

Rebocos Tradicionais: Principais Causas de Degradação

Vitor Sousa¹

*Escola Superior de Tecnologia do Barreiro Instituto Politécnico de Setúbal
Rua. Stinville, nº 14, Parque Empresarial do Barreiro, Quimiparque 2830-144 Barreiro,
Portugal*

Fernando Dias Pereira²

*Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Coimbra
Coimbra, Portugal*

Jorge de Brito^{3, †}

*Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal*

RESUMO

Os revestimentos dos edifícios, como camada de protecção que são, encontram-se sujeitos a inúmeras acções agressivas que conduzem à sua degradação precoce relativamente a outros elementos. Na presente comunicação, pretende-se identificar e descrever as principais causas de degradação dos rebocos, nomeadamente os rebocos tradicionais, procurando identificar a natureza do processo de deterioração.

1. CONSIDERAÇÕES INTRODUTÓRIAS

Os rebocos desempenham um papel preponderante na preservação e na estanqueidade das paredes, principalmente nas paredes antigas (cantaria, alvenaria de pedra aparelhada, alvenaria ordinária, paredes mistas de alvenaria e cantaria e/ou alvenaria e tijolo, adobe, taipa, etc.), substancialmente mais permeáveis do que as modernas paredes em alvenaria de tijolo, betão ou vidro estrutural. Para além desta função como camada de sacrifício para proteger as paredes, os rebocos são utilizados desde tempos remotos como elementos decorativos de valor estético relevante.

Decorrente desta sua função, e devido à sua forte exposição a condições ambientais adversas e a inúmeras agressões do meio, existe uma enorme variedade de causas de

¹ Equiparado a Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro

² Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade de Coimbra

³ Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do Instituto Superior Técnico

† Autor para quem a correspondência deverá ser enviada (jb@civil.ist.utl.pt)

degradação dos rebocos que se procuram identificar na presente comunicação. Para cada causa de degradação é ainda referido o mecanismo ou mecanismos de deterioração associado.

2. PRINCIPAIS CAUSAS DE DEGRADAÇÃO

As principais causas de degradação dos rebocos podem ser organizadas da seguinte forma (Addleson, 1992) (Aguiar et al, 1997) (PSA, 1989):

- acção da água:
 - humidade,
 - gelo,
 - sais solúveis;
- agentes biológicos:
 - algas,
 - fungos,
 - líquenes,
 - briófitas,
 - plantas diversas,
 - bactérias,
 - animais de pequeno porte;
- acções mecânicas:
 - retracção,
 - vento,
 - temperatura,
 - deformações no suporte,
 - acções acidentais;
- acção do Homem:
 - tecnologia,
 - manutenção,
 - turismo,
 - vandalismo,
 - poluição.

A água, sob as diversas formas que pode ocorrer, é o maior agente de degradação dos rebocos tradicionais, condicionando ainda a manifestação de outras causas, nomeadamente diversos agentes biológicos.

2.1. Acção da água

A acção química e mecânica da água sobre os diversos materiais, nomeadamente os de revestimento de paramentos, vem sendo apontada como a maior causa de deterioração dos mesmos. Isoladamente, a humidade em excesso nos revestimentos é responsável por anomalias estéticas (aparecimento de manchas e formação de gotas à superfície) e a sua presença nos poros da estrutura do revestimento pode resultar em destruições, se o material estiver submetido a ciclos de molhagem/secagem ou gelo/degelo. No entanto, a sua acção assume maior relevância quando dissolve e transporta substâncias, como alguns poluentes atmosféricos, sais solúveis e higroscópicos, que vão intensificar o efeito destrutivo da água.

A passagem da água do estado líquido ao estado sólido é acompanhada por um aumento do volume específico de cerca de 9%, o que gera pressões importantes quando este fenómeno ocorre no interior dos poros da estrutura dos rebocos. As pressões exercidas sobre as paredes dos poros podem originar fendas ou mesmo destacamentos do reboco. O comportamento dos rebocos face aos ciclos de gelo/degelo depende da resistência mecânica

do reboco, do coeficiente de saturação, da porosidade e da dimensão dos poros, verificando-se que os revestimentos de cal ou cal e pozolanas são substancialmente menos resistentes à acção do gelo do que as cals hidráulicas e o cimento [W 1].

As águas puras, provenientes de fenómenos de condensação, e as águas macias, provenientes da chuva (ou da neve e gelo em locais mais frios), contêm poucas ou nenhuma impurezas (principalmente sais dissolvidos) o que as torna muito reactivas. Quando estas águas entram em contacto com as argamassas em geral, e os rebocos tradicionais de cal em especial, e percolam através da estrutura porosa destes, os compostos hidratados ricos em cálcio são dissolvidos e arrastados.

O carbonato de cálcio (CaCO_3), principal constituinte das argamassas de reboco tradicionais, encontra-se em equilíbrio num ambiente francamente alcalino (pH 9,93). Assim, quando colocado em contacto com água, o CaCO_3 é dissolvido até ser atingido o equilíbrio. Esta reacção é muito lenta e a solubilidade do carbonato de cálcio é reduzida. Porém, se a água contiver dióxido de carbono (CO_2) ou gases resultantes da combustão dos compostos sulfurosos dos combustíveis fósseis, nomeadamente o anidrido sulfuroso (SO_2) sob a forma de ácido sulfuroso ou óxidos de azoto (NO_x), o que ocorre com maior preponderância em ambientes poluídos, a solubilidade do carbonato de cálcio será substancialmente superior já que o pH da água pode baixar para valores 4,5 ou 4,0 (Feilden, 1982) (Richardson, 1991) [W 1].

Se o carbonato de cálcio é pouco solúvel em situações normais (sem contar com os casos de atmosferas fortemente poluídas), o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), por seu lado, já é bastante solúvel (1230 mg/l) e portanto é a fase mais facilmente lixiviada. Sendo a presa da cal um processo lento, como referido anteriormente, os rebocos de cal são particularmente susceptíveis a serem lixiviados durante os primeiros tempos após a sua aplicação, o que explica o desempenho menos bom em situações de rebocos aplicados em condições ambientais agressivas [W 1].

A lixiviação do ligante das argamassas pode originar um aumento da porosidade e consequentemente da permeabilidade, dando lugar a um decréscimo das características mecânicas e a um incremento da susceptibilidade a ataques de outros agentes de degradação.

Este processo de lixiviação dos sais de cálcio dos rebocos pode ter outros efeitos indesejáveis do ponto de vista estético. Frequentemente, o lixiviado ($\text{Ca(HCO}_3)_2$) precipita na superfície dos rebocos ou até de outros materiais adjacentes, formando eflorescências brancas de carbonato de cálcio (CaCO_3) [W 1].

No entanto, não são apenas os sais de cálcio que deterioram os rebocos. Outros sais resultantes de iões extraídos pela água de rochas alteradas, do solo, dos constituintes das paredes (tijolos, argamassas, pedras, etc.), principalmente os sulfatos alcalinos, ou transportados pelo vento sob a forma de aerossóis, principalmente os cloretos em ambientes marítimos, são responsáveis por deteriorações significativas nos rebocos. O metabolismo de alguns seres vivos que colonizam os rebocos e outros materiais adjacentes e as fezes das aves e outros animais podem também constituir uma fonte de sais. A estrutura porosa dos rebocos permite que estes iões penetrem e circulem através deles até que a água se evapore. Os iões cristalizam na forma de sais quando a sua concentração de iões ultrapassa o valor de saturação e a humidade relativa do ar na proximidade é inferior ao valor de equilíbrio para uma solução saturada desse sal. Desta maneira, num sistema poroso contendo sais acumulados, eles poderão ser sujeitos a ciclos de cristalização e dissolução em função da humidade relativa do ar mesmo depois da fonte de água que os transportou ter cessado (Henriques, 1995) [W 1].

Os danos resultantes da cristalização de sais são habitualmente atribuídos a dois mecanismos de formação: a cristalização de sais dissolvidos por evaporação do solvente (água) e a hidratação de sais. Em princípio, qualquer sal é capaz de causar deterioração durante o processo de cristalização devido ao aumento de volume que ocorre. Já a

deterioração de sais por hidratação só é possível para sais que possam existir em mais do que um estado de hidratação. Assim, sais que só existem num estado de hidratação, como o cloreto de sódio, só provocam danos devido à cristalização, enquanto que sais que apresentam mais do que um estado de hidratação, como é o do sulfato de sódio que pode existir na forma simples (thenardite - Na_2SO_4) ou na forma de sulfato de sódio decahidratado (sal de Glauber ou mirabilite - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), pode originar danos devido à cristalização e hidratação. Existe ainda um terceiro mecanismo segundo o qual os sais poderão causar danos, que é através da expansão térmica. No entanto, este mecanismo tem recebido pouca atenção por se considerar insignificante pelo que não se encontra suficientemente estudado [W 1].

A acção destrutiva dos sais solúveis sobre os rebocos depende fundamentalmente de dois factores. O primeiro é a estrutura porosa do reboco que se encontra directamente relacionada com o tipo de ligante utilizado (e evidentemente o traço utilizado). O segundo é o ponto onde ocorre a cristalização dos sais. Outro factor que condiciona a acção dos sais solúveis é a resistência mecânica do reboco, mas esta propriedade apresenta uma correlação elevada com a sua estrutura porosa e, em geral, quanto mais poroso for o reboco, menor será a sua resistência mecânica [W 1].

A estrutura dos materiais condiciona a maior ou menor quantidade de sais que os revestimentos podem absorver e a capacidade de resistir às tensões que se formam. Por um lado, os rebocos mais porosos, como é o caso dos rebocos de cal ou cal e pozolanas, são substancialmente mais permeáveis que os rebocos de cal hidráulica ou de cimento, especialmente no caso destes terem sido submetidos a bons processos de cura, pelo que a quantidade de água que circula no seu interior é superior e, conseqüentemente, admitem quantidades de sais solúveis consideráveis. Além disso, como são mais permeáveis, a taxa de evaporação também é superior pelo que o risco de cristalização dos sais é maior. Simultaneamente, os rebocos de cal ou cal e pozolanas apresentam resistências mecânicas inferiores comparativamente com os rebocos de cal hidráulica ou cimento, pelo que, deste ponto de vista, são mais susceptíveis a serem degradados devido às pressões causadas pela cristalização. Por outro lado, como a pressão causada pela formação dos cristais é inversamente proporcional ao raio dos poros, os materiais com grande quantidade de pequenos poros serão submetidos a pressões maiores. As argamassas de cal ou cal e pozolanas apresentam, geralmente, maior porosidade (logo maior permeabilidade, como já foi referido) e poros de maiores dimensões, pelo que, mesmo apresentando resistências mecânicas reduzidas e condições propícias para a formação de cristais, a degradação mecânica não é tão frequente como se poderia supor, já que os cristais encontram espaço suficiente para se formarem no interior dos poros sem originarem pressões excessivas (Nero, 2002) [W 1].

O ponto onde a cristalização ocorre é determinado pelo balanço dinâmico entre a taxa de evaporação à superfície e o caudal de água que afluí a esse ponto. Se o caudal afluyente for ligeiramente superior à taxa de evaporação, dá-se a cristalização à superfície com a formação de eflorescências. Em geral, as eflorescências são apenas inestéticas, mas a sua presença indica que noutra local a cristalização está a ocorrer no interior da estrutura porosa do reboco, provocando a desagregação da camada superficial devida ao aumento de volume que geralmente acompanha a formação dos cristais. A formação de cristais no interior dos materiais dá-se quando a taxa de migração da solução no sistema poroso do material é inferior à taxa de evaporação. Irá então desenvolver-se uma zona relativamente seca abaixo da superfície e os cristais desenvolvem-se na interface entre essa zona seca e a zona húmida do reboco. A este fenómeno é atribuída a designação de criptoflorescência (Richardson, 1980) (Veiga e Aguiar, 2002) (Kumar e Kumar, 1999).

Para além dos sulfatos, dos carbonatos e dos cloretos, também é frequente encontrar situações patológicas devidas a nitritos e nitratos. Estes últimos, juntamente com os cloretos, apresentam ainda a particularidade de serem higroscópicos, isto é, têm a propriedade de se

dissolver através da absorção da humidade relativa do ar, voltando a cristalizar-se quando a humidade relativa varia em torno de um valor crítico da ordem dos 65-75%. Experiências realizadas em laboratório sobre amostras contaminadas com sais higroscópicos apresentaram acréscimos percentuais, entre o estado seco e num ambiente com 90% de humidade relativa, da ordem dos 7% (Henriques, 1995).

Convém ainda referir que a água, ao escorrer nos paramentos, poderá arrastar a sujidade depositada nas coberturas e nos rebordos ou, no caso de existirem elementos metálicos corroídos, ferrugem, os quais serão responsáveis por manchas nos paramentos.

2.2. Agentes biológicos

Os rebocos constituem um meio propício ao desenvolvimento de diversas comunidades de seres vivos com graus de desenvolvimento variado. Os seres vivos mais simples são responsáveis por deteriorações químicas e/ou mecânicas, como sejam as algas, as bactérias, os líquenes, os fungos, as briófitas, etc.. No entanto, há ainda que ter em conta as degradações causadas por algumas plantas superiores, principalmente através do desenvolvimento das suas raízes, e animais (nomeadamente os pombos), principalmente através da acumulação das suas fezes. Estas, para além de serem uma importante fonte de sais e de matéria orgânica para as comunidades que povoam os revestimentos, atacam quimicamente os rebocos e provocam anomalias estéticas importantes.

A actividade biológica nas superfícies dos rebocos resulta na formação de biofilmes, que se traduzem em manchas coloridas, incrustações e na presença de órgãos vegetativos e reprodutivos. Neste processo, a estrutura dos rebocos é sujeita a erosão, transferência de iões e lixiviação que a vão deixando enfraquecida e deteriorada.

Os microorganismos litófilos, fotoautotróficos, quimiotróficos e os líquenes constituem as comunidades pioneiras que se desenvolvem quando a superfície, estritamente mineral, se apresenta sem qualquer presença de matéria orgânica. O desenvolvimento e morte de sucessivas gerações destes microorganismos, juntamente com a deposição de compostos de amónia e fósforo transportados pelo vento ou pela acumulação de fezes de animais, fornecem a matéria orgânica que, em condições favoráveis de humidade, temperatura e luz (oligotróficas ou copiotróficas), vai permitir o desenvolvimento de organismos superiores, nomeadamente bactérias oligotróficas e heterotróficas, actinomicetos e fungos. À medida que a superfície do revestimento de reboco vai sendo atacada, provocando o seu desgaste físico, produz-se um efeito de “solo” (*soiling* na bibliografia anglo-saxónica) que, juntamente com factores ambientais favoráveis (eutróficas), permitirá a deposição e germinação de plantas cujos corpos reprodutivos são transportados pelo vento. Finalmente, estabelece-se um ecossistema mais completo com a presença de uma microfauna especializada e muito adaptável.

As comunidades que se estabelecem e desenvolvem nos rebocos fazem-no em locais distintos. Assim, alguns microorganismos desenvolvem-se apenas à superfície (epilíticos) enquanto que outros preferem habitats mais protegidos, como pequenas cavidades ou fissuras (clasmolíticas), ou mesmo o interior da estrutura porosa do revestimento (endolíticos).

As colónias de microorganismos que se estabelecem em condições ambientais favoráveis e na presença de fontes de energia (nutrientes inorgânicos e orgânicos) desenvolvem relações que, nos casos extremos, atingem a simbiose, baseadas na fotossíntese. Estas colónias manifestam ciclos sazonais mais ou menos evidentes, acompanhando os diferentes níveis de humidade e os ciclos de vida de cada uma das espécies que as compõem.

As actividades metabólicas destes organismos, nomeadamente a produção de polímeros extra celulares, a produção e libertação de oxidantes e ácidos orgânicos e/ou inorgânicos, juntamente com a presença de pigmentos coloridos e pressões mecânicas

exercidas pelo crescimento de estruturas e fenómenos de aumento e diminuição de volume (acompanhando as variações de humidade), induzem diferentes tipos de danos [W 1]:

- físicos (abrasão, tensões mecânicas);
- químicos (dissolução, reacções de oxidação / redução);
- estéticos (manchas coloridas e incrustações).

De seguida, apresentam-se os principais grupos investigados relativamente à biodeterioração de pedras em monumentos que, segundo investigações conduzidas por TIANO [W 1] e PRICE (1996), são idênticos aos que afectam os revestimentos (rebocos, frescos, etc.). Para além da descrição dos principais fenómenos metabólicos responsáveis por processos de degradação dos rebocos, é referida a sua importância relativa nesses mesmos processos sempre que conhecida.

Por fim, interessa referir que muitos destes microorganismos são muito sensíveis a ambientes poluídos, nomeadamente as algas e as cianobactérias, podendo inclusivamente ser um indicador do grau de poluição a que o local está exposto.

2.2.1. Bactérias

As bactérias são os organismos mais simples encontrados na maioria dos ambientes naturais. Elas são células esféricas ou em forma de bastonetes curtos com tamanhos variados, alcançando às vezes microns de comprimento. Na maioria das espécies, a protecção da célula é feita por uma camada extremamente resistente, a parede celular, havendo imediatamente abaixo uma membrana citoplasmática que delimita um único compartimento contendo DNA, RNA, proteínas e pequenas moléculas.

A sua enorme variedade e a capacidade de se adaptarem às mudanças ambientais permite-lhes povoar virtualmente todos os nichos ecológicos existentes. Habitualmente são reconhecidos dois grupos distintos de bactérias:

- as eubactérias, que são os tipos comuns encontrados na água, solo e organismos vivos maiores;
- as arqueobactérias, que são encontradas em ambientes realmente inóspitos, como os pântanos, fontes termais, fundo do oceano, salinas, vulcões, fonte ácidas, etc..

Deste modo, os rebocos também constituem um meio propício para o seu desenvolvimento, principalmente depois de ocorrer uma certa carbonatação da cal acompanhada pela diminuição do pH que, nos primeiros tempos, é tão elevado que impede o desenvolvimento de seres vivos, funcionando como um biocida. As bactérias que povoam os rebocos são responsáveis pela produção de substâncias que vão atacar quimicamente os compostos dos rebocos, podendo ser divididas em dois grupos distintos [W 1]:

- as bactérias autotróficas, que obtêm o carbono a partir do dióxido de carbono presente na atmosfera e podem obter a sua energia directamente da luz solar (fotolitotróficas) ou a partir de reacções químicas de oxirredução (quimiolitotróficas);
- as bactérias heterotróficas, que utilizam compostos orgânicos acumulados nos rebocos para obter carbono e, tal como as anteriores, podem obter a sua energia tanto através da luz solar (fotoorganotróficas), como de reacções químicas (quimioorganotróficas).

Nas bactérias autotróficas incluem-se as que são capazes de oxidar os compostos de enxofre e azoto, produzindo ácido sulfuroso e nítrico, respectivamente. Estas bactérias são mais um meio de transferir poluentes atmosféricos como os óxidos de enxofre e os óxidos de azoto para os rebocos sob a forma de sulfatos e nitratos.

As bactérias heterotróficas produzem diversos oxidantes e ácidos orgânicos, como o ácido oxálico. Sendo substâncias mais fracas do que os ácidos produzidos pelas bactérias do

ciclo do enxofre e do azoto (bactérias autotróficas responsáveis pela oxidação do enxofre e nitrificação do azoto), tem-lhes sido dedicada uma menor atenção por parte da comunidade científica (Price, 1996).

A investigação das bactérias responsáveis por deteriorações em meios pétreos tem-se centrado fundamentalmente nas bactérias quimiolitotróficas e quimioorganotróficas. No primeiro grupo, as atenções têm recaído sobre as bactérias redutoras de enxofre do tipo *Thiobacillus spp.* e as bactérias nitrificantes do tipo *Nitrosomonas spp.*, enquanto que no segundo grupo se tem dado mais atenção às bactérias dos géneros *Flavobacterius* e *Pseudomonas*. Associadas às bactérias do tipo *Nitrosomonas spp.*, que convertem o azoto em nitritos, aparecem ainda as bactérias do tipo *Nitrobacter spp.* que vão transformar os nitritos em nitratos (Feilden, 1982), (Richardson, 1980) (Richardson, 1991).

2.2.2. Algas e cianobactérias

As algas e as cianobactérias, anteriormente designadas algas azuis, são organismos fotoautotróficos capazes de se desenvolver em revestimentos sempre que ocorra uma combinação adequada de humidade, temperatura e luz. Estes organismos crescem e reproduzem-se em filmes de água que se formam nos revestimentos pelo que a humidade é, em geral, a condição limitadora do desenvolvimento destes organismos. Logo, sempre que a humidade no substrato é suficiente, as algas e as cianobactérias incluem-se entre os colonizadores pioneiros dos revestimentos. As cianobactérias conseguem desenvolver-se apenas com dióxido de carbono (CO₂), azoto (N₂) e pequenas quantidades de sais minerais, sendo mesmo, juntamente com algumas bactérias muito especializadas (ver acima), os únicos organismos com capacidade para fixar o azoto directamente (Feilden, 1982).

O desenvolvimento das algas e das cianobactérias é mais intenso na Primavera e no Outono, quando a humidade é abundante e as temperaturas amenas. Durante os meses de Inverno e Verão, as baixas temperaturas e a carência de humidade, respectivamente, matam estes organismos, criando depósitos de células mortas e corpos reprodutores que irão permitir um rápido desenvolvimento de uma nova geração, logo que as condições ambientais sejam favoráveis. Estes depósitos de matéria orgânica vão criar condições para o desenvolvimento de fungos como os *Cladosporium*, *Phoma*, *Alternaria* e *Aureobasidium spp.* e seres mais evoluídos, como briófitas ou mesmo plantas superiores. Em climas temperados e húmidos como o da Serra de Sintra, as algas e cianobactérias encontram um ambiente particularmente propício para o seu desenvolvimento, perdendo apenas vigor durante os meses mais secos de Verão.

Estes organismos apresentam uma enorme capacidade de adaptação a diferentes substratos, mediante a alteração da coloração e da morfologia. De entre as diversas técnicas de sobrevivência das algas terrestres, inclui-se a formação de uma membrana que permite a rápida absorção em simultâneo com uma lenta evaporação da humidade e favorece a adesão das células à superfície. É ainda frequente a associação das algas e principalmente das cianobactérias (as mais comuns são dos géneros *Nostoc* e *Calothrix*) com outros habituais colonizadores dos revestimentos, nomeadamente os líquenes (Richardson, 1980).

As algas e as cianobactérias têm sido investigadas pela sua capacidade de atacar quimicamente alguns dos minerais que compõem os revestimentos e de originar patinas coloridas que, em algumas situações, podem ser encaradas como inestéticas e noutras como parte da imagem colectiva do próprio edifício. De referir que as agressões provocadas por estes organismos sobre o substrato ainda são uma matéria que gera alguma controvérsia no meio científico. As patinas resultantes das colónias de algas e cianobactérias apresentam uma coloração verde brilhante em todos os locais suficientemente húmidos e protegidos da radiação solar directa. Dependendo do organismo e da fase do ciclo de vida em que se

encontre, podem ser observadas colorações verdes escuras, castanhas, cinzentas ou cor-de-rosa (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

2.2.3. Líquenes

Os líquenes constituem um caso especial do reino vegetal, pois são, não um só, mas dois organismos distintos. Constituem associações estáveis e auto-suficientes entre um fungo (micobionte) e um ou mais organismos fotossintéticos (fotobionte), que podem ser tanto uma alga unicelular como uma cianobactéria. Cada um dos organismos do líquen desempenha funções específicas. Assim, o fotobionte, graças à sua clorofila, é capaz de absorver a energia da luz solar e sintetizar compostos orgânicos (nomeadamente açúcares), enquanto que o fungo absorve do substrato a água com as substâncias nela dissolvidas e, além disso, protege a fotobionte do meio ambiente.

A simbiose resultante da associação entre os dois organismos forma um talo liquénico que é diferente da forma que assume cada um dos biontes quando se desenvolve isoladamente. O micobionte é composto por filamentos entrelaçados, denominados hifas, que não apresentam diferenças fundamentais, a nível citológico, em relação aos encontrados nos fungos não liquenizados. Como é heterotrófico, obtém os compostos orgânicos carbonatados de que precisa a partir dos produtos (fotossintéticos) sintetizados pelo fotobionte. O fotobionte localiza-se no interior do talo, normalmente como células isoladas rodeadas pelas hifas, podendo ser uma alga, contendo clorofila, ou uma cianobactéria, com um pigmento fotossintético. O número de espécies de algas que existem nos líquenes é próximo de 40, sendo as mais frequentes dos géneros *Trebouxia*, *Trentepohlia* e as cianobactérias *Nostoc* (Figueira, 2002) (Richardson, 1991).

A organização estrutural dos fungos e das algas, quando associados para formarem um novo organismo, é responsável, em parte, pelo sucesso dos líquenes na colonização de ambientes adversos como os rebocos, onde são muitas vezes pioneiros. O talo liquénico é constituído principalmente pelo fungo, contribuindo, na maior parte dos casos, para 80% ou mais do total do líquen. A alga ou cianobactéria pode estar distribuída ao acaso, frequentemente numa matriz gelatinosa, por todo o talo, neste caso chamado de homeómero. Quando as algas se distribuem numa camada compacta por debaixo do córtex superficial de hifas de fungo firmemente organizadas, diz-se que o talo tem estrutura heterómera.

É comum classificar a forma do talo liquénico em três categorias (Figueira, 2002):

- crustáceo - apresentam uma estrutura bastante variada, desde crostas com forma pulverulenta até talos elaborados, com córtex superior e medula;
- fruticuloso - têm a forma de pequenos arbustos ou cachos, em que o talo é cilíndrico, podendo ter um espaço oco no interior;
- foliáceo - apresentam uma forma semelhante a uma folha, com as superfícies superior e inferior distintas e expostas ao ar.

O crescimento dos líquenes é muito lento, quando comparado com o da generalidade das plantas. No entanto, existe uma grande variação na velocidade de crescimento entre espécies e também entre diferentes idade do organismo, podendo o crescimento radial variar entre 0.2 e 28 mm por ano. O crescimento depende também das condições ambientais onde o talo liquénico se desenvolve, sendo que a disponibilidade de água e de luz desempenha um papel essencial, bem como a poluição atmosférica (que inibe o desenvolvimento dos líquenes).

O conteúdo de água existente no líquen varia bastante com as condições externas ao talo. Em condições secas, apenas 15 a 30% do líquen é composto por água e não apresentam actividade metabólica. Quando são hidratados, o que acontece rapidamente até várias vezes o seu peso seco, a actividade inicia-se de imediato. Para hidratar o líquen, não precisa que haja disponível água líquida, bastando que a humidade relativa seja elevada como, por exemplo,

em condições de nevoeiro ou orvalho. Estas propriedades permitem que estes organismos possam resistir a períodos de seca consideráveis, voltando rapidamente à actividade após a rehidratação do talo (Figueira, 2002).

A acção dos líquenes pode ser decomposta numa componente física (resultante da acção mecânica dos dispositivos de fixação do talo e quando este sofre variações de volume em função das condições de humidade) e numa componente química (resultante da produção de compostos químicos que atacam os minerais dos rebocos) que é em geral mais relevante [W 1].

Inicialmente, a degradação mecânica provocada por líquenes resulta da penetração dos dispositivos de fixação e do próprio talo em poros, fendas e fissuras existentes. O crescimento do líquen, nomeadamente o aumento de massa do talo, irá provocar o aumento dessas mesmas fendas e fissuras. A libertação periódica do talo devida a flutuações do seu teor de humidade poderá causar a queda de fragmentos que entretanto perderam aderência.

A degradação química resulta da actividade metabólica dos líquenes que se traduz na secreção de diversos ácidos que reagem com os compostos dos rebocos e das próprias paredes (rochas). Pela sua importância, pode-se destacar dois desses ácidos: o oxálico e o carbónico (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

O ácido oxálico dissolve o carbonato de cálcio que muitas vezes cristaliza perto ou mesmo no interior do talo e, eventualmente, acaba por matar o líquen. Nos líquenes crustáceos é ainda frequente a cristalização do carbonato de cálcio por baixo do talo, formando uma crosta que pode actuar como uma protecção dos rebocos contra agentes climatéricos funcionando como um controlador de humidade e temperatura. Consequentemente, a remoção de líquenes pode revelar-se difícil, principalmente através de processos mecânicos, e pode causar o destacamento desta camada superficial densa, sendo mais prejudicial do que benéfica quando não for acompanhada pela aplicação de uma nova camada final de reboco (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

O ácido carbónico é produzido no talo através da transformação do dióxido de carbono gerado pela respiração. Sendo um poderoso oxidante, o óxido carbónico reage com numerosas substâncias orgânicas, entre as quais o cálcio, sendo responsável pela lixiviação da estrutura do reboco (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

Os líquenes mais frequentemente identificados em paramentos de monumentos (rebocos e rochas) pertencem às espécies *Protoblastenia*, *Verrucaria*, *Caloplaca*, *Aspicilia*, *Lecanora* ou *Xanthoria*. Como referido anteriormente, os líquenes são muito sensíveis a ambientes poluídos, mas algumas espécies mais resistentes (*Lecanora* e *Candelariella spp*) são capazes de se desenvolver nesses ambientes (Richardson, 1980) (Richardson, 1991).

Os líquenes são ainda responsáveis por manchas que podem ser consideradas inestéticas ou como parte da patina do monumento (Feilden, 1982).

2.2.4. Actinomicetos e fungos

Os actinomicetos e os fungos já são organismos estritamente heterotróficos, o que significa que, para se desenvolverem, necessitam de matéria orgânica. Consequentemente, estes seres estabelecem-se em locais ricos em matéria orgânica (depositada por outros seres e/ou transportada pelo vento) e preferencialmente em comunidades juntamente com seres autotróficos, com os quais estabelecem relações aos mais diversos níveis, inclusivamente simbioses (líquenes).

Os actinomicetos são um tipo de bactérias assemelhadas a fungos que formam longas fibras ramificadas, desenvolvendo-se preferencialmente em locais onde existem algas e microorganismos capazes de fixar azoto. Segundo TIANO [W 1], os estudos efectuados têm permitido identificar diversas espécies, pertencentes principalmente aos géneros *Nocardia* e *Streptomyces*, que se desenvolvem preferencialmente em locais subterrâneos com teores em

humidade constantemente elevados. A acção destes organismos sobre os rebocos exerce-se através da sua actividade metabólica, que contribui para o desgaste da estrutura do reboco e, principalmente, para a acumulação de matéria orgânica na superfície dos rebocos (Richardson, 1980).

Os fungos foram considerados como vegetais e, somente a partir de 1969, passaram a ser classificados num reino à parte. São seres vivos eucarióticos, com um só núcleo, como as leveduras, ou multinucleados, como se observa entre os fungos filamentosos ou bolores, e nutrem-se de matéria orgânica morta (fungos saprofíticos) ou viva (fungos parasitários).

A degradação mecânica causada pelos fungos filamentosos decorre da penetração do conjunto de hifas que formam o micélio na estrutura do reboco. Se bem que esta degradação mecânica possa ser considerada desprezável, já a degradação química é mais significativa, sendo em tudo semelhante ao que se verifica nos líquenes (Feilden, 1982).

Por outro lado, diversos produtos resultantes da actividade metabólica dos fungos são extremamente coloridos, pelo que as manchas que se estendem à superfície dos rebocos podem ser consequência do desenvolvimento de fungos. Alguns dos fungos mais frequentes em monumentos e, conseqüentemente, mais estudados são (TIANO [W 1]): *Cladosporium*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Fusarium* e *Phoma*. Convém ainda destacar os fungos da família *Dematiaceae*, que têm sido identificados como responsáveis por manchas pretas devido à água, aos solventes orgânicos e aos pigmentos de melanina que possuem no interior do micélio (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

2.2.5. Briófitas e plantas diversas

As plantas pioneiras na colonização de ambientes inóspitos, como são os paramentos rebocados, apresentam uma maior concentração de iões de hidrogénio que lhes permite extrair os iões de minerais do substrato. As briófitas e as plantas inferiores não apresentam esta capacidade de extrair minerais dos substratos, pelo que não se desenvolvem na ausência de matéria orgânica.

As briófitas, o segundo maior grupo de plantas terrestres, com 14 mil espécies, são também um grupo muito antigo. Pensa-se que tenham tido origem nas algas, apesar de não haver consenso científico sobre esta matéria, existindo três linhas evolutivas principais da grande família das briófitas, a que correspondem três grandes grupos: musgos, com 8000 espécies, antocerotas, com 200, e hepáticas, com 6000. A acção mecânica e / ou química destes organismos sobre os rebocos é negligenciável uma vez que não dispõem de raízes, mas sim rizóides que não contactam directamente com o substrato, e a sua capacidade de acumular iões de cálcio não pode ser considerada como uma biodeterioração. Porém, as briófitas constituem um mecanismo de fixação da humidade e uma barreira para a sua evaporação, mantendo assim as condições de humidade elevada que necessitam para se desenvolver, e em alguns casos, podem ser considerados inestéticos (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

As plantas mais desenvolvidas (traqueófitas), apresentando verdadeiros sistemas de raízes e aparato aéreo, já podem ser agentes de degradação mais importantes, principalmente através da pressão exercida pelo crescimento das raízes e a exsudação de ácidos (oxálico, cítrico, etc.) que têm por função dissolver os silicatos e os carbonatos de modo a poderem ser captados e absorvidos. Medições efectuadas em raízes de algumas plantas existentes em monumentos (*Parietaria diffusa*, *Capparis spinosa*, *Cymbalaria muralis* e *Sonchus tenerrimus*) apresentaram valores de pH de 5.2 a 6.3. Para além de condições de humidade e matéria orgânica adequadas, as traqueófitas necessitam de locais onde as sementes possam fixar-se e germinar, como sejam locais onde o reboco se apresente fendilhado ou ligeiramente destacado, existência de rebordos ou outras singularidades no paramento. As plantas frequentemente encontradas em climas tropicais são herbáceas (*Cynodon dactylon*, *Melica minuta*, *Parietaria officinalis*, *Capparis spinosa*, *Ceterach officinarum*, *Hedera helix*) e,

muito raramente, espécies arbóreas (*Allianthus altissima*, *Ficus carica*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus minor*) (Richardson, 1980) (Feilden, 1982).

2.2.6. Animais

O aumento da complexidade das comunidades que se estabelecem nas superfícies dos rebocos cria condições propícias ao desenvolvimento de colónias de animais do filo *Arthropoda*. Têm sido observadas comunidades de *Balaustium murorum* com outros ácaros (*Phauloppia lucorum*, *Trichoribates trimaculatus*) e *Cerobasis lucorum* em paramentos colonizados por algas e líquenes. Esta microfauna alimenta-se fundamentalmente de partículas de líquenes destacadas e contribui para a difusão e propagação das algas e líquenes para outros locais, transportando as células reprodutoras (esporos, células de algas, etc.) que se fixam às pernas e aos pêlos (Kumar e Kumar, 1999) [W 1].

Se a acção desta microfauna é apenas indirecta, já a avifauna, nomeadamente os pombos, é responsável por degradações significativas de muitos dos monumentos portugueses localizados em meios urbanos. Em muitos casos, as populações de pombos são consideradas pragas pois encontram um meio muito propício para a procriação devido à existência de abrigo, abundância de alimentos e ausência de predadores. A acumulação das fezes deste seres (guano) é um dos principais problemas estéticos em vários monumentos portugueses. Além disso, por serem fortemente ácidas, as fezes atacam quimicamente diversos materiais, entre os quais os rebocos e as rochas, e constituem ainda uma das principais fontes (na maioria dos casos a principal) de compostos de azoto (amónia) e fósforo que, como já foi referido, servem de substrato para o desenvolvimento da microflora heterotrófica (Feilden, 1982) (Richardson, 1980).

2.3. Acções mecânicas

Em primeiro lugar, é inevitável referir a retracção do reboco durante a cura que pode estar na origem de fendilhação generalizada formando um padrão de malha. Sendo este fenómeno algo que acontece sempre em rebocos tradicionais (e não tradicionais), a manifestação de fendilhação devido a tensões excessivas que se estabelecem no reboco durante a secagem ocorre geralmente associada a um ou mais factores, nomeadamente (Veiga e Aguiar, 2002) [W 2]:

- utilização de argamassas com composições incorrectas (doses excessivas de ligante; excesso de água na mistura);
- utilização de argamassas de reparação incompatíveis com as existentes e com a própria base (utilização de cimento);
- não humidificação da base antes da aplicação da primeira camada do reboco;
- aplicação incorrecta das várias camadas que constituem o reboco (camadas demasiado espessas; não diferenciação da dose de ligante nas várias camadas; tempos de secagem das várias camadas insuficientes);
- execução do reboco em condições ambientais adversas sem as devidas protecções (dias de muito vento ou sol que promovem a secagem acelerada do reboco; chuva).

O vento, para além de ser um veículo de transporte de matéria orgânica e de disseminação de poluentes (sais, partículas resultantes da queima de combustíveis fósseis, etc.) e seres vivos (esporos, semente, etc.), é um agente erosivo. No seu percurso até encontrar os paramentos e outros obstáculos, o vento arrasta partículas sólidas (geralmente grãos de areia) que vão exercer uma acção mecânica sobre esses obstáculos. Esta acção continuada ao longo dos tempos é responsável por erosões mais ou menos significativas dos revestimentos, nomeadamente os rebocos, dependendo evidentemente do grau de exposição dos mesmos.

A temperatura, ou mais exactamente as variações de temperatura diárias e gradientes de temperatura que se estabelecem nas paredes, associada aos diferentes coeficientes de dilatação dos materiais que podem constituir uma parede, originam contracções e dilatações diferenciadas nos vários materiais. Até os próprios rebocos, sendo constituídos por várias camadas diferentes e, no caso de edifícios históricos, por rebocos de diferentes épocas (necessariamente diferentes já que sofrem processos dinâmicos e estão em constante evolução (Veiga e Aguiar, 2002)), possuem coeficientes de dilatação térmico e hídrico diferentes o que, em determinadas circunstâncias, pode provocar tensões que levam à fendilhação e destacamento de camadas. Esta situação é muitas vezes observada na interface de rebocos com elementos metálicos, como sejam amarrações de tirantes, que sofrem grandes variações dimensionais por acção da temperatura esmagando o reboco na superfície de contacto.

Geralmente, com a deformação do suporte (assentamentos, fluência, concentrações de tensões, etc.), são transmitidas tensões aos rebocos que, em muitos casos, excedem a sua capacidade resistente dando origem a degradações.

Por vezes, os rebocos, principalmente nos pisos térreos e no interior, são submetidos a acções físicas acidentais (impactos de objectos contundentes, automóveis, ramos de árvores, etc.) que podem danificá-los.

Convém ainda referir que, na presença de água e oxigénio, os elementos metálicos presentes nos paramentos corroem aumentando de volume, o que pode originar tensões nos rebocos que levem à sua fendilhação e destacamento.

2.4. Acção do Homem

A acção do Homem sobre os rebocos pode ser dividida em dois grupos: as acções directas, como a tecnologia de produção e aplicação dos rebocos e a manutenção adequada e atempada dos mesmos; e as acções indirectas, como a poluição atmosférica e o uso.

O Homem intervém no desempenho dos rebocos logo desde o início, através da escolha, mistura dos materiais e aplicação criteriosa (ou não) dos rebocos. Desta forma, é possível classificar esta intervenção humana como tecnológica, na medida em que traduz a adequabilidade da técnica de produção e aplicação do reboco, o que é um factor essencial na sua qualidade final e desempenho futuro.

Os rebocos (e as camadas correspondentes à caiação) desempenham um papel decorativo e, mais importante, são uma protecção para a parede, funcionando como uma camada de sacrifício. Desta forma, é necessário proceder a uma manutenção periódica que, no caso de ser feita de uma forma sustentável, pode resumir-se a caiações em grande parte dos casos, evitando-se assim que a degradação atinja o reboco e exija a sua substituição. Neste ponto é onde, muito provavelmente, a intervenção humana tem sido mais agressiva para os rebocos de muitos dos monumentos espalhados pelo mundo, quer pela inexistência de um plano de inspecção e manutenção adequado, quer ainda pela execução de muitas intervenções altamente prejudiciais para os rebocos e paredes, nomeadamente através da utilização de argamassas muito fortes (com elevadas dosagens de cimento) e, em menor escala, a aplicação de esquemas de pintura pouco permeáveis (Feilden, 1982) (Richardson, 1991).

A poluição atmosférica resulta das actividades industriais e comerciais, sendo um problema que só pode ser resolvido adequadamente a nível internacional. A maior parcela da poluição atmosférica é produzida através da queima de combustíveis fósseis em fornos industriais e domésticos, turbinas e motores de combustão, nomeadamente nos automóveis. Os poluentes emitidos para a atmosfera podem ser divididos em três categorias: partículas sólidas, poeiras e areias, emitidas principalmente por unidades industriais; fumos e partículas de pequenas dimensões que coagulam formando a fuligem; gases, em especial o dióxido de carbono e os óxidos de azoto e enxofre. Os gases emitidos dissolvem-se na água presente na atmosfera dando origem às famosas chuvas ácidas, cujos efeitos já foram abordados

anteriormente no número 2.1. As partículas, por seu lado, são levadas pelo vento e depositadas nos paramentos. Devido à porosidade dos materiais, parte destas partículas é transportada para o interior da estrutura das alvenarias e rebocos provocando manchas de difícil remoção (Kumar e Kumar, 1999) [W 2].

A utilização dos espaços é sempre uma fonte de agressões para os rebocos. No caso específico do turismo, a utilização é caracterizada por uma elevada produção de vapor de água e calor durante o dia, decorrente da respiração dos inúmeros visitantes, seguida de um período nocturno em que esta acção cessa, provocando grandes variações diárias no teor em humidade e na temperatura. Dada a elevada massa das paredes da generalidade dos monumentos, associada à elevada permeabilidade dos materiais que as compõem e dos revestimentos das mesmas, as paredes funcionam como um regulador desse teor de humidade e temperatura, o que pode estar na origem de anomalias em rebocos, nomeadamente decorrentes de humidades de condensação [W 1].

Por fim, há ainda o vandalismo, geralmente sob a forma de graffiti que, no caso dos rebocos, não é tão relevante, visto que a sua reparação é fácil mas, no caso de paramentos com alvenaria de pedra, é uma questão que se coloca cada vez com mais acuidade nos monumentos em meios urbanos dada a sua dificuldade de remoção, especialmente em rochas muito alteradas e porosas.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma forma simplificada, pode-se dizer que os rebocos tradicionais de cal são constituídos por elementos inertes, a areia, aglomerados por uma matriz de carbonato de cálcio. À semelhança da maioria dos materiais de construção, constituem uma estrutura de porosidade aberta que permite a introdução ou percolação de elementos e substâncias de natureza diversa, geralmente dissolvidos em água. Esta porosidade, associada à higroscopicidade e capilaridade, faz com que determinado revestimento seja mais ou menos susceptível à acção de diversos agentes de degradação.

A presa do hidróxido de cálcio, que constitui o ligante dos rebocos tradicionais, por evaporação da água e fixação de anidrido carbónico do ar (carbonatação), é uma reacção muito lenta, podendo demorar 6 meses, 1 ano, ou mesmo mais dependendo das condições climáticas [W 2]. Este facto torna os revestimentos tradicionais extremamente frágeis à acção dos agentes de degradação, principalmente a água, durante os primeiros tempos, pelo que a forma como decorre a cura condiciona em larga medida as anomalias observadas (fendilhação, falta de coesão e desagregação).

Deste modo, uma protecção adequada dos rebocos tradicionais, principalmente nos primeiros tempos após a sua aplicação, pode contribuir significativamente para o aumento do seu período de vida útil, retardando a acção de várias das causas de deterioração referidas. Simultaneamente, a implementação de um programa de manutenção adequado, nomeadamente em função do grau de exposição do reboco e das principais causas de degradação que o poderão afectar (interior - acções mecânicas e acção do Homem; exterior - acção da água e agentes biológicos) podem evitar a degradação dos suportes e a necessidade de intervenções profundas (Sousa, 2003).

4. REFERÊNCIAS

Publicações

Addleson, L., *Buildings Failures: A Guide to Diagnosis, Remedy and Prevention*, Butterworth Architecture, Oxford, England (1992).

Aguiar, J.; Cabrita, A.; Appleton, J., *Guião de apoio à reabilitação de edifícios habitacionais*, Volumes 1 e 2, LNEC-DGOT, Lisboa, Portugal (1997)

Feilden, Bernard M., *Conservation of Historic Buildings*, Butterworth Scientific, London, England (1982).

Figueira, R., *Introdução à biologia dos líquenes*, Jardim Botânico da Universidade de Lisboa e Centro de Geo-Sistemas do Instituto Superior Técnico, Portugal (2002).

Henriques, F., *Humidade em paredes*, LNEC, Lisboa, Portugal (1995).

Kumar, R. e Kumar, A.V., *Biodeterioration of stone in tropical environments: an overview*, The Getty Conservation Institute, United States of America (1999).

Nero, G., *Estrutura e comportamento dos materiais*, Folhas de apoio à disciplina do 11º Mestrado em Construção, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal (2002).

Price, C.A., *Stone conservation: an overview of current research*, The Getty Conservation Institute, United States of America (1996).

Property Services Agency (PSA), *Defects in Buildings*, Department of the Environment, Her Majesty's Stationery Office, London, England (1989).

Richardson, B.A., *Remedial Treatment of Buildings*, Construction Press, New York, United States of America (1980).

Richardson, B.A., *Defects and Deterioration in Buildings*, E & F.N. Spon, London and New York, United States of America (1991).

Sousa, V., *O Palácio Nacional de Sintra: Anomalias não Estruturais*, Dissertação de Mestrado, IST, Lisboa, Portugal (2003).

Veiga, R. e Aguiar, J., *Cadernos Edifícios 2: Revestimentos de paredes em edifícios antigos*, LNEC, Lisboa, Portugal (2002).

Internet

[W 1] www.arcchip.cz - Advanced Research Centre for Cultural Heritage Interdisciplinary Projects

[W 2] www.raadvad.dk - RAADVAD, The Nordic Centre of Traditional Crafts