

Bio

O processo de biodeterioração – degradação, por seres vivos, dos materiais rochosos naturais ou artificiais usados em construções – é hoje um dos maiores inimigos de monumentos históricos no Brasil e no mundo. Um estudo realizado na histórica cidade da Lapa, no Paraná, mostrou que o combate a esse processo pode ser feito de forma barata, eficiente e ambientalmente correta com o uso de substâncias químicas (os sulfatos de cobre e de zinco) capazes de controlar microrganismos que põem em risco a preservação do nosso patrimônio cultural.

Claudemira Vieira Gusmão Lopes,
Secretaria Estadual de Educação do Paraná
(claudemira.lopes@bol.com.br)

Francisco José Pereira de Campos Carvalho,
Antroposfera – Instituto para o
Desenvolvimento do Meio Ambiente
e Departamento de Solos e Engenharia Agrícola,
Universidade Federal do Paraná
(francisco.carvalho@ufpr.br)

e **Nadia Krieger,**
Departamento de Química,
Universidade Federal do Paraná
(nadiak@quimica.ufpr.br)

deterioração

ATAQUE DE MICRORGANISMOS A MONUMENTOS HISTÓRICOS

Os problemas causados pela falta de preservação adequada em monumentos históricos só costumam chegar ao conhecimento da maioria das pessoas quando acontece uma tragédia, como um incêndio ou um desabamento. Longe dos olhos da maioria, porém, ameaças silenciosas rondam permanentemente nosso patrimônio cultural: são microrganismos, entre eles fungos e bactérias, que, associados a outros fatores físicos e químicos, provocam desgaste nas rochas e minerais de casas, igrejas, teatros e outros prédios históricos.

Controlar esse processo, com o mínimo de impacto ambiental, é um dos maiores desafios dos profissionais da área de preservação. Esse é o objetivo de estudos feitos desde 1994 pela Universidade Federal do Paraná, em parceria com a Antroposfera – Instituto para o Desenvolvimento do Meio Ambiente. Uma contribuição para o esforço de combate à biodeterioração veio de pesquisa realizada pelos autores na cidade histórica da Lapa, no Paraná, de agosto de 2001 a junho de 2002. Esse trabalho revelou que o emprego de biocidas – os sulfatos de cobre e de zinco, no caso – pode ser uma alternativa econômica, eficaz e ambientalmente correta para o controle de fungos e bactérias em monumentos de pedra.

Lapa está situada no sudeste do Paraná, a 65km da capital estadual, Curitiba. É uma cidade

tranquila, com cerca de 40 mil habitantes e muita história para contar. Fundada em 1806, foi palco de acontecimentos importantes, entre eles a Revolução Federalista (de janeiro a fevereiro de 1894 a cidade resistiu ao cerco de tropas federalistas vindas do sul do país, impedindo seu avanço), e abriga um conjunto arquitetônico de grande valor, com prédios tombados pelos governos estadual e federal.

O estudo na Lapa envolveu duas construções históricas: o Theatro São João e a Casa da Cultura. De estilo neoclássico, o Theatro São João (figura 1) foi construído na segunda metade do século 19 (foi inaugurado provavelmente em 1876), com blocos de arenito retirados das rochas da região pelas mãos de trabalhadores escravos. Já a Casa da Cultura (figura 2) é uma construção de 1880 com paredes de estuque (feitas com pedras, irregulares ou trabalhadas, às vezes unidas por uma argamassa de areia e cal). A pesquisa detectou a presença de fungos e bactérias (figura 3) atuando na decomposição dos blocos de arenito usados em ambos os monumentos. ▶



Figura 1. O Theatro São João, na Lapa, uma relíquia histórica, foi um dos objetos de estudo da pesquisa sobre o controle da biodeterioração

Figura 2.
A Casa da Cultura, outro monumento histórico paranaense, também foi incluída no estudo sobre a biodeterioração



O que ocorre nessas duas construções repete-se, no Brasil e pelo mundo, em incontáveis edificações feitas de pedra que guardam a memória de uma população e de momentos políticos e sociais do passado. Trata-se do processo de biodeterioração, que, embora tenha efeitos bastante conhecidos (inclusive fazendo ruir construções aparentemente vigorosas), ainda não foi suficientemente estudado. Além disso, por falta de informação e de recursos financeiros, esse processo é muitas vezes agravado pela adoção de medidas inadequadas.

É comum, por exemplo, que os responsáveis pela limpeza e conservação de monumentos históricos empreguem métodos com resultado imediato e de baixo custo, mas que, em prazos mais longos, aumentam a infecção. É o caso das máquinas de limpeza com jatos d'água sob pressão. Inicialmente, o uso dessas máquinas dá às paredes infestadas uma aparência de extrema limpeza, mas a 'melhora' dura pouco e, com o tempo, o problema tende a se agravar. As causas são o aumento da umidade e os resíduos de produtos de limpeza que permanecem nos locais e colaboram para a biodeterioração, além de danificar a estrutura dos monumentos.

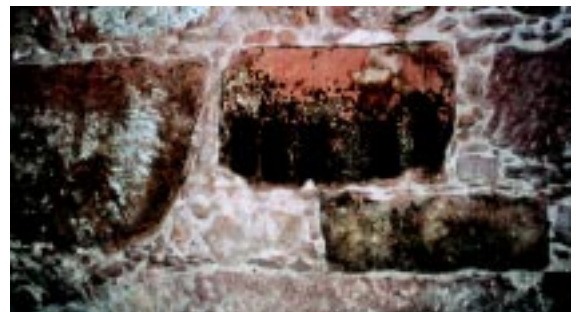
A biodeterioração pode ser definida como qualquer alteração indesejável nas propriedades de um material causada pela atividade vital de um organismo. Aliados a fatores físicos (como ventos e chuvas) e químicos (como a poluição atmosférica), os fatores biológicos são agentes importantes na decomposição de rochas e minerais que vão originar solos. Os mesmos processos que ocorrem na natureza (nas rochas de montanhas, por exemplo) atuam também na decomposição de pedras artificiais, como ladrilhos, concreto, telhas, tijolos e outros. Entre os agentes biológicos que participam do processo de biodeterioração estão algas, fungos e bactérias.

OS MECANISMOS DA BIODETERIORAÇÃO

Os agentes biológicos causam a deterioração dos materiais empregados nas construções humanas através de variados mecanismos. Entre eles está a excreção de ácidos inorgânicos (nitríco e sulfúrico, por exemplo), produzidos por bactérias quimiolitotróficas – as que usam gás carbônico (CO_2) como fonte de carbono e geram energia através da oxidação de compostos inorgânicos doadores de elétrons, como amônia (NH_4), dióxido de nitrogênio (NO_2) e ácido sulfídrico (H_2S). Outro meio é a excreção de ácidos orgânicos nas superfícies dos monumentos por fungos e por bactérias quimiorganotróficas – as que obtêm energia através da oxidação de moléculas orgânicas produzidas por outros seres vivos.

Sabe-se que a colonização e a contaminação de rochas das construções são basicamente controladas por impactos ambientais, como condições climáticas e fatores influenciados pelas condições do solo (fatores edáficos). Além disso, poluentes orgânicos e inorgânicos presentes no ar atmosférico, em especial hidrocarbonetos (compostos formados por carbono e

Figura 3.
Manchas escuras causadas por fungos e bactérias na parede de arenito no Teatro São João, minutos após o tratamento com sulfatos de cobre e de zinco



hidrogênio), aceleram a biodeterioração em rochas e pedras artificiais de monumentos históricos.

A aceleração se dá porque os microrganismos usam esses substratos orgânicos para aumentar sua população e atividade – e, em consequência, o processo de biodeterioração. Um exemplo é a ampliação considerável do crescimento dos biofilmes (biomassa de microrganismos aderida a superfícies) pela amônia ou matéria orgânica depositadas nos monumentos pelo vento e pela chuva, em áreas industriais ou de agricultura intensiva.

Os pesquisadores costumam dividir o processo microbiano de degradação das rochas em dois mecanismos: solubilização e insolubilização. A solubilização inclui os processos de acidólise, complexólise e alcalinólise. A acidólise é o processo em que ocorre uma ligação fraca entre os ácidos (carbônicos, nítricos, acéticos e outros) produzidos pelos microrganismos e os metais presentes nas rochas. A complexólise leva à constituição de complexos organometálicos ou quelatos, quando íons positivos são extraídos dos ácidos biogênicos por prótons (H^+). Já na alcalinólise um grande número de microrganismos toma parte na degradação de compostos nitrogenados, e a amônia produzida nessas reações aumenta o potencial hidrogeniônico (pH) local, o que induz a solubilização de minerais como a sílica, por exemplo. A insolubilização se dá quando os microrganismos absorvem elementos minerais, precipitando-os fora de suas células ou incorporando-os em seu interior, e estes agem como 'sequestradores' de íons. Com o tempo, essas substâncias alteram a constituição química das rochas e afetam suas propriedades (como solidez, permeabilidade e outras).

OS MICRORGANISMOS DESTRUIDORES

Vários microrganismos podem estar envolvidos no processo de biodeterioração: algas, fungos, bactérias, actinomicetos (bactérias cujas colônias têm a aparência de fungos) e cianobactérias (antes chamadas de algas azul-verdes ou algas azuis). Além destes, organismos não microscópicos também atuam na biodeterioração, como líquens (formados por associação entre um fungo e uma alga verde), insetos, musgos e mesmo animais e vegetais superiores – a pesquisa aqui descrita, porém, envolveu apenas microrganismos.

Algas e cianobactérias são organismos fotolitotróficos, pois utilizam a luz do Sol, através da fotossíntese, como fonte de energia para seu crescimento, e retiram da atmosfera o gás carbônico de que

necessitam. São encontradas em superfícies de rochas, expostas ou não, onde houver luz e umidade. Causam danos mecânicos, devido à dilatação das rachaduras nas rochas, e também produzem ácidos capazes de dissolver os carbonatos, sais constituintes de inúmeras rochas, desintegrando-as. Também podem liberar substância (aminoácidos, açúcares e outras) que estimulam o desenvolvimento de outros microrganismos, como bactérias quimiorganotróficas.

As bactérias são seres procariotas (não têm núcleo isolado por membranas) e unicelulares. Os dois grupos envolvidos na biodeterioração – as quimiolitotróficas e as quimiorganotróficas – excretam substâncias químicas (em especial ácidos) capazes de degradar e desintegrar a rocha. Os fungos, que com frequência colonizam superfícies de monumentos, podem ser unicelulares ou não. Todos são eucariontes (têm núcleo isolado) e heterótrofos, ou seja, não realizam fotossíntese e precisam retirar seu alimento do meio em que vivem. Em regiões de clima tropical, eles são os principais responsáveis pela biodeterioração, produzindo enzimas que degradam o substrato em que estão fixados e absorvem os compostos mais simples, sendo por isso chamados osmotróficos. Entre os fungos, os gêneros mais comuns em monumentos de pedra e afrescos (pintura feita em paredes e tetos ainda úmidos) são *Aspergillus* (figura 4), *Alternaria*, *Phoma*, *Cladosporium*, *Mucor*.

Os microrganismos que degradam rochas e pedras artificiais de monumentos têm sua origem na população microbiana (microbiota) do solo e do ar. Sob condições atmosféricas favoráveis, eles se desenvolvem sobre esses materiais e aceleram o processo de biodeterioração. Em pedras de monumentos já bastante degradados, a quantidade de fungos, bactérias e outros microrganismos pode se aproximar daquela encontrada em amostras de solos. A atividade biológica é um dos fatores mais importantes na solubilização das rochas, minerais e silicatos, incluindo o quartzo.

CONTROLE COM SUBSTÂNCIAS QUÍMICAS

Para controlar a biodeterioração de monumentos por fungos e bactérias são empregadas várias substâncias químicas. Publicações científicas do país e do exterior sugerem uma série de produtos adequados a essa finalidade, como enzimas, biocidas (bactericidas, fungicidas, algicidas), tensoativos e sabões, taninos, fenóis e gases (óxido de etileno, por exemplo). ▶

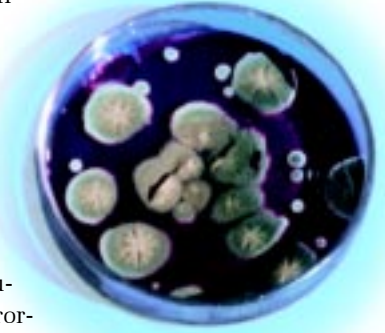


Figura 4. Colônias do fungo *Aspergillus fumigatus* em meio de cultura apropriado (meio de Martin)

Figura 5. Efeitos dos tratamentos sobre a população de bactérias 14 dias após a aplicação dos biocidas

Tempo (dias)	Tratamento (biocidas)	UFC (milhares/g)	Declínio (%)
14	Sulfato de cobre (2,5%) + sulfato de zinco (2,5%)	750	58
14	Sulfato de cobre (1,5%) + sulfato de zinco (2,5%)	310	72
14	Sulfato de cobre (0,75%) + sulfato de zinco (2,5%)	570	71
14	Sulfato de cobre (5%)	290	88
14	Sulfato de zinco (5%)	290	77
14	Testemunha	1.240	23

UFC = Unidade formadora de colônia

Além desses produtos, existem métodos naturais para o controle desses agentes biológicos. Se a rocha a ser tratada for uma rocha carbonatada, um método recente é a aplicação nos monumentos de bactérias capazes de fabricar carbonato de cálcio, que atua como protetor da superfície das pedras calcárias.

Na escolha do produto a ser usado, devem ser levados em conta os efeitos colaterais, como mudanças na coloração da pedra, corrosão, cristalização interna, danos ambientais e outros. Em geral, antes de definir que método será utilizado para controle, restauração e conservação, é necessário realizar um diagnóstico cuidadoso da deterioração sofrida pelo monumento, considerando os fatores climáticos, a população microbiana do solo e as condições de poluição atmosférica.

Entre os produtos que podem ser usados destacam-se os fungicidas à base de cobre, amplamente empregados na horticultura, fruticultura e cafeicultura, por serem capazes de inibir muitos processos enzimáticos dos microrganismos. Pesquisadores

como a microbióloga Maria Aparecida Resende, da Universidade Federal de Minas Gerais, dizem que o cobre é muito usado por profissionais da área da preservação por ser uma substância extremamente tóxica às células dos microrganismos, em especial devido ao sinergismo (efeito combinado) com diferentes substâncias orgânicas. Além disso, o cobre apresenta propriedades oligodinâmicas, ou seja, tem efeito letal sobre bactérias e fungos mesmo em doses baixas.

COMO ESTUDAR A BIODETERIORAÇÃO

Os microrganismos responsáveis pelo processo de biodeterioração devem ser separados em grupos: os que formam alterações visíveis, como algas e fungos, e os que, embora sem efeitos visíveis, provocam desagregação do material através de suas reações metabólicas, como algumas bactérias e alguns fungos.

Diante de uma alteração, como uma mancha escura na pedra, supostamente de caráter biológico, o pesquisador deve fazer um diagnóstico, observando e fotografando as manchas e desagregações, identificando possíveis diferenças na coloração dos pigmentos existentes na rocha e procurando sinais de eflorescências (depósitos esbranquiçados e pulverulentos de sais minerais formados pela evaporação da água). Além disso, deve verificar as condições ambientais (temperatura, umidade, poluição atmosférica e outras) a que estão sujeitos os objetos de estudo.

A partir daí pode-se definir o procedimento de análise que permitirá determinar as causas da biodeterioração. Na medida do possível, devem ser associadas análises químicas, físico-químicas e microbiológicas, além do uso de microscópio eletrônico de varredura para a visualização dos microrganismos. Finalmente, com base na identificação das causas, o pesquisador faz a escolha do produto que será usado no controle dos microrganismos.

Figura 6. Efeitos dos tratamentos sobre a população de fungos 14 dias após a aplicação dos biocidas

Tempo (dias)	Tratamento (biocidas)	UFC (milhares/g)	Declínio (%)
14	Sulfato de cobre (2,5%) + sulfato de zinco (2,5%)	3,7	98
14	Sulfato de cobre (1,5%) + sulfato de zinco (2,5%)	3,5	88
14	Sulfato de cobre (0,75%) + sulfato de zinco (2,5%)	6,7	92
14	Sulfato de cobre (5%)	6	85
14	Sulfato de zinco (5%)	4,7	72
14	Testemunha	21	0

UFC = Unidade formadora de colônia

O CASO DOS PRÉDIOS DA LAPA

O estudo feito na cidade paranaense da Lapa baseou-se em blocos de arenito com manchas escuras, indicativas de fungos. Foram escolhidos blocos do Theatro São João e da Casa da Cultura, dois monumentos históricos importantes construídos em pedra, cujas paredes estão sendo atacadas por fungos e bactérias. No Theatro, construção com quase 130 anos, foi escolhida uma parede construída com blocos de arenito à vista, onde havia sinais evidentes de biodeterioração. Na Casa da Cultura, os experimentos foram realizados no muro externo, também de arenito.

Em cada local foram aplicados seis tratamentos com soluções de sulfato de cobre e de zinco em diferentes concentrações. Os resultados foram animadores, a começar pela avaliação visual: as manchas escuras existentes antes do tratamento quase sumiram. Além disso, análises laboratoriais indicaram redução significativa nas densidades populacionais de bactérias e fungos.

No caso do Theatro São João, o tratamento que obteve melhor resultado no controle da população de bactérias foi feito com uma solução contendo 5% de sulfato de cobre – a densidade bacteriana anterior à aplicação foi reduzida em 88%. Quanto à população de fungos, a maior redução (98%) foi alcançada com o uso de uma solução contendo 2,5% de sulfato de cobre e 2,5% de sulfato de zinco (figura 5). No muro da Casa da Cultura, houve redução de 96% na população bacteriana após a aplicação de solução de sulfato de cobre (0,75%) e sulfato de zinco (2,5%). Na população de fungos, a maior redução (98%) foi conseguida com uma solução com 2,5% de sulfato de cobre e 2,5% de sulfato de zinco (figura 6).

Para verificar as modificações na população de fungos e bactérias, foi utilizada a técnica do número mais provável (ou de tubos múltiplos). Nessa técnica, as amostras coletadas são diluídas em água, essa solução é usada para inocular vários tubos, e depois são realizadas diluições decimais sucessivas, que reduzem a concentração do agente biológico. Uma fração de cada diluição é espalhada em novos tubos, com meio de cultura adequado, que propicia a reprodução do microrganismo. Observando-se quantos tubos apresentam resultado positivo (ou seja, ficam turvos, indicando que há reprodução), é possível determinar o 'mais provável' número dos microrganismos estudados em um mililitro da solução inicial.

Na Lapa, as amostras foram coletadas com um bisturi, o que permitiu granulação bem fina, e pesadas antes do início das diluições. Após a apuração do número mais provável, os microrganismos encontra-

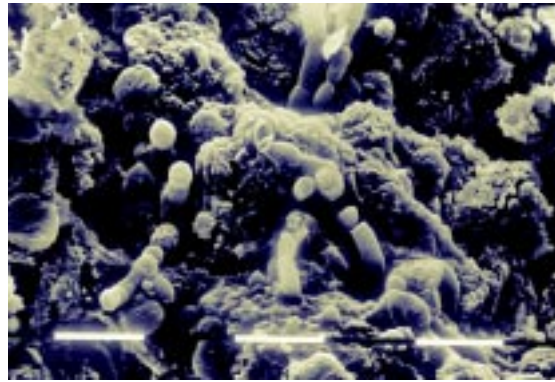


Figura 7. Fungos vistos através de microscópio eletrônico de varredura em amostras coletadas no Theatro São João (cada seção da barra inferior equivale a 0,1 mm)

dos foram inoculados em placas de cultura para serem identificados. Constatou-se, no Theatro São João, a presença do fungo *Aspergillus fumigatus*. Já na Casa da Cultura, além de *A. fumigatus*, foi encontrado *Alternaria alternata*. Ambos produzem substâncias capazes de desintegrar a rede cristalina do arenito. *A. fumigatus* também havia sido encontrado na Catedral de San Francisco de Asis, cidade de Ayavire, no Peru, em estudo sobre biodeterioração feito entre 1998 e 2002 pelas biólogas brasileiras Juliana R. Gouveia e Patrícia Wekerlin da Silva (mestradas da UFPR), em um convênio entre a Antroposfera, o Arcebispado de Ayavire e a Escuela de Belas Artes Diego Quispe Tito, de Cusco (Peru).

As análises em microscopia eletrônica de material pétreo dos dois prédios da Lapa permitiram visualizar estruturas como, por exemplo, hifas de fungos (figura 7) na superfície da rocha e penetrando em microfissuras – portanto, desagregando as pedras.

ESFORÇO QUE PRECISA CONTINUAR

Os resultados do estudo realizado na Lapa, embora importantes, devem ser encarados como parte de um esforço que precisa continuar. A biodeterioração de monumentos históricos é um processo que ainda precisa ser mais bem conhecido e, para isso, é fundamental prosseguir com as investigações, os experimentos e as comparações entre tratamentos. Estamos certos, porém, de que o estudo relatado representa uma contribuição aos profissionais da área de preservação. Esperamos ainda que desperte o interesse das autoridades responsáveis pelo patrimônio histórico para a possibilidade de usar técnicas simples, baratas e ambientalmente corretas no combate à biodeterioração. ■

Sugestões para leitura

- KRUMBEIN, W.E. 'Biotransfer in monuments — Socio-biological study', in *Durability Building Materials*, nº 5, p. 359, 1988.
- KUROCZKIN, B.; PETERSEN, K. & KRUMBEIN, W.E. 'Some physiological characteristics of fungi isolated from sanstones', in *Supplementary Acts* (Congresso Internacional sobre Deterioração e Conservação de Rochas, Universidade Nicolau Copernicus, Toruń), 1988.
- LOPES, C.V.G. 'Efeito do sulfato de cobre e de zinco no controle da população de fungos e bactérias do solo que causam intemperismo em arenitos de prédios históricos na Lapa (PR)' (dissertação de mestrado em Agronomia), Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2002.
- RESENDE, M.A. 'Biodeterioração de monumentos históricos', in Melo, I.S. & Azevedo, J.L., *Microbiologia ambiental*, Jaguariúna, Embrapa-CNPMA, 1997.