



«<http://www.qub.ac.uk/geog/documents/research/weathering/usd.html>»

DEGRADAÇÃO DA PEDRA URBANA E DEPOSIÇÃO ÁCIDA : UMA INTRODUÇÃO AO PROBLEMA E ÀS SUAS CAUSAS

B.J. Smith* & J.P. McGreevy+

* School of Geography, Queen's University Belfast, Belfast
+ Conservation Laboratory, The Ulster Museum, Belfast



Um dos maiores problemas ambientais que presentemente enfrentamos, e sobre o qual tem havido um intenso debate, assim como sobre as respectivas causas, é o problema da chuva ácida. Geralmente tem-se concentrado a atenção sobre os efeitos adversos da queda da chuva acidificada sobre os solos, as árvores, os rios e os lagos. Mas sobra, no entanto, uma muito significativa área de impacto que não tem recebido publicidade equivalente – trata-se da “degradação¹ da pedra urbana”. No entanto, gastam-se anualmente em toda a Europa o equivalente a centenas de milhões de euros na limpeza e renovação de edifícios e de monumentos insubstituíveis, que se permite estarem a ser literalmente arruinados e dissolvidos pela chuva. Neste “tutorial” descreve-se a química básica da degradação, assim como os principais processos de degradação por dissolução e por ataque pelos sais. São discutidos os factores ambientais e as características das rochas que controlam a sua susceptibilidade e os seus teores de degradação, e são ilustrados e explicados os casos típicos de degradação ambiental.

Degradação da pedra e poluição atmosférica

A pedra natural é um dos nossos materiais de construção mais antigos, e é frequentemente olhada como um símbolo de permanência. No entanto, ela não é absolutamente durável e a exposição ao ambiente, ao longo de muitos milhares de anos, provoca o aparecimento de uma eventual desagregação. A velocidade com que essa desintegração ocorre varia de acordo com o tipo de pedra e com as condições ambientais, pelo que deve ser recordado que cortar-se e colocar-se uma pedra numa edificação não a imuniza contra os processos naturais de degradação ambiental. Contudo, tornou-se evidente durante o último século que, em ambientes poluídos, os teores de degradação da pedra são fortemente acelerados, pelo que a expectativa de vida natural dessa pedra pode ficar drasticamente reduzida desde os milhares de anos para apenas dezenas, em certos casos e em certos ambientes urbanos.

Actualmente, o principal responsável por esta aceleração da degradação da pedra é considerado ser a chuva ácida. A chuva ácida ocorre quando certos poluentes – principalmente óxidos de enxofre provenientes da queima do carvão e do petróleo para fins domésticos e industriais, e óxidos de azoto provenientes dos escapes dos veículos, se combinam à luz do sol com a humidade atmosférica para formarem um cocktail de químicos que inclui ácidos sulfúrico e azótico. Para esta chuva ácida também podem contribuir partículas poluentes (por ex. partículas de carvão não queimado e de cinzas volantes) que caem no terreno sob a forma de “deposição seca”, a reacção de gases com a pedra molhada e a chamada “deposição oculta” consequente do orvalho e do gelo. Todos eles se combinam para criarem o fenómeno da deposição ácida. A deposição oculta é particularmente importante para os edifícios, porque é tipicamente mais ácida do que a própria chuva ácida, podendo atacar as zonas resguardadas que não são atingidas pela queda da chuva e porque podem ser produzidos sais potencialmente prejudiciais pela sua reacção com a pedra, os quais não são facilmente removidos por lavagem.

¹ N.T. - Alguns autores preferem o termo “decaimento”.



Poluição atmosférica por cima de Belfast encurralada sob uma inversão de temperatura

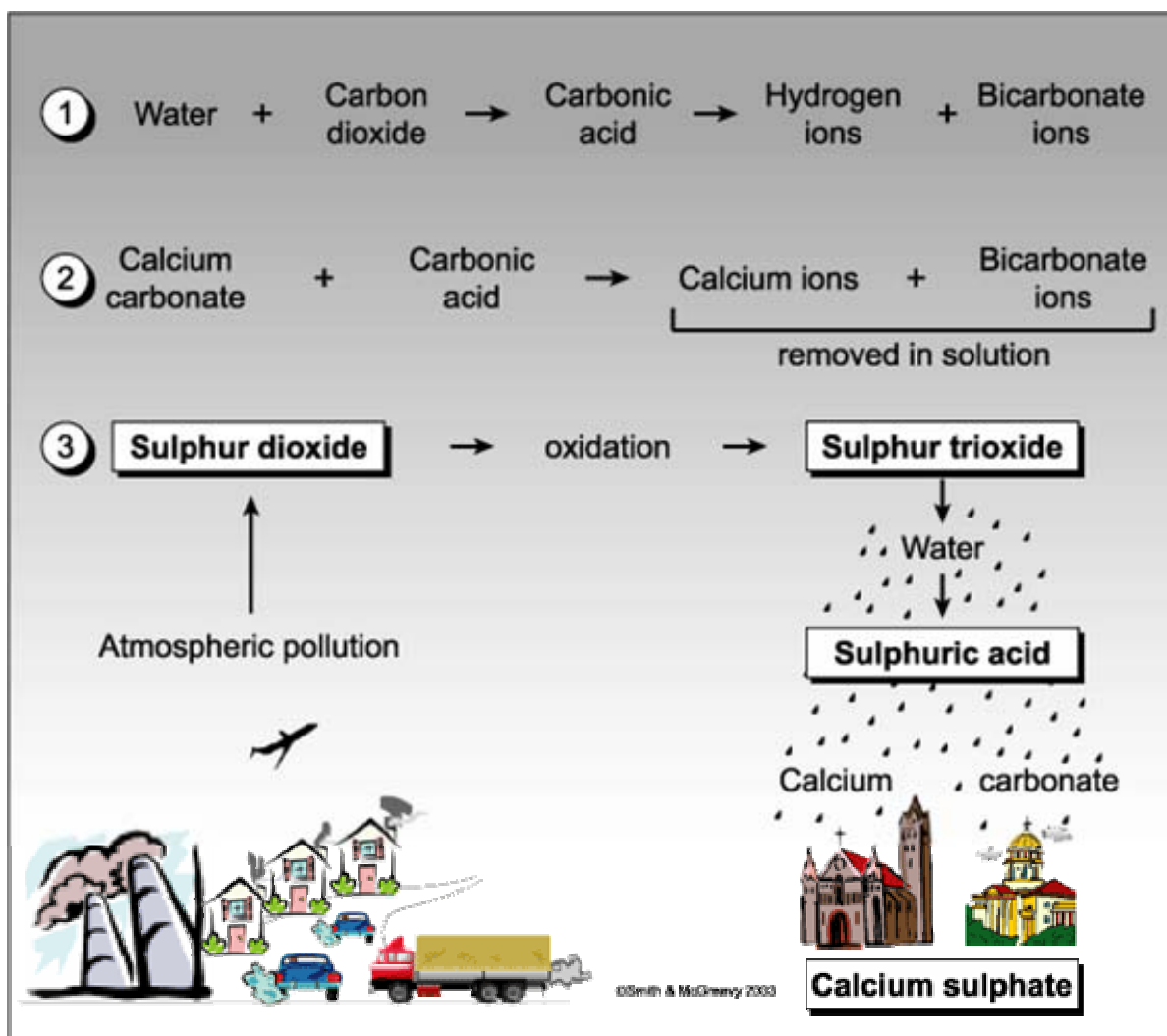
Contrariamente a outros efeitos adversos da chuva ácida, tais como a destruição das florestas e a acidificação dos lagos e rios, a degradação da pedra não está normalmente associada ao transporte da poluição a longa distância. Pelo contrário, é principalmente um fenómeno local concentrado dentro de um raio de poucos quilómetros em redor das fontes poluidoras, onde a deposição seca de poluentes é particularmente importante. No Reino Unido conseguiu-se algum aligeiramento deste problema pela legislação sobre a qualidade do ar. No entanto, a degradação da pedra ainda continua activa em resposta aos componentes menos visíveis da poluição atmosférica e às alterações dos padrões de poluição. O mais importante entre eles tem sido o aumento do tráfego rodoviário que provocou ao aumento da conspurcação local dos edifícios a partir da respectiva rua. A este deve ser adicionado o chamado "efeito de memória" provocado por anos de poluição acumulada, o qual continuar a promover a degradação durante muito tempo após a fonte dessa poluição ter sido eliminada.

Processos de degradação subjacentes

Os tipos de pedra que são mais obviamente susceptíveis à degradação pela chuva ácida são os calcários e os mármore, constituídos essencialmente por carbonato de cálcio. Esta condição é consequência de dois processos de degradação ambiental complementares poderem actuar simultaneamente sobre eles. O primeiro desses processos é a dissolução ambiental. A perda por dissolução não é exclusiva dos ambientes poluídos e também é provocada pela queda da chuva natural. Isto sucede porque a água da chuva é, conforme se mostra na Equação 1, um ácido fracamente carbónico formado pela reacção do dióxido carbónico com a humidade atmosférica. O carbonato de cálcio é solúvel no ácido carbónico e reage conforme a Equação 2.

Em ambientes poluídos, a acidez da chuva é aumentada e a sua actividade solvente intensificada. É este o caso particular no qual estão presentes na atmosfera óxidos de enxofre e se forma um ácido sulfúrico fraco (Equação 3). Se este cai sobre uma pedra que contenha carbonato de cálcio, reage com ela para produzir o sal conhecido como sulfato de cálcio, ou gesso. Tipicamente, a maioria deste gesso é removida pela chuva que escorre pela superfície do edifício, mas se parte dessa chuva se embeber na pedra ou ficar retida sobre a sua superfície e evaporar de seguida, o sulfato de cálcio pode cristalizar e contribuir para a desintegração física da pedra através de um processo conhecido como degradação ambiental salina.

Apesar de o gesso ser o sal mais vulgarmente produzido pela deposição ácida, não é de forma alguma o único. A grande variedade de tipos de pedra usados na construção e a complexidade química da deposição ácida significam uma larga gama de outros sais que também podem ser encontrados. Tal como no caso da dissolução ácida, a degradação ambiental salina também pode ser um processo de ocorrência natural e os seus efeitos podem ser claramente observados em muitos edifícios situados em ambientes costeiros. Os sais formados também podem ser dissolvidos posteriormente pela chuva ou pela água de percolação e transferidos para outros materiais de construção porosos. Nestas condições, materiais como os granitos, os arenitos não calcários, a ardósia, o tijolo, o betão, as argamassas, a madeira e as tintas que não contenham, por exemplo, carbonato de cálcio e que não são imediatamente susceptíveis ao ataque pela chuva ácida, também podem vir a ficar seriamente danificados. Graças a esta capacidade que todas as pedras têm para serem contaminadas, os danos consequentes da degradação ambiental ácida podem ser terminalmente mais dramáticos do que a perda de material por dissolução.



Degradação ambiental por dissolução

A dissolução é a forma mais directa da degradação urbana da pedra e é particularmente importante graças ao extensivo uso de calcários na maioria dos edifícios civis e religiosos, por exemplo, o uso de pedra de Portland importada para Belfast, destinada a edifícios como o City Hall e o Stormont. No entanto, a dissolução não se restringe apenas aos calcários puros, mas, nos arenitos quartzíticos formados com um cimento de carbonato de cálcio, os grãos de areia podem-se soltar e posteriormente destacar-se, conforme o cimento vai sendo dissolvido. Desta forma, a actividade química pode promover indirectamente a desintegração física da pedra.



Placa memorial em mármore

Os efeitos da dissolução são mais facilmente observáveis quando atacam estátuas e esculturas intrincadas, nas quais suavizam e arredondam todas as protuberâncias e arestas vivas. Em tais casos é, frequentemente, difícil avaliar-se até que ponto já avançou a remoção de pedra por dissolução. As pedras tumulares nos cemitérios urbanos podem, por vezes, ajudar-nos a compreender este fenómeno, ao proporcionarem-nos um ponto fixo ou uma data a partir da qual as medições podem ser feitas. As inscrições metálicas são especialmente úteis, já que podem ser usadas para se obter informação sobre as taxas de erosão da superfície. A imagem mostra uma placa memorial em mármore erigida em South Belfast em 1872,

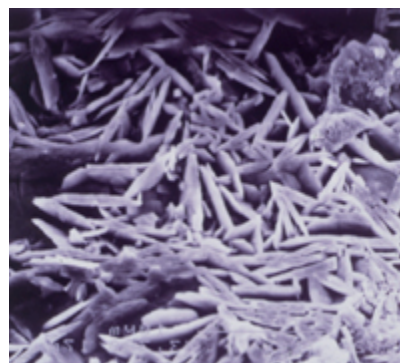
onde uma inscrição em chumbo, que originalmente foi fundida à face da superfície da pedra, está agora saliente desta. Em certos casos, as letras foram sub escavadas até um tal ponto que caíram. Pela medição da altura da letra acima da superfície da pedra, pode-se estimar o abaixamento da superfície ou a dissolução ocorrida desde 1872.

Infelizmente este tipo de medições apenas nos proporciona uma taxa média de dissolução durante um período de exposição total, e não podem mostrar quando é que essa taxa se alterou em resposta à, por exemplo, acidez da chuva. Para se examinar esta questão, poderia ser útil examinar-se uma série de superfícies com idades diferentes, localizadas na mesma zona. A taxa de dissolução também pode variar sobre uma mesma superfície. Na placa fotografada, por exemplo, parece ser maior perto da base, onde uma maior quantidade de água escorre sobre a pedra. A menos que se esteja especialmente interessado sobre as causas desta variabilidade pontual, para se poder calcular um valor médio será necessário efectuarem-se medições numa certa quantidade de pontos.

Degradação ambiental salina

A degradação ambiental salina tem sido alvo de atenção crescente por parte dos investigadores, nos anos mais recentes. A partir de observações em cidades e de estudos laboratoriais, tornou-se evidente que os danos causados pela degradação ambiental salina ocorrem de uma forma não muito diferente daquela que tem lugar quando a água congela no interior da pedra. No entanto, actualmente parece que a degradação ambiental salina é, provavelmente, o mais importante agente da degradação da pedra nas cidades. Isto é assim porque a cristalização de sais e os danos a ela associados podem ocorrer sempre que uma pedra contaminada com sais é molhada e depois seca, enquanto que o congelamento ocorre com uma frequência relativamente pequena e muitas pedras não são susceptíveis à dissolução.

Existem diversos mecanismos pelos quais os sais podem danificar as pedras. Quando as pedras são molhadas pela chuva ou pela condensação, os sais são dissolvidos e transportados para o interior dos poros. Assim que a secagem começa, a evaporação origina o crescimento de cristais, o qual pressiona os grãos circundantes. Enquanto a solução de sais dentro das bolsas de cristais se mantiver saturada, estes continuarão a crescer contra a pressão confinante da pedra envolvente. Os humedecimentos e secagens repetidos e as resultantes expansões e contracções podem, eventualmente, conduzir a uma rotura física da pedra. Para além das pressões de cristalização, existem sais, entre eles o sulfato de cálcio, que reagem a variações críticas de temperatura e de humidade relativa, pela absorção ou libertação de moléculas de água. Esta hidratação e desidratação obriga os sais a expandirem e contraírem, o que também pode exercer pressões sobre a pedra envolvente. O que torna este mecanismo importante é que esses limiares de temperatura e de humidade podem ser atravessados diversas vezes durante um só dia, produzindo numerosos ciclos de expansão e contracção que levam à fadiga da pedra. Finalmente, se os poros estiverem cheios com sais que tenham elevados coeficientes de expansão térmica, mais elevados que o da pedra, o subsequente aquecimento irá obrigar os sais a expandirem mais rapidamente e a exercerem pressão sobre a pedra envolvente. Existem algumas dúvidas sobre a real eficácia da expansão térmica diferencial, mas ela pode perfeitamente contribuir para o colapso, mesmo que outros mecanismos também estejam presentes.



Cristais de gesso formados sobre a superfície de um calcário

Degradação ambiental biológica



Crescimento de algas sobre um arenito dois anos após limpeza



Crescimento de algas sobre pedra de Portland (sazonal)

Para além da tradicional ênfase posta na dissolução e na degradação salina, começa-se agora a prestar atenção aos potenciais danos que os agentes biológicos podem provocar na pedra, através de processos descritos colectivamente como "biodegradação". O mais evidente exemplo desta, apesar de na realidade ser algo raro, é a perturbação física provocada pelas raízes das plantas que se deixam crescer por uma fachada acima. De maior significado geral são os mecanismos que operam a uma microescala. Neles se incluem as cianobactérias que digerem eficientemente os minerais, bem como a colonização por algas e fungos que favorece a dissolução das pedras.

Os efeitos respectivos podem ser vistos sobre calcários, onde as algas que vivem à superfície (exogénicas) podem estar associadas com a característica perfuração da superfície. Algumas algas (endogénicas) podem viver dentro da pedra desde que alguma luz do sol consiga penetrar a camada superior desta, e podem contribuir para a degradação da pedra a partir do seu interior.

Muitas vezes, o sinal mais óbvio de actividade orgânica é o crescimento de líquenes. Existe alguma controvérsia sobre os efeitos que estes têm sobre a pedra. Uma escola de pensamento aponta para o favorecimento da dissolução da pedra nos espaços livres entre eles e a remoção de grãos quando o líquen seca e retrai periodicamente. Outros assinalam que os líquenes tendem a estar associados a superfícies de pedra estáveis, e que, por vezes, eles estão situados a um nível mais elevado do que a pedra circundante, como se protegessem a superfície subjacente contra o ambiente e a erosão.

Um efeito adicional da colonização por algas e fungos é que eles tendem a formar películas sobre a superfície da pedra que bloqueiam os respectivos poros e inibem a sua capacidade para "respirar". Em particular, qualquer humidade que, mesmo assim, consiga penetrar, vai secar mais lentamente, a pedra vai permanecer humedecida durante mais tempo e quaisquer sais dissolvidos podem penetrar mais profundamente. Este último ponto é uma ilustração adicional da forma como todos os processos estão interligados e

actuam frequentemente em sequência ou em conjunto para produzirem a degradação.

Relacionamento entre a degradação e o tipo de pedra

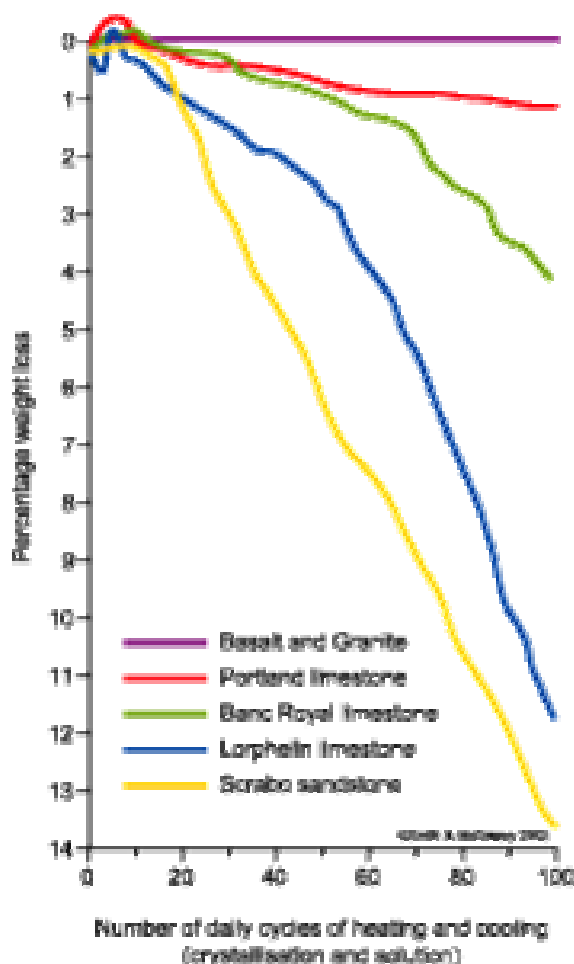
Até aqui concentramos a nossa atenção na importância do clima ou dos factores externos sobre a degradação da pedra, tais como a acidificação da chuva. No entanto, devemos considerar também um importante factor – a própria pedra. Isto porque diferentes tipos de pedra podem responder a condições climáticas similares de maneiras bastante diferentes.

Este facto é mais óbvio quando os minerais que constituem uma determinada pedra são mais ou menos susceptíveis a diferentes processos químicos. No entanto, todas as pedras respondem de forma diferente aos processos físicos de degradação ambiental. Estas diferenças podem ser facilmente examinadas através de experiências simples, nas quais são usados ciclos repetidos de humedecimento e secagem, com soluções de sais, para se degradarem pequenos blocos de pedra sob condições laboratoriais. No final de cada ciclo de humedecimento e secagem, os blocos são pesados e as susceptibilidades relativas destes tipos de pedras em estudo podem ser facilmente estabelecidos pela medição da progressiva perda de peso, com a finalidade de se estabelecer uma taxa de degradação ambiental.

No exemplo apresentado, seis tipos diferentes de pedra sofreram perdas de peso em quantidades variáveis, durante um ensaio de durabilidade. Pode-se encontrar uma explicação para estas diferenças nas diferentes propriedades das pedras. Provavelmente as mais importantes propriedades são a resistência física e, em especial, a porosidade definida em termos de número, dimensão e extensão da ligação entre poros. Estas propriedades podem, por sua vez, determinar a quantidade de solução de sais que pode ser absorvida, a que velocidade ela migra através da pedra e se ela consegue preencher ou passar de poro para poro, quando cristaliza. No ensaio apresentado, o basalto e o granito são tipos de pedra fisicamente robustas, que têm baixas porosidades ao redor dos 2%. Isto significa que elas podem absorver lentamente apenas uma pequena quantidade de solução, a partir da qual apenas se poderá formar um também pequeno número de cristais; portanto, poucos danos ocorrem. Os tipos de pedra muito susceptíveis são os fisicamente mais fracos calcário de Lorphelin e arenito de Scrabo, que têm valores de porosidade acima dos 20%. Esta permite que seja absorvida mais solução, que cresçam mais cristais e que aumentem os danos. O resultado deste ensaio demonstra que não apenas diferentes tipos de pedra, mas também diferentes variedades dentro do mesmo tipo variam no que respeita à sua susceptibilidade à degradação ambiental salina. Estas variações individuais de desempenho são explicáveis em termos de diferenças de porosidade, mas noutros casos, outros factores, talvez relacionados com a estrutura e com a resistência da pedra, podem assumir uma grande importância.

Um ensaio semelhante, usando uma solução saturada de sulfato de sódio, é um dos mais largamente aplicados e reconhecidos métodos para a avaliação da durabilidade da pedra e para a selecção do tipo de pedra apropriado para uma construção ou para um ambiente em particular.

Disintegration curves of different rocks weathered using a solution of NaCl



Implicações da estrutura da pedra sobre a sua degradação

Para além das diferenças relacionadas com o tipo de pedra usada num edifício, a degradação ambiental pode ser vista algumas vezes a actuar diferenciadamente nas superfícies da pedra, como resultado de irregularidades da estrutura desta – a forma como os diferentes componentes de uma pedra estão arrançados relativamente entre si.



*Newtownards Town Hall
(Câmara Municipal)- antes
da substituição da pedra*

A característica estrutural da pedra que melhor ilustra esta ideia é constituída pelos planos de sedimentação. Os planos de sedimentação estão especialmente bem constituídos e podem ser claramente vistos nos arenitos, mas também podem ser encontrados em alguns calcários. Por exemplo, quando um bloco de pedra que contenham planos de sedimentação é colocado numa parede, os leitos podem ficar orientados em três possíveis posições : horizontalmente (assentamento normal,) verticalmente e paralelos às juntas verticais (assentamento de junta), ou verticalmente e paralelos à face da parede (assentamento de face). Nos dois primeiros casos não é invulgar, olhando-se de perto para os edifícios, verem-se blocos de pedra que apresentam uma aparência “enrugada” consequente da degradação preferencial dos estratos mais fracos. No entanto, a degradação é frequentemente mais acentuada quando os blocos de pedra estão assentes de face. Os pedreiros deveriam evitar sempre esta situação, mas mesmo assim é vulgarmente encontrada em consequência de falta de cuidado, ou de dificuldades no estabelecimento da presença ou da orientação dos planos de sedimentação. Isto cria um problema porque os planos de ligação entre estratos de sedimentação comportam debilidades naturais que são prontamente exploradas pelos agentes da degradação.

O efeito que os planos de sedimentação podem produzir sobre as taxas e sobre os padrões de degradação está ilustrado na imagem por uma parede compreendendo blocos de um arenito muito estratificado. Os blocos foram claramente degradados a diferentes taxas, segundo a orientação dos seus planos de sedimentação. Alguns dos blocos foram, por exemplo, assentes com os seus planos de sedimentação paralelos à face da parede (assentamento de face) e estes foram profundamente e rapidamente escavados pelo contínuo destacamento de camadas completas de pedra, consequente do crescimento de cristais de sais.

Degradação da pedra e condições ambientais locais

Além de ser influenciada pelas propriedades da rocha, a degradação urbana da pedra também é afectada por uma larga gama de factores locais relacionados com a exposição das superfícies da pedra. A importância do grau de exposição da pedra às condições ambientais provém da sua relação com os padrões de humedecimento e secagem e de aquecimento e arrefecimento. Por sua vez, estes influenciam factores tais como a frequência da cristalização de sais e, finalmente, a velocidade a que a pedra se degradar.



*Conspuração diferencial de
um arenito controlada pelo
aspecto*

A mais óbvia e, discutivelmente, mais importante implicação a este respeito é o “aspecto”, ou seja, a orientação da face da parede onde se situa a superfície da pedra. O aspecto vai determinar, por exemplo, a duração e a intensidade da exposição à radiação solar incidente e as repostas da pedra a ela associadas, tais como a temperatura máxima da superfície e a variação diária dessa temperatura. Por sua vez, esta resposta vai controlar as tensões físicas sofridas pela pedra através das repetidas expansões e contracções. As consequências destes factores podem não ser, no entanto, simples ou directas. Por exemplo, é vulgar observar-se, nas Ilhas Britânicas, uma degradação superior nas fachadas sombrias e viradas a norte dos edifícios. Isto pode sugerir que o “tempo de molhagem” e a capacidade que as soluções de sais têm para se impregnarem numa pedra podem ter um significado igual, senão maior, do que as elevadas tensões de origem térmica, na formação de muitos tipos de degradação. Um outro factor influenciado pelo aspecto é a exposição da pedra relativamente à direcção dos ventos predominantes. É um factor importante por um bom número de razões, muito especialmente porque é conhecido que a chuva batida pelo vento é especialmente eficiente a molhar a pedra. O padrão do fluxo de ar em redor de um edifício também vai influenciar as taxas de evaporação e de deposição de partículas poluentes sobre a alvenaria. A forma do edifício, por sua vez, influencia o fluxo de ar e mesmo diferenças subtis na pormenorização da superfície podem ter um efeito preponderante nos padrões de conspurcação.

Reconhecimento da degradação ambiental salina



A rotura das superfícies da pedra pelos sais manifesta-se sob diversas formas. Um caso comum, que representa vulgarmente uma fase prematura da rotura, é conhecido por delaminação de contorno. Um exemplo deste fenómeno é mostrado aqui numa pedra tumular em arenito. A inscrição claramente legível indica que a superfície escurecida da pedra está globalmente saudável e que a pedra tumular se manteve durante muitos anos sem nenhuns sinais evidentes de degradação. Depois deste período de aparente estabilidade, partes da camada superficial acabaram por se destacar para revelarem uma eflorescência branca de cristais de gesso.

Apesar de numerosos ensaios levados a cabo para se estudarem as susceptibilidades relativas de diferentes pedras à degradação salina, e as relativas eficiências dos diferentes sais, pouco trabalho laboratorial foi empreendido para se estudarem os verdadeiros padrões da rotura da pedra. Por esta razão, não podemos afirmar com um mínimo de segurança porque é que fenómenos como a delaminação de contorno ocorrem. Uma possibilidade é que, por humedecimento, os sais da pedra, tais como o gesso, tendem a migrar em dissolução para uma profundidade uniforme (a frente de humedecimento), onde alguns deles cristalizam se a pedra secar rapidamente por fora. A repetição desta sequência de acontecimentos promove a acumulação de sais a essa profundidade e, eventualmente, faz com que a superfície da pedra seja destacada sob a forma de uma lasca coerente. A presença de cristais de gesso por baixo desta lasca traz algum suporte a esta explicação.

Também tem sido sugerido que se a pedra secar mais lentamente, as soluções de sal migram mais provavelmente para fora, através da pedra, antes da evaporação e que, por seu lado, os sais se acumulam mais provavelmente na superfície da pedra ou logo abaixo desta. Nestas condições, a pedra fica susceptível de entrar em rotura, quer por degradação granular, se for de natureza granular ou cristalina, quer pelo desenvolvimento de finas escamas de pedra, se for mais homogénea.



Cristalização de sais em “favos de abelha”

Normalmente, pode levar muitos anos para os sais se acumularem e para se acumularem as tensões geradas sob a superfície da pedra, antes que sejam visíveis quaisquer sinais de degradação. No entanto, uma vez que a superfície tenha sido destruída, a degradação pode ser acelerada, já que a desintegração granular e a descamação múltipla atacam a pedra sub-superficial, a qual já se encontra previamente enfraquecida. Isto pode levar ao desenvolvimento de perfurações ou vazios de dimensões consideráveis – frequentemente referidos como “favos de abelha”². Os vazios podem começar inicialmente pela exploração de um ponto de fraqueza dentro da rocha – por exemplo, uma área que é mais porosa ou cimentada menos fortemente. Uma vez que seja formada uma pequena perfuração, ela cria o seu próprio microclima sombrio, o qual é indutor da degradação salina porque vai encorajar a acumulação de sais e a retenção de humidade. Desta forma, as perfurações crescem através de um processo de “reação positiva”; a forma mais extrema desta degradação ambiental pode ser vista quando são rapidamente desgastados e desaparecem blocos de pedra inteiros.

Os vazios são muito semelhantes a acontecimentos naturais conhecidos como “tafoni” que se encontram em rochas situadas em muitas áreas costeiras e desérticas. Nestes ambientes, os “tafoni” são considerados serem diagnósticos de degradação salina e, mais uma vez, aqui podemos encontrar as fortes ligações entre a degradação ambiental da pedra em ambientes urbano e a degradação ambiental natural das rochas.

Sujidade e danos estéticos nos edifícios

Tal como constitui uma contribuição maior para a dissolução, fissuração e desagregação da pedra dos edifícios nas cidades, a poluição atmosférica pode afectar a sua aparência, ao provocar o aparecimento de manchas e o escurecimento das superfícies – uma forma de “poluição visual”. Este efeito é mais visível nas superfícies que não estão directamente expostas à chuva ou que apenas são molhadas pouco frequentemente. A queda de chuva sobre a superfície das pedras provoca alguns danos, mas também tende a conservar a pedra numa condição relativamente limpa. Em áreas dos edifícios que estão protegidas contra a chuva, as abundantes partículas de poeira e de fuligem da atmosfera urbana aderem à pedra produzindo uma aparência anti-estética e disfarçando a pormenorização arquitectónica.

A forma mais vulgar de sujidade acontece quando as partículas de poluição incorporadas numa camada de gesso, cristalizado a partir da pedra subjacente, são espalhadas sobre uma pedra não calcária a partir de um calcário adjacente ou de uma junta de argamassa, ou ainda quando essa sujidade é formada pela



Crosta negra sobre uma fachada em pedra calcária - Liverpool

² NT – Alveolização.

precipitação de gesso a partir da própria poeira. Forma-se, então, o que geralmente se refere como crostas negras, apesar de, na realidade, elas poderem assumir qualquer tonalidade desde o cinzento claro até ao negro e, especialmente em localizações abrigadas, poderem crescer em formações espessas. O padrão exacto de sujidade é influenciado pela forma do edifício e pelas estruturas vizinhas, as quais, por sua vez, influenciam os padrões do fluxo superficial do ar.

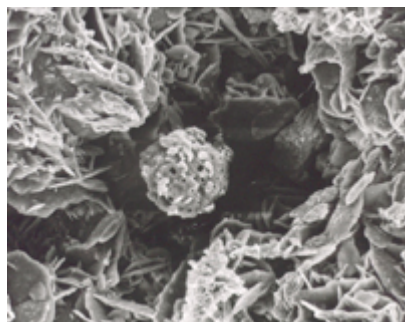


Imagem ao microscópio electrónico de varrimento mostrando um pormenor de uma crosta negra de gesso incluindo uma partícula esférica de cinza volante

A sujidade é imediatamente óbvia para os proprietários dos edifícios e é a principal razão pela qual eles pagam a sua conservação. Existe, no entanto, um debate sobre até que ponto as crostas negras apresentam uma ameaça para a estrutura física dos edifícios. Algumas pessoas afirmam que ela é um reservatório de sais potencialmente prejudiciais e que deve ser removida tão depressa quanto possível. Em contradição com elas, outras vêem a sujidade como sendo um meio relativamente benigno de conservar coesa uma pedra que, de outra forma, seria friável. Tal como na maioria dos debates, ambos os pontos de vista têm os seus méritos. O que fica claro é que o impacto de uma crosta negra depende muito do tipo de pedra em questão e que cada edifício deve ser encarado como um caso individual. Existe também uma discussão cultural por resolver, sobre se o património edificado deve reflectir a sua história de exposição ambiental ou se, pelo contrário, nos devemos preocupar apenas em manter os edifícios ou em os revertermos à sua aparência original.

As crostas negras não são a única origem da sujidade superficial e, por exemplo, muitos arenitos exibem manchas por óxidos de ferro. Estes são, nalguns casos, trazidos à superfície em dissolução, a partir do interior da pedra, ao longo de muitos anos, e precipitados por evaporação ou, em certos casos, podem ser mobilizados e precipitados por uma limpeza química inadequada. Em ambos os casos, a sua consequência imediata pode ser a produção de uma camada superficial de pedra endurecida à custa do enfraquecimento da pedra situada abaixo desta. Inicialmente, esta camada pode proteger a pedra contra a erosão, mas se por qualquer razão nela for aberta uma brecha, a pedra subjacente pode-se perder muito rapidamente. Por causa disto é importante que quando se limpam tais pedras, antes de tudo, não se usem químicos que possam mobilizar o ferro e depois, que se essa camada já existir, uma limpeza mecânica nunca a deverá afectar.

Outras causas de degradação da pedra

Seria errado sugerir-se que toda a degradação urbana da pedra é a directa consequência da chuva ácida. Já temos observado, por exemplo, que a chuva é naturalmente acidica e que pode ocorrer uma certa dissolução dos calcários, independentemente da poluição. Os edifícios situados em áreas costeiras também podem ser contaminados por sais provenientes dos aerossóis marítimos, e os efeitos do gelo não devem ser, de modo algum, esquecidos.

Deve-se também considerar que nem todos os sais que não sejam de origem marítima provêm da reacção da chuva ácida com a alvenaria calcária. A maior fonte alternativa de sais é consequente do anticongelante das estradas. Este sal pode persistir depois da sua aplicação e contribuir para a degradação da pedra ao nível das ruas. Os sais também se concentram nos edifícios que não tenham de

todo, ou que tenham uma barreira contra a humidade ascendente ³, embora defeituosa. Nesta situação os sais dissolvem-se na humidade do terreno e são conduzidos para cima pela evaporação, depositando-se como uma eflorescência superficial perto do nível do terreno. As argamassas e os cimentos podem-se alterar para formar gesso e contaminarem pedras que, de outra forma, seriam não calcárias, e as próprias argamassas podem conter sais onde, por exemplo, tiver sido usada uma areia da praia mal lavada.

Estas origens alternativas de sais podem ser localmente importantes para a degradação da pedra. Elas devem ser identificadas porque tendem a reflectir condições ambientais ou construtivas específicas. Mas a degradação ambiental salina provocada pela chuva ácida tende para ser mais abrangente e, questionavelmente, provoca uma maior contribuição global para a degradação da pedra nas cidades.



Cristalização de sais provenientes da água do solo

Finalmente, deve ser recordado que não existem limites para a ingenuidade pela qual os humanos vão encontrar formas de, intencionalmente ou inadvertidamente, danificarem a pedra. Para além dos problemas com limpezas inadequadas já mencionados, também devem ser referidos :



Descamação múltipla de um arenito brando restringido por uma argamassa dura

- Tratamentos com consolidantes que alteram a cor da pedra e / ou fecham os poros e impedem que a pedra "respire"
- Disposições construtivas para o escoamento da água da chuva deficientes, provocando cascatas de água a escorrerem sobre ou através da pedra
- Refechamento de juntas com argamassas duras, provocando a fractura de pedras menos rígidas
- Combinação inapropriada de pedras, por exemplo, contaminação de arenitos quartzíticos pelo gesso proveniente de escorrimentos de pedras calcárias assentes por cima desses arenitos
- Fracturas provocadas pela corrosão expansiva de fixações metálicas
- Danos consequentes de bombas e de tiros de armas de fogo.

A chave para o diagnóstico das causas de degradação está, portanto, na adopção de um espírito aberto, para se compreender que ela é muito raramente o produto de um processo operando isoladamente, e para se perceber que pode representar muitos anos de tensões e alterações acumuladas. Finalmente, devemo-nos recordar que a pedra não é imutável. As acções humanas podem acelerar a sua degradação, mas mesmo sem danos consequentes da poluição, as alvenarias exteriores estão sempre submetidas a processos de degradação ambiental natural e, por vezes, temos que aceitar que ela tem um tempo de serviço finito.

³ NT – "damp course".