.

A remoção da sujidade da pedra de um edifício pode, portanto, alterar a composição da comunidade microbiológica sobre a superfície da fachada, com efeitos imprevisíveis, no que respeita à meteorização e à degradação da pedra. No entanto, não menos importantes são outros efeitos potenciais dos métodos de limpeza sobre a própria pedra, já que estes também podem influenciar os crescimentos biológicos.

2.3 Os efeitos da limpeza química sobre o crescimento das algas

No arenitos tratados com o Método A de limpeza química, houve períodos durante os quais se observou maior crescimento de algas sobre as amostras tratadas, do que sobre as amostras não tratadas (ou seja, não tratadas e abrasadas). No caso do arenito de Cat Castle limpo por via química, ocorreu um pico agudo no crescimento de algas, durante o inverno de 1993-1994, que nunca mais foi atingido nos anos seguintes. Nas amostras de arenito de Corsehill, aconteceu um crescimento de algas substancialmente maior nas amostras limpas por via química do que nas amostras não tratadas, durante a inteira duração da investigação. Também é notável que, durante a maior parte do período de exposição, tenha havido mais crescimento de algas nas amostras limpas por via química expostas a Sul do que nas amostras não tratadas expostas a Norte, apesar do facto de as amostras expostas a Sul exibirem, quase

sempre, substancialmente menos crescimento de algas do que as amostras expostas a Norte, noutros tipos de pedras. No arenito de Leoch, apesar de o crescimento de algas ser demorado a aparecer, logo que se estabelecia, apresentava elevadas velocidades de crescimento sobre as superfícies limpas por via química.

Nos arenitos limpos pelo Método B, os resultados ou indicaram maior crescimento de algas sobre as amostras não tratadas, ou mostraram padrões de crescimento de algas consistentemente diferentes, se comparados com as amostras não tratadas. Ficou claro que existia uma diferença na resposta dos arenitos em relação ao crescimento de algas, conforme o método de limpeza química usado.

Há dois aspectos da limpeza química que devem ter sido de grande importância, no que respeita ao encorajamento do crescimento de algas:

- A dissolução de minerais, provocando alterações na porosidade do arenito, afectando as suas características de retenção de água ou o microambiente físico dos crescimentos biológicos.
- Os resíduos dos químicos deixados no arenito depois da limpeza que podem proporcionar nutrientes para o crescimento das algas.

2.4 Alterações na porosidade

Tal como a porosidade de uma pedra pode afectar o crescimento de microrganismos, esses microrganismos também podem afectar a porosidade de uma pedra através do bloqueio físico dessa porosidade e da alteração activa da porosidade pela produção de secreções ácidas ou quelativas, ou ainda exercendo forças físicas sobre os grãos circundantes. Outros factores não biológicos também podem influenciar a porosidade. Entre eles incluem-se os processos de meteorização e de degradação, bem como alguns métodos de limpeza. Por exemplo, foi sugerido (Bluck e Porter, 1991) que os arenitos limpos por via química podem adquirir crescimentos de algas, relativamente depressa, devido à dissolução e à perfuração dos grãos minerais, as quais aumentam a microporosidade da pedra.

Os métodos de limpeza química usados nestas experiências envolveram a aplicação de um ácido forte (ácido hidroclorídico) que era capaz de dissolver muitos dos minerais encontrados no arenito, e um alcali forte (NaOH), que também conseguia remover alguns minerais (por exemplo, os minerais da argila) da pedra. Havia, portanto, uma possibilidade teórica de que a limpeza da pedra, usando estes métodos, pudesse resultar em alterações mensuráveis da sua porosidade. No entanto, os dados sobre a distribuição da dimensão dos poros mostraram que, para os seis tipos de arenitos usados neste estudo, não tinha havido alterações significativas na porosidade efectiva total ou na distribuição da dimensão dos poros, depois da limpeza química. Em nenhum dos gráficos de distribuição da dimensão dos poros houve qualquer indicação de uma alteração significativa provocada pela limpeza química. Em dois casos (Blaxter e Locharbriggs), a porosidade efectiva total ficou ligeiramente menor depois da limpeza. Isto pode ser consequente de resíduos dos materiais de limpeza que bloquearam os poros (ambos ao arenitos foram, limpos usando-se o método dos emplastos) ou pode ser, simplesmente, consequente da natural variação da porosidade entre amostras, como pode ser visto mais obviamente nos dados do arenito de Clashach.

É possível que a limpeza química tenha afectado a "porosidade superficial" dos arenitos, possivelmente pela remoção de minerais vulneráveis tais como a calcite, a dolomite e as argilas. A porosimetria ao mercúrio só consegue medir a porosidade interna de uma amostra, e não as alterações na sua superfície exterior. As alterações na superfície exterior do arenito foram investigadas por observação com o microscópio electrónico (SEM). Os seus resultados mostraram que a limpeza química (em ambos os métodos A e B) pode provocar alterações nas características da superfície dos arenitos, com evidência

de dissolução dos feldspatos e da dolomite, e com a remoção das argilas. A evidência de um maior grau de dissolução superficial provocado pelo método de limpeza A é consistente com a maior concentração de ácido hidrófluorídrico presente nesta mistura (14 % comparados com os 2,7 % do método B). No entanto, o método B foi capaz de remover as argilas vulneráveis da superfície do arenito: a esmectite foi removida, mas a caulinite permaneceu sem ser afectada. A evidência da porosimetria de mercúrio sugeriu que qualquer dissolução ou remoção de grãos ficava confinada às imediações da superfície e que era improvável que afectasse significativamente as características de retenção de humidade dos arenitos. É, no entanto, possível, que as alterações na microporosidade da superfície exterior possam afectar a capacidade dos organismos para se agarrarem a essa superfície, durante as fases iniciais da colonização.

Estes resultados mostram que, nestes ensaios, não ocorreram alterações significativas na porosidade em consequência da limpeza química. Assim, as alterações na porosidade podem não ser responsáveis pelas diferenças entre as velocidades do crescimento das algas sobre os arenitos tratados e não tratados. Mas, se a limpeza tiver que ser feita com o emprego de ácidos que sejam substancialmente mais concentrados, ou quando o tempo de actividade dos ácidos for mais prolongado do que aquele que aqui foi usado, podem ocorrer algumas alterações nessa porosidade. Além disso, no que respeita à limpeza das fachadas dos edifícios, pode haver lugar a uma certa repetição de limpezas químicas ao longo dos anos. A dissolução dos minerais pelos químicos, consequente da limpeza repetida, vai ser acumulativa e pode provocar alterações apreciáveis na porosidade, a longo prazo.

2.5 Resíduos químicos

Como ficou demonstrado em ensaios anteriores, os métodos de limpeza química podem deixar ficar sobre o arenito, resíduos substanciais dos químicos aplicados. Numa certa quantidade de ensaios laboratoriais, MacDonald (1993) descobriu níveis de retenção de químicos entre cerca de 30 a 85 %, em percentagem da quantidade total do material aplicado no arenito.

Nas soluções de limpeza usadas nos actuais ensaios, as usadas no método A continham 28 % de H_3PO_4 e, no método B, continham 1,3 % de H_3PO_4 (em diluições de trabalho). O fosfato é um elemento que é vital para o crescimento dos organismos e existe, normalmente, em quantidades limitadas na maioria das superfícies de pedra. Em condições normais, a quantidade de fosfato biodisponível pode ser uma condição limitativa para o crescimento das algas. A quantidade de fosfato no arenito usado no dispositivo de ensaio (e na maioria dos outros arenitos) era baixa. O fosfato nos arenitos,, principalmente está ligado em minerais tais como a apatite ($Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$) ou a mozanite ($(Ce,La,Th)PO_4$). Estes minerais só estão, habitualmente, presentes em quantidades residuais ($\ll 1\%$) e o fosfato, em geral, não está imediatamente disponível para os organismos. O fosfato sob a forma de ácido fosfórico (H_3PO_4), conforme é usado nalguns químicos de limpeza, está sob uma forma que é facilmente utilizada pelos microrganismos. Entre os dois métodos de limpeza, o A tinha, obviamente, potencial para deixar mais fosfato residual sobre os arenitos, a seguir à limpeza, já que ele continha aproximadamente 20 vezes a concentração presente na solução do método B. Era, assim, possível que estes níveis aumentados de fosfato sobre o arenito fossem responsáveis pelo aumento do crescimento de algas nalgumas das amostras limpas por via química.

Os dados mostraram, claramente, níveis relativamente elevados de fosfato hidrossolúvel (63 a 64 ppm) nas amostras de arenito de Corsehill e de Cat Castle limpas pelo método A. O terceiro tipo de arenito limpo pelo método A (arenito de Leoch), e os outros arenitos limpos pelo método B (Blaxter, Clashach e Locharbriggs), apresentaram todos eles níveis relativamente baixos de fosfato solúvel em água (2 a 9 ppm), apesar de estes níveis ainda serem relativamente elevados em comparação com os níveis encontrados nos arenitos não tratados (0,2 a 0,3 ppm para todos os tipos de arenito).

É provável que o aumento do crescimento de algas observado nos arenitos de Corsehill e de Cat Castle, limpos por via química, fosse consequente dos relativamente elevados níveis de fosfatos deixados sobre os arenitos, a seguir à limpeza química. Também foram observados níveis aumentados de crescimento de algas no arenito de Leoch limpo por via química, apesar de os níveis de fosfato residual, embora elevados, em comparação com os arenitos não tratados, não serem particularmente altos. No entanto, o arenito de Leoch tinha uma porosidade muito menor do que os outros arenitos. Embora possa ser assumido que fosse provável que os químicos aplicados ficassem regularmente distribuídos nos outros tipos de arenitos (todas as amostras tinham aproximadamente 155 mm de espessura), os químicos aplicados no arenito de Leoch podem ter sido retidos perto da superfície onde esses químicos tinham sido aplicados. Todos os resíduos de fosfatos foram calculados como uma concentração média, assumindo-se uma distribuição regular por toda a amostra. Esta presunção não pode ser mantida no caso do arenito de Leoch. Se fosfato ficou retido perto da superfície do arenito de Leoch, a sua concentração nessa superfície (onde ocorreu o crescimento de algas) era substancialmente superior do que seria indicado assumindo-se uma distribuição regular em toda a amostra, e isso pode ter contado para o crescimento de algas acrescido que se registou nas amostras de arenito de Leoch limpas por via química.

Apesar de inicialmente elevado, o crescimento de algas entrou em declínio, no arenito da Cat Castle limpo por via química, depois de cerca de um ano e meio, até que passou a haver pouca diferença em comparação com as amostras não tratadas. Isto mostra que o factor dos químicos a promoverem o crescimento de algas, no método A, declinava após um certo tempo. Uma vez que as alterações na porosidade dos arenitos iam ser permanentes, isto é outro indicador de que os resíduos dos químicos de limpeza eram responsáveis pelo aumento do crescimento de algas, e não as alterações da porosidade.

Estas diferenças entre arenitos, quanto à retenção de químicos, também foram observadas no que respeita à retenção de biocidas (Young *et al.*, 1995). Este efeito é atribuído a variações no grau de absorção dos biocidas pelos minerais de argila nos arenitos. Muitos biocidas são catiões ou compostos orgânicos que podem ligar-se a, ou ser absorvidos por, minerais 2:1, tais como as esmectites e as illites. Os aniões, tais como o fosfato, também se podem ligar aos minerais da argila, mas podem ficar ligados por um mecanismo diferente e em lugares diferentes. Os aniões podem ser trocados por iões hidróxido, em pontos situados nas arestas da rede cristalina, e são mais fortemente ligados a argilas 1:1, tais como a caulinite. A semelhança do comportamento dos arenitos, no que respeita à actividade dos biocidas e à retenção dos fosfatos, não pode, no entanto, ser consequente do mesmo mecanismo de absorção. Os arenitos de Corsehill e de Leoch contêm tipos de argilas, tais como a esmectite, a illite e a clorite, que podem absorver e reter catiões, mas o arenito de Cat Castle contém principalmente, caulinite que é melhor a absorver aniões (por exemplo, fosfato). O fosfato também se pode ligar a outros minerais da rocha. O fosfato tem uma afinidade pelo ferro e pode-se ligar aos óxidos de ferro que estão presentes nalguns arenitos em quantidades relativamente elevadas. Os arenitos de Corsehill e de Leoch contêm quantidades relativamente elevadas de óxidos de ferro (1,4 % e 4,0 % de Fe_2O_3 , respectivamente) em comparação com outros arenitos. O arenito de Cat Castle só contém cerca de 0,6 % de Fe_2O_3 .

Embora a quantidade do crescimento de algas no arenito de Cat Castle limpo por via química tenha aumentado inicialmente, ela declinou para os níveis encontrados na pedra não tratada, depois de cerca de 1 ½ anos. Por outro lado, os níveis acrescidos do crescimento de algas nos arenitos de Corsehill e de Leoch mantiveram-se até ao final dos ensaios (cerca de 3 ½ anos). Isto sugere que, embora o fosfato possa ficar ligado à caulinite dos arenitos, ele pode ficar mais fortemente ligado aos óxidos de ferro e pode persistir, durante mais tempo, nos arenitos vermelhos (ou outros ricos em ferro). Alguns dos agentes de limpeza portadores de fosfatos são recomendados para utilização nos arenitos ricos em ferro, já que a adição do fosfato pretende reduzir a mobilização de iões na pedra. Isto tem implicações importantes no que respeita à velocidade de um novo desenvolvimento de sujidade biológica nos edifícios cuja pedra foi limpa, já que os dados anteriores sugerem que podem persistir, durante muitos anos, acrescidos níveis de crescimento de algas na pedra limpa.

Não é só o crescimento de algas que pode ser encorajado pela limpeza química. Os dados sobre o crescimento de líquenes nas amostras de arenitos indicaram acrescidos crescimentos de líquenes nos arenitos limpos por via química pelo método A, relativamente aos arenitos não tratados e às amostras limpas pelo método B. Apesar de estar presente um grande número de espécies, a única espécie identificada nas amostras tratadas pelo método A foi a *Xanthoria*, uma espécie caracteristicamente encontrada nos locais ricos em nutrientes (Dobson, 1992). Neste ensaio, o crescimento de líquenes não começava a ser observado até relativamente bastante tarde, e na ocasião em que se começavam a notar os primeiros crescimentos de líquenes (verão de 1995), a quantidade do crescimento de algas sobre o arenito de Cat Castle limpo por via química não se conseguia distinguir da que era observada nas amostras não tratadas. Isto pode indicar que os líquenes são estimulados por quantidades mais baixas de fosfato do que o crescimento de algas, ou que talvez os líquenes consigam extrair, pelo ataque ácido, mais o fosfato que está fortemente ligado por contacto directo com os minerais a que esse fosfato está ligado.

Os arenitos de Blaxter, de Lochabriggs e, em menor extensão, de Clasach limpos por via química pelo método B, também tinham níveis de fosfatos (2 a 9 ppm) que eram superiores aos níveis normais da envolvente (0,3 ppm). No entanto, estes arenitos não mostraram níveis aumentados de crescimento de algas nas amostras limpas por via química. Em muitos casos, o tratamento com o método B pareceu diminuir a capacidade dos arenitos para suportarem o crescimento de algas. Possivelmente, apesar de estas amostras conterem, originalmente, níveis de fosfatos moderadamente elevados, ainda assim estes eram insuficientes para estimularem o aumento do crescimento de algas.

Também não havia qualquer indicação de qualquer aumento do crescimento de líquenes nas amostras tratadas, em comparação com as amostras não tratadas. Na verdade, há outros factores que são importantes, como se pode concluir pelo facto de, no arenito de Cat Castle virado a Sul, os resíduos de fosfato não terem conseguido estimular quantidades significativas de crescimento de algas, como tinha acontecido nas amostras viradas a Norte, talvez por causa da relativamente superior importância dos níveis de humidade no lado do dispositivo de ensaio virado a Sul. Ou então, os níveis de fosfato podem ter declinado para níveis iguais à envolvente na ocasião em que os crescimentos de algas e de líquenes ficaram estabilizados sobre as amostras. Outra possibilidade é que outros factores associados à limpeza química desencorajem activamente os crescimentos biológicos, negando os efeitos dos níveis de fosfatos aumentados. Houve alguma evidência de retenção de sais de sódio nos resultados do exame SEM a alguns dos arenitos limpos pelo método B. Apesar de a concentração de NaOH ser menor no método B do que no método A (6 % e 25 %, respectivamente), no método B o NaOH permanecia em contacto com a pedra durante 24 horas na forma de emplastro, comparado com os 20 minutos na forma líquida, no método A. É possível que tenham ficado retidos no arenito resíduos do emplastro portador de NaOH, mesmo depois do enxaguamento. É possível que os resíduos de sal que não proporcionem nutrientes, possam reduzir a quantidade de crescimento de algas e de líquenes.

Os resíduos dos agentes químicos de limpeza sobre os arenitos foram estudados por MacDonald (1993). Ele descobriu que, usando os mesmos métodos de limpeza que foram usados aqui, podiam ser retidos pelos arenitos quantidades substanciais dos químicos aplicados. De forma semelhante aos resultados encontrados no dispositivo de ensaio, MacDonald (1993) também encontrou resíduos de fosfatos muito maiores nos arenitos limpos pelo método A, em comparação com os limpos pelo método B. MacDonald (1993) também encontrou resíduos de fosfatos superiores aos que foram encontrados nas amostras do dispositivo de ensaio, no entanto os seus blocos de arenito eram de tamanho muito superior e podiam, facilmente, ter retido mais químicos aplicados, os quais podiam penetrar mais profundamente no arenito e migrar de volta para a superfície, depois do enxaguamento. Isto sugere que o problema do aumento do crescimento de algas nos edifícios limpos por via química pode ser ainda maior do que é sugerido pelos resultados do dispositivo de ensaio, uma vez que a razão implícita seria que os níveis de fosfatos retidos nas pedras maiores podem ser muitas vezes superiores aos das amostras pequenas.

Houve alguma variação na quantidade do crescimento de algas dos arenitos limpos por via química situados nos lados virados a Norte e a Sul do dispositivo de ensaio. A maior variabilidade dos resultados nas amostras viradas a Sul parecem indicar que, em certos casos, estiveram fortemente envolvidos outros factores, para além da nutrição, no controle do crescimento de algas no lado virado a Sul do dispositivo de ensaio. Apareceram evidências de que as diferenças na disponibilidade de humidade influenciam fortemente o crescimento das algas, e foi sugerido que, nos casos onde o padrão do crescimento de algas, sobre amostras não tratadas e limpas por via química no lado Norte do dispositivo de ensaio, não era repetido nas amostras viradas a Sul, essa diferença pode ser devida ao maior grau de importância da limitação da humidade no lado Sul do dispositivo de ensaio, no que respeita ao crescimento de algas.

O declínio no aumento do crescimento de algas, observado no arenito de Cat Castle depois de 1 ½ anos, implica que o aumento no crescimento de algas sobre as fachadas dos edifícios, provocado pela limpeza por via química, também pode entrar em declínio depois de alguns anos. No entanto, conforme o tipo de pedra e a exposição, o efeito pode persistir durante muitos anos, especialmente nos arenitos ricos em ferro, e os efeitos de sujidade consequentes dos crescimentos de algas podem persistir durante mais tempo do que os efeitos nutrientes.



3. Conclusões

Nesta tese eu descrevi os factores que influenciam os crescimentos biológicos, especialmente os crescimentos de algas, sobre os arenitos dos edifícios, e investiguei como se podem monitorizar estes crescimentos e como é que os efeitos da limpeza da pedra ou dos tratamentos biocidas os podem influenciar.

Ficou claro, a partir desta investigação, que alguns métodos de limpeza da pedra podem afectar os crescimentos de algas nos arenitos dos edifícios. Nas circunstâncias aqui investigadas, o grau de rugosidade da superfície provocado pela limpeza abrasiva não parece provocar qualquer acréscimo no crescimento de algas. O factor mais importante que foi encontrado foram os resíduos de fosfatos provenientes de alguns métodos de limpeza por via química. Existe uma grande variação na quantidade de ácido fosfórico que é usado nos produtos químicos para limpeza. Claramente, as concentrações superiores têm o potencial de provocarem aumentos nos crescimentos de algas de alguns edifícios, durante alguns anos e, nos tipos de pedras mais vulneráveis, seria preferível escolher-se outro método que contivesse a menor quantidade de ácido fosfórico que fosse necessária. Não ficou claro se a adição de ácido fosfórico aos produtos químicos de limpeza é mesmo necessária, e se o for, qual a concentração requerida. Esta questão deve ser mais investigada.

Também é claro que a prestação dos biocidas varia, principalmente, conforme o seu tipo químico, a sua concentração e a natureza do arenito. Não tem sido realizado, praticamente, trabalho nenhum sobre a interacção dos biocidas com os arenitos, o que é claramente necessário se pretendemos desenvolver tratamentos melhorados.

Para além dos factores que aqui foram investigados em pormenor, muitos outros factores estão envolvidos no controlo da colonização e no crescimento das algas sobre os arenitos dos edifícios. É de se esperar que a alteração destes factores aumente ou diminua a quantidade dos crescimentos biológicos sobre a pedra dos edifícios. Alguns destes factores, tais como as condições climáticas (chuva, humidade, etc.) são incontroláveis. A deposição de poluentes atmosféricos também pode ser encarada, geralmente, como um fenómeno incontrolável no que respeita aos edifícios individuais, apesar de a poluição proveniente de origens localizadas poder ser controlada, sob certas circunstâncias. Outros factores são as condições impostas pelo projecto do edifício, e são essencialmente inalteráveis; elas incluem o tipo de pedra, as direcções da exposição (Norte, Sul, etc.) e a orientação da superfície (vertical, inclinada, horizontal). Alguns outros factores, que são condições do projecto do edifício, podem ser alteráveis (controlo dos escorrimentos pela manutenção do algerozes e dos tubos de queda). Um certo número de factores é controlável ou alterável. Os crescimentos biológicos sobre a fachada de um edifício podem ser controlados, durante períodos curtos, pela aplicação de regas biocidas. Se os crescimentos biológicos forem, em grande parte, consequência da retenção de humidade provocada pelo sombreamento da fachada de um edifício, proveniente de vegetação sobreposta, então esta pode ser aparada ou removida.

A limpeza da pedra também pode alterar algumas das características dessa pedra, de formas tais que podem afectar o crescimento de algas e de outros organismos. A remoção da sujidade pode reduzir os níveis de algumas toxinas (por exemplo, sulfato) e de alguns nutrientes (por exemplo, hidrocarbonetos) na superfície da pedra. A rugosidade da superfície provocada pela limpeza abrasiva pode afectar a susceptibilidade de uma superfície aos crescimentos biológicos. Os resíduos das limpezas químicas podem aumentar o crescimento de algas e de líquenes pela oferta de nutrientes cujas reservas sobre a superfície da pedra são, normalmente, limitadas.

Em conclusão, os crescimentos biológicos incluindo algas, líquenes, fungos e bactérias podem colonizar qualquer superfície apropriada, a qualquer momento. Os crescimentos biológicos podem ser controlados pela aplicação de biocidas, apesar de ser provável que sejam necessárias reaplicações regulares, ao fim de alguns anos, e de não serem claras as suas consequências a longo prazo. Alguns métodos de limpeza por via química têm demonstrado que encorajam os crescimentos biológicos nos arenitos dos edifícios e que podem aumentar o crescimento das algas e dos líquenes numa fachada durante alguns anos, a seguir ao seu tratamento. Qualquer tratamento que tenha o potencial de aumentar o crescimento de algas ou outros, sobre as fachadas, deve ser, obviamente, usado com muito cuidado. Apesar de alguns crescimentos biológicos, tais como as algas, poderem ser considerados como esteticamente prejudiciais para a aparência de um edifício, eles não provocam, necessariamente, danos físicos significativos à pedra, e alguns crescimentos, tais como os líquenes, podem proporcionar uma aparência madura a uma fachada. Embora, sob certas circunstâncias, possa ser apropriado tratar-se os crescimentos biológicos como prejudiciais para uma fachada, em muitas outras circunstâncias as tentativas para se controlarem ou removerem esses crescimentos resultam em mais danos para a pedra do que se eles fossem deixados em paz. A sujidade e a degradação dos edifícios são processos naturais e nós só podemos esperar, na melhor das hipóteses, abrandar esses processos, nunca detê-los.

4. Referências

Bachmann, E., 1915.

Kalklösende Algae. *Ber. dtsh. Bot. Ges.* **33**, 45-47.

Bluck, B.J. and J. Porter, 1991.

Sandstone buildings and cleaning problems. *Stone Industries*. **March 1991**. 21-27.

BRS Digest 139, March 1972.

Control of lichens, moulds and similar growths. HMSO.

BRE Digest 370, March 1992.

Control of lichens, moulds and similar growths. HMSO.

Darlington, A., 1981.

Ecology of Walls. London: Heineman.

Dobson, F.S., 1992.

Lichens: An Illustrated Guide to the British and Irish Species. Richmond Publishing Co. Ltd., Slough.

Eckhardt, F.E.W., 1978.

Micro-organisms and the weathering of a sandstone monument. In: W.E. Krumbein, ed., Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology. Mich. USA: Ann Arbor Science. pp 675-686.

Fry, E.J., 1924.

A suggested explanation of the mechanical action of lithophytic lichens on rock (shale). *Annals of Botany*. **38**, 175-196.

Fry, E.J., 1927.

The mechanical action of crustaceous lichens on substrata of shale, schist, gneiss, limestone and obsidian. *Annales of Botany*. **41**, 437-460.

Grant, C, 1982.

Fouling of terrestrial substrates by algae and implications for control - a review. *International Biodeterioration Bulletin*. **18(3)**, 57-65.

Grant, C. and A.F. Bravery, 1985a.

Evaluation of algicidal biocides for use on constructional materials. 3. Use of the vermiculite bed technique to evaluate toxic washes, surface coatings and surface treatments. *International Biodeterioration*. **21**, 285-293.

John, D.M., 1988.

Algal growth on buildings: a general review and methods of treatment. *Biodeterioration Abstracts*. **2(2)**, 81-102.

Jones, D. and M.J. Wilson, 1985.

Chemical activity of lichens on mineral surfaces - A review. *International Biodeterioration*. **21(2)**, 99-104.

Knight, R.P., 1777.

Diary of a Journey to Sicily.

Krumbein, W.E and B.D. Dyer, 1985.

This planet is alive - Weathering and biology, a multi-faceted problem. In: J.I. Drever, ed., *The Chemistry of Weathering*. D. Reidel Publishing Company. pp 143-160.

Krumbein, W.E., 1993.

Colour changes of building stones and their direct and indirect biological causes. In: J. Delgado Rodrigues, F. Henriques and F. Telmo Jeremias, eds., *Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Lisbon. Portugal. 1992. Lisbon: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. pp 443-452.

Liebig, J., 1853.

Über den Thierschit. *Ann. Chem. Pharm.* **83**, 113-115.

MacDonald, J., 1993.

The effects of commercial chemical cleaning processes on sandstones in Scotland. PhD Thesis. The Robert Gordon University, Aberdeen.

Mehta, A., A.E. Torma, L.E. Murr and V.K. Berry, 1978.

An SEM characterization of biodeterioration of an aluminium-bearing (basalt) rock by fungi. *Scanning Electron Microscopy*. Vol 1. SEM Inc., AMF O'Hare, IL 60666. 171-176.

Meincke, M., E. Krieg and E. Bock, 1989.

Nitrosovibrio spp., the dominant ammonia-oxidising bacteria in building sandstone. *Applied and Environmental Microbiology*. **55**, 2108-2110.

Nienow, J.A., C.P. McKay and E.I. Friedmann, 1988.

The cryptoendolithic microbial environment in the Ross Desert of Antarctica: Light in the photosynthetically active region. *Microbial Ecology*. **16**, 271-289.

Nord, A.G. and K. Tronner, 1993.

Characterisation of thin black layers. In: J. Delgado Rodrigues, F. Henriques and F. Telmo Jeremias (eds). *Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone*. Lisbon, Portugal. 15-18 June 1992. pp 217-225.

Nord, A.G. and T. Ericsson, 1993.

Chemical analysis of thin black layers on building stone. *Studies in Conservation*. **38**, 25-35.

Paine, S.G., F.V. Linggood, F. Schimmer and T.C. Thrupp, 1933.

The relationship of micro-organisms to the decay of stone. *Philosophical Transactions of the Royal Society*. Series B. **222**, 97-127.

Pochon, J. and Y-T. Tchan, 1948.

Role de bacteries du cycle du soufre dans l'alteration des pierres des monuments. *Comptes Rendus des Seances de l'Academie des Sciences*, Paris. **226**, 2188-2189.

Raistrick, A. and O.L. Gilbert, 1963.

Malham Tarn House: Its building materials, their weathering and colonisation by plants. *Field Studies*. **1**, 89-115.

Richardson, B.A., 1973.

Control of biological growths. *Stone Industries*. **8(2)**, 2-6.

Seaward, M.R.D., 1979.

Lower plants and the urban landscape. *Urban Ecology*. **4**, 217-225.

Seaward, M.R.D., 1988.

Lichen damage to ancient monuments: a case study. *Lichenologist*. 20(3), 291-295.

Thiel, G.A., 1927.

The relative effectiveness of bacteria as agents of chemical denudation. *Journal of Geology*. 35, 647-652.

Urquhart, D.C.M., M.S. Jones, K.A. Nicholson, R. Wakefield and M.E. Young, 1995.

Biological growths, biocide treatment, soiling and decay of sandstone buildings and monuments. Report to Historic Scotland. ISBN 0 9517989 9 5.

Wainwright, I.N.M., 1986.

Lichen removal from an engraved memorial to Walt Whitman. *Association for Preservation Technology Bulletin*. 18(4), 46-51.

Wee, Y.C. and K.B. Lee, 1980.

Proliferation of algae on surfaces of buildings in Singapore. *International Biodeterioration Bulletin*. 16, 113-117.

Weise, W. and G. Rheinheimer, 1978.

Scanning electron microscopy and epifluorescence investigation of bacterial colonisation of marine sand sediments. *Microbial Ecology*. 4, 175-188.

Young, M.E., R. Wakefield, D.C.M. Urquhart, K.A. Nicholson and K.H. Tonge, 1995.

Assessment in a field setting of the efficacy of various biocides on sandstone. In: International Colloquium on Methods of Evaluating Products for the Conservation of Porous Building Materials in Monuments. Rome. 19-21st June 1995. ICCROM. pp 93-99.