

IX Jornadas da Arte e Ciência UCP
V Jornadas ARP

A Prática da Conservação Preventiva



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

IX JORNADAS DA ARTE E CIÊNCIA UCP • V JORNADAS ARP

Homenagem a Luís Elias Casanovas
A Prática da Conservação Preventiva

COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

Eduarda Vieira

COORDENAÇÃO EXECUTIVA

Eduarda Vieira
Gonçalo Vasconcelos e Sousa

EQUIPA EDITORIAL

Rui Câmara Borges
Eduarda Vieira
José Carlos Frade

EDIÇÃO

Universidade Católica Editora
CITAR – Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes
Rua Diogo Botelho, 1327 – 4169-005 Porto
Porto, 2014

DESIGN CAPA

Angela Monteiro

DESIGN GRÁFICO + E-PAGINAÇÃO

Carlos Gonçalves

ADMINISTRAÇÃO DO SITE

Comunicação Católica Porto

DEPÓSITO LEGAL

375614/14

ISBN

978-989-98890-4-0

DATA

Porto, Abril de 2015

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



A IMPORTÂNCIA DA VIDA NO PÓ: AEROBIOLOGIA NA CONSERVAÇÃO PREVENTIVA

THE IMPORTANCE OF LIFE IN THE DUST: AEROBIOLOGY IN PREVENTIVE CONSERVATION

Patrícia R. Moreira⁽¹⁾ e Manuela Pintado⁽²⁾

⁽¹⁾ CENTRO DE INVESTIGAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DAS ARTES (CITAR), UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA, PORTO, PORTUGAL.

⁽²⁾ CENTRO DE BIOTECNOLOGIA E QUÍMICA FINA (CBQF), UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA, PORTO, PORTUGAL.

RESUMO

Para os profissionais de conservação e restauro, museólogos e curadores ligados a instituições culturais, públicas ou privadas, o controlo do pó representa um desafio, já que implica encontrar um equilíbrio entre o desgaste pela limpeza e o risco físico substancial de biodeterioração para os objectos culturais das colecções. A sua constituição em termos de microrganismos ou esporos, origem e formas de dispersão, variação sazonal, potencial de acumulação e formação de biofilmes, são informações obtidas pela aerobiologia e microbiologia que são relevantes no processo de decisão de adopção de intervenções, quer no campo da conservação curativa, quer no da conservação preventiva. A presença de componentes fúngicos nos bioaerossóis, monitorização do ar e sua utilização como indicador ecológico para o controlo de biocontaminação e a sua aplicação a casos específicos serão discutidos na sua estreita relação com a colonização na superfície de obras de arte e potencial biodeterioração daí resultante.

Palavras chave: Pó; Aerobiologia; Microrganismos; Esporos; Biodeterioração; Conservação Preventiva

ABSTRACT

For conservation professionals, museologists and curators from cultural institutions, either public or private, dust control represents an everyday challenge, since it means to find a balance between cleaning abrasion damage and substantial physical damage by biodeterioration for cultural objects. Dust constitution, in terms of microorganisms and spores, its origins and dispersion, seasonal variations, cumulative potential and biofilm formation is information gathered by aerobiology and microbiology that are relevant in the decision process for interventions, both for curative and preventive conservation. The presence of fungal components in bio-aerosols and air monitorization for use as ecological indicator of biocontamination outbreaks, as well as case studies, will be discussed in its close relation to work of art surface's colonization and resulting potential biodeterioration.

Keywords: Dust; Aerobiology; Microorganisms; Spores; Biodeterioration; Preventive Conservation

AEROBIOLOGIA

O pó é um material tão omnipresente no nosso quotidiano, que raramente lhe damos mais que alguns segundos da nossa atenção. Frequentemente existe um enfoque naquilo que é mais óbvio, a sua remoção das nossas habitações, dos nossos objectos, e de nós mesmos.

No entanto, para os profissionais de conservação e restauro, museólogos e curadores ligados a instituições culturais, públicas ou privadas, o pó adquire uma outra dimensão que requer uma reflexão mais ponderada. O pó representa um risco físico substancial para os objectos culturais das colecções, já que a sua acumulação envolve o potencial de biodeterioração resultante dos microrganismos e esporos que poderão estar associados a este.

A atmosfera terrestre contém uma grande quantidade de partículas sólidas que têm, na sua grande parte, origem biológica, mas apenas algumas são organismos vivos. Entre estes encontramos bactérias, esporos fúngicos, esporos de plantas (briófitas, por exemplo), células de algas, grãos de pólen, entre outros (Sorlini 1993).

O pó de ambientes interiores é uma mistura complexa de diferentes partículas entre 0.001 e 1 mm de diâmetro, incluindo fibras, cabelos, areia, produtos de combustão, insectos mortos, pólen, algas, fungos, seus esporos e bactérias (Korpi et al. 1997). Nesta mistura também se incluem compostos orgânicos voláteis e não voláteis, incluindo ácidos orgânicos, aldeídos e alcanos, muitos deles resultantes do metabolismo microbiano (Korpi et al. 1997). Cerca de 82% da massa do pó é constituída por matéria orgânica e o pó recolhido por um aspirador de uma habitação humana contém cerca de 3.1×10^6 UFC (Unidades Formadoras de Colónias)/g de bactérias e 3.8×10^5 UFC/g de material fúngico, sendo destes a maioria leveduras e fungos

filamentosos, entre os quais se incluem *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Trichoderma* e *Penicillium* sp. (Korpi et al. 1997; Karbowska-Berent et al. 2011). Em destaque estão os colonizadores primários, como *Aspergillus* e *Penicillium* sp., capazes de proliferar rapidamente, por produção rápida de grande quantidade de esporos, mesmo em superfícies com muito baixo nível de nutrientes (Pasanen et al. 1998), permitindo a colonização fúngica de basicamente qualquer superfície (em condições de humidade e temperatura adequadas). O seu crescimento poderá ocorrer em pouco mais de 24 horas, sendo que Korpi (1997) demonstrou que a actividade metabólica no pó aumenta após 11 dias a 84-86% de humidade relativa (HR) e depois de 3 dias a 96-98%. Em 25 dias, a concentração de esporos fúngicos no pó aumenta cerca de 45 vezes a 86% de HR, resultante sobretudo da proliferação de *Aspergillus* e *Penicillium*. A 96-98% de HR, o aumento de esporos fúngicos foi de 1370 vezes e 240 vezes para bactérias. Estes resultados são válidos para pó acumulado em qualquer tipo de superfície.

A percepção da importância dos componentes biológicos do pó resultou no desenvolvimento da Aerobiologia, que é definida como o estudo das fontes, dispersão e efeitos do material biológico (de uma forma geral) com presença na atmosfera. Esta ciência desenvolveu-se inicialmente intrinsecamente relacionada com o potencial alergénico que este material biológico apresenta e da sua importância para a saúde pública. As investigações em Aerobiologia consistem na identificação da fonte, da forma de acesso e zonas de acumulação de microrganismos, esporos e outros componentes biológicos do ar ou pó, permitindo a interpretação diária ou sazonal das suas movimentações.

As células dos microrganismos e esporos na atmosfera podem existir isolados ou aderidos a partículas de pó, gotas de água ou mesmo insectos. A sua origem poderá ser o solo, plantas ou aerossóis com gotículas de água (a superfície do oceano é um depósito de vida microscópica), entre outros (Sorlini 1993). Os microrganismos presentes no ar em ambientes fechados têm origem no ar exterior, em pó transportado por trabalhadores ou visitantes, células e pele, gotículas de saliva, ou resultantes de tosse e suor (Sorlini 1993).

A contaminação por microrganismos em espaços fechados de entrada controlada poderá resultar da infiltração de ar do exterior através de zonas pouco vedadas do edifício, assim como por introdução accidental ou não intencional como a entrada de água por inundação (Harkawy et al. 2011), e eventualmente através dos sistemas de ventilação não controlados. Os esporos mantêm-se no ar até que a sua velocidade de queda, que é proporcional ao quadrado do seu raio, seja menor que a velocidade da corrente de ar que os mantém em suspensão (Sorlini 1993). Em zonas agrícolas, onde o pó está presente ao nível do chão e nas plantas, existe grande concentração de esporos, na ordem das 10.000 unidades de esporos por metro cúbico de ar. Partículas menores de 1 micrón não sedimentam, mantendo-se sempre em suspensão (Sorlini 1993).

Existem indícios que partículas maiores de pó, que possam transportar microrganismos, têm maior potencial de se tornar potenciadores de biodeterioração, uma vez que têm maior rapidez e probabilidade de sedimentação (Sorlini 1993), embora careça de evidência fundamentada. No entanto, deve ser tomado em conta que microrganismos com necessidades nutricionais muito específicas (nomeadamente os patogénicos) não conseguem crescer com facilidade em obras de arte, sobretudo em superfícies com materiais inorgânicos devido à presença de condições nutricionais desfavoráveis.

PÓ, MICRORGANISMOS E BIOFILMES

A influência dos seres humanos, e no caso de objectos ou propriedades culturais, dos visitantes e trabalhadores, na deposição de pó e de microrganismos foi estudada em alguns casos relativamente específicos como o caso de edifícios históricos musealizados (Adams & Ford 2001; Lloyd et al. 2007a; Lloyd et al. 2002). Foi estabelecida a relação entre acumulação de pó e o número de visitantes e confirmado que os sapatos e roupa dos visitantes constituem a maior fonte de partículas presente no ar em instituições culturais fechadas, como sejam museus, bibliotecas e casas históricas.

O controlo do pó e sua acumulação nestes locais, representa na maioria das vezes a maior percentagem do orçamento da conservação preventiva (Lloyd *et al.* 2007b). Existe, portanto, uma necessidade de redefinição da necessidade, quantificação e calendarização diferenciada de limpeza. A substituição da limpeza periódica sistemática, que poderá aumentar a abrasão e danos materiais nos objectos (com custos ao nível de conservação curativa) por calendarização adaptada à necessidade real de limpeza para cada objecto, é um objectivo a atingir. Esta definição depende de estudos de Aerobiologia que demonstrem para cada caso e cada objecto, qual a quantidade, qualidade de pó e microrganismos depositados, sua origem, sazonalidade e relação com o número de visitantes.

A avaliação crítica do espaço e suas envolventes, com as suas qualidades arquitectónicas, características climatéricas e relação com o espaço exterior, juntamente com determinação do tipo e quantidade de microrganismos críticos presentes, deverá contribuir para melhor definir o plano de conservação preventiva destes espaços.

A tendência actual dos museus de criar exposições com maior proximidade entre o público e as obras expostas, muitas vezes com remoção de vitrinas protectoras, torna este ponto também um assunto de grande interesse para os museus.

Adicionalmente, embora na sua maioria, estas partículas sejam facilmente removíveis por aspiração ou com escovagem delicada, existe a necessidade de melhor compreender o fenómeno de acumulação e ligação à superfície de partículas. Já foi relatado o fenómeno de cimentação, onde as partículas mais antigas sofrem alterações substanciais que poderão resultar em danos químicos e físicos dos materiais onde se ligam (Lloyd *et al.* 2002). A cimentação de partículas que ocorre em condições de humidade alta pode ser resultante de processos biológicos, físicos ou químicos e decorre de forma muito rápida, muitas vezes em menos de um dia (Lloyd *et al.* 2007a). Nestas condições, a presença de microrganismos, sejam bactérias, sejam fungos, poderá resultar na produção de biofilmes adesivos que unem as partículas de pó juntamente com os microrganismos ao substrato, resultando na criação de um bioma estável e protegido que é promotor de biodeterioração.

O crescimento de microrganismos nas superfícies de materiais presentes em obras de arte, sejam em superfícies de materiais inorgânicos, como pedra, vidro, metais ou plásticos ou orgânicos como madeira, papel, telas de pinturas ou mesmo espécimes biológicos têm atraído a atenção dos investigadores.

Assim, existe a necessidade de identificar os microrganismos presentes no ar e associados a partículas de pó, em ambientes ligados às obras de arte. A partir desses dados é possível posteriormente encontrar a ligação entre os microrganismos identificados e o seu potencial perigo para objectos culturais de determinados tipos de material. Um exemplo é a detecção da presença de microrganismos produtores de enzimas celulolíticas com potencial de degradação de objectos de madeira, papel, ou têxteis celulósicos, ou de microalgas ou propágulos de líquenes em ambientes com pinturais murais. Entre os fungos com capacidades celulolíticas destacam-se *Trichoderma*, *Penicillium*, *Botrytis*, *Trichothecium*, *Phoma*, *Chaetomium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Stemphylium* (*Ulocladium*), *Alternaria*, *Hormodendrum*, *Aureobasidium*, *Papularia* e bactérias como *Bacillus*, *Cellulomonas*, *Cellfalciculata*, *Cellvibrio*, *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Streptomyces*. Com capacidades proteolíticas encontram-se por exemplo, *Aureobasidium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Botrytis*, *Trichoderma*, *Verticillium*, *Mucor*, *Epicoccum*, *Gymnoascus* e *Actinomycetes* (Harkawy *et al.* 2011).

Os esporos de fungos poderão apresentar diferentes concentrações no ar (e pó) de acordo com a luminosidade e temperatura. Os esporos de *Cladosporium*, *Ustilago* e *Alternaria*, fungos importantes nos processos de biodeterioração de obras de arte, apresentam maiores concentrações no início da tarde (Levetin 1990).

A sazonalidade tem um papel importante na qualidade microbiológica do ar, seja de ambientes exteriores, seja interiores. Verifica-se, na generalidade, que existem espécies de fungos mais presentes em determinadas estações do ano e áreas exteriores específicas, e tal reflectir-se-á também na qualidade de ar interior (Maggi *et al.* 2000). A repetição de análises microbiológicas

diária ou sazonalmente permitirá adquirir uma visão mais completa da qualidade do ar e suas flutuações, em locais de exposição ou armazenamento de objectos culturais.

A avaliação da qualidade microbiológica do ar interior é realizada através da avaliação quantitativa e qualitativa da presença de bactérias e células, fragmentos ou esporos de fungos e poderá ser suplementada com a avaliação da contaminação biológica dos objectos, ou de superfícies presentes no ambiente interior.

Contudo, é importante perceber que nem todos os microrganismos são capazes de crescer na superfície de obras de arte, resultando em biodeterioração. Este processo é complexo e depende das características do microrganismo, da composição química do substrato, das condições climáticas, como a temperatura e humidade, e também das condições atmosféricas de movimentação do ar. As condições climáticas influenciam a esporulação de fungos filamentosos, transformando o que poderá ser uma biocontaminação, contida num espaço limitado ou limitada a um ou poucos objectos, num processo de biocontaminação geral de espaços contíguos ou mesmo edifícios inteiros, sobretudo se se tratar de colonizadores primários como *Aspergillus* sp e *Penicillium* sp.

Num estudo numa biblioteca histórica de acesso restrito sujeita anteriormente a tratamento químico para desinfecção (Harkawy *et al.* 2011), detectou-se que os fungos filamentosos prevalecem no exterior, apresentando, este ambiente, menor diversidade, sendo o ar interior e o pó acumulado dominado por bactérias, algumas formadoras de esporos, como os *Bacillus* sp. e outras, resultantes de contaminação por presença humana. Neste caso, a biblioteca foi considerada em perigo de sofrer um ataque de biodeterioração, e fonte possível de efeitos adversos na saúde dos trabalhadores. No caso de presença de bactérias viáveis no ar e pó com potencial de biodeterioração, uma colecção de objectos culturais (neste caso, livros), poderão ser activamente colonizados com facilidade, se as condições de temperatura e humidade sofrerem pequenas modificações e sempre que o material de suporte seja adequado ao seu crescimento.

Os microrganismos dos bioaerossóis mantêm-se em suspensão por um período de tempo relativamente limitado, após o qual acumulam juntamente com o pó. O pó poderá ser uma fonte de nutrientes tanto para insectos como fungos, criando microambientes nas superfícies, já que impede a circulação normal de ar. Além disso as grandes áreas superficiais com acumulação de pequenas partículas de pó absorvem humidade com muita facilidade (Florian *et al.* 2009). A importância do pó, como fonte nutricional dos microrganismos, já foi descrita anteriormente por Korpi e colegas (1997).

O crescimento rápido de microrganismos nas superfícies de pedra ou de pinturas sobre pedra, resultando em graves casos de biodeterioração, tem chamado a atenção, não só dos investigadores da área e microbiólogos, mas também do público em geral, sobretudo com o caso das pinturas da Gruta de Lascaux (França), património da humanidade.

A biodeterioração actualmente presente na Gruta de Lascaux, constitui o exemplo paradigmático dos efeitos da exposição de obras de arte inseridas e estabilizadas num microclima e ambiente aerobiológico muito particular, quando submetidas a um processo de perturbação ecológica, resultante de um aumento massivo do fluxo de visitantes. Embora tenha sido detectado *Fusarium solani* como responsável pela biocontaminação de 2001, o aparecimento mais recente (em 2006) de manchas negras que se tornaram permanentes, levaram a uma série de investigações relacionadas com a ecologia das caves (Bastian *et al.* 2010; Bastian *et al.* 2009; Porca *et al.* 2011). A ecologia dos espaços assenta numa relação delicada entre as diferentes espécies de microrganismos, bactérias, fungos, algas e organismos mais complexos, como insectos, que vivem nesses locais. As condições ambientais e alterações destas relações são resultado da influência humana, seja pela alteração da aerobiologia do espaço, suas condições ambientais ou mesmo por intervenções (por vezes bem intencionadas) a nível de conservação curativa. Neste caso, em particular, a hipótese de origem da biocontaminação mais recente indica que o biocida utilizado para tratar a contaminação de 2001 estará a servir de suporte nutricional para os microrganismos, que de momento contribuem para a biodeterioração das pinturas da cave (Bastian *et al.* 2010).

Como resultado de um dos estudos de aerobiologia, que envolve um conjunto de grutas com características semelhantes às da Gruta de Lascaux, surge uma proposta de conservação preventiva, que classifica o grau de perigo de biocontaminação do espaço de acordo com a contagem de unidades formadoras de colónias (UFC) por metro cúbico de ar. As cinco categorias definidas classificam o nível de risco de biocontaminação e potencial perturbação ecológica que poderá resultar em biodeterioração (Porca *et al.* 2011).

Similarmente, outros autores, para outros espaços em ambientes com objectos culturais (Karbowska-Berent *et al.* 2011; Parchas 2008) sugerem valores limite semelhantes, dentro da gama de 150 a 500 UFC por metro cúbico de ar, para a composição em espécies com potencial de biodeterioração, sendo que nenhuma espécie particular deverá ultrapassar os 50 UFC/m³. Valores superiores a estes deverão representar um alerta para uma das seguintes situações (Karbowska-Berent *et al.* 2011): existência de humidade, presença de uma biocontaminação activa ou de um aerossol em particular.

Também neste estudo foi possível fazer a associação dos fungos detectados no ar e sua relação com o ar exterior, ou a presença de visitantes, reforçando o papel da atmosfera e da presença humana como veículo de transporte e dispersão de microrganismos e nutrientes para zonas interiores, muitas das quais praticamente inacessíveis.

Igualmente, a adaptação de novos organismos no espaço museológico, substituindo os que seriam os contaminantes originais, resulta muitas vezes num sistema ecológico complexo e defensivo, com a formação de biofilmes organizados.

Tanto no caso de Lascaux, como em outros mais recentemente estudados (Porca *et al.* 2011; Urzì *et al.* 2010), parece cada vez mais importante o estudo das relações ecológicas que associam bactérias aos fungos e ambos à microflora fototrófica presente nos biofilmes, para que os dados sobre as suas relações na comunidade microbiana permitam explicar as alterações observadas nos objectos culturais.

Se inicialmente o estudo dos biofilmes, quando relacionado com objectos culturais, estava sobretudo relacionado com a formação de biofilmes de algas e cianobactérias em materiais inorgânicos como o caso da pedra, a formação de biofilmes de outro tipo de microrganismos, nomeadamente de bactérias e fungos é hoje muito relevante. Com o estudo detalhado dos organismos e da organização ecológica é possível identificar os diferentes tipos de biofilmes presentes, relacioná-los com diferentes nichos ambientais (dependentes dos materiais e condições de luz, humidade e fluxo de ar), cada um com a sua diversidade microbiana específica (Urzì *et al.* 2010).

Embora, o estudo dos biofilmes fúngicos esteja menos aprofundado que o das bactérias, estudos mais recentes (Torre *et al.* 1993; Ramage *et al.* 2011; Harding *et al.* 2009; Blankenship & Mitchell 2006)», sobretudo relacionados com questões de saúde pública, permitem ir acumulando dados e obter respostas importantes no campo dos mecanismos de desenvolvimento de biofilmes na biodeterioração de obras de arte.

CONCLUSÕES

O conhecimento do número e variedade de microrganismos presentes na atmosfera e em partículas de pó, seja no exterior ou no interior, é importante para a prevenção da biodeterioração de obras de arte. Uma vez que risco zero apenas poderá ser obtido em condições de esterilidade, o que é impensável quando se trata de obras de arte, outras estratégias deverão ser desenvolvidas para a redução deste risco.

Os estudos já realizados são um exemplo de como a investigação aerobiológica, do pó e dos biofilmes, permite a recolha de dados relevantes que suportam o desenho e controlo de intervenções a nível da conservação preventiva de objectos culturais em ambientes fechados. Apenas com a completa descrição do bioma presente no ambiente onde se inclui o objecto cultural, incluindo a diversidade biológica do ar e pó presente nas superfícies e materiais, e sua relação com as condições ambientais, será possível o estabelecimento, caso a caso, de

uma estratégia de conservação preventiva, que permita uma manutenção a médio e longo prazo mais eficaz.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, S.J. & FORD, D., 2001. Monitoring of deposited particles in cultural properties: the influence of visitors. *Atmospheric Environment*, 35(24), pp.4073-4080.
- BASTIAN, F., JURADO, V., NOVAKOVA, A., ALABOUVETTE, C. & SAIZ-JIMENEZ, C. 2009. Impact of biocide treatments on the bacterial communities of the Lascaux Cave. *Naturwissenschaften*, 96(7), pp.863-868.
- BASTIAN, F., JURADO, V., NOVAKOVA, A., ALABOUVETTE, C. & SAIZ-JIMENEZ, C. 2010. The microbiology of Lascaux Cave. *Microbiology*, 156(3), pp.644-652.
- BLANKENSHIP, J.R. & MITCHELL, A.P., 2006. How to build a biofilm: a fungal perspective. *Current Opinion in Microbiology*, 9(6), pp.588-594.
- FLORIAN, M.-L.E., KRONKRIGHT, D.P. & NORTON, R.E., 2009. *The Conservation of Artifacts Made from Plant Materials*.
- HARDING, M., MARQUES, L. & HOWARD, R., 2009. Can filamentous fungi form biofilms? *Trends in microbiology*. 17(11), pp.475-480.
- HARKAWY, A., GÓRNY, R., OGIERMAN, L., WLAZŁO, A., LAWNICZEK-WALCZYK, A. & NIESLER, A. 2011. Bioaerosol assessment in naturally ventilated historical library building with restricted personnel access. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 18(2), pp.323-329.
- KARBOWSKA-BERENT, J., GÓRNY, R., STRZELCZYK, A., & WLAZŁO, A. 2011. Airborne and dust borne microorganisms in selected Polish libraries and archives. *Building and Environment*, 46(10), pp.1872-1879.
- KORPI, A., PASANEN, A., PASANEN, P., & KALLIOKOSKI, P. 1997. Microbial growth and metabolism in house dust. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 40(1), pp.19-27.
- LEVETIN, E., 1990. Studies on airborne basidiospores. *Aerobiologia*, (6), pp.177-180.
- LLOYD, H., LITHGOW, K., BRIMBLECOMBE, P., YOON, H., FRAME, K., & KNIGHT, B. 2002. The effects of visitor activity on dust in historic collections. *The Conservator*, 26(1), pp.72-84.
- LLOYD, H., BENDIX, C., BRIMBLECOMBE, P. & THICKETT, P. 2007a. Dust in Historic Libraries. *Museum Microclimates, National museum of Denmark*, pp.135-144.
- LLOYD, H., BRIMBLECOMBE, P. & LITHGOW, K., 2007b. Economics of dust. *Studies in Conservation*, pp.135-146.
- MAGGI, O., PERSIANI, A., GALLO, F., VALENTI, P., PASQUARIELLO, G., SCLOCCHI, M. & SCORRANO, M. 2000. Airborne fungal spores in dust present in archives: Proposal for a detection method, new for archival materials. *Aerobiologia*, 16(3-4), pp.429-434.
- PARCHAS, M.D., 2008. Comment faire face aux risques biologiques. *Direction des Archives de France*.
- PASANEN, A.-L., KORPI, A., KASANEN, J-P. & PASANEN, P. 1998. Critical aspects on the significance of microbial volatile metabolites as indoor air pollutants. *Environment International*, 24(7), pp.703-712.
- PORCA, E., JURADO, V., MARTIN-SANCHEZ, P., HERMOSIN, B., BASTIAN, F., ALABOUVETTE, C. & SAIZ-JIMENEZ, C., 2011. Aerobiology: An ecological indicator for early detection and control of fungal outbreaks in caves. *Ecological Indicators*, 11(6), pp.1594-1598.
- RAMAGE, G., RAJENDRAN, R., GUTIERREZ-CORREA, M., JONES, B. & WILLIAMS, C. 2011. *Aspergillus* biofilms: clinical and industrial significance. *FEMS Microbiology Letters*, 324(2), pp.89-97.
- SORLINI, C., 1993. Aerobiology: General and applied aspects in the conservation of art works. *Aerobiologia*, (9), pp.109-115.
- TORRE, M.A., GÓMEZ-ALARCÓN, G. & PALACIOS, J.M., 1993. "In vitro" biofilm formation by *Penicillium frequentans* strains on sandstone, granite, and limestone. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 40(2), pp.408-415.

URZÌ, C., DE LEO, F., BRUNO, L. & ALBERTANO, P. 2010. Microbial diversity in paleolithic caves: a study case on the phototrophic biofilms of the Cave of Bats (Zuheros, Spain). *Microbial Ecology*, 60(1), pp.116–129.

AGRADECIMENTOS

A autora P.R. Moreira agradece o apoio financeiro pelo Estado Português através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito da bolsa de pós-doutoramento SFRH / BPD / 74624 / 2010.

CURRÍCULO DAS AUTORAS

Patricia R. Moreira

Doutorada em Biotecnologia pela Escola Superior de Biotecnologia (ESB) da UCP (Universidade Católica Portuguesa). Investigadora do Centro de Biotecnologia e Química Fina (CBQF) e do Centro de Investigação em Ciências e Tecnologias das Artes (CITAR) da UCP. Trabalha na área de biodeterioração e biodegradação de materiais orgânicos e inorgânicos com principal enfoque no papel dos microorganismos. Especialista na área de micologia, tem especial interesse na identificação de fungos filamentosos e leveduras responsáveis pela biodeterioração de bens culturais por métodos clássicos e de biologia molecular. Actualmente trabalha em inovação em biotecnologia e nanotecnologia para aplicações na conservação preventiva de objectos de arte.

Contacto: prmoreira@porto.ucp.pt

Manuela Pintado

Doutorada em Biotecnologia pela Escola Superior de Biotecnologia (ESB) da UCP (Universidade Católica Portuguesa). Investigadora do Centro de Biotecnologia e Química fina (CBQF) e professora da ESB na área da microbiologia e imunologia.

Contacto: mmpintado@porto.ucp.pt