

UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA

**QUALIDADE DO AR INTERIOR EM MUSEUS, BIBLIOTECAS E ARQUIVOS E
SUA IMPORTÂNCIA NA PRESERVAÇÃO DE ACERVOS**

Tese apresentada à Universidade Católica Portuguesa

para obtenção do grau de Doutor em Conservação e Restauro de Bens Culturais

por

Karen Cristine Barbosa

ESCOLA DAS ARTES

Novembro 2022



UNIVERSIDADE CATÓLICA PORTUGUESA

**QUALIDADE DO AR INTERIOR EM MUSEUS, BIBLIOTECAS E ARQUIVOS E
SUA IMPORTÂNCIA NA PRESERVAÇÃO DE ACERVOS**

Tese apresentada à Universidade Católica Portuguesa

para obtenção do grau de Doutor em Conservação e Restauro de Bens Culturais

Por Karen Cristine Barbosa

Sob orientação de:

Doutora Patrícia Raquel Fernandes de Melo Moreira da Costa

Doutora Eduarda Maria Martins Moreira da Silva Vieira

Doutora Teresa Alexandra da Silva Ferreira

ESCOLA DAS ARTES

Novembro 2022

Resumo

O trabalho de investigação aqui descrito, procurou alcançar um maior entendimento sobre os poluentes no interior de museus, bibliotecas e arquivos (MBA) sem negligenciar as diretrizes já pré-estabelecidas para a saúde humana, e objetivou averiguar como as instituições portuguesas e brasileiras abordam o tema. Com base na revisão literária, que permitiu a compreensão sobre a evolução das investigações sobre poluentes no meio patrimonial ao longo dos anos, foi observada uma incidência reduzida de publicações e investigações provenientes de países como Portugal e Brasil.

Os estudos de caso desenvolvidos em dois museus portugueses, no Museu Coleção Berardo (MCB), Lisboa, e no Museu Nacional Soares dos Reis (MNSR), Porto, evidenciaram a relevância da realização de medições de poluentes não só nos espaços museológicos, mas também no interior de vitrines. No MCB os resultados das análises revelaram concentrações de compostos orgânicos voláteis totais (COVT) cerca de 11 vezes superiores na galeria expositiva, quando comparado com o interior de uma vitrine contendo uma pintura moderna (madeira, óleo e metal). Sendo que para o ácido acético e ácido fórmico se detetou o inverso. Em laboratório, foi possível identificar cerca de 100 COVs diferentes provenientes de materiais utilizados nas remodelações das galerias expositivas, através da microextração em fase sólida e cromatografia gasosa acoplada a um espectrómetro de massa (SPME-GC/MS).

No estudo realizado no MNSR, foi possível verificar que a qualidade do ar pode apresentar-se diferente entre os seus diversos espaços, no que diz respeito aos tipos e quantidade de poluentes. Entre os resultados obtidos, sobressaíram as amostragens realizadas em uma vitrine vazia, onde foram identificados 53 compostos diferentes, cujas concentrações totais de COVs foram de até 90 vezes superiores àquelas recomendadas para acervos em geral. No interior de um mobiliário de madeira numa reserva de materiais cerâmicos e vidros arqueológicos, foi evidente o potencial da madeira de emitir compostos voláteis ácidos e formaldeído, ao registar concentrações superiores àquelas recomendadas para acervos.

Os estudos realizados nos museus portugueses foram complementados pelos resultados dos inquéritos previamente distribuídos, tendo-se verificada a ausência de protocolos e diretrizes em relação ao controlo, monitorização sistemática, valores-limite de compostos voláteis e materiais particulados em microclimas de acervo e no interior de vitrines. Baseado nessa observação e como estratégia para implementar os conhecimentos adquiridos, foi criada a rede temática luso-brasileira sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA), com o objetivo principal de disseminar o conhecimento sobre o tema dos poluentes e sua influência na qualidade do ar, além de promover a interação entre investigadores, que detenham o conhecimento técnico e científico, e os profissionais de MBA, cuja responsabilidade seja a salvaguarda dos acervos.

Palavras-chave

Qualidade do ar interior; poluentes em museus; avaliação de risco; compostos orgânicos voláteis; conservação preventiva.

Abstract

The investigation presented herein, aimed to achieve a better understanding about the pollutants inside museums, libraries, and archives (MLA) without disregarding the already pre-established guidelines for human health, and aimed to ascertain how the Portuguese and Brazilian institutions approach the subject. Based on literary review, which provided an understanding of the evolution of research on pollutants in the heritage environment over the years, it was observed a reduced incidence of publications and research coming from countries like Portugal and Brazil.

The case studies in two Portuguese museums, Museu Coleção Berardo (MCB), Lisbon, and Museu Nacional Soares dos Reis (MNSR), Porto, showed the relevance of carrying out measurements of pollutants not only in museum spaces, but also inside showcases. At MCB the results of the analysis showed concentrations of total volatile organic compounds (TVOC) about 11 times higher in the exhibition gallery when compared to the inside of a display case containing a modern painting (wood, oil and metal), while the concentrations of acetic acid and formic acid were the opposite. It was also possible to identify about 100 different COVs from materials used in the renovations of the exhibition galleries, using solid phase microextraction technique followed by gas chromatography analysis coupled to a mass spectrometer (SPME-GC/MS),

In the study carried out in MNSR, it was possible to verify that in the same building, the air quality can present itself differently among different places when regarding the types and quantity of pollutants. The sampling carried out in an empty showcase allowed identification of 53 different compounds, whose total concentrations of VOCs were up to 90 times higher than those recommended for collections in general. Inside a wooden cabinet in a storage of ceramic materials and archaeological glass, the potential of wood to emit volatile acidic compounds and formaldehyde was evident, with concentrations detected higher than those recommended for collections.

The studies carried out in Portuguese museums were complemented by the results of previously distributed surveys, where the lack of protocols and guidelines regarding the control, systematic monitoring, limit values of volatile compounds and particulate matter, in collection microclimates and inside showcases was detected. Based on this observation and as a strategy to implement the acquired knowledge, the Luso-Brazilian Thematic Network on Indoor Air Quality in Museums, Libraries and Archives (QAI-MBA) was created, with the main goal of disseminating knowledge on the subject of pollutants and their influence on air quality, as well as promoting interaction between researchers, who hold the technical and scientific knowledge, and MLA professionals, whose responsibility is to safeguard the collections.

Keywords

Indoor air quality; pollutants in museums; risk assessment; volatile organic compounds; preventive conservation.

Ao Plínio, Anna e Cléo, com amor.

“How profound that mystery of the Invisible is! We cannot fathom it with our miserable senses: our eyes which are unable to perceive what is either too small or too great, too near to us, or too far from us”.

Guy de Maupassant, *‘The Horla’* (1887)

Agradecimentos

À professora Patrícia Moreira, pela orientação, paciência, sensatez, pelos ensinamentos e pela amizade.

À professora Eduarda Vieira, pela confiança e credibilidade depositada, pelo apoio e ensinamento.

À professora Teresa Ferreira (Xana), pela rica orientação na área analítica, pelo apoio, suporte e ensinamentos.

Ao António Mendes do Museu Coleção Berardo, por ter sido solícito e por ter aberto as portas do museu aos meus primeiros experimentos e ao Rodrigo Bettencourt, pelo auxílio na recolha das amostras no museu.

Agradeço à Salomé Carvalho do Museu Nacional Soares dos Reis, por ter possibilitado os estudos da qualidade do ar no interior do museu.

Às colegas de doutoramento, Isabel Ferreira, Joana Palmeirão, Mário Pastor, mas principalmente à Alexandra Marco, por ter sido sempre tão solícita em me ajudar todas as vezes que precisei.

Ao Laboratório HERCULES, ao CINATE, ao INEGI, à IVL, à Ambicontrol e à TESTO, por terem possibilitado dados acurados para esse trabalho.

Ao CITAR, por ter sediado e apoiado a rede temática sobre a qualidade do ar interior em museus, bibliotecas e arquivos (QAI-MBA).

À Fátima Poças e particularmente ao Joel Pereira do CINATE, Escola Superior de Biotecnologia, CBQF, UCP, pelas análises desenvolvidas com o SPME-GC/MS e pelas explicações pacientes.

À Virgínia Costa, pela colaboração, disponibilidade, ensinamentos e conselhos na criação da Rede Temática.

Ao Thiago Puglieri, Andrea Cavicchioli, Patrícia Schossler, Bruno Fedeli, Sérgio Caeiro, Paula Menino Homem, Marta Gabriel, Jandira Flaeschen, Renato Freitas e Maria João Melo, por terem cedido gentilmente parte do seu tempo e conhecimento nas apresentações dos *webinars* da Rede Temática QAI-MBA. Agradecimento especial à Gabriela Ventura por ser sempre tão solícita e colaborativa nas análises e na busca de novas metodologias de medição de poluentes, além do compartilhamento de experiência no *webinar* da Rede Temática.

À equipe do Laboratório HERCULES, em Évora, particularmente à Margarida Nunes e à Gláucia Wanzeller, pelas análises laboratoriais realizadas, pela disponibilidade, discussões e simpatia.

À Patrícia Fontes pelo apoio durante as sessões de *webinars* da rede temática QAI-MBA e por fazer tudo funcionar muito bem e ao João Pedro Amorim pelo suporte no *site*.

À Orlanda Martins, pela colaboração e prontidão nas compras dos dispositivos e à Maria Silva, por ser tão solícita e colaborativa.

À Carmen Diego Gonçalves pelas sugestões no inquérito.

À Isis Baldini, pela contribuição na divulgação da Rede Temática QAI-MBA e por ter possibilitado o alcance que tivemos.

À Cléo Barbarino, pela colaboração, organização e apoio no lançamento da Rede Temática e pela contribuição com as análises de dados com a plataforma SPSS.

À Anna Barbarino, pela colaboração com os gráficos de temperatura e HR.

Ao Plínio Barbarino, meu *sponsor*, meu companheiro, meu amigo, meu marido, por ter possibilitado a realização deste doutoramento e de uma nova vida em Portugal, por ter acreditado e me incentivado e por ter feito deste sonho uma realidade.

Abreviaturas e siglas

APA: Agência Portuguesa do Ambiente

ASHRAE: do inglês: *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.*

AVAC: aquecimento, ventilação e ar-condicionado

BTEX: benzeno, tolueno, etilbenzeno, *o-m-p*-xileno

CINATE: Laboratório de Análises e Ensaios a Alimentos e Embalagens

CITAR: Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes

COMV: Composto orgânico muito volátil

CONAMA: Conselho Nacional do Meio Ambiente (BR)

COS: sulfureto de carbonilo (PT) / sulfureto carbonílico (BR) (do inglês: *carbonyl sulfide*)

COSV: Composto orgânico semi-volátil

COV: Composto orgânico volátil

COVT: Concentração total de composto orgânico volátil

E.C.C.O.: do inglês: *European Confederation of Conservator-Restorers Organizations*

EDS: Espectrometria de energia dispersiva de raios-X (do inglês: *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*)

EEA: do inglês: *European Environment Agency*

EPA: do inglês: *Environmental Protection Agency*

FTIR: Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (do inglês: *Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

GC/MS: Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massa (do inglês: *Gas Chromatography Mass Spectrometry*)

HR (PT) ou UR (BR): humidade relativa (PT) ou umidade relativa (BR)

IBRAM: Instituto Brasileiro de Museus

ICCROM: do inglês: *International Centre for the Study of the Preservation and Restoration of Cultural Property*

ICOM: do inglês: *International Council of Museums*

ISO: Organização Internacional para Padronização (do inglês: *International Organization for Standardization*)

LOAED: Dose mínima com efeitos adversos observáveis (do inglês: *Lowest observed adverse effect dose*)

LOAEL: Nível mínimo com efeitos adversos observáveis (do inglês: *Lowest observed adverse effect level*)

MBA: Museus, Bibliotecas e Arquivos

MCB: Museu Coleção Berardo

MNSR: Museu Nacional Soares dos Reis

MO: Microscopia Ótica

NOAEL: Nível sem efeitos adversos observáveis (do inglês: *No observed adverse effect level*)

OMS: Organização Mundial da Saúde (do inglês: *WHO, World Health Organization*)

OSB: Painel de Tiras de Madeira Orientadas (do inglês: *oriented strand board*)

OSHA: do inglês: *Occupational Safety and Health Administration*

PE: Polietileno

PET: Polietileno tereftalato

PM: Material particulado (do inglês: *particulate matter*)

PM₁₀: material particulado onde as partículas têm o diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 10 µm

PM_{2.5}: material particulado onde as partículas têm o diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 2.5 µm

ppb: 1 parte em 1 bilhão (1 x 10⁻⁹) (do inglês: *parts per billion*)

ppm: 1 parte em 1 milhão (1 x 10⁻⁶) (do inglês: *parts per million*)

PRONAR: Programa Nacional de Qualidade do Ar

PVC: Policloreto de vinilo

QAI: Qualidade do Ar Interior

QAI-MBA: Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos

MEV (SEM): Microscopia Eletrônica de Varrimento (PT)/Varredura (BR) (do inglês: *Scanning Electron Microscopy*)

SPME: Microextração em fase sólida (do inglês: *Solid Phase Micro-Extraction*)

UNESCO: Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e a Cultura

XRF: Fluorescência de raio X (do inglês: *X-ray Fluorescence*)

ÍNDICE

Introdução	1
1 Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos - Revisão sobre poluentes no contexto de instituições que albergam bens culturais	5
1.1 Estado da arte.....	6
1.2 Principais poluentes gasosos e material particulado	18
1.2.1 Acetaldeído	19
1.2.2 Ácido acético.....	20
1.2.3 Ácido fórmico	23
1.2.4 Água.....	24
1.2.5 Amoníaco.....	25
1.2.6 Compostos orgânicos voláteis.....	26
1.2.7 Dióxido de azoto.....	28
1.2.8 Dióxido de enxofre.....	29
1.2.9 Formaldeído	32
1.2.10 Sulfureto de hidrogénio.....	34
1.2.11 Material particulado.....	36
1.2.12 Ozono.....	38
1.3 Fontes de Poluentes.....	40
1.3.1 Plástico.....	43
1.3.2 Papel.....	45
1.3.3 Tela	47
1.3.4 Madeira	47
1.3.5 Subprodutos da madeira.....	50
1.3.6 Vitrine e moldura microclimática	52
1.3.7 Outras fontes	54
1.4 Efeitos sinérgicos e reações entre os poluentes e outros fatores	56
1.4.1 Embaciamento e imagens fantasma no interior de vidros de vitrines.....	58

1.4.2	Temperatura e Humidade Relativa (HR)	59
1.4.3	Radiações de luz visível e de ultravioleta (UV).....	61
1.4.4	Valores-limite conhecidos para determinados compostos.....	61
1.5	Estratégias de controlo	68
1.5.1	Monitorização	68
1.5.1.1	A-D strips.....	70
1.5.1.2	Oddy Test.....	71
1.5.1.3	Placas de metal.....	72
1.5.1.4	Dosímetros de placa de vidro (GSD: Glass Slide Dosimeter)	73
1.5.1.5	Cristais Piezoelétricos de Quartzo (PQC: Piezoelectric Quartz Crystal). 74	
1.5.1.6	SPME-GC/MS	75
1.5.1.7	Tubos de Tenax® TA.....	76
1.5.1.8	Amostradores difusivos IVL.....	76
1.5.2	Identificação de poluentes pelo odor	78
1.6	Estratégias para mitigação.....	79
1.6.1	Materiais com baixa emissão de poluentes.....	80
1.6.2	Barreiras contra poluentes.....	80
1.6.3	Absorção e adsorção	81
1.6.3.1	Carvão ativado	82
1.6.3.2	Zeólito.....	83
1.6.3.3	Absorvedores de oxigênio.....	84
1.6.3.4	Sílica gel.....	85
1.6.3.5	Redes Metalorgânicas	86
1.6.4	As vitrines ou molduras microclimáticas.....	87
1.6.5	Taxa de renovação do ar e ventilação	89
1.6.6	Filtros	89
1.7	Principais projetos europeus com desenvolvimento de novos dispositivos ou metodologias associadas a poluentes no património cultural	92
1.7.1	AMECP.....	92

1.7.2	MASTER	93
1.7.3	MIMIC	94
1.7.4	IMPACT	95
1.7.5	SENSORGAN.....	96
1.7.6	PROPAINTE	96
1.7.7	MUSECORR.....	97
1.7.8	MEMORI	98
1.7.9	APACHE.....	99
1.7.10	NEMOSINE	100
1.7.11	CollectionCare	101
1.7.12	SensMat.....	101
1.8	Comentários.....	102
2	Estudos de Caso.....	104
2.1	Introdução	105
2.2	Estudo de caso: Museu Coleção Berardo.....	107
2.2.1	Resumo	107
2.2.2	O Museu.....	107
2.2.3	Objeto de estudo.....	108
2.2.4	Estudo da QAI.....	111
2.2.4.1	Materiais e métodos	111
2.2.4.2	Procedimentos para a amostragem do ar.....	113
2.2.4.3	Resultado e discussão.....	115
2.2.4.4	Parâmetros pré-existentes de qualidade do ar interior no MCB	118
2.2.4.5	Parâmetros de temperatura e HR	120
2.2.5	Estudo da pintura	124
2.2.5.1	Amostragem.....	124
2.2.5.2	Coleta e preparação das amostras	125
2.2.5.3	Materiais e métodos	126
2.2.5.4	Resultado e discussão.....	128

2.2.5.5	Camadas de policromia da pintura.....	128
2.2.5.6	Camadas de policromia da moldura.....	132
2.2.6	Estudo dos materiais de construção dos espaços expositivos.....	136
2.2.6.1	Escolha e preparação das amostras.....	136
2.2.6.2	Procedimentos e condições do HS-SPME-GC/MS.....	138
2.2.6.3	Resultado e discussão.....	139
2.2.7	Comentários.....	145
2.3	Estudo de caso: Estudo da qualidade do ar no interior do Museu Nacional Soares dos Reis.....	149
2.3.1	Introdução.....	149
2.3.2	Objeto de estudo: O Museu.....	150
2.3.3	Materiais e métodos.....	151
2.3.4	Estratégia de amostragem.....	154
2.3.5	Locais de amostragem.....	157
2.3.5.1	L1: Vitrine.....	157
2.3.5.2	L2: Galeria de esculturas.....	158
2.3.5.3	L3: Sala de exposição temporária grande.....	159
2.3.5.4	L4: Reserva de mobiliário.....	160
2.3.5.5	L5: Reserva de lapidária.....	161
2.3.5.6	L6: Sala das Pedras.....	162
2.3.5.7	L7: Sala-cofre.....	163
2.3.5.8	L8: Reserva de pintura.....	164
2.3.5.9	L9: Reserva de cerâmica.....	165
2.3.6	Resultados e discussão.....	166
2.3.6.1	Vitrine.....	168
2.3.6.2	Galeria de esculturas.....	170
2.3.6.3	Sala de exposição temporária grande.....	170
2.3.6.4	Reserva de mobiliário.....	171
2.3.6.5	Reserva de lapidária.....	172
2.3.6.6	Sala das Pedras.....	172

2.3.6.7	Sala-cofre	173
2.3.6.8	Reserva de pintura.....	174
2.3.6.9	Reserva de cerâmicas.....	174
2.3.7	Comentários	175
2.4	A prática do uso de vidros/acrílicos como proteção de pintura em museus:	
Inquérito 1	178
2.4.1	Objetivos.....	179
2.4.2	Publico-alvo	181
2.4.3	Método experimental	181
2.4.4	Informações institucionais	182
2.4.5	Proteção frontal de vidro ou acrílico.....	186
2.4.6	Molduras microclimáticas e caixas de vidro/acrílico.....	189
2.4.7	Proteções no reverso	195
2.4.8	Abordagem conceitual	196
2.4.9	Poluentes.....	199
2.4.10	Comentários	201
3	Rede Temática sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA).....	204
3.1	A rede temática QAI-MBA	205
3.1.1	Introdução	205
3.1.2	Objetivos.....	208
3.1.3	Definição.....	210
3.1.4	Metodologia	211
3.1.4.1	Microsite	212
3.1.4.2	Webinars	214
3.1.4.3	Webinar inaugural da rede temática QAI-MBA	217
3.1.4.4	Público-alvo	217
3.1.4.5	Método experimental	218
3.1.4.6	Análise dos dados.....	220

3.1.4.7	Comentários	224
3.1.5	A qualidade do ar interior em museus, bibliotecas e arquivos: Inquérito.....	225
3.1.6	Público-alvo	225
3.1.7	Método experimental	226
3.1.8	Análise dos dados.....	227
3.1.8.1	Temperatura e HR.....	227
3.1.8.2	Radiações de luz e de ultravioleta.....	228
3.1.8.3	Poluentes.....	229
3.1.8.4	Alterações durante a pandemia de COVID-19	231
3.1.9	Discussão dos resultados.....	232
3.1.10	Comentários	235
	Considerações finais e perspectivas futuras	237
	Glossário	241
	Referências bibliográficas	244
	APÊNDICE.....	278
	Apêndice I.....	279
	Apêndice II.....	300
	Apêndice III.....	304
	Apêndice IV	323
	ANEXOS.....	325
	Anexo A.....	326
	Anexo B.....	328
	Anexo C.....	330
	Anexo D.....	333
	Anexo E.....	339
	Anexo F.....	345

Anexo G.....	348
Anexo H.....	364
Anexo I.....	367
Lista de comunicações e publicações.....	383

Índice de Figuras

Figura 1 Esquema simplificado de uma vitrine e moldura microclimática. (A): Vitrine microclimática; (B): Moldura microclimática.	88
Figura 2. Museu Coleção Berardo, Centro Cultural Belém. (A) Vista aérea do MCB (laranja), inserido no CCB (vermelho), próximo ao rio Tejo, em Belém, Lisboa, Portugal. Fonte: Google mapas; (B) Visão do complexo do CCB e MCB a direita da foto.....	108
Figura 3 Léon Tutundjian, 1929, s/título, relevo, óleo sobre madeira e metal, 51 cm x 60 cm x 10 cm. Acervo: Museu Coleção Berardo. (A): Obra inserida na vitrine: visão frontal; (B): Reverso da moldura, pontos de fixação da moldura no acrílico com parafusos (azul) e pontos de fixação da obra na moldura (vermelho).....	110
Figura 4 Esquema gráfico da vitrine de Léon Tutundjian, MCB. (A) Esquema gráfico com medidas da vitrine; (B) Esquema da visão lateral da vitrine e modo de fixação	110
Figura 5 Posicionamento dos dispositivos de amostragem passiva na vitrine. (A): Pintura com a moldura na vitrine; (B): Dispositivo Tenax [®] TA; (C): Dispositivo para gases ácidos; (D): Data logger Testo e dispositivo para gases ácidos IVL posicionados sobre a vitrine.	114
Figura 6 Exterior da vitrine: Gráfico de temperatura e HR referente ao intervalo entre os dias 20/08/2019 e 24/01/2020 na galeria 3 norte piso 2 no MCB.....	121
Figura 7 Interior da vitrine: Gráfico de temperatura e HR referentes ao intervalo de dias entre 20/08/2019 e 24/01/2020 no interior da vitrine, localizada na galeria 3 norte piso 2 no MCB.....	122

Figura 8 Gráfico de temperatura e HR referente ao interior da vitrine durante o mês de janeiro de 2020.....	123
Figura 9 Gráfico de temperatura e HR referente ao exterior da vitrine durante o mês de janeiro de 2020.....	124
Figura 10 Léon Tutundjian, óleo sobre madeira e metal. MCB: detalhe dos locais de retirada das amostras.....	126
Figura 11 Léon Tutundjian, óleo sobre madeira e metal. MCB. (A) Sinalização do local de retirada da amostra; (B) Detalhe do local de retirada da amostra, junção entre o relevo semiesférico e o suporte plano de madeira.	129
Figura 12 Corte estratigráfico da amostra n° 2. (A) corte estratigráfico visto em microscopia ótica (10x/0.10). Créditos: A.P.; (B) MEV ampliação 70 x com numeração das camadas.....	129
Figura 13 Mapa de distribuição elementar MEV-EDS da amostra 2 em detalhe com ampliação de 250 x por MEV-EDS. (A) Camadas numeradas; (Pb) Mapa elementar do chumbo; (S) Mapa elementar do enxofre; (Ba) Mapa elementar do bário; (Ca) Mapa elementar do cálcio e (Zn) Mapa elementar do zinco.....	130
Figura 14 Espectroscopia Raman: Amostra n° 2, camada n° 3.....	131
Figura 15 Corte estratigráfico da amostra n° 1. (A) corte estratigráfico visto em microscopia ótica (4x/0.10). Créditos: A.P.; (B) SEM ampliação 100 x com numeração das camadas.....	133
Figura 16 Corte estratigráfico da amostra n° 4: (A) corte estratigráfico visto em microscopia ótica (10x/0.25). Créditos: A.P.; (B) MEV ampliação 120 x com numeração das camadas.....	134
Figura 17 Mapa de distribuição elementar MEV-EDS da amostra 4. (A) Detalhe da amostra 4 com ampliação de 350 x por MEV-EDS. Camadas numeradas no canto superior esquerdo e mapa elementar do cálcio (Ca), bário (Ba), enxofre (S), zinco (Zn) e silício (Si).....	134
Figura 18 Espectroscopia Raman: Camada n° 3 da amostra n° 1, referente a policromia da moldura onde evidencia a presença de calcite e barite e uma provável presença do sulfureto de zinco.....	135

Figura 19 Amostras de materiais de construção de exposição temporária antes e após serem pesadas e inseridas em vials. (A) Tinta plástica Robbialac Stucomat Ultra-mate branca; (B) Vials com tinta; (C) Aglomerado; (D) Vials com aglomerado; (E) Aglomerado pintado (revestimento aplicado há mais de 6 meses); (F) Vials com aglomerado pintado; (G) MDF; (H) Vials com MDF.....	137
Figura 20 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS da tinta utilizada em revestimentos de aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB.	140
Figura 21 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS dos aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB.....	141
Figura 22 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS do aglomerado de madeira revestido com tinta utilizado nas galerias de exposição do MCB	142
Figura 23 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS dos compostos emitido do MDF utilizado nas galerias de exposição do MCB	143
Figura 24 Fachada e entrada principal do Museu Nacional Soares dos Reis, Porto, Portugal.....	151
Figura 25 Detalhes de uma vitrine de exposição no MNSR. (A) Vitrine em área expositiva; (B) Detalhe da parte interior da vitrine.....	158
Figura 26 Detalhe do local onde foram posicionados os dispositivos de amostragem na Galeria de Esculturas do MNSR. (A) Escultura de Soares dos Reis: "Conde de Ferreira" em cuja base foram posicionados os dispositivos. (B) Detalhe do local onde foram posicionados os dispositivos Tenax [®] TA e o data logger de temperatura e HR.....	159
Figura 27 (A) Sala de exposição temporária grande do MNSR; (B) Detalhe de posicionamento do dispositivo Tenax [®] TA e data logger de temperatura e HR.....	160
Figura 28 (A) Reserva técnica de mobiliário do MNSR, com indicação do local onde os dispositivos foram posicionados; (B) Detalhe dos dispositivos da esquerda para a direita: SKC 500, Tenax [®] TA e data logger de temperatura e HR.....	161
Figura 29 Reserva de lapidária do MNSR, com indicação do local onde os dispositivos foram posicionados; (B) Detalhe dos dispositivos Tenax [®] TA e data logger de temperatura e HR	162

Figura 30 (A) Vista parcial da sala das pedras, térreo, MNSR; (B) Localização dos dispositivos Tenax [®] TA e data logger de temperatura e HR ao topo de uma divisória.....	163
Figura 31 Sala-cofre no MNSR. (A) Vista de uma prateleira localizada na sala-cofre onde foram posicionados os dispositivos de amostragem; (B): Detalhe dos dispositivos Tenax [®] TA, SKC500 e data logger de temperatura e HR.....	164
Figura 32 Painéis deslizantes da reserva de pintura do MNSR. (A) Indicação do local onde os dispositivos foram posicionados para as amostragens; (B) Detalhe dos dispositivos Tenax [®] TA e data logger de temperatura e HR	165
Figura 33 Reserva de cerâmica do MNSR. (A) Vista parcial dos mobiliários no espaço; (B) Detalhe do local onde foram realizadas as amostragens com os dispositivos Tenax [®] TA, SKC500 e data logger de temperatura e HR.....	166
Figura 34. Quantidade total de obras no acervo dos museus respondentes	184
Figura 35 Quantidade de pinturas no acervo dos museus respondentes.....	184
Figura 36 Percentagem de pinturas com vidros em relação à dimensão do acervo de pinturas. Percentual por localização geográfica.....	187
Figura 37 Razões para a instalação de vidros frontais. Frequência por região geográfica	188
Figura 38 Esquema simplificado: (A) Moldura microclimática; (B) Vitrine microclimática	191
Figura 39 Quantidade de pinturas preservadas com molduras microclimáticas por percentual de respondentes	191
Figura 40 Quantidade de pinturas preservadas com vitrines microclimáticas por percentual de respondentes	192
Figura 41 Relação percentual entre pinturas com proteção frontal e pinturas com proteção no reverso por região.....	202
Figura 42 Página inicial do site da rede temática QAI-MBA.....	213
Figura 43 Comparativo entre os danos observados, atribuídos ao excesso de luz e às radiações UV.....	229
Figura 44 Percentagem de medição para os parâmetros de temperatura, HR, luz, radiação UV e poluentes.....	233

Figura 45 Atribuição de danos observados por parâmetros inadequados.....	234
---	-----

Índice de Tabelas

Tabela 1 Cronologia da investigação e diretrizes para a saúde e para a segurança do património relacionadas com poluentes e a QAI	6
Tabela 2 Valores-limite baseados nas normas NBSIR 83-2795 para arquivos, de 1983....	10
Tabela 3 Número de países em diferentes regiões que adotaram normas quanto a qualidade do ar	16
Tabela 4 Acetaldeído, fontes e danos.....	19
Tabela 5 Ácido acético, fontes e danos.....	22
Tabela 6 Ácido fórmico, fontes e danos.....	23
Tabela 7 Vapor de água, fontes e danos.....	25
Tabela 8 Amoníaco, fontes e danos	26
Tabela 9 Dióxido de azoto, fontes e danos	28
Tabela 10 Dióxido de enxofre, fontes e danos.....	31
Tabela 11 Formaldeído, fontes e danos.....	33
Tabela 12 Sulfureto de hidrogénio, fontes e danos	35
Tabela 13 Material particulado, fontes e danos	37
Tabela 14 Ozono, fontes e danos	39
Tabela 15 Fontes comuns de poluentes gerados no interior de edifícios que abrigam acervos	41
Tabela 16 Emissão de ácido fórmico e ácido acético e pH de madeiras selecionadas	48
Tabela 17 Evolução de valores-limite de determinados poluentes recomendados em publicações existentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	63
Tabela 18 Valores-limite de poluentes-chave baseados no LOAED da maioria dos materiais, excluindo exceções.....	64
Tabela 19 Recomendações de valores-limite de poluentes.....	66
Tabela 20 Diretrizes globais de qualidade do ar e metas intermediárias, OMS	67

Tabela 21 Identificação dos gases medidos com os amostradores difusivos IVL e suas faixas de medição.....	77
Tabela 22 Classificação de filtros de partículas de acordo com a ASHRAE.....	90
Tabela 23 Dados referentes à amostragem realizada com os amostradores passivos.....	115
Tabela 24 Concentração dos gases ácidos detetados no interior e exterior	116
Tabela 25 Concentração e tempo de retenção dos COVs.	118
Tabela 26 Valores médios e desvio padrão de temperatura e HR comparativos entre o interior e exterior da vitrine entre os dias 20/08/2019 e 24/01/2020	123
Tabela 27 Amostra 2: Resultado MEV-EDX.....	132
Tabela 28. Resultados MEV-EDX: Policromia da moldura.....	135
Tabela 29 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos da tinta utilizada em revestimentos de aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB	140
Tabela 30 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos dos aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB	141
Tabela 31 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos do aglomerado de madeira revestido com tinta utilizado nas galerias de exposição do MCB.....	142
Tabela 32 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos do MDF utilizado nas galerias de exposição do MCB	144
Tabela 33 Locais selecionados e poluentes medidos.....	156
Tabela 34 Resultados das medições realizadas nos espaços do MNSR.....	167
Tabela 35 Concentrações de PM detetadas na galeria de exposição grande.....	171
Tabela 36 Subdivisão do inquérito em tópicos e seus objetivos principais	180
Tabela 37 Países representados no inquérito e a frequência por respondentes.....	183
Tabela 38 Razões pelas quais os museus inserem vidros frontais em suas pinturas.....	187
Tabela 39 Materiais utilizados como proteção frontal.....	193
Tabela 40 Tipos de materiais utilizados como distanciador entre a pintura e o vidro.	194
Tabela 41 Tipos de alterações observadas em pinturas com proteção frontal	198
Tabela 42 Palestrantes do primeiro ciclo de webinars da rede temática QAI-MBA: área de especialização, vínculo institucional e título das palestras	214

Tabela 43 Palestrantes do segundo ciclo de webinars da rede temática QAI-MBA: área de especialização, vínculo institucional e título das palestras	216
Tabela 44 Questões distribuídas durante o webinar inaugural da rede temática QAI-MBA	218
Tabela 45 Divisão em subgrupos e frequência dos respondentes do inquérito.....	219
Tabela 46 Frequência dos tipos de dispositivos e metodologias de medição utilizados pelos subgrupos.....	223
Tabela 47 Classificação por tipologia das instituições onde os respondentes trabalham.	227

Tabelas Apêndice I

Tabela AI 1 Respondentes por país de procedência	280
Tabela AI 2 Tipologia de gestão do museu	281
Tabela AI 3 Profissão do respondente	281
Tabela AI 4 Total de obras no acervo.....	282
Tabela AI 5 Quantidade de pinturas no acervo.....	283
Tabela AI 6 Quantidade de pinturas com proteção frontal	283
Tabela AI 7 Controlo de temperatura e HR em áreas de acervo	284
Tabela AI 8 Medição de gases poluentes em áreas de acervo	284
Tabela AI 9 Pinturas com proteção frontal.....	285
Tabela AI 10 Pinturas incorporadas ao acervo já com proteção frontal	285
Tabela AI 11 Pinturas que receberam proteção frontal pelo museu	286
Tabela AI 12 Razões pelas quais as proteções frontais são instaladas nas pinturas	286
Tabela AI 13 Tipologia das pinturas com proteção frontal	287
Tabela AI 14 Período das pinturas com proteção frontal	288
Tabela AI 15 Percentagem de pinturas que receberam proteção frontal por razões de empréstimo e são mantidas com as proteções após o retorno ao museu.....	288
Tabela AI 16 Pinturas preservadas com molduras microclimáticas	289
Tabela AI 17 Pinturas preservadas com vitrines microclimáticas.....	290
Tabela AI 18 Materiais utilizados para selar as molduras microclimáticas.....	290

Tabela AI 19 Tipos de vidros utilizados pelos museus.....	291
Tabela AI 20 Materiais utilizados para distanciar a pintura do vidro.....	292
Tabela AI 21 Frequência dos museus que inserem proteção no reverso de pinturas	292
Tabela AI 22 Frequência de pinturas com proteção no reverso.....	293
Tabela AI 23 Tipos de materiais utilizados como proteção no reverso de pinturas	294
Tabela AI 24 Tipos de fixação do reverso de pinturas	294
Tabela AI 25 Fontes de críticas recebidas em consequência da colocação de proteção frontal em pinturas	295
Tabela AI 26 Razões por não inserir proteção frontal em pinturas	296
Tabela AI 27 Frequência de alterações observadas em pinturas envidraçadas	296
Tabela AI 28 Tipos de alterações observadas em pinturas envidraçadas	297
Tabela AI 29 Tempo considerado necessário para envidraçar uma pintura após o restauro	298
Tabela AI 30 Frequência que as pinturas são limpas antes de receberem uma proteção frontal.....	298
Tabela AI 31 Frequência de utilização de absorvedores de humidade no interior de molduras ou vitrines microclimáticas	299
Tabela AI 32 Frequência de utilização de absorvedores de gases poluentes no interior de molduras ou vitrines microclimáticas	299

Tabelas Apêndice II

Tabela AII 1 Respondentes e inscritos por país de procedência	301
Tabela AII 2 Frequência de respondentes que conhecem as A-D strips	301
Tabela AII 3 Frequência de respondentes que conhecem o Oddy test.....	302
Tabela AII 4 Frequência de medição de poluentes gasosos nas instituições dos respondentes.....	302
Tabela AII 5 Tipo de metodologia utilizada para a monitorização de poluentes voláteis	302
Tabela AII 6 Alterações em objetos do acervo atribuídas aos poluentes gasosos.....	303

Tabelas Apêndice III

Tabela AIII 1 Respondentes por país de procedência	307
Tabela AIII 2 Profissão do respondente	307
Tabela AIII 3 Frequência de medição de temperatura	308
Tabela AIII 4 Dano em objetos do acervo atribuído à temperatura inadequada.....	309
Tabela AIII 5 Frequência de medição de HR.....	309
Tabela AIII 6 Dano em objetos do acervo atribuído à HR inadequada.....	310
Tabela AIII 7 Frequência de instituições climatizadas.....	310
Tabela AIII 8 Ocasão em que a medição de radiação de luz é realizada	311
Tabela AIII 9 Frequência de medição de radiação de luz	311
Tabela AIII 10 Dano em objetos do acervo atribuído ao excesso de luz	312
Tabela AIII 11 Ocasão em que a medição de radiação de UV é realizada	312
Tabela AIII 12 Frequência de medição de radiação de UV	313
Tabela AIII 13 Dano em objetos do acervo atribuído às radiações de UV	314
Tabela AIII 14 Realização de medição de poluentes gasosos.....	314
Tabela AIII 15 Frequência de medição de poluentes gasosos.....	315
Tabela AIII 16 Motivo por não realizar medição de poluentes.....	315
Tabela AIII 17 Dano em objetos do acervo atribuído aos poluentes gasosos.....	316
Tabela AIII 18 Dano em objetos do acervo atribuído aos poluentes particulados.....	316
Tabela AIII 19 Frequência com que as instituições trabalham com valores-limite de poluentes	317
Tabela AIII 20 Metodologias utilizadas para a medição de poluentes nas instituições dos respondentes.....	318
Tabela AIII 21 Frequência com que as instituições implementam algum tipo de estratégia para a mitigação de poluentes	318
Tabela AIII 22 Tipo de estratégia de mitigação de poluentes implementada pelas instituições	319
Tabela AIII 23 Avaliação de fontes de poluentes no interior de vitrines.....	320
Tabela AIII 24 Alterações implementadas pelas instituições durante a pandemia de COVID 19 relacionadas à QAI	321

Tabela AIII 25 Importância do apoio científico para questões relacionadas à QAI em instituições que abrigam acervos	321
Tabela AIII 26 Sugestões e expectativas relacionadas às atividades da rede temática QAI-MBA	322
Tabela AIII 27 Frequência dos respondentes que desejam receber comunicados de eventos da rede temática QAI-MBA.....	322

Introdução

Segundo a Organização Mundial da Saúde, OMS (World Health Organization, 2021b) é estimado que a exposição da população à poluição do ar cause milhões de mortes anualmente, além da diminuição de anos de vida saudável. Com o propósito de modificar essa realidade, desde 1987 (World Health Organization Europe, 1987) a OMS tem publicado periodicamente diretrizes para promover melhorias na qualidade do ar e ajudar os governos e a sociedade civil a reduzir a exposição humana à poluição do ar (World Health Organization, 2017). Os principais poluentes apontados pela OMS, com impacto na saúde humana, são os materiais particulados (PM), ozono (O₃), dióxido de azoto (NO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e monóxido de carbono (CO). Não obstante, esses mesmos poluentes também são considerados prejudiciais para os objetos de museus, bibliotecas e arquivos (MBA). As diretrizes e recomendações indicadas pela OMS, que incentivam a redução desses poluentes no ambiente, certamente tendem a favorecer uma melhor qualidade do ar interior (QAI) nos MBA. Em 2020, no primeiro ano de pandemia de COVID-19, quando vários países foram forçados a fazerem *lockdown*, particularmente em abril de 2020, foi registada uma redução significativa de emissão de certos poluentes no ar (European Environment Agency, 2020). Na ocasião, foi detetada uma redução superior a 60% do dióxido de azoto em alguns locais, além dos materiais particulados, PM₁₀ (partículas com diâmetro de 10 µm ou menos), que chegaram a reduzir em cerca de 30%. As recomendações relativas à concentração máxima desses compostos para a saúde humana, podem, contudo, não serem as mesmas recomendadas para a segurança dos objetos culturais, mas devem ser vistas de forma complementar nos ambientes que abrigam acervos. O controlo da qualidade do ar em MBA, é fator fundamental no âmbito da conservação preventiva e demanda um conhecimento amplo e atuação multidisciplinar para se implementar a prática. Estabelecer diretrizes comuns a todas as instituições culturais, responsáveis pela salvaguarda dos mais diferentes tipos de acervos, abrigados em edifícios com estruturas e tamanhos diversos, tende a ser uma tarefa audaciosa e complexa, mas reunir e disseminar o conhecimento pré-existente, pode já resultar em um grande avanço.

Os inquéritos distribuídos durante o trabalho académico aqui descrito, os estudos de caso desenvolvidos em museus portugueses, juntamente com a experiência prévia da autora a trabalhar em museus no Brasil, revelaram carências importantes na área do controlo de poluentes e da qualidade do ar interior (QAI) em MBA de Portugal e do Brasil. A presente tese pretende ser um contributo para a comunidade de profissionais de MBA de Portugal e do Brasil, responsáveis pela salvaguarda de seus acervos, no sentido de detetar carências e lacunas, reunir informações aplicáveis, atualizadas e disseminar o conhecimento. Adicionalmente pretende fornecer suporte aos profissionais de MBA ao estreitar relações com os investigadores para o compartilhamento de informações na área da QAI.

Este trabalho de investigação divide-se em três partes distintas. Na primeira parte é realizada uma síntese sobre o tema dos poluentes no interior de MBA em forma de uma extensa, mas não exaustiva, revisão bibliográfica. São expostos os principais poluentes gasosos, suas características, fontes mais comuns e efeitos adversos sobre os múltiplos materiais. Adicionalmente são apresentados os limites conhecidos dos principais poluentes prejudiciais para a saúde humana e um comparativo com os limites estabelecidos para os MBA. A revisão bibliográfica também inclui estratégias de controlo, metodologias de monitorização, alternativas para deteção, dispositivos de amostragem passiva mais comuns atualmente nas instituições culturais e suas características e apresentam-se brevemente as metodologias para mitigação com diferentes custos e complexidade. Finalmente são mencionados os principais projetos europeus que resultaram no desenvolvimento de dispositivos para monitorização de poluentes ou que enfatizaram a temática, expondo a evolução das investigações.

A segunda parte é dedicada aos estudos de caso deste trabalho de investigação, que foram desenvolvidos em museus portugueses e que pretendem fundamentar a investigação com o estudo da QAI e as metodologias analíticas. Parte da investigação decorreu no Museu Coleção Berardo (MCB), localizado no Centro Cultural Belém, Lisboa, onde foram realizadas amostragens passivas da qualidade do ar no interior de uma vitrine de acrílico que protege uma pintura moderna, autoria do artista armênio Léon Tutundjian (1905-1968). Foi desenvolvido um estudo comparativo da qualidade do ar no interior da vitrine e no espaço expositivo. Adicionalmente, realizaram-se análises no Laboratório HERCULES da

Universidade de Évora, para caracterizar os materiais de revestimento da pintura e da moldura, e verificar a possibilidade de alteração causada pelos compostos voláteis encontrados no interior da vitrine. Para melhor compreender os compostos encontrados no ar da sala expositiva, análises de amostras de materiais de construção utilizados nos espaços do museu, foram conduzidas pelo CINATE, utilizando a técnica do SPME-GC/MS para qualificar e quantificar os principais compostos orgânicos voláteis (COVs) que são libertados desses materiais. Paralelo ao estudo no MCB, foi elaborado e distribuído um inquérito para instituições nacionais e internacionais com o objetivo de fundamentar a prática do uso de vitrines nos museus. De forma complementar, no mesmo inquérito, foi investigada a temática dos poluentes voláteis e eventuais protocolos aplicados pelas instituições em relação ao tópico, tais como monitorização sistemática, tipos de dispositivo utilizados e frequência de uso de materiais adsorventes no interior das vitrines.

O segundo estudo de caso desenvolveu-se no Museu Nacional Soares dos Reis (MNSR), localizado na cidade do Porto, onde se desenvolveu uma investigação mais abrangente que a desenvolvida no MCB, utilizando a avaliação da qualidade do ar como medida de conservação preventiva. Para esse caso, conduziram-se medições para avaliar a QAI em nove pontos distintos, previamente selecionados. Dispositivos de amostragem passiva foram posicionados em cinco reservas técnicas, duas salas expositivas, uma sala cofre e uma vitrine. Foram realizadas medições em duas estações do ano distintas, nomeadamente no verão e no outono, para melhor perceber as possíveis influências climáticas. Foram conduzidas análises da concentração total de compostos orgânicos voláteis (COVT), formaldeído, ácido acético e material particulado. O estudo foi complementado por medições contínuas de temperatura e humidade relativa (HR). Para um melhor entendimento dos resultados obtidos, foram considerados os materiais de composição do acervo que se encontravam nos pontos de coleta, assim como as características físicas do espaço.

A terceira parte do trabalho de investigação está relacionada com a criação de uma rede temática luso-brasileira sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA) no âmbito do doutoramento, com o propósito de disseminar os conhecimentos adquiridos e efetivar parcerias com instituições patrimoniais e de investigação, que tenham

interesse pelo tema de poluentes e da qualidade do ar no interior dos edifícios. Pretendeu-se promover a partilha do conhecimento entre cientistas da conservação, engenheiros, químicos, biólogos e demais profissionais que dominam o conhecimento específico sobre as mais diversas vertentes que compõem a complexidade do tema, e os profissionais de MBA cuja responsabilidade seja a conservação e a preservação de seus acervos. Assim, neste bloco faz-se a apresentação da rede, a justificação da sua criação com a exposição da sua dinâmica e as hipóteses de lacunas em relação ao tema dos poluentes são fundamentadas com inquéritos.

Finalmente são apresentadas as considerações finais sobre o resultado alcançado e o trabalho desenvolvido, expõem-se as perspectivas de futuros projetos e estima-se a continuidade da rede temática, como instrumento de disseminação sobre o tema.

**1 Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos
- Revisão sobre poluentes no contexto de instituições que
albergam bens culturais**

1.1 Estado da arte

A poluição do ar é definida pela Organização Mundial da Saúde, OMS, como a contaminação do ambiente interior ou exterior por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera (World Health Organization, 2021a). No âmbito patrimonial, a poluição do ar pode ser responsável por danificar de forma irreversível muitos dos objetos pertencentes a um acervo e está inserida entre os 10 agentes principais que causam deterioração e perdas em bens culturais (Michalski & Pedersoli Jr, 2016).

Considera-se relevante mencionar a Revolução Industrial como um marco importante na história mundial em relação a uma mudança significativa na qualidade do ar de grandes metrópoles industrializadas, sobretudo a partir de meados do século XIX, quando o carvão passou a ser o combustível predominante (Hanlon, 2016). Não somente, mas também em instituições patrimoniais, o efeito da poluição começou a ser visto de uma forma preocupante (Saunders, 2000). Pretende-se aqui fazer um paralelo entre alguns acontecimentos mundiais e as publicações e investigação desenvolvida sobre a qualidade do ar e o património cultural desde a Revolução Industrial. Alguns eventos foram considerados relevantes para uma melhor perceção da evolução das investigações sobre os poluentes e a qualidade do ar que aqui são inseridos cronologicamente (Tabela 1).

Tabela 1 *Cronologia da investigação e diretrizes para a saúde e para a segurança do património relacionadas com poluentes e a QAI*

Data	Evento	Referência
1760-1820/40	Revolução Industrial. Inicialmente no Reino Unido e expandindo posteriormente para outros países. Substituição da madeira e outros biocombustíveis por carvão.	(Saunders, 2000)
1824	Fundação da <i>National Gallery</i> de Londres. Detecção do problema de deposição de partículas escuras sobre as pinturas.	(Saunders, 2000)
1850	<i>National Gallery</i> de Londres: Faraday alerta sobre a presença de gases de enxofre e "sujidades" sobre as obras do museu e	(Saunders, 2000)

	recomenda que as pinturas sejam protegidas com vidros frontais e proteção no reverso.	
1948	Donora, Pensilvânia: Poluição dramática causa mortes.	(Gorney, 2020)
1952	Londres: <i>smog</i> resulta em centenas de mortes.	(Martinez, 2005)
1956	Reino Unido: foi aprovada a lei " <i>Clean Air Act</i> " com o objetivo de combater o <i>smog</i> e a poluição do ar criados pela queima de carvão e atividades industriais.	(Fowler et al., 2020)
1958	Publicação do 1º relatório técnico sobre a poluição do ar da OMS.	(World Health Organization, 1958)
1964	Destaque para a importância da monitorização dos poluentes e sugestão para redução do SO ₂ pela OMS.	(World Health Organization, 1964)
1972	Inexistência de valores-limite e recomendação de metas a serem alcançadas para o SO _x , PM, CO e oxidantes fotoquímicos em documento da OMS.	(World Health Organization, 1972)
1972/75	<i>British Museum</i> , Londres: desenvolvimento do <i>Oddy test</i>	(Oddy, 1975)
1978	Publicação do livro " <i>The Museum Environment</i> " com um capítulo destinado ao tema dos poluentes no âmbito cultural	(Thomson, 1986)
1983	Valores limite de poluentes recomendados para o arquivo de documentos de papel. Publicado em NBSIR 83-2795 - <i>Air Quality Criteria for Storage of Paper-Based Archival Records</i>	(Mathey et al., 1983)
1987	Publicação do 1º Caderno de Diretrizes sobre a Qualidade do Ar na Europa pela OMS	(World Health Organization Europe, 1987)
1987	Artigo sobre os perigos do formaldeído em coleções de museus	(Hatchfield & Carpenter, 1987)
1990	O dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio, ozono, óxidos de azoto, fuligem, partículas ácidas e alcalinas, formaldeído, ácidos voláteis e os esporos de fungos são apontados como poluentes considerados danosos para os objetos culturais	(Brimblecombe, 1990)
1998	Criação do IAP, <i>Indoor Air Pollution Working Group</i> , por ocasião da conferência " <i>Museum Pollution: Detection and Mitigation of Carbonyls</i> " em Glasgow	(IAP Working Group, 2021)
2002	Publicação do livro " <i>Pollutants in the Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage</i> ".	(Hatchfield, 2004)

2003	Inserção do capítulo sobre museus, bibliotecas e arquivos com uma parte destinada aos poluentes na publicação da ASHRAE.	(ASHRAE, 2011b)
2003	Publicação do livro " <i>Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management</i> ".	(Tétreault, 2003)
2005	Publicação de metas intermediárias e valores-guia a alcançar em relação a emissão de determinados poluentes pela OMS.	(World Health Organization, 2005)
2006	Publicação do livro " <i>Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments</i> ".	(Grzywacz, 2006)
2008	Jornal Oficial da União Europeia: "Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de maio de 2008 relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa"	("Directiva 2008/50/CE 2008)
2018	Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil): Resolução n° 491/2018 estipula valores guia de níveis de poluentes	(Resolução No 491, 2018)
2021	Publicação do Caderno Global de Diretrizes da OMS com metas globais a serem alcançadas de concentrações dos materiais particulados (PM _{2,5} , PM ₁₀), ozono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre e monóxido de carbono	(World Health Organization, 2021a)

Entre o século XIX e a primeira metade do século XX, grandes cidades como Londres apresentavam níveis de poluição atmosférica muito elevados devido à queima de carvão proveniente das atividades industriais e sistemas de aquecimento e iluminação em uso, provocando a produção de quantidades significativas de fuligem e dióxido de enxofre (SO₂) (Saunders, 2000). Nos museus e arquivos começou a ser possível observar o depósito de fuligem nas pinturas e a fragilização de papéis e encadernações de couro dos livros (Tétreault, 2008). Em 1850, Michael Faraday, membro do Comitê Seleccionado da *National Gallery* de Londres, descreveu que havia diferentes tipos de poluentes numa atmosfera como a de Londres e diferenciava os gases sulfurados provenientes dos esgotos, exalações de animais e transpiração, e o ácido sulfuroso que estava presente na atmosfera, proveniente em grande extensão da queima de carvão (Saunders, 2000). Em 1948 (Gorney, 2020), Donora, uma cidade da Pennsylvania com elevada poluição industrial, ficou conhecida por um episódio dramático, quando durante cinco dias consecutivos, uma inversão de temperatura na atmosfera manteve o ar contaminado produzido pela indústria, ao nível do solo e impediu

a passagem de luz do sol, mesmo durante o dia. Os poluentes misturaram-se a uma névoa espessa, o que só mudou com a chegada de uma frente fria, trazendo a chuva. Até lá, estima-se que tenham ocorrido 20 mortes e milhares de indivíduos desenvolveram doenças relacionadas com a poluição da cidade. Em 1952 (Martinez, 2005) a cidade de Londres foi encoberta por um *smog* (*smoke* + *fog*) letal, causado por poluição industrial em combinação com alta pressão atmosférica. O fenômeno resultou em centenas de mortes. Com a gravidade inegável da poluição do ar e como uma forma de melhorar as condições ambientais, em 1956 o governo britânico aprovou a Lei do Ar Limpo¹. A Lei definiu regulamentações para a redução de emissões de fumaça e de dióxido de enxofre nas áreas urbanas (Fowler et al., 2020). Poucos anos depois, em 1958, a OMS (World Health Organization. Expert Committee on Environmental Sanitation, 1958) publicou seu primeiro relatório técnico direcionado à poluição do ar e seus efeitos sobre a saúde, onde enfatizou o dióxido de enxofre, o *smog* fotoquímico (ozono, peroxiácidos e peroxinitratos), aerossóis secundários e o fluoreto de hidrogênio, sem, contudo, mencionar diretrizes ou limite máximo tolerado. Somente em um relatório de 1964 (World Health Organization, 1964), resultante do encontro do "Comitê de Especialistas em Poluentes Atmosféricos", em Geneva, os termos "critério" e "guia" foram introduzidos e foi destacada a importância da monitorização para reduzir a concentração de determinados poluentes no ar. No mesmo documento foi sugerida a implementação de estratégias para a redução do SO₂ e foi destacada a importância da padronização internacional para a poluição do ar, nomeadamente, a nomenclatura, unidades e métodos de medição, para que pudesse haver um melhor meio comparativo das medições entre os diversos países. Outro resultado importante desse encontro, foi a definição de guias sobre a qualidade do ar que deveriam ser um conjunto das concentrações e tempos de exposição associados a determinados efeitos na saúde ou no ambiente resultantes de diferentes graus de poluição do ar. No relatório de 1972, a OMS (World Health Organization, 1972) levantou-se a questão sobre a inexistência de limites de poluentes que pudessem ser prejudiciais para a saúde. Níveis elevados de poluentes no ar são prejudiciais para os seres humanos, mas até o momento da publicação não estavam determinados os níveis que

¹ Do inglês: *Clean Air Act*

poderiam ser considerados aceitáveis no meio ambiente. Os óxidos de enxofre (SO_x) e partículas suspensas (PM) foram revistos juntos nesse documento num pequeno capítulo por serem ambos poluentes produzidos pela queima de combustíveis fósseis, enquanto o monóxido de carbono (CO), os oxidantes fotoquímicos e o dióxido de azoto (NO₂) foram avaliados individualmente. Para estes poluentes, foram recomendados valores-limite de longo prazo, mas com a ressalva de que os níveis deveriam ser mantidos o mais baixo possível e que as metas estabelecidas no momento eram baseadas no conhecimento existente à época e que essas eram recomendações provisórias e que deveriam ser alteradas à medida que se obtivesse mais dados em diferentes populações sobre as relações dose-resposta (World Health Organization, 1972).

Em 1983, a *National Bureau of Standards* (NBS), Estados Unidos da América, preocupada com a preservação do acervo do Arquivo Nacional em Washington D.C., promoveu um *workshop* de dois dias sobre as condições ambientais nos espaços de guarda dos arquivos e sua influência na conservação dos papéis, onde foram discutidos critérios sobre a qualidade do ar nos ambientes interiores e foram sugeridos entre outros, limites de concentração de poluentes considerados nocivos ao acervo, nomeadamente, dióxido de enxofre, óxidos de azoto, ozono, dióxido de carbono, formaldeído, ácido acético, ácido clorídrico e partículas finas (**Tabela 2**). Os valores estipulados foram baseados na literatura existente à época e nas recomendações dos participantes do *workshop*, e foram publicados pelo *National Bureau of Standards*, NBS (Mathey et al., 1983) como "Critérios de Qualidade do Ar para o Armazenamento de Registos de Arquivos em Papel"².

Tabela 2 Valores-limite baseados nas normas NBSIR 83-2795 para arquivos, de 1983

Contaminantes	Valor-limite
Dióxido de enxofre	< 1 µg/m ³

² Tradução livre do autor de *Air Quality Criteria for Storage Paper-Based Archival Records*.

Óxidos de azoto	< 5 µg/m ³
Ozono	< 25 µg/m ³
Dióxido de carbono	< 4.5 g/m ³
Ácido clorídrico	
Ácido acético	Usar a melhor tecnologia de controlo ^a
Formaldeído	
Partículas finas	< 75 µg/m ³

^a A melhor tecnologia de controlo destina-se a reduzir ao máximo as emissões, considerando a sua viabilidade tecnológica e económica. Fonte: Adaptado de Mathey et al. (1983).

O primeiro caderno de diretrizes sobre a qualidade do ar na Europa (World Health Organization Europe, 1987) foi publicado em 1987 pela OMS e nele foram recomendados valores/intervalos ou fatores de unidade de risco para um total de 28 poluentes, entre orgânicos e inorgânicos, com o objetivo principal de fornecer orientação àqueles interessados nos problemas de poluição atmosférica, bem como aos gestores diretamente envolvidos no contexto da qualidade do ar. Estes poluentes foram escolhidos, entre outros fatores, por existir naquele momento, documentação suficiente disponível. No caderno de diretrizes globais mais recente da OMS (World Health Organization, 2021a) é fornecido um guia básico com metas intermediárias e valores-guia, com recomendações quantitativas de poluentes-chave do ar, cujo impacto é considerado significativo para a saúde humana, sendo eles os materiais particulados, ozono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Esses poluentes foram selecionados devido sua importância mundial na saúde, entretanto, o guia deixa explícito que essa escolha não torna irrelevante os poluentes, mencionados em diretrizes anteriores. O objetivo destas diretrizes é fornecer orientações para ajudar a reduzir os níveis de poluentes atmosféricos, a fim de diminuir a enorme carga sanitária resultante da exposição à poluição atmosférica em todo o mundo (World Health Organization, 2021a).

A fim de proteger a saúde humana e o ambiente em sua amplitude, em 2008 foi publicada uma Diretiva (“Directiva 2008/50/CE, 2008), onde são estabelecidos valores-alvo³ para os principais poluentes identificados como nocivos para a saúde, nomeadamente, o dióxido de enxofre, dióxido de azoto, óxidos de azoto, partículas em suspensão (PM_{2.5} e PM₁₀), chumbo, benzeno e o monóxido de carbono, além de atribuir a obrigatoriedade de medições fixas em zonas de aglomerações⁴, indicar métodos de medição de referência e estipular valores-alvo e objetivos a serem atingidos a longo prazo para o ozono.

A qualidade do ar interior usualmente segue diretrizes ligadas ao campo da saúde humana relacionadas com a presença e concentração de materiais particulados (PM), poluentes biológicos e mais de 400 compostos químicos orgânicos e inorgânicos. A OMS (World Health Organization, 2021a) estima que todos os anos, milhões de mortes prematuras e perdas de anos saudáveis sejam causadas pela exposição aos poluentes no ar. Calcula-se que cerca de 90% da população mundial vive em áreas urbanas, expostas a níveis de qualidade do ar que excedem as indicações da OMS, principalmente em relação a poluição de PM. Os poluentes produzidos no exterior dos edifícios, sempre receberam uma grande atenção pelos órgãos responsáveis pela saúde, mas nas últimas décadas, estudos têm demonstrado que a qualidade do ar interior pode ser comprometida em consequência dos poluentes emitidos internamente (Campagnolo et al., 2017; González-Martín et al., 2021; Jantunen et al., 1997; Missia et al., 2010; Silva, 2000). Os edificios tendem a ser mais selados, com o objetivo de proporcionar um melhor conforto térmico, enquanto promovem uma maior redução de custos com a energia, evitando a entrada de PM e outros poluentes gasosos produzidos no

³ Para efeito da Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio de 2008, entende-se por valor-alvo "um nível fixado com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e no ambiente na sua globalidade, a atingir, na medida do possível, num prazo determinado" (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2008).

⁴ Para efeito da Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio de 2008, entende-se por aglomeração "uma zona que constitui uma conurbação com uma população superior a 250.000 habitantes ou, caso a população seja igual ou inferior a 250.000 habitantes, com uma densidade populacional por quilómetro quadrado a estabelecer pelos Estados-Membros" (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2008).

exterior. Igualmente, instituições que abrigam bens culturais (bibliotecas, museus, arquivos, galerias, centros culturais e casas históricas) estabelecidas em edifícios novos ou antigos, climatizados ou não, tendem a ter uma menor entrada do ar externo a circular em seu interior, a fim de se adequar com a climatização dos espaços. Como consequência, há um aumento da concentração dos poluentes emitidos por fontes localizadas no interior dos edifícios.

Já há cerca de duas décadas, um projeto inovador (Cassar, 2016) procurou conciliar as três vertentes do desenvolvimento sustentável: social, econômico e ambiental. Em 1999, o projeto desenvolvido em Londres, intitulado *Energy Efficient Pollution Control in Museum and Galleries*, contou com a parceria entre organizações do património, acadêmicas e indústria e resultou num guia (Blades et al., 2000) intencionado em orientar as instituições museológicas em melhorar simultaneamente a qualidade do ar e a eficiência energética no interior de seus edifícios. O escopo deste projeto foi o controlo dos gases poluentes com ênfase para a sustentabilidade em museus, bibliotecas, arquivos e galerias.

Em 2003, na publicação considerada uma referência da *American, Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers ASHRAE* (Grzywacz et al., 2011), no capítulo 23 destinado a "Museus, Bibliotecas e Arquivos", foi introduzido o tema de poluição e poluentes. Na publicação de 2011 (ASHRAE, 2011a), são indicados os valores-limite⁵ para os principais poluentes gasosos em ambientes de museus, nomeadamente o dióxido de azoto, ozono, dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio, ácido fórmico, formaldeído, COVT e as partículas finas (PM_{2,5}). Os valores-limite foram baseados em diversos autores⁶.

A *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA), organização responsável pela saúde e segurança ocupacional nos Estados Unidos da América (EUA), considera que os poluentes comuns presentes no interior dos edifícios, estão subdivididos basicamente em

⁵ Ver tabela em capítulo 1.4.4 Valores-limite definidos para determinados compostos.

⁶ World Health Organization 2000, Seinfeld 1986, Graedel 1984, Tétreault 2003, Grosjean 1988, Graedel, Kemmlott, and Franey 1981, Sano 1999, Sano 2000, Bradley and Thicket 1999, Kawamura, Steinberg, and Kaplan 1996, Granby, and Christensen 1997, Grosjean and Williams 1992, Hodgson et al. 2000, Rothweiler, Waeger, and Schlatter 1992, Lavédrine 2003, National Air Filtration Association (NAFA) 2004.

três categorias: biológica, química e de partículas. Entre os poluentes químicos, destaca como preocupantes para a saúde humana o monóxido de carbono, dióxido de carbono, radão e COVs (principalmente o benzeno, formaldeído, diclorometano, tricloroetileno e tetracloroetileno). Na categoria biológica, enfatiza a preocupação pelas concentrações excessivas de bactérias, vírus, fungos, ácaros, pêlo de animais e pólen. Entre as partículas, classifica como substâncias sólidas ou líquidas, não biológicas, que são suficientemente leves para serem suspensas no ar, e que podem ser arrastadas do exterior para dentro dos edifícios, ou mesmo as que são produzidas por atividades que ocorrem no espaço interior (OSHA, 2011).

No *British Museum* em Londres, os poluentes interiores e seu efeito sobre os objetos do acervo vem sendo estudados desde 1919 (Bradley & Thickett, 1998). Entre 1972 e 1975, Andrew Oddy, então cientista da conservação deste museu, desenvolveu um teste de reatividade com o propósito de avaliar a segurança dos materiais utilizados em vitrines, durante exposições ou no acondicionamento de objetos metálicos. Denominado de *Oddy Test*⁷ (Oddy, 1975), o procedimento destina-se a avaliar os materiais (madeira, tecido, adesivos, selantes, tintas) quanto a emissão de substâncias químicas gasosas que possam resultar em alterações nos objetos metálicos, a fim de orientar os profissionais de museus na escolha dos mesmos (Blackshaw & Daniels, 1978). Ao longo dos anos, o teste foi modificado, aprimorado e passou a ser utilizado não só para assegurar a preservação dos objetos metálicos, mas para a conservação dos objetos museológicos de uma forma mais ampla. Muitas instituições desenvolveram seus próprios protocolos de preparação do *Oddy Test*, que continua a ser uma ferramenta valiosa na comunidade museológica (Thickett & Lee, 2004). Adicionalmente, uma base de dados foi construída e disponibilizada online, que continua a ser atualizada com novos materiais que surgem e que foram previamente testados com o *Oddy Test* (*Oddy Test Protocols*, n.d.).

Numa das primeiras publicações a dedicar um capítulo exclusivamente aos poluentes no contexto patrimonial, Thomson (Thomson, 1986) destacou três principais poluentes gasosos:

⁷ Ver detalhes em capítulo 1.5 Estratégias de controle.

dióxido de enxofre, dióxido de azoto e ozono, além das partículas no ar. De forma inovadora, nessa publicação foram sugeridos níveis máximos de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o dióxido de enxofre e dióxido de azoto, e redução a níveis de rastreamento entre 0 e $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para o ozono em ambientes museológicos. Hatchfield e Carpenter (1987), alertaram sobre os perigos do formaldeído nas coleções em museus, nomeadamente os subprodutos de madeira, contraplacados e aglomerados de madeira, comumente utilizados no interior dos museus à época, identificando-os como fontes importantes do composto. Posteriormente, Hatchfield publicaria um livro bastante completo sobre poluentes em ambiente museológico (Hatchfield, 2002).

Brimblecombe, na sua publicação de revisão (Brimblecombe, 1990), indicou o dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio, ozono, óxidos de azoto, fuligem, partículas ácidas e alcalinas, formaldeído, ácidos voláteis e ainda os esporos de fungos como os poluentes considerados relevantes para a preservação de objetos culturais. No artigo é mencionada a escassez de estudo e monitorização de gases poluentes no interior dos edifícios, além de destacar lacunas importantes de informação em fatores chave, como a transformação química dos poluentes no ar interior, a natureza das emissões originárias dos materiais de suporte nas exposições e a velocidade de deposição sobre as superfícies interiores.

Na União Europeia, a qualidade do ar é atualmente suportada pelas diretrizes publicadas no Jornal Oficial da União Europeia (“Directiva 2008/50/CE”, 2008) e pelas diretrizes da OMS (World Health Organization, 2005, 2021a) onde são sugeridas metas intermediárias, a facilitar a redução progressiva das concentrações dos poluentes no ar, até se alcançar o objetivo final de valores-guia, estipulados para os cinco principais poluentes considerados prejudiciais à saúde humana, nomeadamente, ozono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e PM.

No Brasil, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), publicados na Resolução n° 491/2018 (Resolução No 491, 2018), que considera como referência os valores guia estipulados pela OMS em 2005 (World Health Organization, 2005).

Apesar de todos os esforços da OMS para disseminar mundialmente informações e diretrizes que auxiliem os países e seus governantes a elaborarem suas próprias normas para melhoria da qualidade do ar, no que diz respeito aos 6 poluentes-chave (materiais particulados (PM_{2,5} e PM₁₀), ozono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre e monóxido de carbono), um estudo mostrou que no continente americano 37% dos países (entre 35 países) não seguem nenhuma norma ou diretrizes quanto ao controle de poluentes, enquanto que na Europa apenas 4% dos países (em 53 países) não possuem ou seguem normas (Kutlar Joss et al., 2017; World Health Organization, 2021a) (**Tabela 3**). Os resultados dessas análises evidenciaram que a Europa está mais avançada quanto a adoção de normas em relação a pelo menos um entre os poluentes investigados quando comparada às outras regiões. Entretanto, os padrões de qualidade do ar variam muito entre regiões e países, e o estudo mostrou que a maioria das normas ainda são estipuladas em valores acima dos valores recomendados pela OMS (Kutlar Joss et al., 2017).

Tabela 3 *Número de países em diferentes regiões que adotaram normas quanto a qualidade do ar*

Regiões	Número de países	Países com normas e tempo médio* estipulado para pelo menos um poluente	Países sem normas	Países sem informações
Américas	35	20 (57%)	13 (37%)	2 (6%)
Europa	53	50 (94%)	2 (4%)	1 (2%)
África	47	17 (36%)	21 (45%)	9 (19%)
Mediterrâneo Oriental	21	11 (52%)	1 (5%)	9 (43%)
Sudeste Asiático	11	7 (64%)	3 (27%)	1 (9%)
Pacífico Ocidental	27	12 (44%)	13 (48%)	2 (7%)

Total	194	117 (60%)	53 (27%)	24 (12%)
-------	-----	-----------	----------	----------

Nota. *Para cada país, foram registadas normas de qualidade do ar ambiente para diferentes tempos médios: PM_{2.5} (média 24-h e média anual), PM₁₀ (média 24-h e média anual), O₃ (média 1-h e média 8-h), NO₂ (média 1-h e 24-h), SO₂ (média 10-min, 24-h e média anual) e CO (média 15-min, 1-h, 8-h e 24-h). Adaptado de Kutlar Joss et al. (2017).

Uma flexibilização para o controlo dos poluentes em MBA, foi sugerida na publicação de 2019 da ASHRAE (ASHRAE, 2019), de forma a permitir que instituições dos mais diversos tamanhos e com condições económicas diversas, pudessem elaborar seu próprio plano de controlo.

Com o objetivo de melhor instruir os profissionais de MBA, o *Canadian Conservation Institute* (CCI) recentemente propôs estratégias simplificadas para o controlo de poluentes a fim de evitar um controlo excessivo e permitir maior flexibilidade para que as instituições possam traçar sua própria estratégia (Tétreault, 2021). Assim, as diretrizes permitem três níveis de controlo: básico, onde se recomenda o controlo básico de partículas finas e a prevenção de problemas comuns; intermediário, onde é sugerido um melhor controlo de partículas finas, de forma a reduzir o risco de danos e as incertezas; e o nível avançado onde se recomenda o controlo ótimo dos poluentes transportados pelo ar, além de uma melhor quantificação do desempenho da preservação, de forma a permitir estratégias de melhoria (Tétreault, 2021).

1.2 Principais poluentes gasosos e material particulado

Considera-se por poluente, qualquer substância presente no ar ambiente que possa ter efeitos nocivos na saúde humana ou no ambiente em sua globalidade (World Health Organization, 2005). Alguns poluentes são emitidos diretamente de suas fontes e são conhecidos como poluentes primários (ex.: dióxido de enxofre), enquanto outros são formados no ar como poluentes secundários (como os nitratos, sulfatos e carbonos orgânicos) através de processos complexos físico-químicos (World Health Organization, 2021a). Adicionalmente, os poluentes podem ser classificados de acordo com a sua fonte em dois grupos distintos, os poluentes gerados no exterior, que podem facilmente se infiltrarem no interior, e os poluentes gerados no interior dos edifícios. A poluição do ar exterior é formada por uma complexa mistura de poluentes de origem natural e antropogênica, onde se inclui a queima de combustíveis dos meios de transporte, geração de eletricidade, atividade industrial, queima da biomassa e meios de aquecimento domésticos (IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 2016). Entre os principais e mais comuns poluentes gerados no exterior estão o dióxido de azoto, o ozono, o dióxido de enxofre e os materiais particulados. Enquanto os principais poluentes emitidos no interior dos MBA são os COVs, incluindo o ácido acético, ácido fórmico, formaldeído, acetaldeído e o sulfureto de hidrogénio (ASHRAE, 2015; López-Aparicio et al., 2010; Ryhl-Svendsen, 2006). Suas principais fontes são os materiais de construção, mobiliários, artefactos decorativos, materiais de composição dos objetos ou mesmo a respiração humana. Tétreault (Tétreault, 2003) ainda inclui a água como um dos poluentes-chave, a justificar que a HR incorreta está relacionada com os danos químicos, físicos e biológicos dos objetos e afeta o processo de deterioração causado pela maioria dos poluentes do ar. Alguns compostos podem não comprometer diretamente a segurança dos objetos, mas podem participar de reações químicas no ar que induzem à formação de compostos reconhecidamente danosos para os materiais mais suscetíveis. Danos causados por poluentes em objetos de MBA são frequentemente relatados e publicados (Alebic-Juretic & Sekulic-Cikovic, 2014; Ankersmit et al., 2000; Bradley & Thickett, 1999; Grzywacz, 2006; Hatchfield, 2002; Lafuente et al., 2013; Moreira et al., 2014; Paterakis, 1990; Ryhl-Svendsen, 2011; Saunders, 2000; Striegel,

1992; Tétreault, 2003; Tétreault et al., 1998, 2003; Thomson, 1986; Uring et al., 2021). Alguns materiais são mais suscetíveis à ação de determinados poluentes e seus danos são já conhecidos e estudados, enquanto outros ainda requerem maiores investigações.

1.2.1 *Acetaldeído*

O acetaldeído (CH_3CHO) é um aldeído com odor pungente também conhecido como etanal. É um produto natural da combustão e foto-oxidação de hidrocarbonetos normalmente encontrados na atmosfera (IARC, 1999). É um aldeído com baixo peso molecular e pode ser transformado em ácido acético na presença de oxidantes fortes, como os peróxidos libertados de pintura à óleo ou filmes de pintura formados pela polimerização oxidativa (Tétreault, 2021). Suas fontes e danos podem ser revistas na **Tabela 4**.

Tabela 4 *Acetaldeído, fontes e danos*

Poluente	Acetaldeído
Fontes	Poluente primário de combustíveis a álcool ou quando misturado com gasolina; Tinta proveniente da manufatura de automóveis; Subprodutos da combustão, cozimento, aquecimento e fumo de tabaco; Tintas com óleo de linhaça e outros óleos secativos; Terracota; Fabrico de cerâmica; Vinil, laminados e papel de parede. Revestimentos acrílico-melamina; Tintas alquídicas; Latex e tintas latex com baixo teor de COVs;

	Poluente secundário produzido pela reação do ozono com alguns materiais de carpete.
Danos	Possível oxidação do aldeído a ácido carboxílico em HR elevada e/ou na presença de oxidantes fortes (Tétreault, 2003)

Nota. Fonte: Adaptado de Grzywacz (2006).

1.2.2 *Ácido acético*

O ácido etanoico (CH_3COOH) também conhecido como ácido acético, é um ácido carboxílico de odor pungente, azedo, que remete ao cheiro do vinagre. Os vapores de ácido acético resultam num poluente comum e reativo que pode ser libertado de vários materiais, tais como tintas, vernizes, acetato de polivinilo, silicone acetato, madeiras (principalmente o cedro e o carvalho) e seus derivados (Tétreault, 2003). Em combinação com compostos de sódio, é responsável pela eflorescência branca em objetos de bronze, formando o acetato de sódio tri-hidratado ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) (Tennent & Baird, 1992). O acetato é conhecido por ser um produto da reação das emissões de ácido acético da madeira (ex. materiais de estantes de armazenamento) com o objeto. A presença de sais solúveis nos poros e na superfície do calcário poroso ou em objetos calcários, como as cerâmicas, favorece essa reação. Uma das eflorescências de acetato mais onipresentes, designada calclacita ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$) foi encontrada em objetos de cerâmica que continham cloreto de cálcio (CaCl_2) e estavam armazenados em armários de madeira (Paterakis & Steiger, 2015). Além da calclacita, a tecotriquita ($\text{Ca}_3(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Cl}(\text{NO}_3)_2\cdot 7\text{H}_2\text{O}$) também tem sido relatada como produto da reação do ácido acético em objetos calcários (Eggert et al., 2016). A formação da tecotriquita em ambientes de museus foi investigada por Gibson et al (2005), que confirmou que os objetos mais propensos à produção de tecotriquita são aqueles compostos ou que contenham carbonato de cálcio contaminado com iões de cloreto ou nitrato e que, além disso, estejam localizados em ambientes que contenham vapores de ácido acético. Adicionalmente, a HR elevada foi identificada como um fator relevante para a formação da eflorescência (Gibson, Tennent, et al., 2005).

As madeiras são fontes conhecidas de ácido acético. Espécies de madeiras duras libertam mais ácido acético quando comparadas com as emissões de espécies macias, com exceção do larício e do pinho vermelho, que apesar de serem espécies macias, mostraram emitir quantidades significativas de vapores de ácido acético (Gibson & Watt, 2010). Entre os 14 tipos de madeira analisadas em um estudo de Gibson e Watt (2010), o carvalho, mogno, pinheiro vermelho, afromosia, obeche, larício e faia foram identificadas como as madeiras com maior potencial de emissão de vapores de ácido acético.

O ácido acético em concentrações entre 3 e 200 mg/m³ pode ser o responsável pela degradação de papéis a base de celulose (Dupont & Tétreault, 2000). Entre os materiais suscetíveis, o chumbo é considerado o mais suscetível à ação do ácido acético (Tétreault, 2008), com o NOAEL estabelecido de 400 µg/m³ (Tétreault, 2003). Suas principais fontes e danos causados em objetos de acervos estão tabeladas na **Tabela 5**.

Fotografias coloridas tendem ao esmaecimento em presença do ácido acético, mesmo em locais escuros (Fenech, Strlič, Degano, et al., 2010). Testes sob condições de envelhecimento acelerado (temperatura elevada e HR controlada), mostraram que concentrações maiores que 1,5 mg/m³ de vapores de ácido acético, resultaram na degradação acelerada da celulose. Pigmentos que contêm iões metálicos tendem a alterar sua coloração na presença de ácido acético. Formação de acetatos de chumbo foram observados em pigmentos que contêm chumbo, como o branco de chumbo (2PbCO₃•Pb(OH)₂), o amarelo de chumbo e estanho (Pb₂SnO₄) e o vermelho de chumbo (Pb₃O₄). A malaquita (Cu₂(CO₃)(OH)₂) quando exposta ao ácido acético, reage lentamente, formando outro pigmento, o verdigris⁸ (Cu(CH₃COO)₂•2Cu(OH)₂) (de Laet et al., 2013). O ácido acético possui poder oxidante sobre os vernizes de resinas naturais e é capaz de criar ligações cruzadas (reticulação),

⁸ O verdigris ou acetato básico de cobre (xCu(CH₃COO)₂ • yCu(OH)₂ • zH₂O) é o nome atribuído a uma variedade de compostos azuis-esverdeados resultantes da exposição do cobre ao ácido acético. Pode variar na proporção entre o componente acetato [Cu(CH₃COO)₂] e hidróxido [Cu(OH)₂], e na quantidade de moléculas de água adsorvidas que explica a diferença de tonalidades entre o verde e o azul que esses compostos podem assumir.

mostrando que nem só a luz, o dióxido de azoto e o ozono agem como fatores degradantes destas resinas (Dahlin, 2010).

Tabela 5 *Ácido acético, fontes e danos*

Poluente	Ácido acético
Fontes	<p>Produtos de madeiras e seus derivados;</p> <p>Selantes de silicone com ácido acético (cura acetoxi);</p> <p>Degradação de materiais orgânicos e objetos de acetato de celulose (síndrome do vinagre) e triacetato de celulose;</p> <p>Adesivos de piso;</p> <p>Tintas de emulsão;</p> <p>Linóleo;</p> <p>Contaminantes microbiológicos provenientes do filtro do ar-condicionado;</p> <p>Tinta à base de óleo;</p> <p>Poliacetato de vinila;</p> <p>Produtos de revelação fotográfica;</p> <p>Algumas soluções de limpeza ecológicas;</p> <p>Tela de pintura (algodão e linho).</p>
Danos	<p>Corrosão de ligas de cobre (transformação do cobre metálico em sais verdes à base de cobre), cádmio, chumbo (transformação do chumbo metálico em sais brancos), magnésio e zinco;</p> <p>Alteração de pigmentos à base de chumbo e cobre;</p> <p>Eflorescência em materiais calcários, como as conchas (doença de Byne) e corais, além de cerâmicas, azulejos (rutura dos esmaltes), etc.;</p> <p>Eflorescência em objetos de vidro rico em soda;</p> <p>Diminuição do grau de polimerização da celulose;</p> <p>Esmaecimento em fotografias coloridas;</p>

Embaciamento no interior de vitrines;

Degradação de vernizes à base de resinas naturais.

Nota. Fonte: Adaptado de Dahlin (2010), De Laet et al. (2013), Grøntoft et al. (2014), Grzywacz (2011), Hatchfield (2002), Tétreault (2003, 2021) e British Standards Institute (2012).

1.2.3 *Ácido fórmico*

O ácido metanóico ou ácido fórmico (HCOOH) é um poluente volátil pertencente à família dos ácidos carboxílicos. Apesar de ser considerado um poluente primário, emitido diretamente de uma fonte, pode ser adicionalmente um poluente secundário, formado a partir da oxidação do formaldeído (Grzywacz, 2006). Pode ser emitido a partir dos papéis, madeiras e seus subprodutos (**Tabela 6**). Elevadas concentrações de ácidos carboxílicos são comumente encontradas em bibliotecas, arquivos, depósitos e no interior de armários de madeira (Smedemark, Ryhl-Svendsen, & Schieweck, 2020).

O chumbo é considerado mais suscetível ao ácido fórmico do que ao ácido acético. Estudos mostraram que o metal tende a escurecer em concentrações de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ácido fórmico e a aumentar de massa em concentrações de 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, em ambientes com HR a 54% e 75% (Tétreault et al., 2003). A presença do ácido fórmico tem um efeito significativo na corrosão do cobre em concentrações superiores a 2 ppmv⁹ a 75% de HR (Tétreault et al., 2003). Materiais orgânicos são também suscetíveis aos ácidos carboxílicos, nos quais se inclui o ácido fórmico.

Tabela 6 *Ácido fórmico, fontes e danos*

Poluente	Ácido fórmico
Fontes	Oxidação do formaldeído;

⁹ Partes por milhão por volume.

	Processo de secagem de tintas à óleo e resinas alquídicas; Madeira e seus subprodutos (independente da idade); Degradação de materiais orgânicos; Fertilizantes e pesticidas; Papel e produto de degradação da celulose.
Danos	Escurecimento/corrosão de metais (particularmente o chumbo, zinco e ligas de cobre); Eflorescência em objetos de vidro de silicato de sódio; Esmacimento em alguns corantes; Eflorescência em materiais calcários; Amarelecimento de papéis e documentos fotográficos.

Nota. Fonte: Adaptado de ASHRAE (2011b), Smedemark et al. (2020), Tétreault (2021) e British Standards Institute (2012)

1.2.4 Água

A água (H₂O) é considerada um poluente importante no interior dos edifícios. Sua ação, em forma de vapor de água está relacionada tanto aos danos físicos, como aos danos químicos (Tétreault, 2003). Em locais com HR acima de 65% e na presença de poluentes ácidos, tende a acelerar a deterioração de materiais celulósicos e de objetos metálicos. Em concentrações muito elevadas, agrava o risco de proliferação de microorganismos, aumenta o efeito dos óxidos de azoto em fotografias e eleva o risco de corrosão pelo sulfureto de hidrogénio em objetos de prata e cobre (ASHRAE, 2011b). Além disso, a HR elevada influencia diretamente nas concentrações de COVs emitidos por materiais de construção no interior de edifícios (Markowicz & Larsson, 2015). Estudos evidenciaram a relação entre o aumento de HR e o aumento de concentração de formaldeído emitido por aglomerados de madeira (Parthasarathy et al., 2011). O vapor de água desempenha um papel fundamental nas reações químicas em fase gasosa que ocorrem em ambientes fechados. Em ambientes com compostos ácidos como o dióxido de enxofre e o dióxido de azoto, pode resultar na formação de compostos como o ácido sulfuroso (H₂SO₃), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido nitroso

(HNO₂) e ácido nítrico (HNO₃) (Havermans, 2018). Os vapores de água, podem afetar diretamente materiais a base de celulose incluindo o papel de celulose, acetato de celulose e o nitrato de celulose, através da hidrólise (ASHRAE, 2019; Tétreault, 2003). Os danos nesses materiais podem intensificar quando, além da humidade elevada, há a presença de compostos ácidos no ambiente. A redução da HR é considerada uma estratégia importante para a proteção de certos objetos contra a ação de poluentes, particularmente os objetos em metal (ASHRAE, 2019) (**Tabela 7**).

Tabela 7 Vapor de água, fontes e danos

Poluente	vapor de água
Fontes	Atmosfera (dias de humidade elevada), fontes de água, humidificadores, pessoas, atividades de limpeza aquosa.
Danos	<p>Elevação do risco de reações de hidrólise em objetos orgânicos, como em objetos de acetato de celulose e nitrato de celulose, fita magnética de poliuretano, espuma de poliuretano, papéis a base de celulose, PVC flexíveis e vidros históricos;</p> <p>Aumento do efeito dos óxidos de azoto em fotografias;</p> <p>Elevação do risco de corrosão em objetos de cobre e prata pelo sulfureto de hidrogénio;</p> <p>Elevação do risco de deterioração de materiais (ex.: corrosão de metais, eflorescência em objetos calcários e foto-oxidação em alguns corantes);</p> <p>Elevação do risco de desbotamento de corantes usados em têxteis e aquarelas.</p>

Nota. Fonte: Adaptado de Tétreault (2021) e ASHRAE (2011b).

1.2.5 Amoníaco

O amoníaco (NH₃) é emitido por produtos de limpeza, alguns silicones (alcalinos), betão, excremento de animais, fertilizante, adesivos de emulsão e algumas tintas (Tétreault, 2021). Pode reagir com metais formando sais de amónio, causar eflorescências no nitrato de celulose e causar manchas em ebonite e em resinas naturais (ASHRAE, 2011b). Também

pode levar ao amarelecimento do óleo de linhaça (Tétreault, 2011) (**Tabela 8**). Muitos dos danos causados em coleções de museus são provenientes do ião amônio (NH_4^+), produzido a partir da reação da água com o amoníaco (ASHRAE, 2011b).

Tabela 8 *Amoníaco, fontes e danos*

Poluente	Amoníaco
Fontes	Produtos de limpeza, silicoes alcalinos, betão, excremento de animais, fertilizantes, adesivos de emulsão e algumas tintas; Atividades microbianas, como a hidrólise da ureia.
Danos	Amarelecimento do óleo de linhaça, formação de sais de amônio em metais, eflorescência no nitrato de celulose, manchas em ebonite e em resinas naturais.

Nota. Fonte: Adaptado de Hatchfield (2002) e Tétreault (2003, 2021).

1.2.6 *Compostos orgânicos voláteis*

Segundo a OMS, os compostos orgânicos voláteis (COVs) constituem um vasto e diverso grupo de substâncias químicas que volatilizam à temperatura ambiente e possuem ponto de ebulição no intervalo de 50-100 °C a 240-260 °C (Jantunen et al., 1997), com a característica comum de serem compostos com base de carbono. São encontrados em maior quantidade nos ambientes interiores que nos ambientes exteriores e suas principais fontes são os materiais de construção e mobiliário, mas podem também ser libertados dos materiais dos próprios objetos. Entre os COVs mais frequentemente encontrados em ambientes interiores estão os hidrocarbonetos alifáticos e cíclicos, hidrocarbonetos aromáticos, terpenos, aldeídos, cetonas, álcoois alifáticos, álcoois aromáticos, éteres, glicóis, ésteres, ácidos e hidrocarbonetos halogenados (Silva, 2000). Entretanto, os COVs também possuem fontes nos ambientes exteriores, que podem facilmente entrar nos edifícios, tais como o tráfego urbano ou afluentes gasosos de indústrias (Cincinelli et al., 2016), assim como a vegetação

também é fonte de voláteis como o isopreno, pineno, limoneno entre outros compostos (Brimblecombe, 1990).

Entre os COVs que normalmente são encontrados em bibliotecas e arquivos estão incluídos o benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos, ácidos orgânicos (ácido acético e ácido fórmico)¹⁰, aldeídos (hexanal, furfural e benzaldeído) terpenos (α -pineno e limoneno) e siloxanos (hexametildiclotrisiloxano (D3), octametildiclotetrasiloxano (D4), decametildiclopentasiloxano (D5) e dodecametilciclohexasiloxano (D6)) (Cincinelli et al., 2016). O grupo dos monoterpenos ($C_{10}H_{16}$) é importante por ser o grupo mais volátil dos componentes da madeira. Seu ponto de ebulição encontra-se na faixa entre 150 °C e 180 °C. Os monoterpenos podem ser acíclicos, monocíclicos ou bicíclicos, com três, duas ou uma ligação dupla respectivamente (Granström, 2005). São altamente reativos na presença de agentes oxidantes. O α -pineno e o limoneno foram encontrados em amostras coletadas em oito bibliotecas e dois arquivos em Florença com valores constantes, ao longo do tempo, entre 10 - 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cincinelli et al., 2016). São compostos oxidados pelo ozono, dióxido de azoto, e radicais hidroxilos, formando o ácido acético, ácido fórmico e partículas, como produtos da reação (López-Aparicio et al., 2010).

O tolueno, benzeno e alguns dos seus derivados (p-xileno e m-xileno), são COVs que podem ser encontrados no interior de vitrines. Num estudo conduzido durante o projeto PROPAINIT (Dahlin, 2010), onde foram medidos os poluentes voláteis em quinze vitrines microclimáticas de diferentes museus europeus, o tolueno foi detetado no interior de praticamente todas as vitrines, chegando a concentrações elevadas, da ordem de 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (López-Aparicio et al., 2010). O tolueno pode ser emitido a partir de solventes, tintas e lacas, enquanto o p-xileno e o m-xileno são usados em agentes de limpeza, vernizes, como diluentes de tintas e são substitutos generalizados do tolueno em vernizes de secagem lenta.

Menos investigados em ambientes culturais, são os COVs emitidos por fungos (Bennett & Inamdar, 2015). Muitos são perceptíveis pelo odor, o que traz um bom indicativo de que o

¹⁰ Dada a sua importância, o ácido acético e ácido fórmico são discutidos individualmente.

crescimento de fungos está ocorrendo. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Mucor* e *Ulocladium* são alguns gêneros fúngicos produtores de COVs mais comuns encontrados no interior de ambientes (Bennett & Inamdar, 2015). Estes compostos voláteis resultantes do metabolismo de fungos filamentosos são conhecidos como compostos orgânicos voláteis microbianos e sua presença é um indicativo da atividade metabólica destes organismos (Sawoszczuk et al., 2015).

1.2.7 Dióxido de azoto

O dióxido de azoto (NO₂) é um gás tóxico, de cor acastanhada e de odor pungente (World Health Organization, 2021a). É formado rapidamente na atmosfera pela reação entre ozono e óxido de azoto, que tem como fonte principal a combustão em veículos, mas também a vegetação e atividades industriais. Na atmosfera, o dióxido de azoto pode facilmente oxidar a ácido nítrico (HNO₃) (Tétreault, 2008) (**Tabela 9**).

No ambiente interior, o dióxido de azoto pode causar desbotamento de corantes, contribuir para a degradação do couro (Tétreault, 2008) e acidificar a celulose, causar hidrólise ácida e oxidação, assim como a descoloração em papel feito de celulose (Menart et al., 2014). Em tecidos de algodão, seda e lã, a hidrólise é mais forte quando a superfície está coberta por partículas do ar (Uring et al., 2021).

Tabela 9 Dióxido de azoto, fontes e danos

Poluente	Dióxido de azoto
Fontes	Veículos motorizados, motores de combustão interna, centrais termoelétricas e siderúrgicas; Encadernação revestida com piroxilina; Produto da degradação de roupas; Produto da degradação de objetos de nitrato de celulose;

	Fumo de tabaco;
	Fertilizantes agrícolas;
	Fogos de artifício.
Danos	Degradação de papéis e têxteis, sobretudo o algodão;
	Esmacimento e alteração de cor em corantes têxteis;
	Desbotamento de certas tintas, bem como pigmentos orgânicos em iluminuras;
	Degradação de fibras feitas de rayon, seda, lã e nylon, fragilizando e causando amarelecimento;
	Corrosão da prata rica em cobre;
	Corrosão do zinco em efeito sinérgico com o sulfureto de hidrogénio;
	Aumento do efeito de deterioração do dióxido de enxofre sobre os couros, metais e pedras.

Nota. Fonte: Adaptado de Grzywacz (2006), Hatchfield (2002), Tétreault (2021) e Uring et al. (2021).

1.2.8 Dióxido de enxofre

O dióxido de enxofre (SO₂) é um poluente com origem em fontes antropogénicas que envolvam processos de combustão de combustíveis contendo enxofre (S), como a produção de eletricidade ou a combustão de suporte a processos fabris, comercial e residencial (Agência Portuguesa do Ambiente, 2005), mas também da fundição de metais e da oxidação de gases sulfúricos reduzidos (Hatchfield, 2004) (**Tabela 10**). Em ambientes interiores, suas principais fontes são as borrachas vulcanizadas com enxofre, sulfuretos em espécimes geológicas e alguns corantes (Tétreault, 2008). É um gás considerado preocupante na atmosfera de museus, desde longa data. No final da segunda metade do século XIX, quando a *National Gallery of London*, enfrentava problemas sérios com a poluição proveniente da queima de carvão das fábricas e residências, combustível comum à época, Michael Faraday, cientista membro do Comitê responsável por averiguar os "meios e conveniências de

prevenir o incômodo do fumo proveniente de fogos e fornalhas"¹¹, já diferenciava os gases sulfúricos que emanavam dos esgotos e da exalação animal e a transpiração, e o ácido sulfuroso (H_2SO_3) que se encontrava na atmosfera e que procedia em grande medida, do carvão queimado à época em Londres. É um gás incolor facilmente solúvel em água. O dióxido de enxofre em combinação com a água, forma o ácido sulfuroso, que em contato com objetos de cobre reage a sulfato de cobre (Saunders, 2000). É uma fonte primária para a deposição ácida e da chuva ácida (Hatchfield, 2004), pois está na origem do ácido sulfúrico (H_2SO_4) que compõe as chuvas ácidas, causando a degradação de vários materiais (Agência Portuguesa do Ambiente, 2005), como a acidificação dos papéis (Tétreault, 2008). Quando neutralizado pelo amoníaco, leva à produção de bissulfatos e sulfatos (World Health Organization, 2021a). Nas últimas décadas, a poluição diminuiu de forma significativa em muitas áreas urbanas, em particular, os níveis de dióxido de enxofre. Para a saúde humana, a OMS recomenda diretrizes de qualidade do ar para o dióxido de enxofre, em concentrações máximas de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em exposições curtas (24 horas) (World Health Organization, 2021a), enquanto Tétreault (Tétreault, 2003) sugere valores-limite de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ baseado em 1 ano de exposição para coleções generalizadas, com HR menor que 60%.

São suscetíveis à ação do dióxido de enxofre, os materiais à base de carbonato de cálcio, nomeadamente o giz, calcário, mármore, afrescos e arenitos alcalinos, assim como todos os materiais à base de celulose, seja papel, algodão ou linho. O composto em combinação com a radiação de UV, tende a ter um efeito danoso mais acentuado sobre os materiais. Papel de baixa qualidade tende a degradar mais rápido por conter mais materiais ácidos introduzidos durante a sua manufatura e por absorver poluentes gasosos ácidos mais fortemente devido a lignina presente (Thomson, 1986). Peles de animais, como o couro e o pergaminho são passíveis de reagirem com o dióxido de enxofre e seus ácidos relacionados, podendo ocorrer a quebra da estrutura molecular e resultar na fragilização do material, tornando sua superfície pulverulenta e facilmente abrasiva (podridão vermelha) (ASHRAE, 2011b). Pigmentos que

¹¹ Tradução livre do inglês: "*Means and Expediency of Preventing the Nuisance of Smoke Arising from Fires and Furnaces.*"

contenham cobre, como o verdigris, tendem a danificar suportes celulósicos quando expostos a atmosferas ricas em dióxido de enxofre (Roy, 1993).

Tabela 10 *Dióxido de enxofre, fontes e danos*

Poluente	Dióxido de enxofre
Fontes	<p>Atividade biológica marinha, erupções vulcânicas;</p> <p>Reações atmosféricas do sulfureto de hidrogênio que reage rapidamente com o oxigênio e forma tanto o dióxido de enxofre como o ácido sulfúrico;</p> <p>Queima de combustíveis fósseis;</p> <p>Fogos de artifício;</p> <p>Vulcanização da borracha;</p> <p>Degradação de materiais que contenham enxofre e objetos como as fibras proteicas, pirita pura ou amostras minerais contendo pirita e corantes de enxofre;</p> <p>Refinarias de petróleo;</p> <p>Indústrias de pasta e de papel.</p>
Danos	<p>Escurecimento/corrosão em metais;</p> <p>Alteração de coloração em determinados pigmentos suscetíveis, como o branco de chumbo, amarelo de chumbo, amarelo de cromo, verdigris, laranja de cromo, verde-esmeralda e vermelho de cromo;</p> <p>Descoloração, fragilização e acidificação do papel;</p> <p>Manchas e escurecimento em materiais fotográficos;</p> <p>Esmacimento de corantes;</p> <p>Degradação de materiais em pedra como o mármore, calcário, dolomita e outros minerais carbonatados ou materiais calcários tais como conchas, argilas e azulejos;</p> <p>Redução da resistência à tração nos têxteis;</p> <p>Fragilização do couro e pergaminho tomando sua superfície pulverulenta.</p>

Nota. Fonte: Adaptado de Grzywacz (2006), Hatchfield (2002), Tétreault (2021) e British Standards Institute(2012).

1.2.9 Formaldeído

O formaldeído (HCHO) é um composto orgânico que faz parte do grupo dos aldeídos (- CHO) e é formado naturalmente na troposfera durante a oxidação de hidrocarbonetos. É um gás inflamável, incolor, reativo e prontamente polimerizado à temperatura e pressão ambiente normal (World Health Organization, 2001). Seu forte odor pode ser detetado pelo olfato humano, em quantidades entre 61,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 1.239,79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Hatchfield, 2004). Estudos indicaram que uma parcela significativa da população é capaz de detetar o formaldeído em quantidades de ou abaixo de 0,1 mg/m^3 (World Health Organization, 2010). No ambiente o formaldeído é oxidado em dióxido de carbono. Além disso, reage muito rapidamente com os radicais hidroxilo para gerar o ácido fórmico (Kaden et al., 2010). O formaldeído é encontrado omnipresente no meio ambiente devido a sua formação primária por diversas fontes e atividades antropogênicas. Raychaudhuri e Brimblecombe (2000) ressaltaram a dificuldade em explicar o efeito danoso do formaldeído em termos de ataque direto aos materiais. Uma explicação para a sua capacidade de corrosão seria a oxidação à ácido fórmico. O formaldeído normalmente não reage diretamente com os metais, mas sua forma oxidada em ácido fórmico, sim. A corrosão de metais em atmosferas contendo formaldeído, inicia com a reação do aldeído com a camada molecular de água na superfície do metal, que resulta na formação do ácido fórmico. Mesmo em locais com a HR tão baixa quanto 20%, a água presente já é considerada suficiente para permitir que a corrosão eletroquímica ocorra.

Em 2004 o formaldeído foi classificado pela Agência Internacional para Pesquisa em Câncer (IARC) como substância carcinogénica para os humanos (World Health Organization, 2010).

Suas principais fontes no meio exterior são a combustão de biomassa (florestas e queimadas) e vulcões. Adicionalmente, são consideradas fontes antropogênicas deste gás as emissões industriais e combustão de combustíveis de tráfego automotivo (World Health Organization, 2010). No ambiente interior, suas fontes consideradas preocupantes são as madeiras e seus

derivados, resinas que contenham formaldeído (ureia-formaldeído ou fenol-formaldeído), colas, adesivos, produtos de revestimento, cloreto de vinilo, laminados e papéis de parede, tintas alquídicas, látex e carpete; produtos de limpeza, tais como detergentes, desinfetantes, amaciantes, produtos de limpeza de carpetes; equipamentos eletrônicos, incluindo computadores e fotocopiadoras, além de itens de consumo, como os inseticidas e produtos de papel (World Health Organization, 2010) (**Tabela 11**).

Investigação (De Faria et al., 2010) desenvolvida sobre a ação do formaldeído em placas de chumbo expostas a este poluente, evidenciou a formação de carbonatos de chumbo (hidrocerussite e plumbonacrite) e que a composição da camada de corrosão formada nas placas, era claramente dependente das condições ambientais, atribuída à presença do formaldeído, do dióxido de carbono e das elevadas concentrações de HR.

Tabela 11 *Formaldeído, fontes e danos*

Poluente	Formaldeído
Fontes	Combustão de biomassa e vulcões; Emissões industriais e combustão de combustíveis provenientes do tráfego de automóveis; Fotocopiadoras; Madeiras e seus subprodutos; Cortiça; Combustíveis a álcool e álcool misturado com gasolina; Manufatura de automóveis, especialmente a pintura; Subprodutos da combustão, cozimento, aquecimento e fumaça de tabaco; Tintas com óleo de linhaça e outros óleos de secagem; Tijolos de terracota; Fabricação de cerâmica, exposições de forno;

	Vinil, laminados e papéis de parede. Revestimentos acrílico-melamina;
	Tintas alquídicas;
	Látex e tintas látex com baixo teor de COVs;
	Poluente secundário produzido pela reação do ozono e alguns materiais de carpete;
	Resina a base de formaldeído em produtos de madeira, madeira sólida;
	Adesivos;
	Coleções de espécimes húmidas de história natural;
	Metabolismo humano (respiração);
	Têxteis e tecidos de prensa permanente ¹² .

Danos	Embaciamento da prata (perda de brilho);
	Reação em filmes fotográficos e fotografias, especialmente em fotografias em preto e branco;
	Corrosão do chumbo em humidades elevadas (>75%);
	Formação de sais brancos na superfície e enfraquecimento da estrutura do vidro.

Nota. Fonte: Adaptado de Grzywacz (2006), Hatchfield (2002), Tétreault (2021), Salthammer et al. (2010) e OMS (2010).

1.2.10 Sulfureto de hidrogénio

O sulfureto de hidrogénio (H₂S) é reconhecido por escurecer materiais de prata e bronze em concentrações mínimas de 0,3 µg/m³ (Blackshaw & Daniels, 1978). Sendo a prata e o cobre extremamente suscetíveis ao sulfureto de hidrogénio, os limites recomendados do composto em ambientes que abrigam esses metais, deverá ser diferenciado do restante da coleção, devendo se possível, ser armazenados e/ou exibidos enclausurados em vitrines seladas, livre

¹² Tecidos de prensa permanente (do inglês: *permanent press fabric*) são tecidos resistentes a rugas. Essa característica é obtida, entre outras, através da adição de formaldeído em sua manufatura.

de poluentes. A dose mínima com efeitos adversos observáveis, LOAED, do sulfureto de hidrogénio para a prata é de 0,1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/ano e 1,0 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/ano para o cobre (Tétreault, 2003). Alguns pigmentos são suscetíveis à ação desse composto, nomeadamente, o pigmento branco de chumbo (Saunders, 2000) e vermelho de chumbo (Blackshaw & Daniels, 1978) que tendem a escurecer formando o sulfureto de chumbo (PbS). O pigmento azurite altera sua coloração para preto-azulado especialmente em pintura a fresco, com a formação de covelite (CuS) (Coccatto et al., 2017). A malaquite assim como o verdigris escurecem com a formação de sulfuretos de covelite em presença de gases de sulfureto de hidrogénio (Coccatto et al., 2017). Reações com compostos que contenham enxofre, particularmente com o sulfureto de hidrogénio, podem ser responsáveis por uma fina camada de corrosão na superfície de ligas de ouro com cobre e prata (Scott, 1983). Possui como fontes os materiais proteicos, tais como a lã, pergaminho e couro. Adicionalmente, também são fontes os corantes de enxofre, adesivos de polisulfureto e borracha vulcanizada. Seus gases podem causar danos em imagens fotográficas de prata, ao transformar a imagem negra em tons marrons claros (Blackshaw & Daniels, 1978) (**Tabela 12**).

Tabela 12 *Sulfureto de hidrogénio, fontes e danos*

Poluente	Sulfureto de hidrogénio
Fontes	Exaustão de veículos e vulcões; Respiração humana; Degradação da borracha vulcanizada; Materiais de soldadura; Lã, pergaminho, couro e têxteis; Decomposição de alguns aditivos em plástico; Combustão de combustíveis a carvão; Pântanos e oceanos; Indústria de petróleo e celulose.

Danos	<p>Destruição do tecido vegetal (relevante em coleções botânicas e de história natural);</p> <p>Alterações em pigmentos de chumbo: carbonatos, vermelho de chumbo, hidrocerusita ou branco de chumbo e óxidos;</p> <p>Formação de camada escura de sulfureto de cobre no metal de cobre, eventualmente substituída por uma pátina verde de sulfato de cobre básico;</p> <p>Escurecimento de objetos de prata e reação com os sais de prata em fotografias preto-e-branco;</p> <p>Transformação do zinco em sais, causando corrosão.</p>
-------	---

Nota. Fonte: Adaptado de Grzywacz (2006), Hatchfield (2002), Tétreault (2021), ASHRAE (2011b) e British Standards Institute (2012).

1.2.11 *Material particulado*

Os materiais particulados (PM), ou partículas em suspensão, são definidos pela OMS (World Health Organization, 2021a) como "uma mistura de partículas sólidas e líquidas no ar que são suficientemente pequenas para não se fixarem na superfície terrestre sob a influência da gravidade, classificadas por diâmetro aerodinâmico"¹³. Algumas partículas em suspensão são emitidas diretamente de uma fonte, enquanto as demais se formam quando os poluentes emitidos por diferentes fontes reagem na atmosfera (European Environment Information and Observation Network (Eionet), 2021). É comum caracterizar o material particulado baseado no seu diâmetro aerodinâmico. Dessa forma, e para um melhor controle dos poluentes, as partículas em suspensão são classificadas em partículas finas que possuem um diâmetro aerodinâmico igual ou menor que 2,5 µm (PM_{2.5}) e partículas grosseiras que possuem um diâmetro aerodinâmico entre 2,5 µm e 10 µm (PM₁₀) (Tétreault, 2003). Os principais componentes dos PM são os sulfatos, nitratos, amoníaco, cloreto de sódio, carbono elementar, carbono orgânico e água (Ribeiro, 2015; World Health Organization, 2021a). São

¹³ Tradução livre do inglês: "*A mixture of solid and liquid particles in the air that are small enough not to settle out on to the Earth's surface under the influence of gravity, classified by aerodynamic diameter*" (World Health Organization, 2021a).

constituídos por uma complexa mistura de partículas sólidas e líquidas, de substâncias orgânicas e inorgânicas suspensas no ar (World Health Organization, 2021b). Poluentes particulados são frequentemente higroscópicos e biologicamente atrativos. O pó possui grande capacidade de adsorção para os poluentes gasosos, podendo se tornar muitas vezes corrosivo e ácido (*Airborne Particulate Pollutants*, n.d.), dependendo do composto adsorvido. Partículas finas provenientes de processos de combustão, podem incluir sulfato de amônio, nitratos ou ácido sulfúrico, que entram facilmente nos edifícios através de sistemas de ventilação e outras aberturas, como portas e janelas. Partículas alcalinas são comumente emitidas a partir de estruturas em betão (concreto) e são consideradas potencial risco de danos para as coleções acondicionadas no interior dessas construções (Hatchfield, 2002). Partículas de sais de amônio são provenientes da reação do amoníaco com o dióxido de enxofre ou do dióxido de azoto em ambientes exteriores e interiores ou em superfícies sólidas e são responsáveis pela corrosão do cobre, níquel, prata e zinco, além de causar manchas em vernizes de pinturas e móveis com resinas naturais e ebonite (**Tabela 13**).

Tabela 13 *Material particulado, fontes e danos*

Poluente	PM _{2.5} e PM ₁₀
Fontes	<p>Circulação de pessoas, através do transporte de partículas por meio de sapatos, roupas e descamação da pele;</p> <p>Produto de combustão proveniente de indústrias, veículos motorizados, velas acesas, incêndios e combustão de carvão;</p> <p>Reações atmosféricas;</p> <p>Agricultura, pólen de plantas e outras fontes naturais;</p> <p>Construção e renovação de espaços, carpetes, betão, gesso;</p> <p>Sistemas de aquecimento;</p> <p>Impressoras a laser,</p> <p>Compostos orgânicos e biológicos provenientes de microorganismos, degradação de materiais e objetos, pelos de animais;</p>

	<p>Sais de amónio provenientes da reação do amoníaco com o dióxido de enxofre ou o dióxido de azoto em ambientes interiores e exteriores ou em superfícies sólidas;</p> <p>Compostos de cloreto: aerossol de sal marinho e de combustão fóssil;</p>
Danos	<p>Abrasão de superfícies, acúmulo de sujidade e consequente alteração da aparência do objeto;</p> <p>Reação de partículas ácidas e alcalinas em certos materiais;</p> <p>Corrosão no cobre, prata, níquel e zinco;</p> <p>Manchas em pinturas envernizadas e móveis com resinas naturais e em ebonite, além de depósitos brancos na superfície dos objetos causados por sais de amónio;</p> <p>Elevação da taxa de corrosão em metais por compostos de cloreto;</p> <p>Descoloração das superfícies porosas (pintura, fresco, esculturas, livros e têxteis) causada pela fuligem;</p> <p>Diminuição do grau de polimerização da celulose.</p>

Nota. Fonte: Adaptado de Hatchfield (2002) e Tétréault (2021).

1.2.12 Ozono

O ozono (O₃) é um poluente secundário, sem fonte emissora direta, que se forma na troposfera por meio de reações fotoquímicas complexas nas quais a radiação solar interage com outros gases poluentes, nomeadamente os óxidos de azoto e os COVs (etano; etileno; acetileno; propano; propeno; n-butano; i-butano; 1-buteno; trans-2-buteno; cis-2-buteno; 1,3-butadieno; n-pentano; i-pentano; 1-penteno; 2-penteno; isopreno; n-hexano; i-hexano; n-heptano; n-octano; i-octano; benzeno; tolueno; etilbenzeno; m+p-xileno; o-xileno; 1,2,4-trimetilbenzeno; 1,2,3-trimetilbenzeno; 1,3,5-trimetilbenzeno; formaldeído; hidrocarbonetos totais não metanos), sendo relevante a medição destas substâncias (Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, 2008). É um oxidante extremamente poderoso e por isso, muito reativo, que tende a danificar os materiais orgânicos que fazem parte de uma coleção (Barbosa et al., 2021; Hatchfield, 2004; Krupińska et al., 2013). Suas

principais fontes (**Tabela 14**) em ambientes interiores são os precipitadores eletrostáticos no sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC), os purificadores de ar eletrônicos (geradores de ozono) e as fotocopiadoras. Pode causar a degradação de borrachas naturais vulcanizadas e desbotar corantes (Tétreault, 2008), além de causar danos em materiais fotográficos (Brimblecombe, 1990). Lacas de antraquinona, como a alizarina, corantes como o índigo, sangue de dragão, curcuma, açafrão e pigmentos de arsênio e enxofre (ouropigmento e realgar) tendem a ter sua cor alterada por interação com o ozono (Fitzhugh, 1997; Grosjean et al., 1992; Grzywacz, 2006; Tétreault, 2008).

Segundo o relatório de 2018 da *European Environment Agency* (EEA), a emissão dos gases precursores (NO_x e COVs) foi reduzida em cerca de 40% entre 2000 e 2016 nos Estados-Membros da União Europeia (UE), mas os índices de ozono ainda se encontram acima do valores-limite recomendados pela OMS (100 µg/m³) (European Environment Agency, 2018). Tétreault (2003) recomenda o limite máximo de 10 µg/m³ em um ano de exposição para coleções generalizadas.

Tabela 14 Ozono, fontes e danos

Poluente	Ozono
Fontes	<p>Poluente secundário gerado pela reação de óxidos de azoto ou de COVs não metanos na presença de forte radiação solar;</p> <p>Precipitadores eletrostáticos no sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC), purificadores de ar eletrônicos (geradores de ozono), eletrocutores de insetos, impressoras a laser, fotocopiadoras, fontes de luz UV e fumaça fotoquímica (<i>smog</i>).</p>
Danos	<p>Corrosão de metais, esmaecimento de corantes orgânicos, impressões digitais e pigmentos;</p> <p>Fissuras em borrachas e plásticos, fragilização e amarelecimento do papel, fragilização de tecidos, danos em materiais fotográficos.</p>

Nota. Fonte: Adaptado de Grzywacz (2006), Hatchfield (2002), Tétreault (2003, 2021) e Brimblecombe (1990).

1.3 Fontes de Poluentes

Segundo a ASHRAE (2019), pode-se avaliar as fontes dos poluentes que colocam em risco os objetos de MBA, a partir de três cenários distintos: poluentes infiltrados do exterior para o interior do edifício; poluentes gerados em pequenos recintos (ex. vitrines); e poluentes gerados no interior do edifício.

Poluentes gerados no exterior dos edifícios podem facilmente infiltrar em seu interior através de portas, janelas ou pelas entradas dos sistemas de ar-condicionado, quando os filtros são insuficientes ou inadequados. Partículas de diferentes tamanhos entram muito facilmente através de diversos tipos de aberturas ou por meio de visitantes e frequentadores dos MBA. Poluentes gasosos gerados no exterior, irão infiltrar se o edifício não possuir um sistema eficiente que bloqueie ou filtre a entrada desses compostos (ASHRAE, 2019). A localização do edifício pode sugerir a presença de certos poluentes de acordo com as fontes de emissão em seu entorno. Áreas com grande tráfego de automóveis ou próximas a fábricas, possivelmente terão concentrações mais elevadas de sulfureto de hidrogénio, dióxido de enxofre, dióxido de azoto e partículas. Em regiões marinhas, próximo ao oceano, pode haver uma incidência maior de dióxido de enxofre, sulfureto de hidrogénio e partículas salinas. Áreas rurais, com agricultura e criação de animais, possivelmente terão concentrações elevadas de amoníaco (ASHRAE, 2015).

Embora os poluentes atmosféricos possam ser transferidos do exterior para o interior dos edifícios, aqueles gerados no interior de pequenos recintos ou invólucros, devem ser tidos com atenção. Materiais utilizados na construção de vitrines, embalagens de acondicionamento em reservas ou na confecção de embalagens de transporte, podem emitir compostos voláteis prejudiciais aos objetos do acervo. A concentração destes poluentes nos invólucros será mantida elevada por um longo período, se os mesmos não forem filtrados ou adsorvidos adequadamente (ASHRAE, 2019).

Os poluentes emitidos no interior dos edifícios participam de um cenário semelhante daqueles emitidos em invólucros e pequenos recintos, só que em uma escala mais

abrangente. Alguns compostos são emitidos a partir dos materiais de construção ou da remodelagem de edifícios, revestimentos, mobiliários e materiais utilizados em exposições, enquanto outros podem ser provenientes dos próprios objetos expostos e/ou materiais utilizados em seu restauro (Schieweck, 2009). Certos materiais comuns de serem encontrados no interior de museus foram já exaustivamente estudados quanto às suas fontes de poluentes (**Tabela 15**), mas a indústria de manufatura é dinâmica e eventualmente novos materiais ainda não estudados, podem ser inadvertidamente fontes de poluentes agressivos aos objetos e necessitam ser testados e analisados sempre antes de serem introduzidos nos espaços de acervos.

Algumas instituições, como o *Getty Conservation Institute*, o *British Museum* e o *National Archives of Australia*, entre outros, testam com frequência a segurança de novos materiais a serem utilizados em suas instituições e disponibilizam os resultados em uma plataforma online de livre acesso (https://www.conservation-wiki.com/wiki/Materials_Testing_Results).

Tabela 15 Fontes comuns de poluentes gerados no interior de edifícios que abrigam acervos

Fonte	Poluente	Referências
Madeira	Ácido acético, ácido fórmico	Clarke 1961, Bud 1965, Donovan 1965, Arni 1965, Farmer 1967, Donovan 1971, Knotkova-Cermakova 1971, Grzywacz 1993, Gibson 2010
Painéis à base de madeira (selados com resinas de urea-formaldeído ou fenol-formaldeído)	Formaldeído	Anderson 1975, Myers 1981, Myers 1984, Meyer 1985, Matthews 1986, Lehmann 1987, Grzeskowiak 1988
Tintas acrílicas e nitrocelulose	Ácido acético, solventes	Donovan 1965, Tétreault 1992
Resinas/revestimentos	Ácido acético, ácido fórmico, solventes	Tétreault 1992, Tétreault 1997

Poliacetato de vinila	Ácido acético	Grassie 1952, Grassie 1953, Servotte 1968, Bataille 1975, Tétreault 1992, Down 1996
Plásticos, borracha	Vapores ácidos	Knotkova-Cermakova 1971
Objetos de acetato de celulose, filmes de triacetato de celulose	Ácido acético	Allen 1987, Allen 1990, Edge 1992, Edwards 1993, Ram 1994, Aubier 1996, Quye 1997
Objetos de nitrato de celulose e fotografias	Óxidos nitrosos, formaldeído, cânfora	Yarsley 1964, Miles 1955, Philips 1955, Wolfrom 1955, Jutier 1987, Edge 1990
Cloreto de polivinilo	Ácido clorídrico	—
Borracha de poliisopreno (base de carpete) e lã	Gases reduzidos de enxofre (ex. oxissulfeto de carbono, sulfureto de carbono)	Brimblecombe 1992, Sease 1997

Nota. Fonte: Adaptado de *British Standard Institute* (2012).

Por muitas vezes, a atenção é dada aos poluentes que estão no ambiente onde se encontram os objetos que se deseja preservar, enquanto uma atenção menor é direcionada aos materiais que os constituem e que podem por eles mesmos, serem importantes fontes emissoras. Os objetos podem ter uma diversidade maior ou menor de materiais em sua composição, que podem ser incompatíveis entre si em relação à emissão e suscetibilidade a ação de poluentes. Objetos contemporâneos, por vezes, tendem a ter em sua composição materiais ainda pouco estudados em relação ao seu envelhecimento e potencial de emissão de compostos voláteis. Materiais com o mesmo nome, mas que tenham outros fabricantes, podem ter composição química diferente e resultar em reações inesperadas. Alguns materiais tendem a libertar voláteis durante seu processo de degradação, como o caso dos plásticos, enquanto outros podem emitir gases de forma contínua, desde sua manufatura, como as madeiras. Adicionalmente, materiais utilizados para o restauro também podem contribuir para a

emissão de poluentes (Schieweck, 2009). Vernizes como o MS2A¹⁴ por exemplo, podem reter componentes de solventes aromáticos utilizados em sua composição até dois anos após a sua aplicação. Além de serem compostos perigosos para a saúde humana, podem afetar a estabilidade da camada de pintura e contribuir para o efeito de "imagens fantasma" no interior de vitrines (Dahlin, 2010). Identificar os materiais de constituição dos objetos e seu processo de libertação de gases poluentes é fundamental para se planejar uma boa gestão de riscos.

1.3.1 Plástico

Os polímeros modernos estão presentes num grande número em ambientes que abrigam acervos, seja como materiais de composição dos próprios objetos, como materiais de acondicionamento ou mesmo na construção dos espaços expositivos. Os plásticos fazem parte de uma grande família de materiais que inclui diferentes tipos de polímeros. Sua complexidade acaba por dificultar sua identificação (Laganà & Keneghan, 2012). São reconhecidos por serem instáveis, mas pouco ainda se sabe sobre os processos de libertação de gases poluentes desses polímeros. Durante o processo de degradação, é conhecida a emissão de diferentes COVs, que podem ser danosos para os próprios plásticos ou para outros materiais que estejam em suas proximidades (metal, vidro, cerâmica, tintas, pigmentos, pinturas, polímeros de pedra sintético ou materiais celulósicos, fotográficos, de carbonato de cálcio ou proteico), assim como podem ser danosos à saúde humana (Molina, 2021). A identificação dos COVs libertados durante o processo de degradação dos plásticos, tem mostrado ser uma ferramenta importante na identificação desses materiais (Curran et al., 2018). Um exemplo é a distinção entre o acetato de celulose, o propionato de acetato de celulose e o butirato de acetato de celulose, através dos ácidos orgânicos emitidos por esses

¹⁴ MS2A[®] é uma resina cetônica cíclica quimicamente reduzida, produzida em forma granulada por Linden Nazareth, Wales, UK (https://www.conservation-wiki.com/wiki/Varnishes_and_Surface_Coatings:_Low_Molecular_Weight_Varnishes#MS2A.C2.AE)

polímeros. Respetivamente ácido acético, ácido propiónico e ácido butanoico (Curran & Strlic, 2014).

Os principais polímeros reconhecidos como materiais problemáticos em ambientes de museus são o nitrato de celulose, acetato de celulose, propionato de celulose, espuma de poliuretano, cloreto de polivinilo, poliestireno e polietileno (Curran et al., 2018).

Como anteriormente mencionado, o acetato de celulose é conhecido por emitir ácido acético durante o seu processo de degradação. Devido ao odor de vinagre, esse processo é conhecido como a "síndrome do vinagre". Os filmes de acetato de celulose degradam-se através de hidrólise catalisada por ácido, onde o ácido acético é o subproduto libertado. Em termos de armazenagem, aconselha-se que os filmes manufacturados entre 1950 e 1960, sejam armazenados em locais frios (entre 8 e 18 °C) ou refrigerados (entre 0 e 8 °C). Em espaços não refrigerados, se aconselha que os filmes em processo de degradação, sejam mantidos em compartimentos ventilados e isolados de outros objetos, a fim de evitar danos ao restante da coleção ou em compartimentos herméticos, com absorvedores de humidade (ASHRAE, 2019).

A nitrocelulose ou nitrato de celulose, é um composto altamente inflamável formado pela nitração da celulose por meio de uma exposição ao ácido nítrico ou outro agente nitrante (Rychly Jozef et al., 2012). É conhecido pela sua utilização na produção de películas de filmes antigos, mas também era usado na produção de vernizes, lacas e na produção de objetos sólidos que imitavam materiais como o marfim, casco de tartaruga e chifres. No seu processo de degradação há produção de gases ácidos e óxidos de azoto, que podem danificar outros objetos que estejam próximos ou em contato. Filmes de nitrato de celulose são quimicamente instáveis e altamente inflamáveis. Durante o seu processo de decomposição, são produzidas pequenas quantidades de monóxido de azoto, dióxido de azoto e outros gases. O dióxido de azoto reage com o filme e conduz a um processo acelerado de decomposição. A taxa de velocidade da decomposição aumenta com a presença de humidade e pode chegar a dobrar com o aumento de temperatura, por isso, ser aconselhado sua armazenagem em locais refrigerados. Os filmes produzidos entre 1896 e 1952, são consideravelmente instáveis e em temperaturas acima de 38 °C correm um alto risco de autoignição (ASHRAE, 2019).

Adicionalmente, o furfural foi encontrado em 25 amostras de nitrato de celulose em um estudo feito com polímeros provenientes de objetos modernos, no qual os COVs foram analisados por SPME-GC/MS, após envelhecimento acelerado (Curran et al., 2018). Na mesma investigação, a cânfora, plastificante comum para o nitrato de celulose, foi encontrada em todas as amostras analisadas.

O cloreto de polivinilo é um polímero sintético e pode ter diferentes formulações entre as diversas manufaturas. O principal volátil libertado por esse é o cloreto de hidrogênio, mas outros compostos, como o 2-etilhexil tioglicolato, podem migrar do cloreto de polivinilo e causar o escurecimento do cobre e da prata (Samide, Liggett, & Smith, 2018). Estudos conduzidos com envelhecimento acelerado, identificaram o 2-etilhexanol como outro composto libertado da degradação do PVC. O 2-etilhexanol é conhecido como um produto da degradação do bis (2-etilhexil)-ftalato, plastificante comum deste polímero (Curran et al., 2018).

1.3.2 *Papel*

A estabilidade do papel está diretamente relacionada com a sua qualidade. Livros antigos são mais estáveis que os livros modernos (séc. 19 e 20) por utilizarem linho, cânhamo e algodão nos seus processos de produção, e, portanto, serem considerados materiais celulósicos de alta qualidade. A partir do séc. 19, com o aumento da necessidade de papel, desencadeou-se uma produção acelerada de materiais celulósicos de qualidade inferior, feitos com polpa de madeira, sendo necessário a introdução de aditivos, que resultou na produção de um papel mais ácido (pH por volta de 4-5). Como a estabilidade do papel está vinculada ao seu pH, o resultado foi a confecção de papéis extremamente frágeis (Gibson et al., 2012). Independente do tipo de papel, a celulose é seu componente básico (Guild, 2018) e uma das principais vias de deterioração do papel é a hidrólise da celulose catalisada por ácido. O papel é considerado fonte importante de COVs, que em ambientes fechados, com pouca circulação de ar e/ou em caixas de arquivos, tende a intensificar suas concentrações (Fenech, Strlič, Kralj Cigić, et al., 2010). Concentrações variadas de COVs como o ácido

acético, ácido fórmico e de aldeídos, nomeadamente, o acetaldeído e formaldeído foram encontradas em bibliotecas e arquivos. Durante o processo de degradação da celulose, muitos COVs são libertados (ácido acético, ácido fórmico, tolueno, furfural, benzaldeído, etilhexanol, nonanal, decanal, *o*-xileno, fenol, vanilina e hexanol) (Smedemark, Ryhl-Svendsen, & Schieweck, 2020; Veríssimo et al., 2019), e podem agir como agente acelerador da degradação de outro papel que esteja próximo. O furfural é conhecido como produto de degradação da celulose e da hemicelulose. Quanto maior o teor de acidez do papel, mais abundante será a produção de furfural (Strlič et al., 2009). Sua presença em grande quantidade, pode ser um indicativo do processo de degradação do papel. O ácido acético que é um composto importante emitido por madeiras e papel, é também considerado como um potencial indicador para a decomposição do papel, além da vanilina que é produzida durante o processo de oxidação da lignina (Smedemark, Ryhl-Svendsen, & Schieweck, 2020).

A reatividade da celulose a vários compostos voláteis (acetaldeído, ácido acético, formaldeído, ácido fórmico, furfural, hexanal e peróxido de hidrogénio), comumente libertados pelo papel, foi estudada por Tétreault et al. (2013). Desses compostos, o peróxido de hidrogénio foi o que se mostrou mais agressivo à celulose a temperatura e HR ambiente. Entre os COVs com grupo carboxilo e carbonilo, o ácido fórmico foi o que levou a uma degradação mais significativa da celulose, enquanto os ensaios conduzidos com ácido acético resultaram numa degradação ou ataque moderado. O tempo de exposição dos ensaios com o ácido acético, foi de 52 dias e os autores consideraram que a longo prazo, em um cenário realista e longo no interior de uma biblioteca, o ácido acético poderia causar maiores danos e salientaram que os resultados deveriam ser colocados em perspetiva.

A temperatura e a HR representam um fator relevante na emissão de compostos provenientes do papel. Um estudo (Smedemark, Ryhl-Svendsen, & Schieweck, 2020) demonstrou que a emissão do ácido acético e ácido fórmico proveniente de amostras de papel e madeira, foi reduzida significativamente com a redução da temperatura e HR.

1.3.3 *Tela*

As telas utilizadas como suporte para pintura, podem por elas mesmas serem importantes fontes de COVs. Quando seladas dentro de vitrines, tende a resultar em uma maior concentração desses compostos no microambiente. Um estudo realizado com amostras de telas de diferentes tecidos, nomeadamente, tela nova de algodão, tela nova de linho e tela antiga de linho (~1846) de um reentelado solto, mostrou que o ácido acético foi o composto predominante emitido por todas as amostras de tecido, seguido pelo ácido fórmico, acetaldeído e formaldeído (Grøntoft et al., 2014). A acidez das fibras pode ser o resultado do processo de degradação delas mesmas, ou mesmo proveniente de aditivos adicionados durante seu processo de manufatura (*Textiles and the Environment*, 2013).

Adicionalmente, os têxteis confeccionados com fibras naturais, como o algodão e o linho, são materiais altamente higroscópicos. Em ambientes com temperatura e humidade elevadas, e pouca ventilação, tendem a favorecer o desenvolvimento de fungos. COVs microbianos podem ser emitidos por tecidos com contaminação microbiológica e liberar voláteis com odores desagradáveis (*Mould Growth on Textiles*, 2008).

1.3.4 *Madeira*

As madeiras são fontes conhecidas de ácidos orgânicos, nomeadamente ácido acético e ácido fórmico (**Tabela 16**), e independente da idade continuam a libertar esses compostos, que podem contribuir negativamente para atmosfera do ambiente interior. A quantidade de ácido acético libertado da madeira, irá depender de sua constituição química. Madeiras macias tendem a emitir menos ácido acético que as madeiras duras (Gibson & Watt, 2010). Adicionalmente, a madeira pode atuar como fonte de água e colaborar no processo de corrosão dos metais (Umney, 1992).

Um estudo conduzido com COVs específicos como o ácido acético e o hinoquitiol (β -thujaplicina) libertados das madeiras *Spruce spp.* (abeto) e *Thuja plicata D.Don* (tuia-gigante), mostrou o efeito danoso desses compostos sobre determinados pigmentos e metais.

O pigmento litarge (PbO) se deteriora rapidamente na presença do ácido acético e do hinoquítiol. O ferro e o cobre alteram sua coloração na presença do hinoquítiol, assim como os pigmentos: branco de chumbo ($2\text{Pb CO}_3 \cdot \text{Pb (OH)}_2$) que se tornam amarelados e o verdigris ($\text{Cu CO}_3 \cdot \text{Cu (OH)}_2$) que se torna amarelo-esverdeado (Oikawa et al., 2006).

O *Quercus spp* (carvalho) é reconhecidamente uma das madeiras que liberta maiores teores de ácido acético, cerca de 7% do peso da madeira, e recomenda-se que seu uso seja evitado em museus (Gibson & Watt, 2010). Adicionalmente, um estudo desenvolvido com 14 espécies de madeiras diferentes indicou que as amostras de afrormosia, carvalho, faia, obeche, mogno, larício e pinheiro vermelho foram identificadas como as madeiras com maior potencial de emissão de ácido acético (Gibson & Watt, 2010).

Tabela 16 Emissão de ácido fórmico e ácido acético e pH de madeiras selecionadas

Madeira (PT)	Madeira (EN)	Nome científico	*pH	**Ácido acético ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	**Ácido fórmico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Abeto balsâmico	<i>Balsam, eastern</i>	<i>Abies balsamae</i>	4,0	-	-
Abeto negro	<i>Spruce, black</i>	<i>Picea mariana</i>	3,4	-	-
Abeto Sitka	<i>Spruce, Sitka</i>	<i>Picea stichensis</i>	4,0-5,55	-	-
Abeto-falso	<i>Spruce, European</i>	<i>Picea abies</i>	4,8-5,0	-	-
Afrormosia	<i>Afromosia ou afrormosia</i>	<i>Pericopsis elata</i>	4,0	2480 ± 175	162 ± 16
Álamo-tremulo	<i>Poplar</i>	<i>Populus tremuloides</i>	3,9	-	-
Balsa	<i>Balsa</i>	<i>Ochroma lagopus</i>	5,4-7,2	-	-
Bétula	<i>Birch</i>	<i>Betula spp.</i>	3,8	698 ± 38	116 ± 3

Carvalho (Europa e América)	<i>Oak</i>	<i>Quercus spp.</i>	3,3-3,9	1740 ± 15	60 ± 10
Carvalho (Japão)	<i>Oak</i>	<i>Quercus spp.</i>	4,0-4,7	-	-
Carvalho branco	<i>White oak</i>	<i>Quercus spp.</i>	5,55-3,88	-	-
Carvalho vermelho	<i>Red oak</i>	<i>Quercus spp.</i>	5,7-3,78	-	-
Cerejeira	<i>Cherry</i>	<i>Prunus avium</i>	4,5-4,55	952 ± 48 ^b	46 ± 28 ^b
Cerejeira	<i>Cherry</i>	<i>Prunus scrotina</i>	3,5	-	-
Choupo negro ou álamo negro	<i>Poplar, black</i>	<i>Populus nigra</i>	4,2	-	-
Choupo ou álamo	<i>Poplar</i>	<i>Populus sp.</i>	4,65-5,8	-	-
Faia	<i>Beech</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	4,5-5,9; 5,3-6,05	1500 ± 27	133 ± 17
Freixo europeu	<i>Ash, European</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	3,55-5,3	833 ± 37 ^c	161 ± 49 ^c
Freixo, branco	<i>Ash, white</i>	<i>Fraxinus americana</i>	4,5	-	-
Freixo, preto	<i>Ash, black</i>	<i>Fraxinus nigra</i>	3,7	-	-
Larício	<i>Larch, European</i>	<i>Larix decidua</i>	4,25-5,15; 4,0	1890 ± 297	101 ± 18
Mogno (África)	<i>Mahogany</i>	<i>Khaya spp.</i>	4,5-5,1	-	-
Mogno (América do Sul)	<i>Mahogany</i>	<i>Swietenia spp.</i>	4,9-5,85	1250 ± 102 ^a	171 ± 19 ^a
Obeche	<i>Obechie</i>	<i>Triplochiton scleroxylon</i>	4,0	1570 ± 58	168 ± 23
Pinheiro amarelo	<i>Yellow pine</i>	<i>Pinus ponderosa</i>	4,06	-	-

Pinheiro branco	<i>White pine</i>	<i>Pinus strobus</i>	5,39-4,38; 3,4	447 ± 90	68 ± 12
Pinheiro vermelho	<i>Red pine</i>	<i>Pinus resinosa</i>	5,74-5,0; 3,7	1460 ± 26	18 ± 6
Pinheiro-do-canadá	<i>Spruce, white</i>	<i>Picea canadensis</i>	3,9	-	-
Teca	<i>Teak</i>	<i>Tectona grandis</i>	4,75-4,9; 4,5	509 ± 58	89 ± 17
Teixo	<i>Yew</i>	<i>Taxus baccata</i>	4,12	132 ± 139	187 ± 66
Tuia	<i>Cedar, Eastern</i>	<i>Thuja occidentalis</i>	3,5	-	-
Tuia-gigante	<i>Western red cedar</i>	<i>Thuja plicata</i>	2,9-4,0	-	-

Nota. ** Os testes de emissão de ácido acético e ácido fórmico foram realizados a uma temperatura entre 18 e 21 °C e 54% HR. ^a Não é esclarecido para qual tipo específico de mogno. ^b Não é esclarecido para qual tipo específico de cerejeira. ^c Não é esclarecido para qual tipo de freixo. Fonte: Adaptado de *Hatchfield (2002) e **Gibson e Watt (2010).

1.3.5 Subprodutos da madeira

Os subprodutos da madeira, como aglomerados de partículas, aglomerado de partículas de madeira longas e orientadas (OSB), aglomerado de fibras de madeira dura, aglomerado de fibras de madeira de média densidade (MDF), aglomerado de partículas de madeira, compensado laminado (contraplacado), entre outros, são fontes conhecidas de ácidos carboxílicos voláteis. O ácido fórmico e ácido acético são emitidos por uma série de tipos de madeira (Gibson & Watt, 2010) e são conhecidos por corroer metais, como o chumbo e o bronze (Tennent & Baird, 1992), causar eflorescência em materiais calcários, objetos de barro e terracota.

O MDF é um aglomerado de fibras de madeira de média densidade aglutinadas com resinas sintéticas e outros aditivos, sob alta temperatura e pressão. É um material considerado de baixo custo, quando comparado com a madeira, de fácil trabalhabilidade, acessível e

consequentemente, com vasta aplicação nas indústrias de construção civil e no fabrico de mobiliários. Em alguns museus, ainda é utilizado para criação de paredes divisórias em exposições temporárias e na construção de bases ou mobiliários de exibição, devido a sua versatilidade e baixo custo. O aglomerado é fonte conhecida de formaldeído, proveniente das resinas fenol-formaldeído, ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, utilizadas para aglutinar as partículas de madeira (Hatchfield & Carpenter, 1987), além de uma variedade de ácidos voláteis (ácido acético, ácido fórmico), aldeídos e outros produtos de degradação lignocelulósicos (Lattuati-Derieux et al., 2004). A libertação dos gases provenientes dos aglomerados, irá depender não unicamente do tipo de resina, mas de um conjunto de fatores que irá influenciar de forma qualitativa e quantitativa na emissão de compostos voláteis, tais como a espécie de madeira das fibras, a temperatura de prensagem, o tempo decorrido desde a manufatura, as condições ambientais, a textura da superfície do MDF, entre outros (Korenberg & Bertolotti, 2019). Durante a produção dos aglomerados, são utilizadas resinas à base de formaldeído, que é um poluente considerado carcinogénico e suas propriedades já foram anteriormente mencionadas. Os aglomerados de partículas tendem a libertar mais ácidos voláteis que os aglomerados de lascas de madeira devido ao calor envolvido na preparação dos painéis. O calor acelera o processo de hidrólise da hemicelulose e a emissão de ácidos orgânicos (Korenberg & Bertolotti, 2019).

Adicionalmente, o MDF liberta pequenas quantidades de tolueno, que pode afetar borrachas e polímeros modernos (Pretzel, 2003). Existem vários tipos de MDF no mercado que atendem às especificações em relação à quantidade máxima de formaldeído emitida. Entretanto, essas quantidades irão variar de acordo com as normas de cada país¹⁵. Como

¹⁵ Atualmente a Europa segue as normas de limite de emissão de formaldeído de acordo com a EN 717-1 (painéis à base de madeira - Determinação da libertação de formaldeído - Parte 1: Emissão de formaldeído pelo método de câmara), classe E1, em que as concentrações máximas de emissões aceitáveis dos painéis à base de madeira são de 0,10 ppm, e classe E2, com concentrações permitidas entre 0,1 ppm e 0,3 ppm. Esta norma segue os limites indicados pela OMS. Em 1º de junho de 2018, a *Environmental Protection Agency* (EPA) dos EUA, adotou a lei da Califórnia, Lei Federal de Controle de Substâncias Tóxicas, 15 U.S.C. Sec. 2697 (*TSCA Title VI*), em vigor desde 12 de dezembro de 2018 nos EUA, para limites de emissões de formaldeído estabelecidos pela *California Air Resource Board* (CARB), para todos os painéis a base de madeira. Os limites estabelecidos são de 0,05 ppm para madeira compensada; 0,09 ppm para aglomerado de partículas; 0,11 ppm para aglomerado de fibras de madeira de média densidade (MDF) e 0,13 ppm para MDF

alternativa para continuar a usar o MDF, alguns museus optaram por utilizar o MDF livre de formaldeído. O MDF livre de formaldeído, se refere ao MDF produzido com adesivos sem formaldeído, como o diisocianato de difenilmetano polimérico ou bioresinas. Entretanto, não há uma diferença significativa em relação à redução de ácidos orgânicos libertados deste tipo de MDF em comparação a outros tipos (Korenberg & Bertolotti, 2019), a evidenciar que as emissões dos ácidos provenientes desses aglomerados estão relacionadas a uma série de fatores, que não só o tipo de resina. Ainda que receba camadas de revestimentos ou barreiras de películas com o objetivo de selar e bloquear a liberação dos gases dos aglomerados, seu uso não é aconselhado em exposições de longa duração ou no acondicionamento de artefactos (Bertolotti et al., 2016; Korenberg & Bertolotti, 2019; Tétreault, 1999a).

1.3.6 *Vitrine e moldura microclimática*

Desde várias décadas que as vitrines, armários, caixas ou molduras microclimáticas têm sido usadas em ambientes de museus, seja para proteger os objetos culturais contra a ação de poluentes (Hackney, 2007b), como proteção física (Barbosa et al., 2019) ou para proporcionar acondicionamento com microclima diferenciado do restante do espaço (Thickett, 2008). Materiais vulneráveis à ação de poluentes gasosos ou materiais particulados, tais como os têxteis, plumas, papel e pastéis, materiais suscetíveis a HR, tais como os metais, painéis de madeira, ou objetos de grande valor e pequena dimensão que são mais vulneráveis ao furto, frequentemente são protegidos por vitrines. Construídas com vidros ou acrílicos, as vitrines podem ser vistas com maior ou menor frequência a proteger objetos tridimensionais em grande parte dos museus ou galerias espalhadas pelo mundo.

finos (com espessura até 8 mm) (Formaldehyde Emission Standards for Composite Wood Products, n.d.). Desde 1° de janeiro de 2020, a Alemanha adotou uma nova regulamentação (DIN EN 16516) com limites de emissão de formaldeído para materiais a base de madeira de 0,1 ml/m³ (método de câmara). No Brasil, as normas da ABNT NBR 15316-2 e NBR 14810-2 estabelecem limites de emissão de formaldeído para o MDF e partículas de média densidade (MDP) da classe E1 (<8mg/100g) e classe E2 (<30mg/100gr).

Adicionalmente, molduras microclimáticas, caixas de acrílico/vidro ou simplesmente vidros frontais, são utilizados na proteção de pintura sobre tela, painéis de madeira ou obras sobre papel. Seu desenho e materiais de construção podem, entretanto, variar de exposição para exposição e de instituição para instituição. Com a mudança climática global e os conceitos de sustentabilidade e economia de energia, a que acresce o grande número de visitantes aos museus e a necessidade de exibir objetos mais suscetíveis a determinados parâmetros de qualidade do ar, as vitrines são com frequência consideradas como uma alternativa sustentável e também necessária nos espaços expositivos. Entretanto, estas podem ser consideradas fontes importantes de COVs, quando construídas com materiais inadequados, que possuem potencial risco de libertação de compostos voláteis, ou mesmo quando são construídas e seladas com objetos que possam emitir compostos prejudiciais para eles mesmos ou para outros que partilhem a vitrine com eles. Análises feitas em uma série de materiais utilizados no fabrico de vitrines de museus, tais como lacas, adesivos, têxteis, materiais a base de madeira e materiais de construção, evidenciaram que os compostos emitidos no interior de vitrines não estão restritos somente ao formaldeído, ácido fórmico e ácido acético, mas a uma vasta gama de compostos, onde muitos estão relacionados a proporção de solvente utilizada em sua formulação. Além dos compostos primários detetados, há a possibilidade de reações químicas a resultar na libertação de produtos secundários, como exemplo, o processo de clivagem hidrolítica dos ésteres acetilos, que foram encontrados em altas concentrações em materiais de revestimento, resultando em elevadas concentrações de ácido acético (Schieweck, 2009; Schieweck et al., 2007).

A escolha de materiais com baixa emissão de compostos voláteis é fortemente encorajada para o fabrico de vitrines. Materiais previamente conhecidos como risco potencial para emissão de poluentes danosos, tais como a madeira e seus derivados, feltros, tintas a base de solventes, resinas, silicones de vedação, borrachas, entre outros, devem ser evitados e a preferência ser dada a vidros, metais e tinta eletrostática.

O *Oddy test* (*Oddy Test: Materials Databases*, 2013) tem mostrado ser uma ferramenta auxiliar importante na seleção de materiais para serem usados no interior de vitrines ou em

invólucros, entretanto, por vezes, materiais com mesmo nome podem ter alguns componentes diferentes e é preciso ser avaliado caso a caso.

1.3.7 Outras fontes

Outras fontes, mais ou menos comuns, de poluentes com potencial risco para os objetos, podem ser encontradas no interior de MBA.

A presença e atividade humana no interior dos edifícios, é considerada fonte importante de poluentes. Áreas expositivas com grande fluxo de público, tendem a resultar na retenção de uma quantidade significativa de dióxido de carbono no espaço, além de elevar a humidade no ambiente. Entretanto, os visitantes são também responsáveis por aumentar a sujidade em forma de partículas nos espaços. Estas partículas, podem ser carregadas pelas pessoas do exterior para o interior, mas há também as partículas re-suspensas no ar causadas pela movimentação dos visitantes (World Health Organization, 2021a) ou provenientes de roupas, escamações da própria pele, pelos, etc. (Tétreault, 2021b).

A capacidade de emissão de compostos voláteis de alguns materiais utilizados no restauro e em materiais de construção em museus foi investigada por Schieweck (Schieweck, 2009). Emissões elevadas de COVs foram encontradas provenientes principalmente de resinas naturais e sintéticas, particularmente devido a adição de solventes necessária para sua preparação. Ensaio feitos com dispersões acrílicas mostraram que essas podem gerar concentrações elevadas de ácido acético devido à matriz polimérica (Schieweck, 2009).

Materiais biológicos provenientes de coleções de história natural podem contribuir na emissão de uma série de compostos voláteis (Hatchfield, 2002). Ácidos gordos são emitidos por peles de animais, espécimes taxidérmicos e coleções de insetos (Tétreault, 2003). Biocidas e preservativos, tais como arsênio, formaldeído, óxido de etileno e derivados fenólicos, utilizados no tratamento de espécimes biológicas, são fontes importantes de compostos voláteis prejudiciais não só a determinados materiais do acervo, mas principalmente a saúde humana (Alvarez-Martin et al., 2021; Hatchfield, 2002).

Materiais de limpeza utilizados no interior dos edifícios, podem emitir substâncias prejudiciais ao acervo, tais como o amoníaco e outras aminas, ácidos glicólicos, solventes e biocidas. Produtos utilizados na limpeza de vidros podem conter amoníaco em sua formulação, enquanto alguns produtos utilizados na limpeza de acrílicos possuem ácido acético em sua composição, e acabam por contribuir no aumento das concentrações de poluentes voláteis no interior de vitrines (Hatchfield, 2002).

A borracha vulcanizada é conhecida por emitir compostos de enxofre no ambiente, como o dióxido de enxofre e o sulfureto de hidrogénio (Hatchfield, 2002; Moreira & Barbosa, 2014), mas também outros compostos, como ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico e ácido valérico, foram apontados como os responsáveis pelo odor desagradável deste material (Curran et al., 2015).

A lã é conhecida por emitir gases de enxofre, sendo o sulfureto de hidrogénio o principal composto emitido por este material. Entretanto, outros compostos como o oxissulfeto de carbono, sulfureto de hidrogénio e o sulfureto de carbono podem ser emitidos da lã. Seu potencial de emissão eleva a medida que aumenta a temperatura, HR e a intensidade da luz (Brimblecombe et al., 1992).

Durante remodelações de exposições, muitos materiais são introduzidos no espaço, tais como madeiras e seus derivados, tintas, adesivos e seladores, entre outros. Óleos secativos, utilizados em pinturas à óleo, emitem peróxidos e ácidos carboxílicos e seu uso não é recomendado em revestimentos de museus. Adicionalmente, as tintas alquídicas e de uretano, assim como todas as tintas com secagem por polimerização oxidativa são consideradas corrosivas (Tétreault, 2011). Adesivos e seladores de silicone, independente do tipo, emitem quantidades significativas de siloxanos cíclicos. Os siloxanos também são frequentemente incluídos em dispersões poliméricas não aquosas como aditivos anti-espumantes (Chiantore & Poli, 2021). Adesivos que contenham compostos de 2,2,6,6-tetrametil-4-piperidinolo (TMP-ol), como o Terostat-9220, foram considerados inadequados para uso em vitrines de museus, devido ao seu elevado potencial de emissão de ácidos carboxílicos (van Iperen et al., 2021).

Muitos outros materiais são utilizados em MBA, seja em exposições, acondicionamento, embalagens de guarda ou de transporte, tais como espumas, plásticos, fitas adesivas, borrachas de vedação, têxteis, adesivos dos mais diversos tipos e materiais de decoração. Cada um desses materiais pode causar problemas ao emitir compostos voláteis provenientes de uma grande variedade de aditivos, tais como plastificantes, estabilizadores de calor e luz, retardadores de fogo, entre outros. Um único material pode emitir um largo número de compostos (Chiantore & Poli, 2021), entretanto, nem todos são considerados prejudiciais a todos os tipos de objetos que se deseja preservar.

1.4 Efeitos sinérgicos e reações entre os poluentes e outros fatores

Certos compostos voláteis afetam os objetos de uma coleção de forma indireta, através da sinergia entre diversos compostos e parâmetros, o que resulta em processos complexos e possivelmente, de difícil compreensão. Efeitos adversos aparentemente similares, podem ter causas diferentes. Exemplo disso é a formação de eflorescências de sais em forma de cristais brancos sobre determinados materiais.

Cristais de tecotriquita ($\text{Ca}_3(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Cl}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) formam-se em objetos constituídos ou que contenham carbonato de cálcio, contaminados com iões de cloreto e nitrato, expostos em ambientes com elevada HR e com a presença de ácido acético (Gibson, Cooksey, et al., 2005). Conchas armazenadas em armários ou caixas de madeira podem apresentar eflorescências (cristais) de acetato de cálcio, facto primeiramente investigado por George Byne (1899) a quem se deve o nome de "doença de Byne". Entretanto, somente décadas depois foi constatado que o ácido acético emitido pela madeira dos armários era o fator responsável pelas eflorescências (Eggert et al., 2016; Shelton, 2008).

Cristais de calclacita ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) são formados pela reação do cálcio, normalmente proveniente da fabricação de cerâmicas, com o ácido acético, em alguns casos libertados de madeiras de mobiliários, em combinação com o cloreto residual de tratamentos prévios de conservação feitos com o ácido clorídrico (Paterakis, 1990; Paterakis & Steiger,

2015). A calclacita, assim como a tecotriquita, são responsáveis pela ação danosa em objetos de cerâmica, fósseis e calcário (Gibson & Watt, 2010).

Eflorescências brancas em vidros, podem ser causadas pela sinergia entre vários fatores e a presença de formaldeído. Quando a água condensa na superfície do vidro, há uma reação com iões alcalinos (sódio ou potássio) que migram das redes internas do vidro à superfície. Uma solução alcalina é formada na superfície do vidro, auxiliando na dissolução da matriz de silicato e formando uma camada de gel na superfície. O gel pode reagir com o formaldeído e resultar na produção de cristais de formiato de sódio, como principal produto de eflorescência. A reação do formaldeído com o sódio proveniente da deterioração de vidros históricos, irá gerar o metanol e o ácido fórmico, cujo princípio consiste na reação do tipo Cannizarro¹⁶ (Thickett & Ling, 2021).

Para a maioria dos processos de corrosão nos metais, a presença de humidade e oxigênio em sua superfície é essencial (Umney, 1992). Em um estudo (Thickett & Costa, 2008) foi observado o efeito acelerador da poeira para o escurecimento da prata esterlina em ambientes com teores de sulfureto de hidrogénio superiores a 0,5 ppm. Entre os três agentes considerados responsáveis pelo escurecimento da prata, oxidantes, poluentes e HR, os oxidantes desempenham um papel essencial no início do processo, confirmando que a reação entre a superfície da prata e o sulfureto de hidrogénio depende de outros fatores. A presença do dióxido de azoto, seja como reagente inicial, ou indiretamente como catalisador para a dissociação de sulfureto de hidrogénio, aumenta o escurecimento da prata com a formação do sulfureto de prata. O ozono na presença de sulfureto de hidrogénio e radiação ultravioleta (UV) também tem esse efeito (Costa, 2001).

O efeito sinérgico entre o formaldeído e o ácido acético ou o ácido fórmico sobre o chumbo foi investigado por Puglieri (2014). Os resultados dos ensaios indicaram que a presença concomitante de ácido acético e formaldeído levou a um aumento do aparecimento de óxido

¹⁶ Reação de Cannizarro é uma reação química que envolve a desproporção induzida por bases de duas moléculas de um aldeído não enolizável para dar um álcool primário e um ácido carboxílico (The Royal Society of Chemistry, 2017).

de chumbo (PbO) na superfície metálica, enquanto o mesmo efeito sinérgico não foi observado em ambientes que continham o ácido fórmico e formaldeído.

Importante destacar que muitos dos valores-limite recomendados para os poluentes no ar, não contemplam a interação de compostos ou os efeitos que as combinações dos mais diversos fatores podem resultar.

1.4.1 Embaciamento e imagens fantasma no interior de vidros de vitrines

Não raramente o fenómeno conhecido como "*fogging effect*" ou "*ghost images*", aqui chamado de "embaciamento" ou "imagens fantasma", é observado como uma nuvem de gordura no interior do vidro de vitrines (Grøntoft et al., 2014; Poulin, Coxon, Anema, Corbeil, et al., 2020; Poulin, Coxon, Anema, Helwig, et al., 2020; M. R. Schilling et al., 1999). Compostos voláteis gasosos com pontos de ebulição elevados tendem a condensar na superfície do vidro que é mais fria que o ar ambiente (Schieweck, 2009). Este fenómeno pode aparecer no interior do vidro que protege uma pintura formando o negativo da imagem retratada, assim como o embaciamento em vidros de vitrines de grandes dimensões que expõem objetos compostos pelos mais diversos materiais (Grøntoft et al., 2014). O embaciamento no interior de vidros de vitrines não deve ser um fator negligenciado em MBA. Pode ser causado por diversos fatores e ainda ser um indicativo da presença de gases voláteis danosos no interior destes recintos. Analisar e identificar os resíduos localizados na área de embaciamento, assim como qualificar e quantificar os compostos presentes no interior das vitrines pode ser uma estratégia de controlo importante na prevenção de riscos. Estudos feitos pelo *Canadian Conservation Institute*, com o auxílio da técnica de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier, identificaram a presença de ácido palmítico, como o composto responsável pelo efeito de imagens fantasma (*ghost images*) (M. R. Schilling et al., 1999). Outro estudo conduzido por Schieweck (2009) onde foram analisados os filmes turvos encontrados em painéis de vidro que protegiam pinturas a óleo, revelou depósitos de ácidos gordos saturados, como o ácido nonanóico (ácido pelargônico), ácido octanóico (ácido caprílico) e ácido tetradecanóico (ácido mirístico), bem

como ácido hexadecanóico (ácido palmítico). Ácidos gordos livres são libertados pela hidrólise dos triglicéridos do óleo, que migram através da tinta e posteriormente evaporam formando as imagens fantasmas (M. R. Schilling et al., 1999). Em geral, as áreas que foram pintadas com tinta de secagem lenta deixam uma marca mais acentuada no vidro, enquanto áreas com tinta de secagem mais rápida, deixam uma imagem mais sutil. Este fenómeno é possivelmente explicado pela variação no grau de hidrólise dos triglicéridos do óleo, adicionalmente afetado pela combinação específica do tipo de pigmento e meio (M. Schilling et al., 1999). Entretanto, este fenómeno pode ser atribuído a diversos fatores, que podem variar desde a manufatura do vidro, aos materiais dos objetos expostos, aos materiais particulados no ar ou mesmo aos produtos utilizados na limpeza dos vidros (Poulin, Coxon, Anema, Helwig, et al., 2020). Em vitrines expositivas no *Royal Ontario Museum*, o fenómeno foi exaustivamente investigado, concluindo que os resíduos responsáveis pelo embaciamento dos vidros eram constituídos principalmente de lubrificantes lipídicos e sais de sódio de ácidos orgânicos e aniões inorgânicos (Poulin, Coxon, Anema, Corbeil, et al., 2020; Poulin, Coxon, Anema, Helwig, et al., 2020). Uma outra investigação conduzida por Grøntoft et al. (2014) mostrou que o ácido acético libertado de telas de pintura pode depositar no interior dos vidros de vitrines e contribuir para o seu embaciamento. Adicionalmente a este estudo (Grøntoft et al., 2014), uma série de ácidos carboxílicos, provenientes dos objetos de madeira e metal expostos, foram identificados como responsáveis pela película de embaciamento no interior de uma vitrine no *Museum for Cultural History* em Oslo.

1.4.2 Temperatura e Humidade Relativa (HR)

A taxa de emissão de compostos voláteis emitidos pelos mais diversos materiais é fortemente influenciada pela temperatura e HR. Ambientes quentes e húmidos irão favorecer emissões elevadas de poluentes no ar e conseqüentemente, acelerar muitos processos de deterioração em objetos do acervo.

A temperatura elevada é capaz de acelerar muitas reações químicas e é um dos parâmetros envolvidos em diversas situações de poluição. Foi observado o aumento, até duas vezes, no

processo de escurecimento da prata em locais iluminados com lâmpadas de tungstênio (Thickett & Allen, 2018). Adicionalmente, a temperatura elevada tende a aumentar a poluição gerada internamente devido ao aumento da taxa de decomposição dos materiais e difusão de gases para sua superfície (British Standards Institute, 2012).

Experimentos realizados em câmaras mostraram que a emissão de formaldeído proveniente de aglomerados de partículas e contraplacados de madeira, aumentou cerca de 1,9 a 3,5 vezes com o aumento de 10 °C na temperatura (Parthasarathy et al., 2011). Um outro estudo realizado com aglomerados de partículas com baixa emissão de formaldeído¹⁷ em temperaturas de 25 e 35 °C e HR de 30, 75 e 100%, em 1, 2 e 4 dias, mostrou que a taxa de emissão de formaldeído é progressiva conforme aumenta a temperatura e HR, mesmo neste tipo de aglomerado (Frihart et al., 2012).

No caso de pintura protegida por vidro, a temperatura elevada possui uma função importante no processo de migração dos ácidos gordos da pintura para o vidro, colaborando com a formação de embaciamento nos vidros (Schieweck, 2009).

A HR elevada é responsável por desencadear muitas reações químicas e intensificar o efeito de determinados poluentes sobre os materiais. Por exemplo, a borracha de látex quando exposta a 200 µg/m³ de ozono, em atmosfera com HR a 91%, irá oxidar 160 vezes mais rápido que em 50% HR. O chumbo quando exposto a 1000 µg/m³ de ácido acético, irá corroer 60 vezes mais rápido em HR de 75%, comparado à mesma exposição em HR de 34% (*The MEMORI Technology. Innovation for Conservation. Air Quality*, n.d.).

Aldeídos podem oxidar a ácidos carboxílicos, quando expostos à elevada HR ou em presença de oxidantes fortes (López-Aparicio et al., 2010). O aumento da HR na presença de ácido carboxílico e formaldeído em vitrines, chegou a elevar o grau de reação da pátina da prata em cerca de 30% (Thickett, 2011).

¹⁷ Referente às emissões de 0,09 ppm de formaldeído para o aglomerado de partículas em conformidade com a fase II do CARB (*California Air Resource Board*) (CARB, 2009).

1.4.3 *Radiações de luz visível e de ultravioleta (UV)*

Muitas das reações que ocorrem na atmosfera são iniciadas a partir de efeitos fotoquímicos, no qual o fóton de luz é absorvido por uma variedade de moléculas presentes na atmosfera. (Hatchfield, 2002). Essas reações podem resultar na formação de ácidos, entre outros compostos danosos para os objetos culturais. A luz tende a acelerar a deterioração de alguns materiais (ex. papel), que então emitem uma concentração mais elevada de uma variedade de poluentes (Thickett, 2011). Foi investigado por Thickett (2011) que níveis de luz relativamente baixos foram responsáveis por embranquecer as pátinas de prata que continham cloreto em moedas e medalhas.

As radiações de UV assim como a de luz visível, podem desencadear reações na atmosfera que em sua ausência não ocorreriam. Essas reações podem produzir radicais livres, como o radical hidroxilo (OH^{\bullet}), hidroperoxila (HO_2^{\bullet}) ou metil (CH_3^{\bullet}), iniciando assim um processo de oxidação de alguns tipos de poluentes, que podem, por exemplo, transformar os óxidos de azoto ou o dióxido de azoto em ácido nítrico ou dióxido de enxofre e finalmente em ácido sulfúrico (Hatchfield, 2002). Chen et al. (2010) mostrou que as radiações de UV em presença do ozono, são responsáveis por desencadear um rápido processo de corrosão na prata, devido a fotodissociação do ozono que gera um radical de oxigênio extremamente reativo, que reage rapidamente com a prata para formar o óxido de prata (Ag_2O).

1.4.4 *Valores-limite conhecidos para determinados compostos*

Para estabelecer os valores-limite para determinados poluentes no interior dos edifícios, uma série de fatores devem ser analisados pois podem influenciar nos valores-limite a serem estipulados. Alguns poluentes são reconhecidamente prejudiciais à saúde humana e suas concentrações devem ser respeitadas conforme indicação da OMS em suas diversas diretrizes já previamente publicadas (Kaden et al., 2010; World Health Organization, 2017, 2021a), mesmo se tratando de compostos que não sejam prejudiciais aos objetos culturais.

O nível de deterioração do objeto, depende da sua natureza (materiais de composição e morfologia da superfície), estado de conservação (danos pré-existentes ou restauros passados), quantidade de poluentes específicos no ambiente, presença de outros poluentes no ar, tais como os oxidantes, humidade e depósito de partículas (sais, compostos oleosos e metálicos), temperatura, radiação e circulação do ar (Tétreault, 2003).

Especificações sobre as concentrações máximas de poluentes consideradas seguras em ambientes que abrigam acervos foram estipuladas pela primeira vez no Reino Unido em 1970 e posteriormente nos Estados Unidos em 1980, com ênfase para a conservação dos arquivos (Tétreault, 2018). Muitas instituições patrimoniais internacionais adotaram as especificações britânicas e americanas, que são adaptadas e atualizadas constantemente (**Tabela 17**) (Tétreault, 2018).

Tétreault (ASHRAE, 2011b; Tétreault, 2003) sugere que a quantificação dos valores-limite seja estabelecida em função da relação entre concentração e tempo de exposição. Para isso, será necessário determinar a relação quantitativa entre determinado poluente e seu efeito sobre os materiais. Baseado em conceitos previamente utilizados em farmacologia e toxicologia (World Health Organization, 2000), duas abordagens foram escolhidas para determinar a relação entre dose-resposta da concentração dos poluentes no ar e efeito nos objetos: nível sem efeitos adversos observáveis, NOAEL (maior dose onde não se observa um efeito adverso) e nível mínimo de efeitos adversos observáveis, LOAEL (menor dose onde se observa um efeito adverso), sendo que as doses são calculadas multiplicando a concentração pelo tempo de duração. Quando não for possível estabelecer o NOAEL com exatidão, a dose mínima com efeitos adversos observáveis (LOAED) pode ser usada para quantificar a relação entre efeito e exposição. O LOAED é a dose cumulativa (LOAEL x tempo) ao qual os primeiros efeitos adversos são observáveis (Tétreault, 2003).

Tabela 17 Evolução de valores-limite de determinados poluentes recomendados em publicações existentes ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	BS 5454¹ 1977	Thomson 1978	NBS² 1983	NRC³ 1986	BS 5454¹ 1989-2000	NISO⁴ 1995	UNESCO⁵ 1998	NARA⁶ 2002	PAS 198⁷ 2012
Ácido acético			BCT ⁸					10	250
Ácido fórmico									958
Formaldeído			BCT ⁸					5	375
Dióxido de azoto		10	5	BCT ⁸	10	19	1	5	19
Ozono		2	25	2		20	2	4	20
Dióxido de enxofre	50	10	1	1	10	27	1	2.7	2.7
Total de partículas suspensas			75				75		
Cloreto de hidrogénio			BCT ⁸						

Nota. ¹ British Standard, ² National Bureau of Standards (EUA)¹⁸, ³ National Research Council, ⁴ National Information Standards Organization, ⁵ United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, ⁶ National Archives and Records Administration, ⁷ Publicly Available Specification, British Standards Institution, ⁸ Do inglês: Best Control Technology. Adaptado de Tétrault (2018).

¹⁸ Em 1988 o *National Bureau of Standards* foi renomeado para *National Institute of Standards and Technology*.

De uma forma generalizada, o LOAED de uma coleção com múltiplos materiais (com exceção daqueles que são já reconhecidos como mais suscetíveis¹⁹ a determinados poluentes) é calculado assumindo uma HR média entre 50% e 60% e temperatura entre 20 e 30 °C, como apresentado na **Tabela 18**. É uma ferramenta onde os responsáveis pela salvaguarda do acervo podem decidir por quanto tempo estimar o LOAEL de um objeto em relação ao tempo em que estará exposto a determinado composto. Por exemplo, se o dióxido de azoto possui um limite máximo de 10 µg/m³ num ano de exposição, o limite passa a ser de 1 µg/m³ para 10 anos e assim sucessivamente. Para os materiais mais suscetíveis a determinados poluentes, muitos ainda sem dados suficientes que possam estabelecer seu LOAED, Tétrault (2021) sugere que medidas preventivas e protetivas sejam assumidas para a conservação desses materiais, nomeadamente, a prata para o sulfureto de hidrogénio, o chumbo para o ácido acético, o chapeamento de cádmio para o ácido acético, os materiais calcários para os vapores de ácidos orgânicos (não há dados quantitativos), principalmente quando previamente contaminados com sais de nitrato e sais de cloreto em ambientes com elevada HR.

Tabela 18 *Valores-limite de poluentes-chave baseados no LOAED da maioria dos materiais, excluindo exceções*

Poluente	Concentração máxima permitida (µg/m ³)		
	1 ano	10 anos	100 anos
Ácido acético	1000	100	100*
Dióxido de azoto	10	1	0,1
Dióxido de enxofre	10	1	0,1
Sulfureto de hidrogénio	1	0,1	0,01

¹⁹ Chumbo, prata, borracha natural vulcanizada, poliuretano, acetato de celulose, nitrato de celulose, alguns corantes (curcumina, alizarina crimson), objetos de difícil limpeza e objetos contaminados por sais.

Ozono	10	1	0,1
Material particulado (PM _{2.5})	10	1	0,1
Vapor de água	inferior a 60% HR		

Nota: *Como o chumbo, o material mais sensível ao ácido acético, possui NOAEL de 400 µg/m³, o limite para o ácido acético foi preventivamente estabelecido em 100 µg/m³. Adaptado de Tétreault (2003, 2020).

Pouco tempo após a publicação de Tétreault (2003), o *Getty Conservation Institute* (GCI) promoveu a publicação de autoria de Grzywacz (2006) onde são indicados valores-limite para determinados poluentes, baseado em vários autores. Adicionalmente, foram indicados limites de ação²⁰, recomendações para a qualidade do ar e algumas referências de concentrações. Comparada com a tabela de valores-limite previamente publicada por Tétreault (2003), onde o autor destaca 7 poluentes-chave (ácido acético, sulfureto de hidrogénio, dióxido de azoto, ozono, partículas finas, dióxido de enxofre e vapor de água), ainda são incluídos, o ácido fórmico, formaldeído, acetaldeído, gases ácidos de azoto (ácido nitroso e ácido nítrico), monóxido de azoto e total de compostos orgânicos voláteis (como o hexano) (Tabela 19).

Posteriormente a ASHRAE (2015) publicou a indicação de valores-limite de poluentes baseado na publicação de Grzywacz (2006). Esta apresenta uma distinção importante nos limites sugeridos para o ácido fórmico: na publicação de 2006 eram indicados valores entre 5 e 20 ppb para coleções generalizadas, sendo que no documento da ASHRAE (2015) o limite passa a ser entre 40 e 78 ppb, adicionalmente e válido mencionar, com a observação de que "pouco se sabe sobre o efeito do ácido fórmico em várias concentrações" (ASHRAE, 2015) e que os valores-limite indicados são baseados nas melhores fontes disponíveis no

²⁰ Limites apresentados (elevado e extremamente elevado) como indicativo de quando medidas devem ser tomadas para a mitigação e proteção de objetos do acervo.

Tabela 19 *Recomendações de valores-limite de poluentes*

Poluente	Valores-limite sugeridos para as coleções (ppb)		Limite de ação (ppb)		Recomendação de qualidade do ar (ppb)	
	Materiais suscetíveis	Coleção em geral	Elevado	Extremamente elevado	Armazenamento de documento de arquivo	Bibliotecas, arquivos e museus
Ácido acético	<5	40-280	200-480	600-1000		
Ácido fórmico	<5	42-78	104-260	260-780		
Formaldeído	<0,1-5	10-20	16-120	160-480		
Dióxido de azoto	<0,05-2,6	2-10	26-104	>260	Canada: 2,6 EUA: 2,6	2,6
Ozono	<0,05	0,5-5	25-60	75-250	Canada: 1,0 EUA: 13	2,0
Sulfureto de hidrogénio	<0,010	<0,100	0,4-1,4	2,0-20		
Dióxido de enxofre	<0,04-0,4	0,4-2	8-15	15-57	Canada: 0,4 EUA: 0,4	1,0
Total de COVs (como o hexano)		<100	700	1700		
Partículas finas (PM _{2.5})	<0,1 µg/m ³	1-10 µg/m ³	10-50	50-150		

Nota. Valores-limite de poluentes expressos em ppb, exceto quando indicado. Adaptado de Grzywacz (2006) e ASHRAE(2015).

momento da publicação. Não devem ser considerados como recomendações finais e absolutas (Tabela 19).

Baseada em evidências que demonstram os efeitos nocivos de determinados poluentes a saúde humana, a OMS (2021a) estabeleceu valores-alvo em forma de diretrizes globais de qualidade do ar (AQG, na sigla em inglês) a serem atingidas para 6 poluentes, nomeadamente, PM_{2.5}, PM₁₀, ozono, dióxido de azoto, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. Com o objetivo de que todos os países possam alcançar esses valores-alvo e ciente de que as concentrações recomendadas de AQG possam ser difíceis de serem alcançadas por muitos países e regiões que enfrentam níveis elevados de poluição do ar, a OMS estabeleceu metas intermediárias de forma a facilitar gradualmente o cumprimento e o alcance das diretrizes finais. As indicações são referentes à exposição de curta duração de 24h, que não deve exceder 3-4 dias ao ano, e de longa duração, referente à exposição média anual. Foram estabelecidas em 2015 e atualizadas em 2021 pela OMS (2021a) (**Tabela 20**).

Tabela 20 Diretrizes globais de qualidade do ar e metas intermediárias, OMS

Poluente	Tempo médio	Metas intermediárias				Níveis AQG ^b
		1	2	3	4	
PM _{2.5} (µg/m ³)	Anual	35	25	15	10	5
	24 horas ^a	75	50	37,5	25	15
PM ₁₀ (µg/m ³)	Anual	70	50	30	20	15
	24 horas ^a	150	100	75	50	45
O ₃ (µg/m ³)	8 horas	160	120	–	–	100
NO ₂ (µg/m ³)	Anual	40	30	20	–	10
	24 horas ^a	120	50	–	–	25
SO ₂ (µg/m ³)	24 horas ^a	125	50	–	–	40
CO (mg/m ³)	24 horas ^a	7	–	–	–	4

Nota. ^a Percentil 99 (ex. não deve exceder 3-4 dias por ano); ^b Do inglês, *Air Quality Guideline*. Adaptado de *World Health Organization Global Air Quality Guidelines* (2021a).

1.5 Estratégias de controlo

1.5.1 Monitorização

A monitorização de gases poluentes no interior de edifícios que abrigam bens culturais é reconhecida como uma importante estratégia para a conservação preventiva (Barbosa et al., 2021; Grzywacz, 2006). Para identificar a presença de contaminantes no ar, ou mesmo quantificá-los, se faz necessário o uso de estratégias e metodologias específicas de medição e monitorização. Apesar de ser um tema já bastante investigado e desenvolvido (Grzywacz, 2006), ainda hoje é uma prática pouco frequente, seja pela falta de conhecimento, de recursos humanos ou de recursos financeiros nas instituições culturais. Um inquérito²¹ distribuído entre MBA de Portugal e Brasil, mostrou que 75% dos respondentes nunca haviam feito medições de gases poluentes em suas instituições, e dos 24,2% que já haviam feito, 80% indicaram que faziam ocasionalmente e somente 20% faziam regularmente numa base anual.

Pelas leis que regem e protegem o património cultural em Portugal, a Lei-Quadro dos Museus Portugueses (Lei N° 47/2004, 2004) estabelece na Secção V, artigo 29°, que "A monitorização dos poluentes deve ser assegurada, com a frequência necessária, por instituição ou laboratório devidamente credenciados", não estabelecendo, contudo, a sua frequência.

A ação de determinado poluente sobre os materiais de composição de um objeto cultural, não se dá de forma isolada. É um processo complexo que envolve frequentemente a presença de mais que um composto no ar e que pode resultar em reações químicas entre eles. Estas reações podem ser intensificadas com a HR e temperatura elevadas, além de poderem ser influenciadas pela radiação UV, luz, velocidade e circulação do ar, composição química dos materiais que constituem o artefacto, seu histórico, estado de conservação em que se encontra, se passou ou não por processos de restauro, condições de acondicionamento e/ou

²¹ Ver maiores detalhes em Parte 3, Inquérito 2, nesta dissertação.

a sinergia entre essas variáveis (Barbosa et al., 2021). A monitorização deve ter em conta todos esses parâmetros, a fim de não dar margem a interpretações dúbias. A prática da monitorização, na maioria das vezes tende a ser dispendiosa (Grzywacz, 2006), além de envolver profissionais especializados, como químicos, físicos, biólogos e outros profissionais das ciências. Durante muito tempo, a única ferramenta disponível entre os profissionais responsáveis pela conservação do património para avaliar o impacto dos poluentes sobre os objetos, foi a inspeção visual. Esta prática, de grande envergadura no cotidiano dos conservadores, é insuficiente para uma análise mais abrangente, onde dados objetivos de qualificação e quantificação dos gases voláteis são necessários para elaborar uma análise de risco fiável. A inspeção visual pretende identificar o dano já ocorrido ainda em fase inicial. Das metodologias científicas disponíveis, a maioria desenvolvida para a segurança e saúde humana, algumas são já especificamente produtos de investigações para uso patrimonial. Métodos de baixo custo de monitorização existem e são considerados aconselhados como indicativos básicos da qualidade do ar, tais como placas metálicas, tiras de pH, indicadores colorimétricos ou dosímetros (British Standards Institute, 2012). Apesar de não especificarem os poluentes, são indicativos da presença de níveis elevados de poluição no ambiente e podem ser uma alternativa ao investimento em métodos mais dispendiosos que forneçam uma resposta qualitativa e quantitativa dos gases voláteis danosos no ar. Com base no princípio de que alteração nos materiais dos próprios objetos poderiam indicar a presença de determinados poluentes, alguns dosímetros foram desenvolvidos com materiais semelhantes aos dos objetos (Odlyha et al., 2005), nomeadamente aqueles mais suscetíveis, ou mesmo dosímetros que respondem precocemente à ação de determinados poluentes, como o *Early Warning Dosimeter* (EWO), desenvolvido durante o projeto MASTER (EVK4-CT-2002-00093) (Dahlin, Grøntoft, Henriksen, et al., 2010).

A monitorização pode ser feita de forma qualitativa ou quantitativa, ou simultaneamente, sendo a amostragem realizada de modo ativo ou passivo. Um sistema de amostragem ativa consiste, em geral, numa bomba que aspira o ar para dentro de um determinado dispositivo, enquanto na amostragem passiva, o ar é naturalmente difundido pelo dispositivo (Grzywacz, 2006). Os sistemas ativos requerem, em geral, a equipamentos de dimensão demasiado

elevada para medições em vitrines ou museus e tendem a ter alto custo. No entanto, a amostragem é considerada bastante confiável e precisa. Os dispositivos de amostragem passiva tendem a ser preferencialmente usados nos museus pela sua funcionalidade, dimensão, custo e disponibilidade comercial (Barbosa et al., 2021).

Os dispositivos de amostragem passiva podem ser de leitura direta, ou através de análises laboratoriais. Podem ser dosímetros ou amostradores do ar e seu tempo de exposição pode variar de acordo com o tipo do dispositivo, além de poder fornecer dados qualitativos, quantitativos ou ambos. Os dispositivos de leitura direta possuem uma superfície ativa, normalmente não específica, que reage com poluentes no ambiente (Grzywacz, 2006). São considerados instrumentos úteis para identificar uma área com elevada concentração de poluentes e são normalmente de baixo custo. São exemplos deste tipo de dispositivo, os *A-D strips* e as placas de metal. Os dispositivos de amostragem passiva que são analisados em laboratórios, tendem a fornecer dados mais específicos, possibilitando a identificação dos poluentes e sua concentração. Atualmente, muitos são os dispositivos disponíveis no mercado, com os mais diversos custos e característica. Os dispositivos e metodologias mencionados a seguir, correspondem a alguns exemplos daqueles utilizados em MBA.

1.5.1.1 *A-D strips*

Trata-se de um detetor da presença de ácidos voláteis em formato de pequenas tiras de papel desenvolvido pelo *Image Permanence Institute* (IPI), para identificar a degradação de filmes fotográficos ou negativos de acetato de celulose, que apresentavam o chamado "síndrome do vinagre", uma degradação característica desse polímero. O reagente ativo dos *A-D strips* é o indicador ácido-base verde de bromocresol que muda do azul ($\text{pH} > 5,4$) a verde ($\text{pH } 5,4 \leq \text{pH} \leq 3,8$) e, por fim, a amarelo ($\text{pH} \leq 3,8$). Este indicador fornece uma informação sobre o pH, em particular pHs ácidos entre 5,4 e 3,8, sem que seja possível identificar o ácido presente. Por serem sensíveis a luz, as *A-D strips* devem ser expostas em local escuro e a leitura deverá ser feita imediatamente após removido do local, pois a cor reverte muito rapidamente, como expectável. Estudos mais recentes mostraram que as *A-D strips* podem

indicar a degradação ativa de objetos de acetato de celulose ainda em estágios iniciais, quando o ácido acético ainda não é perceptível pelo olfato (Townsend et al., 2021) e que pode ser uma opção sustentável para a monitorização de ácidos voláteis no interior de vitrines, museus e reservas técnicas (Hackney, 2016). Devido ao seu baixo custo, Hackney (2016) incentiva seu uso em museus e defende que as *A-D strips* podem ser utilizadas para indicar a presença de ácidos voláteis, registrar a concentração de vapor ácido, explorar as condições em um invólucro ou locais de armazenamento e exposição, além de auxiliar na investigação para encontrar fontes de poluentes voláteis ácidos.

Semelhante às *A-D strips* do instituto americano IPI, a empresa dinamarquesa Dancan produziu as *A-D strips* Danchek. Em ambos fornecedores, as tiras possuem dimensão de 40 x 10mm e são vendidas em pacotes com 250 tiras²².

1.5.1.2 Oddy Test

No início dos anos 1970, estudos desenvolvidos por Andrew Oddy no *British Museum* resultaram no desenvolvimento do *Oddy Test* (Green & Thickett, 1995). É um teste simples que explora a suscetibilidade de metais, como a prata, chumbo e cobre, aos poluentes voláteis. É uma ferramenta vantajosa para a comunidade museológica porque, além de pouco dispendioso, pode ser facilmente utilizado por profissionais de museus sem outra formação técnica específica, já a sua interpretação é feita através de avaliação visual. A desvantagem no seu uso está relacionada com o tempo necessário para a obtenção dos resultados, de aproximadamente um mês. As placas de metal são introduzidas num recipiente de vidro selado juntamente com uma amostra do material a ser testado e mantidos com humidade relativa elevada, entre 95% e 100%, e temperatura de aproximadamente 60 °C, durante 28 dias. Atualmente, algumas instituições desenvolveram os seus próprios protocolos de preparação do *Oddy Test* com algumas variantes, como a dimensão e o modo de preparação

²² O custo do pacote é de aproximadamente \$60 na IPI, EUA, e de €39 na Europa (Labshop ou Long Life for Art). Valores verificados na internet em 04/09/2022.

das placas de metal, o tamanho e peso das amostras, a existência ou não de contato direto dos metais com as amostras, a forma de interpretar os resultados, entre outras (Lee & Thickett, 2011; *Oddy Test Protocols*, n.d.). A falta de padronização entre as adaptações adotadas pelas mais diversas instituições, dificulta a comparação dos resultados do *Oddy test*. Korenberg et al. (2017) avaliou a metodologia e protocolos utilizado pelo *British Museum* para o *Oddy test* e constatou que alguns detalhes em sua execução, tais como produtos utilizados para a higienização dos recipientes de vidro (em máquina ou manualmente), métodos e materiais escolhidos para a preparação das placas metálicas, tais como abrasivos (ex. escova de cerdas de vidro, *silicon carbide* 1000, Micro-Mesh® AO1800), marca da acetona (ex. Chromanorm®, Normapur® e Spectrosol®)²³, entre outros, podem influenciar no resultado final, concluindo que a padronização com materiais previamente testados é necessária.

É indicado que as placas de chumbo, cobre e prata utilizadas para o teste, sejam de alta pureza (99,998% ou mais) e as medidas podem variar de instituição para instituição. Como exemplo, o *Metropolitan Museum* utiliza placas de 0,8 cm x 2,5 cm, o *British Museum* utiliza placas na dimensão de 5 cm x 1 cm e o *Indianapolis Museum of Art* utiliza placas na dimensão de 1 cm x 3,5 cm (*Oddy Test Protocols*, n.d.).

1.5.1.3 Placas de metal

Muito semelhante ao princípio do *Oddy test*, a utilização de placas metálicas para detectar a presença de certos poluentes é considerado um recurso de baixo custo e de diagnóstico simples, quando interpretado através da alteração de cor, resultante da formação de sais ou filmes finos à superfície do metal. Adicionalmente, é possível uma compreensão mais extensa do fenômeno de corrosão dos metais se forem usados métodos analíticos na sua

²³ A limpeza das placas com a acetona Chromanorm® reduziu o aparecimento de manchas escuras, comparado com as acetonas Normapur® e Spectrosol®.

avaliação (Barbosa & Moreira, 2012; Costa, 2003). O cobre é suscetível ao ataque químico por sulfuretos, ácidos orgânicos, cloretos e formaldeído. O chumbo é vulnerável aos ácidos voláteis, como o ácido fórmico ou o ácido acético. A prata reage com baixas concentrações de sulfureto de hidrogénio, sulfureto de carbonilo (COS) e cloreto de hidrogénio. Apesar de o cobre, o chumbo e a prata serem os metais mais utilizados como “sensores” de poluentes em acervos, outros metais também possuem reatividades específicas e podem ser usados em ações complementares para monitorização. Um exemplo é o ferro que reage com dióxido de enxofre ou dióxido de azoto, ou o zinco que sofre oxidação na presença de ácidos orgânicos, formaldeído, cloretos e dióxido de enxofre (Thickett & Lee, 2004).

1.5.1.4 Dosímetros de placa de vidro (GSD: Glass Slide Dosimeter)

Estes dosímetros de vidro foram desenvolvidos pelo *Fraunhofer Institute for Silicate Research ISC* e foram originalmente projetados para avaliar a deterioração de vitrais medievais *in situ*. Entretanto, devido a natureza instável do vidro e sua sensibilidade aos ácidos orgânicos, este reagirá com as condições atmosféricas do ambiente e passaram a ser utilizados também para avaliar as condições ambientais em museus e reservas. Os dosímetros consistem em uma fina camada de vidro de silicato de potássico-cálcico, com sensibilidade elevada a vários parâmetros da atmosfera. (Mottner, 2006; Verhaar, 2018). A ação dos ácidos orgânicos, temperatura e humidade relativa, resulta num processo de deterioração que altera a camada superficial do vidro por lixiviação e posteriormente com a formação de crostas de corrosão. Este efeito é medido e quantificado por espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). Devido a dimensão diminuta dos dosímetros, é considerado bastante conveniente seu uso em medições no interior de molduras micro-climáticas e em galerias expositivas (Dahlin, 2010; Grøntoft et al., 2010).

1.5.1.5 Cristais Piezoelétricos de Quartzo (PQC: Piezoelectric Quartz Crystal)

A utilização de cristais piezoelétricos de quartzo (PQC) como sensores de gases poluentes foi estudada pela primeira vez no projeto MIMIC, *Microclimate Indoor Monitoring for Cultural Heritage Preservation*, (EVKV-CT-2000-00040) (Odlyha et al., 2007, 2011). O princípio baseia-se nas propriedades piezoelétricas de materiais como os cristais de quartzo. As microbalanças são revestidas com o material artístico de interesse (ex. têmpera à ovo, verniz mástique) que irá interagir com o ambiente. Essa interação resulta numa variação de massa sobre o mesmo e sua oscilação de frequência irá permitir um alerta precoce sobre a agressividade ambiental (Puglieri, 2014). No projeto MIMIC, os dispositivos foram cobertos com uma camada de verniz (resina mástique) ou de têmpera a ovo e o dano produzido por exposição a gases poluentes (dióxido de azoto, ozono) foi avaliado pela alteração da temperatura de transição vítrea (Tg) e pela forma e intensidade da banda do carbonilo no espectro de infravermelho (Odlyha et al., 2011). Posteriormente, no projeto PROPAIN, *Improved Protection of Paintings During Exhibition, Storage and Transit* (FP6 SSPI n° 044254) (Dahlin, 2010), a seleção de vernizes foi ampliada, acrescentando-se também as resinas Damar (com e sem Tinuvin® 292) e MS2A® (com e sem Tinuvin® 292) e o Paraloid® B72 (copolímero de metacrilato de etilo). As amostras foram expostas ao dióxido de azoto, ozono e ácido acético. Foram introduzidas variações de HR e os resultados avaliados por cromatografia gasosa com detecção por espectrometria de massa (GC/MS). No projeto SENSORGAN, *Sensor System for Detection of Harmful Environments for Pipe Organs* (n° 022695) (Bergsten et al., 2010) este tipo de dispositivo foi utilizado numa Basílica na Polónia (Santo André Apóstolo, em Olkusz) para obter informação sobre a ação de ácidos orgânicos, nomeadamente ácido acético e ácido fórmico, nos tubos de chumbo de um órgão.

Os resultados obtidos com os dosímetros de PQC nos diversos projetos europeus mencionados, mostraram que os dispositivos, quando cobertos por resina mástique, são sensíveis à luz e aos agentes oxidantes (dióxido de azoto e ozono), enquanto os revestimentos de chumbo resultaram em uma resposta aos ácidos orgânicos (ácido acético e ácido fórmico) (Odlyha et al., 2007).

Em um outro estudo conduzido na Universidade de Aveiro, Portugal (Veríssimo et al., 2019), os cristais piezoelétricos de quartzo foram revestidos com 6 revestimentos diferentes, nomeadamente, solução de Nafion™ 117, polivinilpirolidona (PVP), tetrakis-2-hidroxi etil etilenodiamina (THEED), Carbowax 20M, Tenax® TA e ftalocianina de manganês. A técnica mostrou ser uma ferramenta eficaz para a deteção da degradação de livros ainda em fase inicial, através da identificação dos compostos voláteis emitidos, como por exemplo o furfural.

1.5.1.6 SPME-GC/MS

A Microextração em Fase Sólida (SPME) acoplada à deteção por GC/MS é uma técnica analítica que permite a deteção e quantificação de uma ampla variedade de COVs. O dispositivo SPME inclui uma agulha em cuja ponta é posicionada uma fibra coberta com um polímero ou um adsorvente sólido que extrai os analitos voláteis da amostra recolhida por absorção ou adsorção e que é depois introduzida no GC/MS para dessorção a temperatura elevada e posterior análise (Curran et al., 2015). Esta técnica de extração e pré-concentração prévia à análise por cromatografia gasosa tem sido utilizada na análise qualitativa e quantitativa de COVs em microclimas de museus com resultados bastante satisfatórios, apresentando grande facilidade de execução do ponto de vista laboratorial. Alguns estudos (Maines, 2015; Tsukada et al., 2012) mostraram a eficácia do método em substituição ou complemento ao *Oddy Test*, para análise de materiais a serem selecionados para uso em exposições e reservas. Os materiais em estudo foram colocados em frascos fechados, aquecidos, e a amostra extraída por SPME e, posteriormente, analisada por GC/MS. Fibras de carboxen/polidimetilsiloxano (CAR/PDMS) (Glastrup & Ryhl-Svendsen, 2001) e de divinilbenzeno/carboxen/polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) (Curran et al., 2018) para SPME mostraram ser adequadas para análises de ácido acético e ácido fórmico e de compostos voláteis provenientes da degradação de polímeros em museus, respetivamente.

1.5.1.7 Tubos de Tenax® TA

O Tenax® TA é um polímero macroporoso semicristalino com baixa polaridade capaz de capturar COVs em baixas concentrações. Possui estabilidade térmica relativamente elevada, é capaz de reter um largo intervalo de classes de compostos e possui uma baixa afinidade com a água. Com esse método é possível analisar compostos orgânicos não polares, que tenham o ponto de ebulição entre 60 °C e 250 °C, nomeadamente, hidrocarbonetos alifáticos de C₆ a C₁₈, compostos aromáticos, terpenos, aldeídos, cetonas, hidrocarbonetos clorados, álcoois e ésteres (Silva, 2000). Entretanto, o Tenax® TA não é adequado para recolher compostos orgânicos muito voláteis. Os tubos de aço do dispositivo são preenchidos com o adsorvente sólido Tenax® TA e fechados em suas duas extremidades. Para a amostragem, uma das extremidades é aberta, o que permitirá a entrada dos compostos voláteis no tubo. Os COVs são adsorvidos pelo polímero. Seu tempo de amostragem não deve exceder uma semana. As análises são procedidas por desadsorção térmica e os compostos são separados com o auxílio de uma coluna no GC/MS. A identificação dos compostos normalmente é realizada com base de consulta a uma biblioteca de dados e sua quantificação é realizada recorrendo ao uso do padrão interno (Schieweck, 2020). A amostragem realizada com os tubos Tenax® TA é simples e não requer profissional habilitado, entretanto, para a realização das análises dos compostos previamente adsorvidos é necessário um laboratório equipado com GC/MS e profissional especializado. Devido a sua dimensão diminuta e precisão, é uma alternativa para medições de COVs no interior de vitrines e molduras microclimáticas (López-Aparicio et al., 2010; Schieweck, 2009).

1.5.1.8 Amostradores difusivos IVL

Os amostradores difusivos da *Swedish Environmental Research Institute*, IVL são dispositivos de dimensão pequena (2,5 cm de diâmetro e 1 cm de altura), discretos para medições em vitrines e museus. Contém um sorvente que retém o gás a ser analisado. Para obter uma relação constante e previsível entre a quantidade do gás sorvida, o tempo de exposição e a média da concentração no ambiente, uma barreira, geralmente um volume de

ar aprisionado, é colocado na frente do absorvente. O gás deve formar um composto analisável com o sorvente específico para o gás poluente. A sorção (geralmente quimissorção) dá origem a um gradiente de concentração em frente do sorvente. Este gradiente é a força motriz por trás da amostragem difusa. O amostrador difusivo também é conhecido como amostrador passivo ou dosímetro.

Cada dispositivo irá medir um ou mais gases, por exemplo, há um dispositivo para os óxidos de azoto (NO e NO₂), um para gases múltiplos (SO₂, HCOOH, CH₃COOH, HF e HCl) e os demais gases requerem dispositivos individuais. As faixas de medição aproximadas para a amostragem durante um mês e os gases medidos, estão apontados conforme a **Tabela 21**. Após o tempo indicado de amostragem, os dispositivos retornam para a IVL, que fará as análises em seus laboratórios.

Tabela 21 Identificação dos gases medidos com os amostradores difusivos IVL e suas faixas de medição

Gás	µg/m ³
Óxido de azoto	0,2-300
Dióxido de azoto	0,1-200
Ácido nítrico	0,03-10
Ozono	1-100
Amoníaco	0,2-30
Dióxido de enxofre	0,1-100
Ácido fórmico	1,5-150
Ácido acético	1,5-250
Fluoreto de hidrogénio	0,2-40
Cloreto de hidrogénio	0,3-100
Mercúrio	0,0002-
Formaldeído	0,05-210

Nota. Fonte: (IVL, n.d.)

1.5.2 Identificação de poluentes pelo odor

O odor no património cultural pode proporcionar expressões importantes relacionadas com a informação, significado e emoção (Bembibre & Strlič, 2022). No presente contexto, nos interessa o odor como ferramenta que gera informações de deteção relacionadas com compostos voláteis danosos para os materiais em contexto patrimonial. Enquanto alguns autores desenvolveram metodologias para a preservação do odor como património intangível (Bembibre & Strlič, 2022), outros investigaram a preservação do património tangível através do cheiro (Veríssimo et al., 2019). Muitos poluentes voláteis possuem um cheiro característico e a sua perceção olfativa pode constituir um sinal de alerta de degradação ou mesmo trazer informações importantes sobre a sua manufatura (Curran et al., 2018). Em ambientes fechados, com pouca renovação de ar, os poluentes tendem a concentrar-se e o odor torna-se mais evidente (Barbosa et al., 2021). A perceção de um cheiro não convencional, pode ser o indicativo de um evento não usual e levar a investigação mais aprofundada, como no caso do *National Museum of American Indian (Smithsonian Institution)*, onde a perceção de um cheiro forte em vitrines seladas com silicone levou o museu a proceder a uma série de análises de SPME-GC/MS para a identificação dos COVs e suas possíveis fontes. A deteção precoce da presença de ácido acético e acetilacetona proveniente do silicone de vedação, permitiu que o museu procedesse com medidas de mitigação como o uso de materiais adsorventes (Alvarez-Martin et al., 2020).

Durante a degradação da celulose, alguns COVs como o ácido acético, o-xileno, fenol, benzaldeído, furfural, tolueno, vanilina e hexanal são emitidos e podem ser percecionados através do cheiro (Veríssimo et al., 2019). O ácido acético tem um cheiro avinagrado característico, (Bembibre & Strlič, 2017) enquanto o sulfureto de hidrogénio cheira a ovo podre e pode ser identificado em quantidades muito pequenas ($0,2-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (World Health Organization Regional Office for Europe, 2000). Uma fragrância adocicada é normalmente atribuída ao tolueno e ao xileno (Veríssimo et al., 2019).

As bibliotecas são conhecidas pelo seu "cheiro de livros antigos". Normalmente esse cheiro é atribuído a uma mistura de COVs, nomeadamente, o benzaldeído que tem cheiro de

amêndoa, o etilbenzeno e tolueno que possuem aroma adocicado, o 2-etilhexanol que tem um cheiro levemente floral e a vanilina que tem aroma de baunilha e está associada à degradação da lignina (Veríssimo et al., 2019). Em uma linguagem poética, Strlic et al (2009) define essa mistura de COVs responsáveis pelo cheiro dos livros antigos como: "*Uma combinação de notas gramíneas com um toque de ácidos e uma pitada de baunilha sobre um mofo subjacente, esse cheiro inconfundível faz parte do livro tanto quanto seu conteúdo*"²⁴.

1.6 Estratégias para mitigação

Para definir as estratégias para mitigação de forma realista e sustentável, é importante identificar dentro do acervo os materiais mais suscetíveis aos poluentes (ex. acetato de celulose, nitrato de celulose, alguns corantes como a curcuma e vermelho de alizarina, chumbo, prata, borracha natural, poliuretano, objetos difíceis de limpar e objetos contaminados com sal) (Tétreault, 2003). Esses objetos provavelmente vão requerer um microclima e/ou um acondicionamento diferenciado. Não seria sustentável igualar o ambiente de todo o MBA para atender as condições excepcionais de uma minoria de objetos.

A estratégia de evitar, bloquear, diluir e filtrar ou absorver poluentes, é fortemente recomendada por Tétreault (2003, 2021). Também é recomendado evitar a entrada de poluentes através de fontes externas, como produtos e materiais que possam ser fontes de compostos indesejados no interior do edifício. Da mesma forma o excesso de público deve ser evitado. A estratégia de bloquear a infiltração dos poluentes no interior dos edifícios é aconselhada, entretanto, o recurso de invólucros estanques em forma de vitrines, molduras microclimáticas, caixas ou envelopes, pode ser uma alternativa sustentável. Adicionalmente, optar por filtros de partículas e/ou de gases nas entradas de ar dos sistemas de ar-condicionado, quando aplicável, pode resultar em grandes benefícios na qualidade do ar

²⁴ Tradução livre de: "*A combination of grassy notes with a tang of acids and a hint of vanilla over an underlying mustiness, this unmistakable smell is as much part of the book as its contents.*".

interior. Diluir, filtrar e absorver os poluentes, além de reduzir a exposição dos objetos a níveis elevados de HR e temperatura, radiação visível, UV e infravermelha, são estratégias relevantes para mitigar os riscos de danos por poluentes em objetos do acervo (Tétreault, 2021).

1.6.1 *Materiais com baixa emissão de poluentes*

É consenso entre os conservadores que a utilização de materiais com baixo potencial de emissão de poluentes é uma estratégia de grande valia na conservação preventiva (Hatchfield, 2002; Samide, Liggett, Mill, et al., 2018; Tétreault, 2003). Evitar a utilização de materiais previamente conhecidos como fonte de poluentes em ambientes de acervo é considerado, desde muito tempo, uma estratégia importante para a mitigação de riscos (Tétreault, 1993, 2003). Muitos materiais já foram previamente testados e investigados (*Oddy Test: Materials Databases*, 2013), no entanto, materiais com o mesmo nome podem ter composição diferente em diferentes países e é fortemente recomendado que se façam testes antes que os mesmos sejam inseridos em ambientes expositivos, reservas ou vitrines (Lee & Thickett, 2011). Thickett (2004) relatou em 2004, que naquela data todos os materiais utilizados em reservas técnicas, e espaços expositivos do *British Museum* haviam sido submetidos e aprovados pelo *Oddy test* e/ou outros testes, mas a prática exige tempo, verba, além de profissionais disponíveis e habilitados, realidade essa que não se mostrou comum entre as instituições participantes dos inquéritos distribuídos durante esta investigação de doutoramento, onde a maioria apontou não ter conhecimento sobre o *Oddy test*.

1.6.2 *Barreiras contra poluentes*

Em algumas ocasiões pode não ser possível eliminar a fonte do poluente, mas pode ser possível revestir o objeto com uma camada protetora que irá funcionar como uma barreira para os poluentes. Essa barreira pode ser uma camada de verniz em uma pintura ou uma camada de resina sobre um objeto de prata (Tétreault, 2003). Para muitos objetos, não sendo

possível a aplicação desse tipo de película protetora, outras soluções podem ser aplicadas, como o uso de vitrines. Adicionalmente, a barreira pode ser aplicada diretamente sobre o material que age como fonte e que eventualmente não pode ser eliminado. Um exemplo nesse caso é o revestimento de uma madeira ou aglomerado que fazem parte da estrutura de uma vitrine ou de uma moldura microclimática e que por algum motivo não pode ser substituído. Alguns filmes funcionam como barreira para os gases voláteis (ex. Marvelseal[®]) e podem ser utilizados no revestimento desses materiais poluentes. No caso do Marvelseal[®], há a desvantagem de ser um material prateado, com uma aparência indesejada em exposições, mas por ser altamente eficiente como barreira de gases, muitos museus acabam encontrando alternativas para encobri-lo.

Bloquear ou dificultar a entrada de poluentes no interior dos edifícios é considerada uma alternativa com resultados relevantes. Essa barreira pode ser através do fechamento de portas, janelas e frestas, mas também pode contar com o auxílio de filtros em sistemas de AVAC (Tétreault, 2008). Os filtros podem ser de partículas, comuns à maioria dos sistemas de ar-condicionado ou mesmo de gases (ex. carvão ativado). Os filtros de gases, entretanto, são mais onerosos e, portanto, menos comuns nos edifícios.

1.6.3 *Absorção e adsorção*

A absorção e a adsorção são dois processos diferentes de sorção. A absorção ocorre quando iões, átomos ou moléculas (adsorbato) difundem-se ou dissolvem-se na substância absorvente. A absorção pode ocorrer passivamente (difusão) ou ativamente (difusão facilitada ou transporte ativo). Já a adsorção ocorre quando iões, átomos ou moléculas aderem a uma superfície de um sólido. As substâncias removidas denominam-se adsorbato, e o sólido que o retém é chamado de adsorvente (Helmenstine, 2021). São exemplos de materiais adsorventes o carvão ativado, alumina ativada, peneiros moleculares e a sílica gel.

A utilização de adsorvedores em MBA tende a ser uma alternativa favorável na redução de poluentes gasosos, seja no ambiente expositivo, em vitrines, no acondicionamento em reservas ou mesmo em embalagens de transporte. Por vezes não é possível a remoção direta

da fonte emissora, pois elas podem ser provenientes dos materiais de confecção dos próprios objetos que se deseja preservar ou mesmo dos mobiliários históricos que fazem parte integrante de edifícios. Neste contexto, os adsorvedores desempenham um papel fundamental na redução da exposição dos objetos aos poluentes. Para a mitigação destes, diferentes materiais vêm sendo testados (Cruz et al., 2004; Cruz, Pires, Carvalho, & Brotas de Carvalho, 2008; Grøntoft et al., 2015; Ncube & Su, 2012; Schieweck, 2020; Smedemark, Ryhl-Svendsen, & Toftum, 2020) e utilizados no interior de edifícios, vitrines e em filtros de sistemas de ar-condicionado, tais como a sílica gel, zeólitos, carvão ativado e aluminas, entre outros. No contexto atual, foram selecionados os sistemas mais usados e conhecidos em MBA.

1.6.3.1 Carvão ativado

O carvão ativado é produzido através do tratamento da madeira, vegetais, casca de coco ou carvão, por meio de combustão controlada para remover substâncias voláteis. É um material de alta porosidade e uma grande superfície interna (300 - 2000 m²/g¹) (Schieweck, 2020) por isso, sua característica de adsorção rápida de moléculas orgânicas. É utilizado frequentemente como filtro de gases tóxicos em máscaras de proteção pessoal, em filtros de sistemas de ventilação ou climatização de edifícios comerciais ou industriais, ou no uso doméstico em extratores de odores provenientes de cozinhas, entre outros. Nos museus, é utilizado desde a década de 1990, como retardador da degradação de objetos em nitrato de celulose, devido sua capacidade de adsorção dos óxidos de azoto, produto primário da degradação deste polímero (Shashoua, 2014). Seu uso também foi indicado no acondicionamento de objetos de plástico mantidos em invólucros de anóxia, em sacos transparentes impermeáveis ao oxigênio. Quando seus poros ficam cheios perde seu potencial de adsorção, mas pode ser reativado regularmente por aquecimento a 650°C (Shashoua, 2014).

O carvão ativado é disponibilizado em forma de pó ou granulado, podendo ser colocado em pequenos envelopes de papel permeável dentro de vitrines ou em caixas de

acondicionamento (Shashoua, 2014). Sua capacidade de adsorção é determinada pelo tamanho de seus poros, de acordo com o seu diâmetro, sendo os microporos <1nm, mesoporos entre 1-25 nm e macroporos > 25 nm (Schieweck, 2020). Durante um estudo (Grøntoft et al., 2015) desenvolvido em museus britânicos, onde esses quatro tipos de carvão ativado foram analisados [tecido de carvão ativado (FM10 T150, Long life for art), espuma de carvão ativado (EMCEL), carbono puro granulado (carvão ativado K48, Purafil), carbono impregnado granulado (EMCEL)] quanto à sua eficiência na redução de ácidos orgânicos no interior de vitrines, o tecido de carvão ativado FM10 T150 foi o que se mostrou mais eficiente na redução de ácido acético e ácido fórmico. No entanto, o tecido de carvão ativado pode conter cloretos e resultar no aumento do risco de corrosão em metais, não sendo, portanto, aconselhado seu uso próximo a objetos de prata e cobre (Thickett & Lee, 2004).

O carvão ativado em grãos (CAG) é um produto fornecido em *pellets* de 4 mm de diâmetro e produzido através da ativação física (calor e vapor) de carvão mineral selecionado. Estudos mostraram (Muller et al., 2008) a eficiência do CAG na purificação de ar em ambientes impregnados com dióxido de azoto, cloro e tolueno. Os óxidos de azoto são poluentes primários emitidos como produtos de degradação do nitrato de celulose. O uso de carvão ativado em ambientes que contenham este material, é fortemente encorajado (Shashoua, 2014). Num estudo comparativo entre 37 meios adsorventes diferentes sob condições passivas, o carvão ativado puro mostrou ser o mais eficiente na adsorção de gases poluentes, tais como o formaldeído, ácido fórmico, ácido acético, tolueno e alfa-pineno (Schieweck, 2020).

1.6.3.2 Zeólito

Os zeólitos, também chamados de zeolite, são aluminossilicatos cristalinos hidratados de metais alcalinos ou alcalino-terrosos, estruturados em redes cristalinas tridimensionais rígidas (Luna & Schuchardt, 2001). Podem ser naturais ou encontrados em sua forma sintética e possuem uma estrutura microporosa que permite que as moléculas sejam filtradas de acordo com o seu tamanho. Fazem parte do grupo de peneiros moleculares, que lhes

permite uma separação de moléculas de diferentes tamanhos e podem ser regeneradas (ex. por aquecimento controlado com temperaturas acima de 300 °C), que não influenciará a estrutura da molécula (Schieweck, 2020). Existem cerca de 200 tipos diferentes de zeólitos entre naturais e sintéticas. Muitas delas são polares e adsorvem humidade, sendo muitas vezes usadas como dessecantes (Canosa, 2019). Estudos mostraram que os zeólitos do tipo NaX em forma de *pellete*, são bastante eficientes na adsorção de ácido acético em vitrines de museus com objetos de chumbo (Cruz et al., 2004). Devido a sua capacidade de adsorver o ácido acético, o *Image Permanence Institute* investigou seus efeitos no acondicionamento de filmes de acetato de celulose, constatando uma redução significativa do ácido acético comparado com microclimas sem o adsorvedor (Canosa, 2019). Entretanto, Shashoua (2014) observou que quando os zeólitos (Tipo 4A) adsorvem o ácido acético, simultaneamente também capturam plastificantes voláteis (ftalato de dietila) elevando o risco de contração e deterioração do acetato de celulose.

1.6.3.3 Absorvedores de oxigênio

Como o oxigênio está envolvido em muitos processos de degradação de objetos culturais (ex. esmaecimento de corantes, fragilização de objetos à base de celulose, corrosão de metais) (Maekawa, 1998; Tétreault, 2003), causados por processos de oxidação ou foto-oxidação (presença de radiações de UV e luz visível), sua remoção pode agir de forma a limitar a degradação do objeto, como por exemplo no caso dos materiais em plástico (Shashoua, 2014) suscetíveis à oxidação (borrachas, espuma de poliuretano, polipropileno, poliestireno, polietileno e policloreto de vinila flexível) (Fenn & Williams, 2018). Os absorvedores de oxigênio são largamente utilizados na indústria de alimentos e atualmente existem vários tipos e marcas disponíveis no comércio (ex. *Oxyguard*[®], *RP-System*[®], *Ageless*[®], *Fresh Pax*[®], *Topcod*[®], etc.). O *RP-System*[®] consiste em dois tipos de absorvedores de oxigênio: o RP-A que absorve o oxigênio, a humidade e os gases corrosivos e é indicado particularmente na estabilização do processo de corrosão em metais; e o RP-K, que absorve igualmente o oxigênio e os gases corrosivos, mas não absorve a humidade. Segundo o fabricante (*Mitsubish Gas Chemical Company, INC*), os sistemas RP-A e RP-K absorvem

sulfureto de hidrogênio, cloreto de hidrogênio, dióxido sulfúrico e amoníaco. Poucos detalhes foram encontrados sobre sua composição, apenas que possui compostos orgânicos insaturados como composto ativo (Maekawa & Elert, 2003). A maioria dos absorvedores de oxigênio encontrados no comércio (ex. *Oxyguard*[®], *Ageless*[®], *Fresh Pax*[®], *Atco*[®], *Topcod*[®]), são disponibilizados em pequenos invólucros permeáveis e selados, contendo partículas de ferro que se ligam ao oxigênio e formam óxidos de ferro, (Maekawa & Elert, 2003; National Parks Service, 1999; Shashoua, 2014). Quando exposto ao oxigênio do ar, pode aquecer e é recomendado não o deixar em contato direto com os objetos do acervo. Possui a capacidade de reduzir a concentração de oxigênio em até 0.01% num espaço estanque e corretamente selado. Como estratégia complementar para certificar que o oxigênio foi removido conforme esperado, os indicadores da presença de oxigênio (ex. *Ageless eye*[®], *Oxy-eye*[®], *Tell-Tab*[®], etc.) são frequentemente usados como dosímetros simples e de baixo custo que indicam a presença de oxigênio, normalmente vendidos em forma de pastilha. A coloração rosa indica que o invólucro se encontra com menos de 0,1% de oxigênio, enquanto a coloração azul indica a presença do oxigênio em quantidades maiores que 0.5% (Japan Mitsubishi Gas Chemical Company, 2011).

1.6.3.4 Sílica gel

A sílica gel é um tipo amorfo de dióxido de silício (SiO₂) que apresenta estrutura muito porosa (Gomes et al., 2018). É um material dessecante e tradicionalmente conhecido nos MBA pelo seu elevado potencial de desumidificação (Tétreault & Bégin, 2018). Pode absorver mais de 40% do seu peso de água (Gomes et al., 2018) e por isso é muito aplicada em vitrines e dentro de espaços fechados com a função de manter a HR controlada (Canosa, 2019). Investigações mais recentes têm explorado o potencial de materiais de sílica na adsorção de COVs, devido a sua característica porosa (A et al., 2017; Ncube & Su, 2012; Twumasi, 2011; Zhu et al., 2020), mas são diferentes da sílica gel comercialmente encontrada. Conhecidos por peneiros moleculares mesoporosos (Schwanke & Pergher, 2012), materiais de sílica como o MCM-41 e o MCM-48 vêm sendo usados como adsorvedores de gases voláteis. O MCM-41 é eficiente na adsorção de COVs e dióxido de

enxofre (Canosa, 2019), enquanto o MCM-48 possui capacidade de adsorção do dióxido de carbono e sulfureto de hidrogénio e pode ser regenerado com baixas temperaturas à 60 °C, enquanto a sílica gel é regenerada sob temperatura de 150 °C (Canosa, 2019).

1.6.3.5 *Redes Metalorgânicas*

A família das redes metalorgânicas (do inglês: *Metal Organic Framework, MOFs*) é uma classe versátil de estruturas cristalinas híbridas porosas, feitas a partir da associação quase infinita de porções inorgânicas e ligantes orgânicos, formando materiais com porosidade diversa (Dedecker et al., 2018). Existem mais que 20.000 tipos diferentes de MOFs (Canosa, 2019). As MOFs aliam três características importantes: cristalinidade, alta porosidade e existência de forte ligação, proporcionando robustez ao ligar unidades que estão disponíveis para modificação por síntese orgânica (Rowsell & Yaghi, 2004). Sua capacidade de adsorção é atribuída à sua porosidade, com poros que podem variar de ultramicroporos a mesoporos e irá depender da pressão de equilíbrio, temperatura, natureza do adsorbato, além dos microporos do adsorvente (Ramos et al., 2014). Em geral, a capacidade de adsorção de COVs da MOF é superior a capacidade dos adsorventes zeólita e carvão ativado (Zhu et al., 2020). Diversos tipos de MOFs, incluindo as séries MIL, UiO e ZIF foram sintetizadas para tratar os COVs contidos. A MOF ZIF-67 apresenta uma capacidade na adsorção do tolueno, quando comparada com as MOFs UiO-66, MOF-199 e MIL-101 (Zhu et al., 2020). Uma investigação recente, onde foram testadas MOFs de diferentes tamanhos de poros, formas, hidrofobicidades e funcionalidades, e sua capacidade de adsorção ao ácido acético, mostrou que entre os materiais testados, a UiO-66-2CF₃²⁵ foi a MOF que apresentou os melhores resultados na adsorção dos vapores de ácido acético em espaços com a HR elevada (Dedecker et al., 2018; Mohtar et al., n.d.; NEMOSINE, 2021). Entretanto, Sampieri (2018)

²⁵ As nomenclaturas das MOFs são compostas pelo local onde elas foram originalmente obtidas, seguido pelo número inteiro em ordem cronológica (n). Neste caso a UiO é a *Universitet i Oslo*, seguido pelo n.

relatou que a utilização de MOFs para a adsorção de COVs ainda é uma opção inacessível devido ao seu elevado custo.

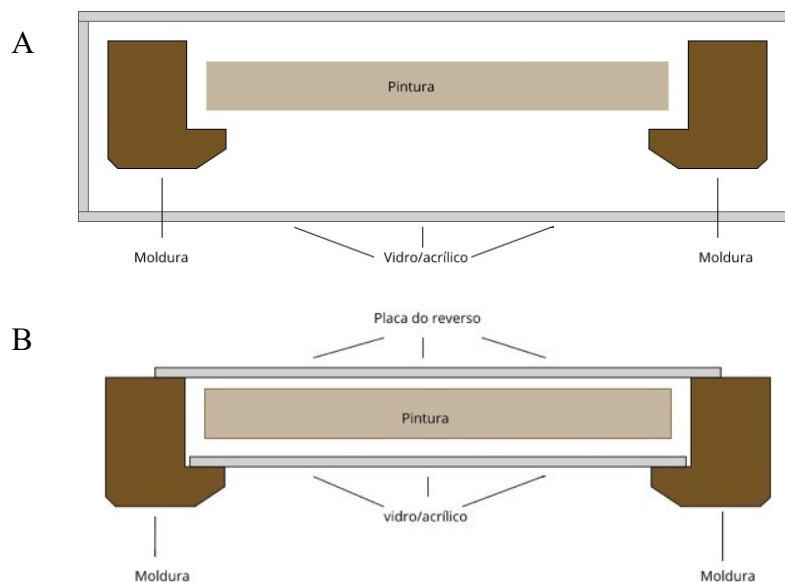
1.6.4 *As vitrines ou molduras microclimáticas*

Há muitas décadas que as vitrines²⁶ e molduras microclimáticas (Figura 1) são usadas para a proteção de objetos culturais (Padfield, 1966; Saunders & Reeve, 1994) em exposições, acondicionamento ou para seu transporte. São construídas com diversos propósitos, tais como criar um microclima diferenciado para pintura sobre madeira (Wadum, 1998), como prevenção do depósito de materiais particulados provenientes de poluição exterior, como proteção durante o manuseio de pintura moderna e contemporânea (Hackney, 2007b), como uma alternativa econômica para a segurança dos objetos em exposição (Barbosa et al., 2019; Sozzani, 1997), na proteção de objetos frágeis ou de limpeza difícil como os papéis (Freemantle, 2004) e as plumas (Tétreault, 2003). Na década de 2000, autores começaram a questionar sobre os riscos dos poluentes gerados no interior das vitrines (Camuffo et al., 2000; Mapelli et al., 2003; Watts et al., 2007) e investigação foi desenvolvida sobre este tema. Dahlin (2010) durante o projeto PROPAIN, avaliou o impacto dos poluentes sobre pinturas no interior de molduras microclimáticas. Schieweck (2009), em sua dissertação de doutoramento investigou a emissão de gases poluentes de materiais de construção e materiais de restauro no interior de vitrines de museus, além da influência da taxa de troca de ar e da luz neste contexto. Thicket et al. (2011) ainda exploraram a importância da taxa de troca de ar para o bom desempenho de vitrines, no que diz respeito à estabilização da HR, entrada de materiais particulados e à corrosão de metais expostos nestas vitrines. A eficiência de materiais adsorventes como uma alternativa para mitigar os poluentes gerados internamente

²⁶ No presente trabalho utilizamos a palavra "vitrine" no seu sentido mais amplo, como um elemento expositivo com vidro ou outro material transparente (ex. acrílico) em todas ou quase todas as suas faces, de modo a permitir a visibilidade do objeto exposto (Wilhelm, 2005). Consideramos a vitrine para pintura, em forma de caixa, aqui chamada de vitrine microclimática; moldura-microclimática, quando a moldura fica fora da caixa; vitrines de objetos tridimensionais: vitrine de pé, vitrine de parede, vitrine de pé horizontal, entre outras.

foi investigada por diversos autores (Baglioni, 2021; Bordes, 2021; Cruz et al., 2008a, 2008b; Grøntoft et al., 2015; NEMOSINE, 2021). O projeto PROPAINT incluiu a investigação extensa das vantagens e desvantagens das molduras microclimáticas para pinturas (Grøntoft et al., 2008) e mostrou que a escolha dos materiais de construção das molduras microclimáticas e vitrines é um fator fundamental para sua eficiência protetiva contra poluentes. Durante o projeto MEMORI (Grøntoft et al., 2016) foi desenvolvida uma tecnologia (e um dispositivo) para avaliar os riscos de danos em objetos expostos no interior de vitrines, relacionado aos efeitos dos poluentes ácidos e oxidantes em sinergia com a temperatura, HR e luz.

Figura 1 Esquema simplificado de uma vitrine e moldura microclimática. (A): Vitrine microclimática; (B): Moldura microclimática.



Concentrações elevadas de ácidos orgânicos, são frequentemente detetadas no interior de vitrines, ao mesmo tempo, poluentes oxidantes, dióxido de azoto, ozono e dióxido de enxofre são compostos mais comuns às áreas exteriores (Dahlin, 2010). Entretanto, quando construídas com materiais que emitam baixas concentrações de poluentes, além da inclusão

de adsorvedores, (ex. carvão ativado), chega a resultar em uma significativa melhora na qualidade do ar em seu interior (Grøntoft et al., 2016).

1.6.5 Taxa de renovação do ar e ventilação

A taxa de renovação de ar ou taxa de troca de ar diz respeito a quantidade de vezes que certo volume de ar é totalmente substituído em um determinado intervalo de tempo em um mesmo espaço, enquanto a taxa de ventilação significa a quantidade de ar exterior que é fornecida para o espaço interior (Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente, 2009) Num edifício equipado com sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado (AVAC), o excesso de renovação de ar pode sobrecarregar o sistema e resultar em maiores gastos energéticos. A ASHRAE (2015) recomenda que o ar externo que entre no espaço, deve ser na menor quantidade considerada necessária para fornecer ar fresco para os ocupantes do edifício e pressurizar²⁷ os espaços de acervo. A circulação média de uma área ocupada, para o período de inverno, não deve exceder 0,15 m/s, e no verão não deve exceder 0,25 m/s (Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente, 2009).

No Brasil, a taxa de renovação do ar em ambientes climatizados é pré-estabelecida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária e pelo Ministério da Saúde, ANVISA (ANVISA, 2003), com o valor mínimo de 27 m³/hora/pessoa, exceto em ambientes com alta rotatividade de pessoas, onde o valor mínimo será de 17 m³/hora/pessoa.

1.6.6 Filtros

Os filtros desempenham um papel importante para assegurar que os poluentes do exterior não entrem no ambiente interior ou pelo menos para minimizar esse fluxo. De uma forma

²⁷ Manter a pressão evita que o ar exterior "não condicionado" entre no espaço.

ampla, existem dois tipos de filtração, a filtração de partículas e a filtração de gases. A filtração de partículas é essencial não só para impedir que essas sejam inseridas no ambiente interior, mas também para remover os contaminantes que possam sujar o sistema de AVAC. A *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, ASHRAE (2015) aconselha que as partículas sejam filtradas em duas etapas distintas: a pré-filtração e a filtração de partículas finas. Adicionalmente, a filtração de gases é por muitas vezes indicada em sistemas de AVAC de MBA e esses filtros também são conhecidos como filtros moleculares. Alguns gases são facilmente removidos com carvão ativado, enquanto para outros pode ser necessário o permanganato de potássio ou outros adsorvedores²⁸. Entretanto, há um custo elevado não só para a aquisição dos filtros, mas também para a sua manutenção.

A nomenclatura MERV (do inglês: *Minimum Efficiency Reporting Value*) é utilizada para identificar e classificar a capacidade de filtragem dos filtros dos sistemas de AVAC e foi estabelecida de acordo com a Norma ANSI/ASHRAE 52.2 (ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017, 2017). A classificação da ASHRAE pode revista de acordo com a **Tabela 22**.

Tabela 22 Classificação de filtros de partículas de acordo com a ASHRAE

Classificação MERV	Classe de eficiência europeia	Tamanho médio da partícula (µm)	Contaminante típico	Eficiência	Configuração típica do filtro de ar
1-4	G1, G2	>10	Pólen, ácaros, pó de lixa, pó de tinta spray, fibras têxteis, fibras de carpete	<20%	Eletrostático; malha de alumínio lavável; filtros descartáveis.

²⁸ Algumas empresas fabricam filtros moleculares com uma mistura de adsorvedores. Um exemplo disso é o PP Blend produzido pela Purafil/PureAir, com óxido de alumínio, permanganato de potássio, carvão ativado e hidróxido de potássio (https://www.pureairfiltration.com/wp-content/uploads/2022/06/MSDS-GHS-PureAir-PP-Blend-CPS-Blend-CP-Blend-CPS12-Triblend-CPZ-Blend-CP12-Blend-Blended-Medias_1.pdf)

5-8	G3, G4	3,0-10	Esporos de fungos, pó de betão	20%-60%	Filtros plissados; filtros de cartucho; filtros descartáveis.
9-12	F5, F6	1,0-3,0	<i>Legionella sp.</i> , poeira de humidificador, de chumbo e de carvão, emissões automáticas, gotas de nebulizador, fumo de soldagem	40%-85%	Filtros de caixa, filtros de saco.
13-16	F7, F8, H11	0,3-1,0	Todas as bactérias, a maioria dos fumos, óleo de cozinhar, toner de copiadora, pigmentos de tintas	70%-98%	Filtros de caixa; filtros de saco.
17-20 H10-H14	U13, U14, U15	≤ 0,3	Vírus, poeira de carvão, sal marinho, fumo de combustão		Filtros HEPA/ULPA

Nota. Fonte: Adaptado de ANSI/ASHRAE *Standard* 52.2-2017 (2017).

1.7 Principais projetos europeus com desenvolvimento de novos dispositivos ou metodologias associadas a poluentes no património cultural

Os poluentes em ambientes expositivos passaram a receber uma maior atenção dos profissionais de MBA ao longo dos últimos anos. Entretanto a falta de apoio científico específico em muitas instituições culturais, a que acrescenta a limitação de verbas, ainda dificulta muitas das tomadas de decisões ligadas ao tema. Nas últimas décadas muitos foram os projetos Europeus que desenvolveram dispositivos e metodologias com o objetivo de criar estratégias na conservação preventiva, de forma a facilitar diagnósticos através de sistemas simplificados de monitorização da qualidade do ar interior, associada aos danos causados nos mais diversos materiais que compõem os objetos culturais, além de fazê-lo de forma simples e sustentável. Alguns projetos de financiamento europeu aqui mencionados, retratam a evolução da tecnologia, mas também a evolução de uma linha de pensamento inovadora, sustentável e ecológica.

1.7.1 AMECP

Durante o projeto AMECP²⁹ [(janeiro 1993 - fevereiro 1996): Assessment and Monitoring the Environment of Cultural Property (EV5V-CT-92-0144)], o *Glass Slide Dosimeter* (GSD) foi desenvolvido pelo *Fraunhofer Institute for Silicate Research* (ISC, Alemanha) com o objetivo inicial de avaliar a deterioração dos vitrais medievais *in situ*. Os sensores são compostos por um tipo de vidro potássico-cálcico ($K_2O-CaO-SiO_2$) sensível a diferentes parâmetros atmosféricos. O GSD é obtido a partir da fusão do vidro, que é cortado em finas fatias de 0,7 cm de espessura e posteriormente posicionados em um suporte, como uma pequena moldura (Blades, 1995). O dosímetro desenvolvido neste projeto permite medir a influência integradora entre poluentes ácidos e a humidade ao longo de um período (ex. exposição) e seu efeito sobre o objeto, além de permitir quantificar sua taxa de corrosão. O

²⁹ (<https://cordis.europa.eu/project/id/EV5V0144/de>)

GSD é vocacionado para a deteção precoce da degradação de vidros. O sensor é muito sensível ao ácido acético e ácido fórmico. É indicado para medições no interior de vitrines, reservas técnicas, embalagens de transporte, vitrines protetivas de vitrais e em áreas exteriores. Atualmente o GSD é produzido e comercializado pelo *Fraunhofer Institute for Silicate Research*, que adicionalmente realiza as análises do dosímetro após o período de amostragem. As análises são realizadas por meio de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) e microscopia ótica.

1.7.2 MASTER

No projeto MASTER³⁰, *Preventive Conservation Strategies for Protection of Organic Objects in Museums, Historic Buildings and Archives* (2003-2006 - EVK4-CT-2002-00093) (Dahlin, Grøntoft, Henriksen, et al., 2010), coordenado pelo *Norwegian Institute for Air Research (NILU, Norway)*, o objetivo central foi desenvolver, para museus e arquivos, uma nova estratégia de conservação para os objetos orgânicos, baseada num sistema de alerta precoce que pudesse identificar ambientes prováveis de danificar objetos de um acervo. Como resultado, dois dosímetros foram desenvolvidos para medir a quantidade individual ou combinada dos parâmetros ambientais que degradam objetos orgânicos, particularmente têxteis e papéis. O EWO é um dosímetro sensível ao ozono e dióxido de azoto e irá medir o impacto do meio ambiente num polímero orgânico. O dosímetro genérico de alerta precoce (do inglês: *generic early warning dosimeter, EWO-G*) é um dispositivo sensível que responde a uma ampla gama de parâmetros ambientais, como o dióxido de azoto, ozono, temperatura, HR e fluorescência de UV. Foi projetado para proporcionar uma resposta precoce em uma escala de tempo de exposição de 3 meses. Sua resposta acelerada ocorre em consequência de materiais poliméricos sensíveis em sua composição. O segundo dispositivo é um dosímetro específico de alerta precoce (do inglês: *specific early warning dosimeter, EWO-S*) para materiais orgânicos. O *EWO-S* consiste em 3 *chips* diferentes que medem

³⁰ (<https://cordis.europa.eu/project/id/EVK4-CT-2002-00093>)

separadamente a concentração do dióxido de azoto, ozono e dióxido de enxofre. Sua resposta acelerada acontece devido a corantes reativos misturados em matrizes de polímeros estáveis com permeabilidade adaptada em sua composição (Dahlin, Grøntoft, Henriksen, et al., 2010). De forma inovadora, o sistema permite a leitura do efeito da dose diretamente no local após a exposição do dosímetro (Chapuis et al., 2009). A tecnologia dos dosímetros *EWO* foi posteriormente adaptada e utilizada no projeto MEMORI (ver capítulo 8.8).

1.7.3 *MIMIC*

A utilização de cristais piezoelétricos de quartzo (*PQC*) revestidos como sensores de gases poluentes foi estudada pela primeira vez no projeto MIMIC³¹, *Microclimate Indoor Monitoring for Cultural Heritage Preservation*, (2001-2004 - EVK4-CT-2000-00040) (Odlyha et al., 2007, 2011). Os dispositivos foram desenvolvidos com o objetivo principal de monitorizar os danos cumulativos causados nos objetos culturais, em particular nas pinturas de cavalete e painéis, em função das condições ambientais interiores. Para alcançar esse objetivo, foi utilizado o protocolo para dosímetros previamente desenvolvido no projeto ERA e estendido para incorporar a tecnologia de microbalanças de *PQC*. O conceito é baseado no revestimento de uma matriz de *PQC* onde os perfis de resposta, irão refletir os danos medidos pelo cristal revestido, e é expresso como uma razão de mudança de frequência (Chapuis et al., 2009). Para o projeto MIMIC, os dispositivos foram revestidos com uma camada de verniz (resina mastique) ou de têmpera a ovo e o dano produzido por exposição a gases poluentes foi avaliado pela alteração da temperatura de transição vítrea (T_g) e pela forma e intensidade da banda do carbonilo no espectro de infravermelho (Odlyha et al., 2011). Neste projeto foram desenvolvidos dois tipos de dosímetros baseados na tecnologia de *PQC*: um deles é um amostrador passivo que é exposto e posteriormente é avaliado em laboratório, e o outro é uma unidade que permite a gravação contínua para

³¹ (<https://cordis.europa.eu/project/id/EVK4-CT-2000-00040>)

leituras online (Chapuis et al., 2009). A tecnologia de *PQC* revestidos foi posteriormente utilizada nos projetos SENSORGAN (ver capítulo 1.7.5) e PROPAIN (ver capítulo 1.7.6).

1.7.4 IMPACT

Com a perspectiva de auxiliar os MBA que não dispõem de profissionais da área científica, o projeto IMPACT³², *Innovative modelling of pollution and conservation thresholds* (2000-2004 - FP5 Cost-shared research n° EVK4-CT-2000-00031) (Chapuis et al., 2009) desenvolveu um *software* como ferramenta auxiliar na gestão de riscos, no que se refere aos poluentes gasosos no interior de edifícios que abrigam acervos. O *software* foi desenvolvido com o objetivo de prever as concentrações de poluentes interiores a partir de concentrações dos poluentes exteriores, nomeadamente, o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e ozono, além de prevenir possíveis danos, ao avaliar eventuais ameaças que a poluição atmosférica possa levar às coleções. São inseridos alguns dados específicos sobre o edifício (dimensão, temperatura, HR, taxa de renovação de ar e materiais de revestimento interior do edifício) e baseados nos dados já preexistentes de poluentes exteriores, o sistema calcula e fornece informações sobre o possível impacto que os poluentes possam vir a ter na coleção, além de sugerir alternativas para a mitigação de riscos (Blades et al., 2002). O *software* resultante do projeto IMPACT foi utilizado por organizações do património, como o *English Heritage* no Reino Unido e disseminado em instituições de ensino como a *University College London's MSc* em "Património Sustentável" e na *University of Malta's MSc* em "Tecnologia da Conservação para Património em Alvenaria" (Chapuis et al., 2009).

³² (<https://cordis.europa.eu/project/id/EVK4-CT-2000-00031>)

1.7.5 *SENSORGAN*

No projeto SENSORGAN³³, *Sensor System for Detection of Harmful Environments for Pipe Organs* (duração: 2006-2008 - SSPI n° 22695, Tipo de contrato: FP6 STREP) (Bergsten et al., 2010), o dispositivo PQC foi revestido com uma camada de chumbo e utilizado na Basílica de Santo André Apóstolo em Olkusz, Polónia para obter informação sobre a ação danosa de ácidos orgânicos, nomeadamente ácido acético e ácido fórmico, nos tubos de chumbo de um órgão, tendo os dispositivos sido posicionados de modo a não alterar o som do instrumento. Posteriormente o dispositivo foi utilizado no interior de vitrine de museu, em *Kenwood House* em Londres, para obter informações sobre as concentrações de ácidos orgânicos, com frequência encontrados no interior das vitrines (Odlyha et al., 2007), além de ter sido disseminado e adaptado à projetos de monitorização em igrejas em Tiradentes e Mariana, Minas Gerais, Brasil (Freixo & Cavicchioli, 2010).

1.7.6 *PROPAINIT*

Com o objetivo principal de avaliar o impacto da poluição no interior de molduras microclimáticas, especialmente sobre as pinturas e seus vernizes, o projeto PROPAINIT³⁴, *Improved Protection of Paintings during exhibition, storage and transit* (duração: 2007-2010 - FP6 SSPI n° 044254) (Dahlin, 2010) explorou a eficácia do conjunto de três dosímetros desenvolvidos em projetos anteriores, nomeadamente o EWO, o PQC e o GSD. O conjunto de dosímetros foi distribuído e exposto durante um período de três meses em 13 molduras microclimáticas entre 11 museus na Europa e no México. Adicionalmente os COVs foram medidos através dos tubos de Tenax® TA e o dióxido de azoto, ozono, dióxido de enxofre, ácido acético e ácido fórmico foram medidos separadamente com o auxílio de amostradores de difusão passiva e o formaldeído foi medido através do difusor passivo SKC

³³ (<https://cordis.europa.eu/project/id/22695>)

³⁴ (<https://cordis.europa.eu/project/id/44254/es>)

UMEx 100. Para o revestimento do PQC, a seleção de vernizes foi ampliada, acrescentando-se também as resinas Damar (com e sem Tinuvin[®] 292) e MS2A[®] (com e sem Tinuvin[®] 292) e o Paraloid[®] B72 (copolímero de metacrilato de etilo) (Dahlin, 2010). O projeto demonstrou a aplicabilidade de métodos de dosimetria na redução de concentrações de gases poluentes no interior de molduras microclimáticas e investigou o uso da dosimetria como registos contínuos de valores de medição (Dahlin, 2010). Adicionalmente, o resultado do projeto foi um contributo para a conservação preventiva ao desenvolver protocolos para a construção de molduras microclimáticas e estabelecer normativas de controlo de pintura em microclimas, adicionadas ao *European Standardisation Organization (CEN)*, no Comitê Técnico n° 346, *Conservation of Cultural Property (CEN/TC 346)* (Chapuis et al., 2009).

1.7.7 MUSECORR

Considerando as imensas vantagens de poder realizar monitorização em tempo real, o *data logger AirCorrTM* foi desenvolvido durante o projeto MUSECORR³⁵, *Protection of Cultural Heritage by Real-time Corrosion Monitoring (FP7/2007-2013 n° 226539)* (Prosek et al., 2013). O conceito subjacente à medição baseia-se no facto de que a resistividade elétrica de um metal é aumentada pelo aparecimento de uma camada de corrosão à sua superfície e, assim, a variação do valor desta propriedade pode ser interpretada como uma medida do grau de corrosão. O sensor consiste numa fina placa de metal, que pode ser de cobre, prata, chumbo, ferro, zinco, alumínio, bronze, estanho ou latão, depositado sobre um substrato isolante em cerâmica ou polímero. O sistema de monitorização abrange um *logger* eletrónico para a medição e gravação das alterações na resistência elétrica, o sensor de metal que irá corroer no ambiente, a interface de comunicação entre o *logger* e o computador e o programa de *software* para a interpretação das medições. Os *data loggers* foram testados em 19 vitrines, 7 galerias de museus e 6 espaços de guarda, sendo que as medições foram realizadas

³⁵ (<https://cordis.europa.eu/project/id/226539/reporting/de>)

nos seguintes museus franceses: museu do Louvre, museu Cluny, Museu do Ar e do Espaço, Biblioteca Nacional da França e no museu Guimet. Atualmente o *Institut de la Corrosion* e o *nke Instrumentation*³⁶ comercializam três tipos diferentes de *loggers AirCorr*: *AirCorr I* (dimensão: 100 x 65 x 50 mm), para ambientes interiores com sensor substituível; *AirCorr I Plus* (dimensão: 157 x 127 x 70 mm), indicado para ambientes interiores com sensor de temperatura e HR, 2 sensores de corrosão substituíveis e um LCD que mostra a corrosividade contínua; e o *AirCorr O* (dimensão: 100 x 65 x 42 mm), resistente à água, indicado para uso em ambientes exteriores.

1.7.8 MEMORI

No projeto MEMORI³⁷, *Measurements, Effect Assessment and Mitigation of Pollutant IMPACT on Movable Cultural Assets. - Innovative Research for Market Transfer* (EU FP7-Supported Collaborative Project: 265132) (Grøntoft et al., 2013) foi desenhado um dispositivo composto por dois tipos de dosímetros: o GSD (Glass Slide Dosimeter) e o EWO (Early Warning Dosimeter). A inovação desse projeto diz respeito a sua metodologia, que consiste em um sistema não só de medição, mas de avaliação da qualidade do ar e dos riscos inerentes à degradação dos objetos no meio ambiente cultural. A tecnologia MEMORI consiste em três partes: o dosímetro MEMORI, que é sensível ao clima interior, luz, oxidantes e poluentes ácidos do ar comuns aos espaços interiores; o leitor portátil do dosímetro MEMORI; e finalmente a *webpage* MEMORI, que inclui um *software* para simplificar a leitura e armazenar os dados resultantes das medições. O dispositivo é exposto no ambiente durante um tempo estipulado (3 meses) e posteriormente é colocado em um leitor compacto, chamado de "leitor de dosímetros MEMORI", que irá medir os efeitos do ar ambiente no dosímetro. A avaliação dos resultados é realizada no software MEMORI que

³⁶ <https://nke-instrumentation.com/wp-content/uploads/2019/05/AirCorr-brochure.pdf>

³⁷ <https://cordis.europa.eu/project/id/265132/reporting>

irá apresentar os resultados em um gráfico com cores (vermelha, amarela e verde), indicando os possíveis riscos de danos inerentes aos efeitos da humidade, luz e poluentes do ar, sobre uma variedade de materiais orgânicos (papel, têxtil, couro e pergaminho) (Grøntoft et al., 2013). A tecnologia MEMORI fornece uma metodologia completa para a avaliação dos riscos que a qualidade do ar possa representar para o património e sugere medidas de mitigação, orientadas por um modelo de apoio à decisão. A metodologia inclui diretrizes e explicações detalhadas para o utilizador de como a resposta do dosímetro está relacionada com o risco da qualidade do ar para o património (MEMORI, 2013) ³⁸.

1.7.9 APACHE

O APACHE³⁹, *Active & Intelligent Packaging Materials and Display Cases as a Tool for Preventive Conservation of Cultural Heritage* (2019-2022, n° AMD-814496-10) é um projeto que objetivou desenvolver uma nova geração de embalagens de acondicionamento ativas e inteligentes para a preservação dos objetos culturais. Para dar suporte à preservação em longa duração do património, foram desenvolvidas tecnologias de sensores e sensores sem fios para proporcionar um sistema inteligente, fácil de utilizar e de baixo custo para detetar microclimas inadequados. Foram investigados novos materiais adsorvedores de poluentes, bem como reguladores de temperatura e HR para minimizar as flutuações. Adicionalmente, foi desenvolvido um *software* como ferramenta de suporte para auxiliar nas decisões dos utilizadores sobre a longevidade do objeto acondicionado. O projeto priorizou a viabilidade de aplicação desses materiais, bem como os custos reduzidos. Entre os materiais desenvolvidos estão embalagens em cartão com desempenho térmico melhorado, capaz de estabilizar a temperatura e HR explorando os potenciais dos compósitos poliméricos, com placas revestidas com membranas de acetato de polivinila e polímeros

³⁸ Atualmente a tecnologia MEMORI não está disponível para o utilizador final (informação fornecida por e-mail por Terje Grøntoft em 10/05/2019).

³⁹ <https://cordis.europa.eu/project/id/814496>

superabsorventes, capazes de estabilizar a HR. Foram adicionalmente desenvolvidos sensores para monitorizar de forma remota o microambiente de invólucros (ex. caixas de arquivos) que contenham objetos culturais, como o sensor *Near-Field Communication* (NFC), desenvolvido pela Tyndall™, de dimensão diminuta e que possui vida longa sem a necessidade de baterias para o seu funcionamento (Gawade et al., 2019) e utilizada a tecnologia LoRa, capaz de abranger áreas maiores (<100 m²). Foram desenvolvidos materiais adsorventes à base de óleo castor para poluentes (Zuliani et al., 2022), uma espuma à base de sílica-celulose com capacidade de capturar gases poluentes (Bordes, 2021) e novos aerogéis, capazes de absorver poluentes orgânicos e inorgânicos (Androulidakis et al., 2021).

1.7.10 NEMOSINE

A "síndrome do vinagre" desde longa data é considerada um desafio para a conservação de filmes à base de acetato de celulose. Em busca de novas soluções para prolongar a vida desses materiais, o projeto NEMOSINE⁴⁰, *Innovative packaging solutions for storage and conservation of 20th century cultural heritage of artefacts based on cellulose derivate* (H2020-NMBP-2017-two-stage, n° 760801-2) desenvolveu um sistema de armazenagem inteligente e inovadora constituída de uma embalagem inerte com sistema de barreira de oxigênio, adsorventes de ácido acético baseados em redes metalorgânicas, sensores baseados em nanotecnologia para deteção e monitorização de gases (ácido acético, oxigênio e óxido de azoto) (Zappi et al., 2020), modelagem em multiescala para correlacionar a degradação e os sinais dos sensores e embalagem com design modular para atender aos requisitos técnicos e econômicos dos diferentes objetos produzidos de derivados de celulose (NEMOSINE, 2022).

⁴⁰ <https://cordis.europa.eu/project/id/760801>

1.7.11 CollectionCare

O projeto CollectionCare⁴¹, *Innovative and affordable service for the preventive conservation monitoring of individual cultural artefacts during display, storage, handling and transport (European Union Horizon2020 research and innovation program - grant agreement n° 814624)*, semelhante aos seus projetos parceiros, APACHE, NEMOSINE e SensMat, objetivou desenvolver um sistema inovador de suporte a decisões, ligadas a conservação preventiva, visando as necessidades de museus de pequena e média dimensão. Seus objetivos abrangeram o desenvolvimento de um sistema de monitorização em tempo real, de baixo custo e baixo consumo de energia, com otimização dos atuais sistemas de detecção de poluição do ar sem fios (Perles et al., 2020). O sensor abrange a detecção de temperatura, HR, luz, poluição do ar e vibração e os dados obtidos são transferidos remotamente para o *software* CollectionCare. Aconselha-se que adicionalmente sejam adicionadas informações sobre o estado de conservação do objeto. Os dados coletados do objeto selecionado irão correlacionar automaticamente nas nuvens com os dados dos modelos de degradação ou parâmetros de degradação de cada material transcrito nos algoritmos do computador. Os parâmetros serão correlacionados com as normas europeias correntes, como o EN 15757:2010 e as diretrizes da ASHRAE (2015), de forma a prevenir o processo de degradação assim como obter recomendações de preservação daquele objeto específico (Perles et al., 2020).

1.7.12 SensMat

O projeto SensMat⁴², *Preventive solutions for sensitive materials of cultural heritage (European Union Horizon2020 research and innovation program - grant agreement n° 814596) (SensMat: Preventive Solutions for Sensitive Materials of Cultural Heritage, 2019)*

⁴¹ <https://cordis.europa.eu/project/id/814624>

⁴² <https://cordis.europa.eu/project/id/814596/reporting>

teve como objetivo o desenvolvimento e implementação de sensores, modelos e ferramentas que facilitassem a tomada de decisão, de forma eficaz, de baixo custo, eco-inovadoras e de fácil execução, de forma a permitir a previsão e prevenção da degradação de objetos em função das condições ambientais. O desenvolvimento de multisensores para medições de temperatura, HR, COVs, corrosão, materiais particulados, luz e vibração, que fossem de baixo custo e interligados a um sistema inteligente online, foram parte de seus objetivos. A cumprir esses objetivos de desenvolvimento de sensores de baixo custo, o projeto SensMat embasou-se na tecnologia de Identificação por Radiofrequência (IRF) para a produção dos sensores de qualidade do ar baseados no princípio de dosimetria por reatividade metálica. O projeto desenvolveu sensores de corrosão de frequência ultraelevada por IRF para avaliar a qualidade do ar e as classes de corrosividade interior (CI)⁴³ em museus (el Masri et al., 2020; Rioual et al., 2022).

1.8 Comentários

Desde longa data que a poluição e a qualidade do ar interior em MBA são temas de investigação na comunidade científica, entretanto, houve um avanço expressivo nas últimas décadas. Inicialmente os poluentes eram investigados de forma isolada e em laboratórios, mas logo se percebeu que a sinergia entre diversos fatores (temperatura, HR, luz, radiação UV, taxa de renovação do ar), incluindo os materiais de confecção dos próprios objetos, seu histórico e materiais de restauro, poderiam influenciar o efeito deles sobre os objetos culturais. O estado da arte evidenciou que há muita informação importante e disponível sobre poluentes em microclimas culturais a ser aplicada na gestão de riscos em MBA. Durante os projetos mais recentes, aqui mencionados, é visível o crescente interesse pelo desenvolvimento de sistemas de suporte à tomada de decisões em relação à conservação preventiva vinculada à qualidade do ar interior e objetos mais suscetíveis à ação de

⁴³ Segundo a ISO 11844-1 de normas, as classes de corrosividade interior foram classificadas no intervalo entre IC1 (corrosividade muito baixa) e IC5 (corrosividade muito elevada). Metais suscetíveis a diferentes poluentes, como o aço, chumbo, zinco, cobre e prata, foram selecionados nesta norma.

determinados poluentes. Ainda que haja o desenvolvimento de dispositivos e materiais adsorvedores para poluentes, o auxílio à tomada de decisões de forma inteligente, a partir de dados coletados, foi percebido como sendo uma ferramenta importante na gestão de riscos. Adicionalmente, foi constatado que havia a necessidade de desenvolver metodologias e dispositivos de monitorização de baixo custo, fácil aplicabilidade e de leitura direta que pudessem atender às instituições de médio e baixo porte. Com as mudanças bruscas climáticas e em busca de uma maior sustentabilidade ambiental, houve também um maior incentivo para a investigação do desenvolvimento de materiais "verdes", ecologicamente sustentáveis (ex. adsorvedores de óleo castor). Com a preocupação de disseminar o conhecimento, foi observado que houve uma maior atenção na divulgação do conteúdo e resultado dos projetos europeus mais recentes através de *webinars*, *workshops*, conferências, treinamentos, além das tradicionais publicações.

Finalmente, como uma observação do autor, foi constatado que grande parte das publicações, investigações e investimentos, relacionados à qualidade do ar interior em MBA, ainda se concentram em países da Europa e da América do Norte e que nos países tropicais, onde as características do clima são muito diferentes e demandariam investigações específicas, poucas publicações foram encontradas.

2 Estudios de Caso

2.1 Introdução

Os museus, bibliotecas e arquivos, são instituições cuja missão principal é a salvaguarda de seus acervos, que, por conseguinte, são parte integrante da história e memória da humanidade. Com o intuito de manter o máximo possível a integridade desse património ao longo de gerações, a adoção de normas e procedimentos de conservação preventiva é fortemente encorajada pelos órgãos nacionais e internacionais (ex.: ICOM, UNESCO, IBRAM, ICCROM, E.C.C.O.) que visam a preservação dos bens culturais. Gerir os riscos pertinentes aos acervos museológicos é considerado estratégia fundamental no âmbito da preservação e implica, entre outros, a identificação dos possíveis agentes de deterioração (Michalski & Pedersoli Jr, 2016) no ambiente. Os poluentes estão inseridos entre os 10 agentes de deterioração de grande preocupação na conservação do património (Hatchfield, 2002; Tétreault, 2003, 2021b). São responsáveis pela corrosão de metais (Tétreault et al., 2003), fragilização de papéis (Guild, 2018), degradação de fibras têxteis (Uring et al., 2021), alteração em pigmentos (Coccatto et al., 2017), eflorescência em conchas (Shelton, 2008), entre outros. As publicações luso-brasileiras encontradas nesse âmbito (Amaral, 2017; Cavicchioli et al., 2012, 2017; Dias, 2013; A. L. Ferreira et al., 2014; R. H. M. Godoi et al., 2013; A. I. Mosca et al., 2007), quase sempre são resultados de estudos de casos de investigações pontuais e não como produto de protocolos previamente adotados pelos MBA. Por vezes, as investigações são desenvolvidas somente após a deteção de um dano (Barbosa & Moreira, 2012). Alguns poluentes gerados no exterior dos edificios podem ser monitorizados através de estações de monitorização distribuídas pelo mundo ⁴⁴. Entretanto, os poluentes no interior dos edificios, assim como no interior de vitrines ou molduras microclimáticas só serão detetados através de monitorizações desenvolvidas individualmente por cada instituição. A investigação desenvolvida no interior de dois

⁴⁴ Os dados podem ser acessados através dos websites: <https://aqicn.org/> ou <https://waqi.info/>. O *World Air Quality Index* é fruto de um projeto iniciado em 2007 em Beijing, China. O projeto fornece informações sobre a qualidade do ar para mais de 130 países, cobrindo mais de 30.000 estações e 2.000 das maiores cidades do mundo.

museus portugueses, incluindo vitrines, pretendeu analisar a qualidade do ar, através de múltiplas análises e avaliar os riscos pertinentes a essas substâncias.

Para melhor conhecer o panorama em Portugal e no Brasil, comparado a outros países e definir tarefas do trabalho de investigação, foi inicialmente elaborado um inquérito e distribuído para museus nacionais e internacionais⁴⁵, com o objetivo de verificar a prática do uso de vitrines em museus, vinculada à monitorização dos gases poluentes. Adicionalmente, alguns museus específicos foram visitados para que se pudesse verificar a frequência e protocolos adotados por estes para o uso de proteção de vidros em pinturas, nomeadamente, o Museu Coleção Berardo (MCB) (Lisboa, Portugal), Museu Calouste Gulbenkian (MCG) (Lisboa, Portugal), Museu Nacional Soares dos Reis (MNSR) (Porto, Portugal), Museu de Serralves (Porto, Portugal) e o Leopold *Museum* (Viena, Áustria).

Inicialmente o MCB foi escolhido como estudo de caso, por possuir um acervo de arte moderna e contemporânea onde muitos objetos se encontravam expostos com proteção de vidros ou acrílicos (polimetilmetacrilato), mas também por se tratar de um museu dinâmico em relação a rotatividade de exposições temporárias e ao fluxo de visitantes. O objetivo principal foi o de avaliar a qualidade do ar no interior de uma vitrine, onde possivelmente haveria emissão de gases orgânicos proveniente do próprio objeto exposto.

Posteriormente, o estudo de caso desenvolvido no MNSR, resultou numa abordagem mais abrangente⁴⁶ em comparação à investigação realizada no MCB. No MNSR foi possível analisar e realizar medições de compostos voláteis e material particulado, em duas épocas do ano distintas, em nove espaços diferentes, incluindo salas expositivas, áreas de reserva, interior de estantes de acondicionamento e numa vitrine. Os resultados foram analisados e foram considerados relevantes os seguintes fatores: a diversidade de materiais existentes em

⁴⁵ Ver inquérito 1, Apêndice I.

⁴⁶ A investigação sobre a QAI no MNSR só foi possível graças ao apoio do projeto GEO-SR, referência n° 031304, liderado pelo CITAR (EA-UCP) e suportado pelo Programa Operacional Competitividade e Internacionalização na sua componente FEDER e pelo orçamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia na sua componente OE.

cada espaço, a influência da temperatura e HR, além da complexidade do espaço como um conjunto único.

2.2 Estudo de caso: Museu Coleção Berardo

2.2.1 *Resumo*

O estudo de caso desenvolvido no MCB teve como objetivo principal analisar a qualidade do ar no interior de uma vitrine contendo uma obra moderna e avaliar os riscos pertinentes ao invólucro. Para isso, o estudo foi desenvolvido em três etapas: (a) análises do ar no interior e no exterior da vitrine; (b) análises dos compostos emitidos pelos materiais utilizados na remodelação dos espaços expositivos para exposições temporárias; (c) análise da policromia da pintura e sua moldura.

2.2.2 *O Museu*

O Museu Coleção Berardo (MCB) é uma instituição museológica, fundada em 2007 e se encontra inserida no complexo do Centro Cultural de Belém (CCB) em Lisboa, nas margens do rio Tejo (Figura 2). Seu acervo, com mais de 1.000 obras (Museu Coleção Berardo, 2021), predominantemente de arte moderna e contemporânea, é considerado de grande representatividade nacional e internacional, fazendo que seja um dos museus mais visitados de Portugal. Chegou a receber cerca de 1.060.644 visitantes durante o ano de 2019 (Museu Coleção Berardo, 2019), antes do início da pandemia de COVID-19. No mesmo ano, foram inauguradas 10 exposições temporárias, fazendo remodelações sequenciais nos espaços expositivos durante este período. Com a grande dinâmica de visitantes ao longo dos anos, para alguns objetos mais suscetíveis ao contato indevido, foi decidido construir uma vitrine como meio de proteção física. A atmosfera no interior dessas vitrines nunca foi objeto de estudo ou produto de medições de poluentes. Como discutido anteriormente, muitos COVs são emitidos pelos materiais de construção das vitrines ou mesmo pelos próprios objetos ali

inseridos (López-Aparicio et al., 2010; Schieweck & Salthammer, 2009) e também se esclarece que quanto mais selada for a vitrine, menor será a troca de ar com o ambiente expositivo e maior será a concentração dos COVs no seu interior. Pretendeu-se analisar a qualidade do ar no interior de uma das vitrines que estava a proteger um objeto de madeira, metal e tinta à óleo, e fazer uma comparação com o ar da galeria expositiva onde a vitrine se encontra exposta. Adicionalmente, pretendeu-se avaliar o risco potencial para o objeto e analisar possíveis alterações em sua camada pictórica com o auxílio de diferentes metodologias analíticas. Para complementar este estudo, materiais selecionados utilizados nas remodelações das áreas expositivas foram analisados quanto a emissão de COV.

Figura 2. *Museu Coleção Berardo, Centro Cultural Belém. (A) Vista aérea do MCB (laranja), inserido no CCB (vermelho), próximo ao rio Tejo, em Belém, Lisboa, Portugal. Fonte: Google maps; (B) Visão do complexo do CCB e MCB a direita da foto*



2.2.3 Objeto de estudo

Para a escolha do caso de estudo, levou-se em consideração a composição da pintura com materiais modernos, a vitrine na qual ela se encontra inserida e sua permanência na área expositiva durante o tempo de amostragem. Numa primeira visita às áreas expositivas, foi constatado que vários objetos do acervo se encontravam com proteções de vidro/acrílico, seja em forma de caixas/vitrines ou simplesmente com uma proteção de vidro frontal para as pinturas. Por se tratar de uma coleção de arte moderna e contemporânea, há o

enquadramento de diferentes tipologias e materiais inseridos no espaço. A partir da primeira visita ao museu⁴⁷, foram selecionadas algumas pinturas em vitrines que poderiam ser objetos de análise, sendo posteriormente, de entre essas, selecionada para o estudo uma pintura de Léon Tutundjian (artista armênio), ou uma "escultura de parede", conforme é atribuída pela Fundação Tutundjian para esse tipo de obra (Fabre & Deniau, 2018). Trata-se de um relevo cuja técnica é óleo sobre madeira e metal, de dimensão 51 cm x 60 cm x 10 cm, datado de 1929. Encontra-se emoldurado e foi inserido em uma caixa de acrílico em 2003, anos antes da fundação do MCB, pois a obra havia sido foco de vandalismo em exposições anteriores⁴⁸. A moldura possui fundo de placa fina de aglomerado tipo "platex"⁴⁹ e as laterais são confeccionadas em madeira. A obra está fixada ao fundo da moldura por quatro pontos de fixação, sendo um na parte superior, um na parte inferior, um na lateral direita e um na lateral esquerda. A moldura está fixada a uma placa de acrílico na parte posterior através de quatro parafusos (**Figura 3**). A caixa de acrílico não é completamente selada e seu fecho se dá pela junção do fundo (placa) com a cúpula, que é feita com o auxílio de dois pinos de acrílico na parte superior e dois pinos na parte inferior. Sua estrutura pode ser vista conforme ilustrado em **Figura 4**.

⁴⁷ Acompanhada pelo Dr. António Mendes, *registrar* do MCB, que relatou oralmente que todas as obras que são adquiridas pelo MCB são mantidas, ao máximo possível, conforme entraram para o acervo, ou seja, se a obra chegou com proteção de vidro ou acrílico, molduras (sendo ou não originais), assim elas serão mantidas. Algumas pinturas têm cartão no reverso, outras têm policarbonato e outras não têm nada. Não há uma padronização para as proteções frontais ou do reverso. Algumas recebem proteção para evitar o contato indesejado do público, no caso de objetos mais suscetíveis.

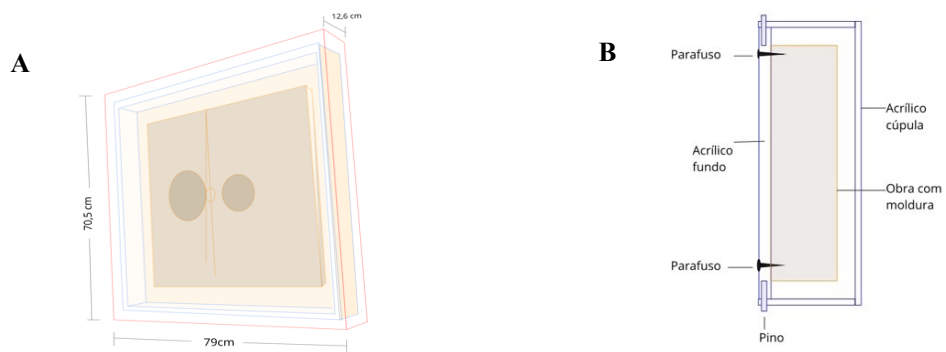
⁴⁸ Dados fornecidos oralmente pelo Dr. António Mendes.

⁴⁹ Platex é um painel de aglomerado de alta densidade e resistência constituído por fibras de madeira que tem um lado suave e outro rugoso.

Figura 3 Léon Tutundjian, 1929, s/título, relevo, óleo sobre madeira e metal, 51 cm x 60 cm x 10 cm. Acervo: Museu Coleção Berardo. (A): Obra inserida na vitrine: visão frontal; (B): Reverso da moldura, pontos de fixação da moldura no acrílico com parafusos (azul) e pontos de fixação da obra na moldura (vermelho)



Figura 4 Esquema gráfico da vitrine de Léon Tutundjian, MCB. (A) Esquema gráfico com medidas da vitrine; (B) Esquema da visão lateral da vitrine e modo de fixação



2.2.4 Estudo da QAI

Para melhor direcionar a investigação da relação entre a qualidade do ar no interior da vitrine e a qualidade do ar na área expositiva, dispositivos de amostragem passiva e *data loggers* de temperatura e HR foram inseridos no interior da vitrine e colocados na área expositiva, nomeadamente, na zona próxima exterior da vitrine. Mais de quatrocentos compostos orgânicos e inorgânicos são considerados poluentes do ar interior dos edifícios (González-Martín et al., 2021). A seleção dos dispositivos para a medição da qualidade do ar no interior da vitrine se deu pelos compostos passíveis de serem encontrados de acordo com a bibliografia consultada (Canosa & Norrehed, 2019; Grzywacz, 2006; Schieweck, 2009), o custo dos dispositivos, sua precisão, dimensão diminuta para ser inserido no interior da vitrine, tipo de amostragem, sendo que os dispositivos de amostragem passiva foram escolhidos por serem mais convenientes na amostragem em vitrines, e ainda foram considerados amostradores que fornecessem dados qualitativos e quantitativos, além da realização dos ensaios laboratoriais pelo fornecedor.

2.2.4.1 Materiais e métodos

Para a amostragem dos compostos voláteis, foram utilizados dois tipos diferentes de amostradores passivos difusivos, os tubos de aço com preenchimento de Tenax[®] TA (polímero de óxido de 2,6-difenil fenileno) para a adsorção dos compostos orgânicos voláteis (COV) e os amostradores passivos por difusão molecular dos vapores de ácidos em forma de *badge*, ambos fornecidos e analisados pelo *Swedish Environmental Research Institute* (IVL). Simultaneamente, a temperatura e HR foram monitorizadas através de *data logger*.

O funcionamento dos tubos Tenax[®] TA é certificado pela norma ISO 16017-2. Esses dispositivos são amostradores passivos por difusão feitos de tubos de aço inoxidável e preenchidos com o adsorvente sólido Tenax[®] TA para hidrocarbonetos C₆-C₉. Os tubos foram dessorvidos termicamente (Markes International, UNITY 1-ULTRA, 5 minutos, 250 °C) e analisados por cromatografia gasosa (GC). O cromatógrafo gasoso usado foi um Agilent 6890 equipado com detetor seletivo de massa (MS), modelo Agilent 5973N, em

modo de impacto de elétrons para identificação de compostos e um detetor de ionização de chama para quantificação simultânea. O GC foi equipado com uma coluna capilar CP Wax 52, Agilent (fase de polietileno glicol, 60 m, 0,32 mm i.d., 1,2 µm de espessura de filme) e foi utilizado He como gás de arraste. O programa de temperatura do forno de GC foi iniciado em 50 °C, mantido por 0 minutos e depois aumentado para 100 °C a 4 °C/min¹, depois aumentou para 220 °C a 8 °C/min¹, mantendo-se por 10 minutos. A calibração foi conseguida pela aplicação de microlitros de solução de metanol em tubos Tenax.⁵⁰

Para a detecção dos ácidos orgânicos no ar, foi utilizada a técnica de amostragem passiva por difusão de gases múltiplos, baseada na difusão molecular de gases no amostrador onde são coletados. Os dispositivos foram expostos no interior e no exterior da vitrine durante 28 dias, conforme indicação do fornecedor. A amostragem de dióxido de enxofre foi realizada por difusão com amostrador IVL, que posteriormente foi analisado seguindo especificações da ISO 10304-1:2007 (Qualidade de água e determinação de aniões dissolvidos por cromatografia iônica). As amostragens de ácido clorídrico, ácido fluorídrico, ácido acético e ácido fórmico foram conduzidas por amostragem difusa, seguidas de quantificação de acordo com SS-EN ISO 10304-1:2009. As análises do acetato e formiato foram realizadas por cromatografia iônica em solução, com um cromatógrafo Dionex (Dionex ICS-6000).⁵¹

Os parâmetros de temperatura e HR foram monitorizados através de *data loggers* da marca Testo, modelo 174H, programados para efetuar medições em intervalos de 30 minutos. O mini data logger 174H de temperatura e HR (60 x 38 x 18,5 mm), exatidão de ± 0,5 °C (-20 a +70 °C) e resolução de 0,1 °C. O sensor de humidade possui capacidade de medir entre 0 e 100 %HR, com exatidão de ± 3 %HR (2 a 98 %HR) e resolução de 0,1 %HR.

⁵⁰ Informações enviadas pela IVL.

⁵¹ Informação complementar enviada pela IVL.

2.2.4.2 Procedimentos para a amostragem do ar

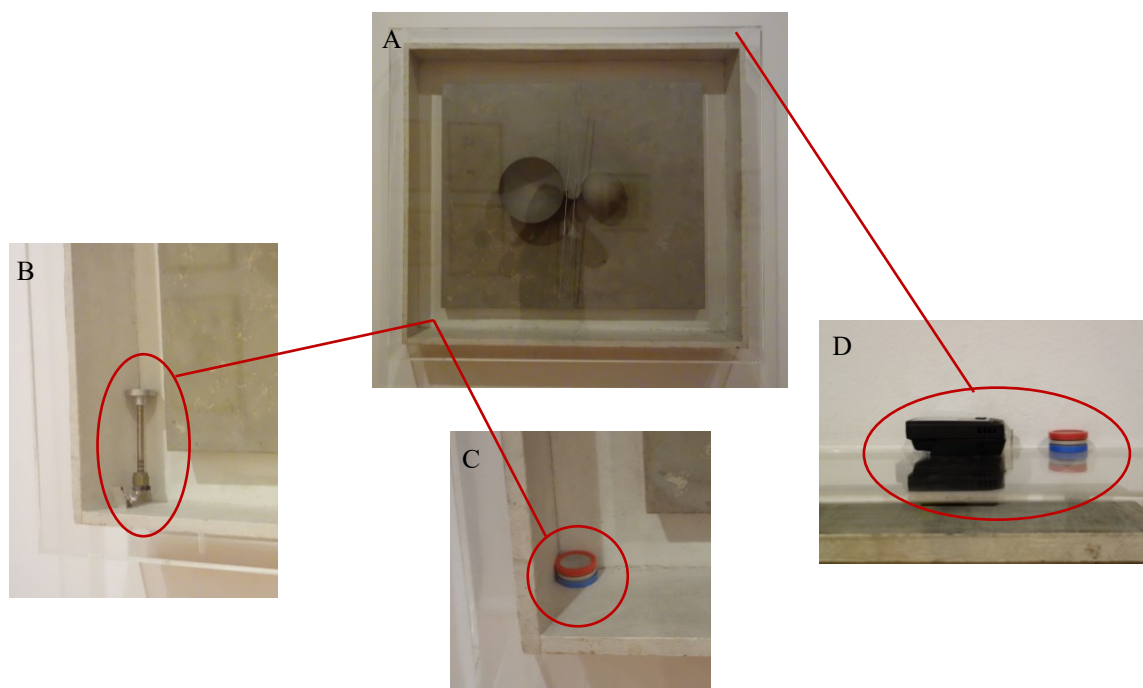
Durante o período integral da amostragem, a pintura permaneceu inserida na vitrine e exposta em uma das salas expositivas do MCB localizada na galeria 3 norte, no 2° piso do museu.

Os tubos Tenax® TA foram expostos durante 7 dias e os difusores de vapores ácidos foram expostos durante 28 dias. Os amostradores foram inseridos no interior da vitrine, pelo que se optou por proceder com as amostragens em tempos subsequentes para que a abertura da vitrine não interferisse no processo de captura dos compostos. Dessa forma, inicialmente foram expostos os dispositivos Tenax® TA e só após os 7 dias de amostragem, foram posicionados os dispositivos de gases ácidos dentro e fora da vitrine. Os *data loggers* também foram retirados para leitura na ocasião da abertura das vitrines e outros *data loggers* foram posicionados no local.

Um tubo Tenax® TA foi posicionado no interior da vitrine, no canto inferior esquerdo e um outro foi posicionado suspenso, cerca de 3 m do piso, na área expositiva, onde permaneceram entre os dias 20 e 28 de agosto de 2019 (Anexo A. Instruções de uso dos tubos Tenax® TA).

Os amostradores difusivos de múltiplos gases foram posicionados no interior da vitrine, no canto inferior esquerdo e outro no canto superior direito sobre a vitrine ao lado de um *data logger* (**Figura 5**), entre os dias 27/08/2019 e 24/09/2019. Ao final dos 28 dias de exposição, os dispositivos foram removidos, colocados nos frascos de embalagem individual conforme chegaram e então foram reenviados para a IVL proceder com as análises.

Figura 5 Posicionamento dos dispositivos de amostragem passiva na vitrine. (A): Pintura com a moldura na vitrine; (B): Dispositivo Tenax[®] TA; (C): Dispositivo para gases ácidos; (D): Data logger Testo e dispositivo para gases ácidos IVL posicionados sobre a vitrine.



Na **Tabela 23** estão especificados os dados referentes às amostragens realizadas, nomeadamente, o tempo de exposição dos dispositivos, os locais onde foram amostrados (dentro e fora da vitrine), a temperatura e HR no início e no final da amostragem e os compostos analisados com cada dispositivo.

Tabela 23 Dados referentes à amostragem realizada com os amostradores passivos

Dispositivos	Tenax® TA		Amostradores difusivos IVL	
Compostos	COV		Dióxido de enxofre, ácido acético, ácido fórmico, ácido fluorídrico e ácido clorídrico	
Local de amostragem	IV ^c	EV ^d	IV	EV
Início amostragem	20/08/2019 (16h13)	20/08/2019 (16h27)	27/08/2019 (15h42)	27/08/2019 (15h48)
Final amostragem	27/08/2019 (15h33)	27/08/2019 (15h34)	24/09/2019 (15h39)	24/09/2019 (15h37)
Temperatura inicial ^a (°C)	24,4	24,2	24,6	24,7
Temperatura final ^b (°C)	23,4	24,2	24,8	24,5
HR inicial ^a (%)	51,2	56,6	55	54,5
HR final ^b (%)	50,6	57,6	62,2	61,7

Nota. ^aTemperatura inicial e HR inicial dizem respeito aos valores exatos de temperatura e HR na hora inicial da amostragem; ^bTemperatura final e HR final dizem respeito aos valores exatos de temperatura e HR na hora final da amostragem; ^cInterior da vitrine; ^dExterior da vitrine.

2.2.4.3 Resultado e discussão

A amostragem de gases ácidos realizada no interior da vitrine permitiu detetar valores de concentração acima das concentrações suportadas pela metodologia utilizada. Segundo o fornecedor, os amostradores foram superexpostos ao ácido acético e ao ácido fórmico, pelo que os valores estimados podem estar subestimados (**Tabela 24**). Desta forma, os valores estimados de 490 µg m⁻³ para o ácido acético e superiores a 150 µg/m³ para o ácido fórmico, indicam que as concentrações dos dois ácidos se encontram em limites acima dos valores

recomendados para acervos que são $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respetivamente⁵² (ASHRAE, 2015). Nas análises do ar exterior da vitrine, as concentrações do ácido acético e ácido fórmico detetadas foram de $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respetivamente, indicando que a concentração destes ácidos é consideravelmente superior no interior da vitrine quando comparada à galeria expositiva.

Tabela 24 *Concentração dos gases ácidos detetados no interior e exterior*

Composto	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ STP*)	
	Interior da vitrine	Exterior da vitrine
Ácido acético	>490	13
Ácido fórmico	>150	22
Dióxido de enxofre	<0,2	<0,2
Ácido clorídrico	<0,7	<0,3
Ácido fluorídrico	<0,2	<0,2

Nota. *STP: Temperatura e Pressão Padrão (*do inglês: Standard Temperature and Pressure*) de 20°C e 1013 hPa. O amostrador no interior da vitrine foi superexposto e os resultados podem estar subestimados. Para detalhes, verificar em relatório IVL (ANEXO C).

Os vapores de ácidos carboxílicos reconhecidos como os principais gases danosos em ambientes interiores de MBA, são o ácido acético e o ácido fórmico. Estes compostos são considerados tema constante de investigação (Dupont & Tétreault, 2000; Grøntoft et al., 2014, 2018; Ryhl-Svendsen & Glastrup, 2002; Tétreault & Stamatopoulou, 1997), devido ao elevado risco de degradação dos materiais que integram o acervo. A vitrine estudada é construída em acrílico com a junção dos cantos seladas. A obra inserida na vitrine é uma

⁵² Na publicação da ASHRAE de 2015 é mencionado que "muito pouco se sabe sobre o ácido fórmico em várias concentrações" e na publicação do Getty Conservation Institute (Grzywacz, 2006) é sugerido a concentração máxima de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para acervos em geral.

pintura sobre madeira, assim como a sua moldura. Não foi, no entanto, possível realizar a identificação da madeira da obra e da moldura.

A concentração total de compostos orgânicos voláteis (COVT) é expressa em equivalentes de tolueno. Isso significa que os cálculos foram feitos como se todos os compostos fossem tolueno. A concentração das substâncias específicas reportadas, foram calculadas em níveis absolutos, ex., com as concentrações conhecidas de substâncias específicas, como referência para a calibração.⁵³

Ao contrário dos vapores ácidos, a concentração de COVT foi significativamente superior no exterior da vitrine, em comparação com a área expositiva (**Tabela 25**). No interior da vitrine a concentração medida de COVT foi de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enquanto no exterior, alcançou valores de 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta concentração supera os valores-limite de 328 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ indicados para acervos em geral⁵⁴ (ASHRAE, 2015), assim como os valores de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendados para o interior de edifícios não industriais, tendo em conta a saúde humana (Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente, 2009). Estes compostos deverão ser analisados separadamente, dado o potencial de risco de danos para os materiais do acervo. O n-hexanal foi a substância que apresentou maiores concentrações (**Tabela 25**). Também contribuíram para os valores elevados do COVT no exterior da vitrine, as concentrações de n-butanol (30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), tolueno (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), m-xileno (12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), a-pineno (9,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e o n-decano (7,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

⁵³ Adaptado do relatório da IVL (ANEXO C).

⁵⁴ Valor convertido de 100 ppb (1 ppb = 1×10^{-9}) a considerar uma pressão atmosférica normal ao nível do mar de 1013 hPa e uma temperatura de 20°C. COV: M=78,9516 g/mol¹.

Tabela 25 *Concentração e tempo de retenção dos COVs.*

Composto	Concentrações em $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Interior da vitrine	Exterior da vitrine
n-decano	1,5	7,6
a-pineno	2,2	9,8
tolueno	1,9	20,0
n-hexanal	1,0	74,0
n-butanol	2,2	30,0
m-xileno	2,7	12,0
3-careno	<0,7	<0,7
limoneno	<0,7	1,9
1,3,5-trimetilbenzeno	<0,6	1,3
1-octano-3-ol	<0,6	<0,6
2-etilhexanol	4,1	<1,0
álcool benzílico	0,7	1,0
TMPD-DIB*	7,7	6,9
naftaleno	<0,6	0,6
benzeno	<0,9	<0,9
COVT	65	750

Nota. *2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol di-isobutirato (TMPD-DIB). Para detalhes rever relatório IVL (ANEXOD).

2.2.4.4 *Parâmetros pré-existent de qualidade do ar interior no MCB*

Com o objetivo de assegurar a adequada manutenção da qualidade do ar interior, desde 1996 que o Centro Cultural Belém, efetua periodicamente análises de qualidade do ar nos três módulos de seu complexo, incluindo o museu. Seu último relatório se remete a setembro de 2020, onde constam análises referentes a temperatura, HR, partículas suspensas no ar,

dióxido de carbono, monóxido de carbono, COVT, formaldeído, bactérias e fungos⁵⁵. Essa auditoria, realizada em fevereiro e maio de 2020, evidenciou que no interior do MCB, o formaldeído foi o composto cujas concentrações se mostraram acima⁵⁶ dos valores estabelecidos como seguros para a saúde humana (0,1 mg/m³) (Portaria 353-A/2013, 2013) e que são valores ainda mais elevados do que as concentrações recomendadas pela ASHRAE (ASHRAE, 2015) de 10 a 20 ppb⁵⁷ para acervos em geral. O resultado foi atribuído às remodelações constantes nos espaços expositivos, alteração da disposição de salas de exposições e pintura de paredes.⁵⁸ Os espaços no MCB são interligados, o que dificulta o isolamento da área em fase de remodelação. Entretanto, o sistema de ar condicionado é desligado na galeria específica durante o tempo em que é feita a remodelação, com o objetivo de minimizar a contaminação dos outros espaços expositivos.

O sistema de ar-condicionado no MCB tem disponibilidade para funcionamento durante 24 horas por dia e trabalha com filtros de partículas G4 nos pré-filtros e M5 antes das baterias,

⁵⁵ Dados adaptados do *webinar* da rede temática sobre a QAI-MBA, apresentado por Sérgio Caeiro, em 21/12/2021. A gravação encontra-se disponível no site da rede temática: <https://m.porto.ucp.pt/pt/qai.mba>. Autorização para gravação e uso dos dados para fins académicos de tese no ANEXO A.

⁵⁶ Concentrações não reveladas no *webinar* da rede temática. Os resultados que constam no relatório das análises de qualidade do ar do MCB não são de livre acesso.

⁵⁷ Conversão: de 12,4 µg/m³ a 24,8 µg/m³.

⁵⁸ Dados adaptados do *webinar* da rede temática sobre a QAI-MBA, apresentado por Sérgio Caeiro, em 21/12/2021, onde é citado parte do relatório de auditoria realizado em 2020: "*Os resultados evidenciam que o módulo 3 (Museu Berardo) é o local onde são detetados os níveis de concentração de formaldeído mais elevados, fora do limite regulamentar. Apresenta-se como justificação destes valores o facto de o museu ser um espaço dinâmico, com alterações consecutivas à disposição das salas, das exposições que nelas se encontram, à pintura de paredes. De facto, entre as medições de fevereiro e de maio, a exposição do piso 2 encerrou para remodelação, tendo-se verificado que estavam a ser construídas paredes falsas, devidamente pintadas, em espaços que anteriormente não possuíam quaisquer tipos de obstruções. De forma semelhante, o piso 0, anteriormente em remodelação, já se encontrava aberto ao público com uma nova exposição.*" A gravação encontra-se disponível no site da rede temática: <https://m.porto.ucp.pt/pt/qai.mba>. A autorização para gravação e uso dos dados para fins académicos de tese pode ser consultada no ANEXO A.

nomeadamente, na recirculação do ar. Adicionalmente, as unidades de tratamento do ar são periodicamente desinfetadas com o Biocida EQB 91⁵⁹.

Em Portugal, a portaria de 2021 (Portaria N° 138-G/2021, 2021) ao abrigo do Decreto-Lei n° 101-D/2020 (Decreto-Lei N° 101-D/2020, 2020) estabelece que todos os edifícios de comércio e serviços em funcionamento estão sujeitos a requisitos relacionados com a qualidade do ar interior, mediante limiares de proteção e condições de referência. A Portaria n° 138-G/2021 de 1 de julho, define especialmente as metodologias de medição dos poluentes (normas CEN ou normas ISO e que as medições devem ser realizadas por laboratórios acreditados ou que detenham um sistema de gestão de qualidade implementado), os limiares, avaliação, critérios de conformidade e a metodologia a adotar na fiscalização do cumprimento das normas aprovadas. Os poluentes abrangidos pela Portaria n° 138-G/2021 são os PM₁₀, PM_{2,5}, COV, monóxido de carbono, dióxido de carbono, formaldeído e radão, além dos poluentes microbiológicos, bactérias e fungos.

2.2.4.5 Parâmetros de temperatura e HR

Os dados de temperatura e HR apresentados neste estudo de caso, são referentes às medições realizadas no interior e na galeria, exterior da vitrine no período entre os dias 20 de agosto de 2019 e 24 de janeiro de 2020⁶⁰.

⁵⁹ Dados adaptados do *webinar* da rede temática sobre a QAI-MBA, apresentado por Sérgio Caeiro, em 21/12/2021.

⁶⁰ As medições no interior e no exterior da vitrine foram realizadas no período entre os dias 20/08/2019 e 09/07/2020, entretanto o MCB foi encerrado ao público em fevereiro de 2020 em consequência da pandemia de COVID19, período em que as galerias expositivas foram remodeladas. Durante esse período, a vitrine foi aberta e os *data loggers* foram realocados para outras galerias do museu. Consideramos que não dispúnhamos de informações suficientes para suportar as análises dos registos de temperatura e HR do período posterior a fevereiro de 2020 (pandemia) e por esta razão, achamos prudente trabalhar com um período menor, mas com os dados necessários referentes a local onde os dispositivos se encontravam e fecho da vitrine.

O MCB possui um sistema de ar-condicionado que é mantido em funcionamento durante 24 horas por dia, como mencionado anteriormente. Entretanto, o grande fluxo de público, abertura de portas, interligação entre os vários espaços e andares do museu, tendem a dificultar sua climatização. As medições realizadas com os *data loggers* Testo na galeria (exterior da vitrine), mostraram uma oscilação de HR entre 27 % e 73 % (**Figura 6**), enquanto a temperatura oscilou entre 18,6 °C e 25,2 °C durante os cinco meses de monitorização. Os gráficos referentes aos dados coletados no interior da vitrine, evidenciaram a eficiência da vitrine para a estabilidade da HR, mesmo que esta não esteja completamente selada. A HR oscilou entre 46 % e 53 % e a temperatura se mostrou muito semelhante à temperatura da galeria, com registos entre 18,6 °C e 24,8 °C (**Figura 7**).

Figura 6 Exterior da vitrine: Gráfico de temperatura e HR referente ao intervalo entre os dias 20/08/2019 e 24/01/2020 na galeria 3 norte piso 2 no MCB

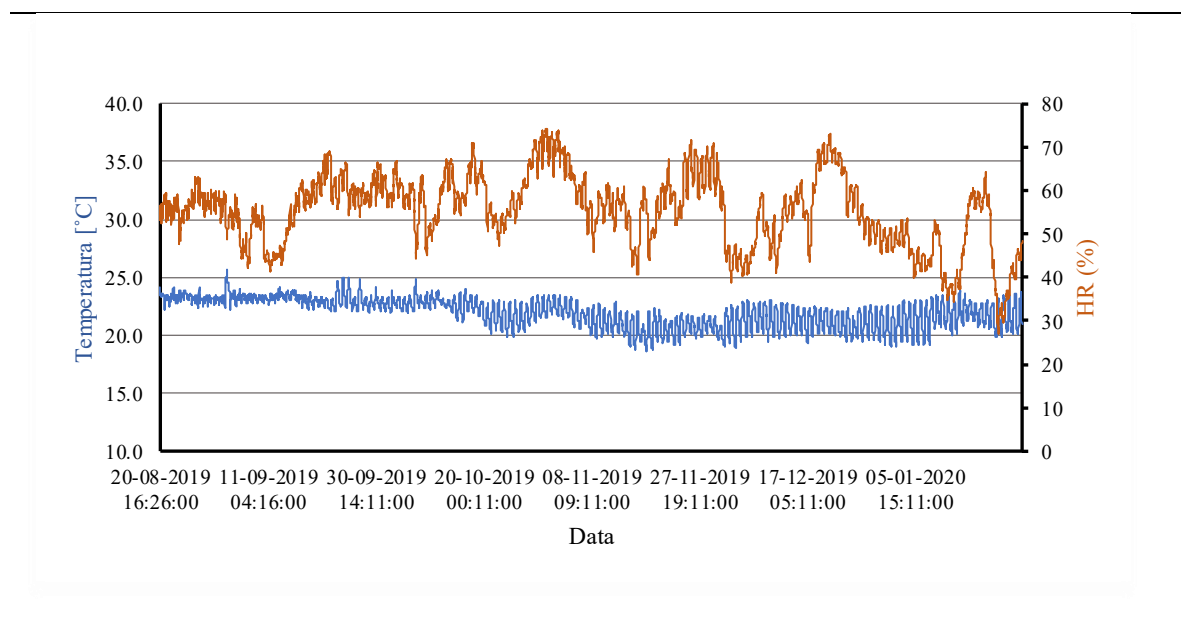
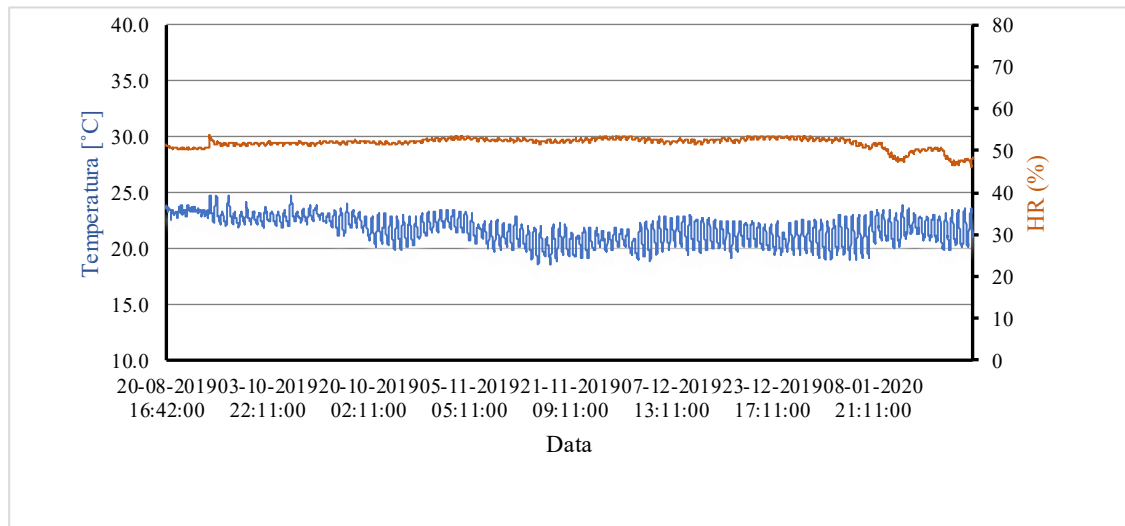


Figura 7 Interior da vitrine: Gráfico de temperatura e HR referentes ao intervalo de dias entre 20/08/2019 e 24/01/2020 no interior da vitrine, localizada na galeria 3 norte piso 2 no MCB



A Tabela 26 mostra que, dentro do erro (desvio padrão), a temperatura máxima, mínima e média, são iguais dentro e fora da vitrine. Entretanto, a HR média é igual dentro e fora, mas a máxima é claramente mais elevada no exterior e a mínima é mais elevada no interior, o que sugere o fator protetivo da vitrine em relação a HR elevada, evitando as grandes oscilações que acontecem no exterior. No ciclo diário, observado durante o mês de janeiro (inverno), que foi o mês que se mostrou com maiores oscilações, os registros apontaram que a temperatura foi mais elevada sempre ao final do dia, por volta das 21h e que seu mínimo diário foi registrado no início da manhã, por volta das 8h. Quando os dados são analisados em gráficos diários ou mensais, é possível verificar pequenas oscilações diárias de temperatura de $\pm 1,5$ °C tanto no exterior (EV) como no interior da vitrine (IV) (Figura 8 e Figura 9).

Tabela 26 Valores médios e desvio padrão de temperatura e HR comparativos entre o interior e exterior da vitrine entre os dias 20/08/2019 e 24/01/2020

		IV	EV
Temperatura (°C)	máxima	24,8	25,2
	mínima	18,7	18,6
	média	21,7	22,0
	desvio padrão	1,2	1,3
HR (%)	máxima	53	74
	mínima	46	27
	média	52	55
	desvio padrão	1,3	8,3

Figura 8 Gráfico de temperatura e HR referente ao interior da vitrine durante o mês de janeiro de 2020

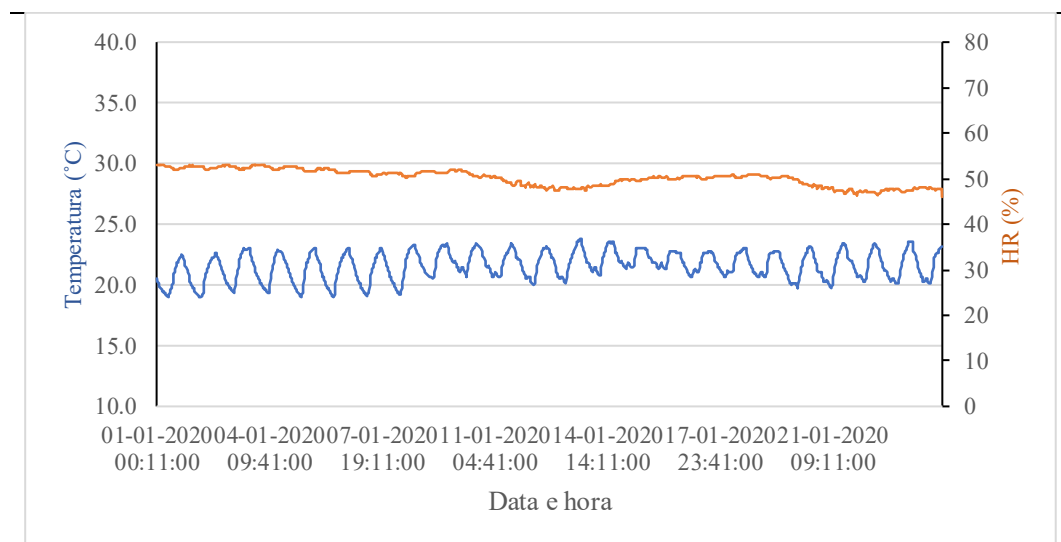
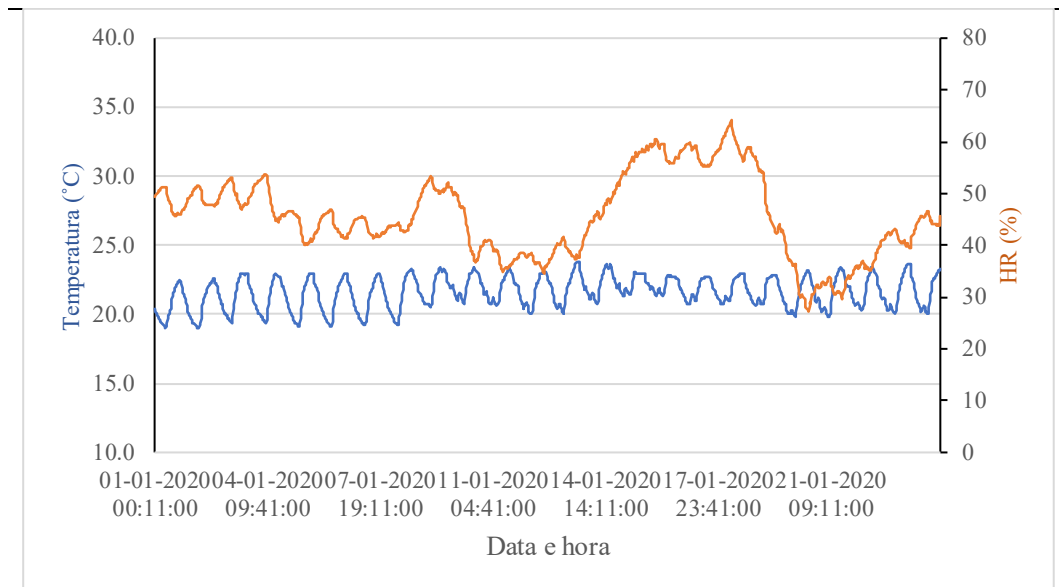


Figura 9 Gráfico de temperatura e HR referente ao exterior da vitrine durante o mês de janeiro de 2020



2.2.5 Estudo da pintura

2.2.5.1 Amostragem

Com o propósito de identificar a técnica pictórica do artista e analisar possíveis alterações que pudessem já ter ocorrido na camada pictórica da obra e da moldura, amostras da pintura de Tutundjian foram coletadas, preparadas e investigadas por meio de múltiplas análises. As análises se desenvolveram no Laboratório HERCULES, na Universidade de Évora, uma das instituições de acolhimento do doutoramento. Cada amostra foi dividida em duas, uma foi preparada em resina para corte estratigráfico, e a outra foi dividida em camadas e da subdivisão, foram mantidas inteiras uma amostra de cada uma das três amostras.

Para a identificação dos materiais utilizados na policromia da obra e da moldura, foram conduzidas análises em microscopia ótica⁶¹, microscopia eletrónica de varrimento e microanálise por espectrometria de energia dispersiva de raios X (MEV-EDX), μ -Difração de raios X (DRX), micro-espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (μ -FT-IR)⁶² e micro-espectroscopia de Raman (μ -Raman)⁶³.

2.2.5.2 Coleta e preparação das amostras

A pintura, assim como sua moldura, apresentava perdas da camada pictórica e áreas em fase de descolamentos acentuados nas áreas de junção dos relevos. Retirou-se as micro amostras onde a pintura já se encontrava solta, próximo às áreas de perdas da pintura e em regiões onde não eram visíveis ao espectador. Foram retiradas duas amostras da pintura e duas da moldura, sendo que uma das amostras da pintura foi considerada perdida antes mesmo de preparar os cortes estratigráficos (Figura 10). Ao se tratar de um painel com pintura monocromática, foi considerado suficiente analisar amostra proveniente de um único ponto do objeto. Para a preparação do corte estratigráfico, as amostras foram englobadas em resina de metilmetacrilato Technovit™ 4004. Esta é uma resina de embutimento transparente com sistema de dois componentes, sendo um pó e o outro um catalisador líquido com tempo de polimerização entre 9 e 10 minutos. A preparação das amostras se procedeu utilizando duas partes da resina depositada em molde de silicone e solidificada com uma parte do solvente Technovit™ 4004. Após o tempo recomendado para solidificar, a amostra foi depositada sobre a resina endurecida e uma segunda camada de resina foi adicionada da mesma forma que a primeira. Após a polimerização, a resina foi polida até que a estratigrafia da amostra

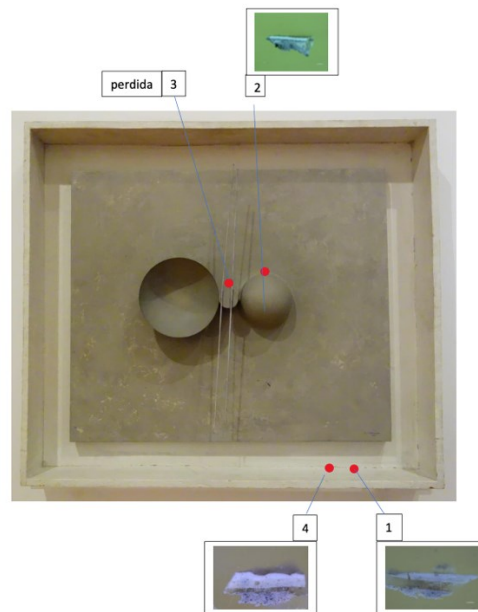
⁶¹ Realizada nos laboratórios do Centro de Biotecnologia e Química Fina (CBQF) da Universidade Católica Portuguesa, Porto, pela própria autora.

⁶² As análises em MEV-EDX, DRX e μ -FT-IR foram realizadas no laboratório HERCULES por Margarida Nunes com o acompanhamento e preparação das amostras pela autora.

⁶³ As análises em μ -Raman foram realizadas no laboratório HERCULES por Gláucia Wanzeller com o acompanhamento e preparação das amostras pela autora.

da pintura estivesse claramente visível em secção transversal ao microscópio ótico. As mesmas amostras foram utilizadas para as análises no MEV-EDX.

Figura 10 *Léon Tutundjian, óleo sobre madeira e metal. MCB: detalhe dos locais de retirada das amostras.*



Nota. A amostra 3 foi perdida, por isso são consideradas somente as amostras 1, 2 e 4

2.2.5.3 *Materiais e métodos*

A microscopia ótica foi realizada com o auxílio de um microscópio Olympus BX51 e as imagens foram registadas através de uma câmara da marca Olympus modelo EP50 com ampliação de 4x/0.10 e a 10x/0.25.

Para a microscopia eletrónica de varrimento e microanálise por espectrometria de energia dispersiva de raios X (MEV-EDX), foi usado um microscópio eletrónico de varrimento de pressão variável (HITACHI S-3700N) acoplado a um espectrómetro de raios-X por dispersão em energia com detetor do tipo SDD, de marca Brüker e modelo XFlash 5010

equipado com o *software* Esprit1.9. As amostras haviam sido previamente englobadas em resina epóxida e as imagens e as análises foram adquiridas no modo de pressão variável com uma pressão de 40 Pa na câmara com uma voltagem de aceleração de 20 kV. As imagens foram adquiridas no modo de elétrons retro difundidos (BSE).

A μ -Difração de raios X (DRX), foi realizada a partir de um difratômetro Brüker AXS D8 Discover equipado com uma fonte de radiação de Cu K α (40 kV, 40 mA) e um detetor Brüker LynxEye (Brüker AXS). Foi utilizado um colimador de feixe com 0,3 mm de diâmetro. As condições de análise foram de 40 kV, 40 mA, em intervalo 2θ de 3 a 70°, com um incremento de 0,05° e 2s por incremento. A identificação das fases cristalinas presentes foi realizada com o *software* X'Pert HighScore Plus (PANalytical) com recurso à base de dados PDF-2 (ICDD - International Centre for Diffraction Data).

Para a realização das análises de micro-espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (μ -FT-IR) foi utilizado um espectrômetro Brüker modelo Tensor 27, acoplado ao microscópio Hyperion 3000. Este espectrômetro tem um detetor MCT (Telureto de Mercúrio e Cádmi) arrefecido por azoto líquido e é controlado pelo *software* OPUS 7.2, Brüker Optik GmbH 2012. Os resultados foram obtidos na região 4000-600 cm⁻¹, com 64 *scans* e com uma resolução espectral de 4 cm⁻¹, utilizando uma objetiva de ATR (20x) com um cristal de Germânio com 80 μ m de diâmetro.

As análises em micro-espectroscopia de Raman (μ -Raman) foram realizadas usando um microscópio Raman XPlora Horiba Jobin-Yvon (Horiba, Kyoto, Japão), equipado com microscópio óptico Olympus BX41TF de alta estabilidade (Olympus Corporation) e detetor Ivac CCD. Um laser de diodo com comprimento de onda de excitação de 785nm e uma potência máxima do laser de 20mW. O feixe de laser foi focado com uma lente objetiva Olympus de 50 \times (abertura numérica 0,75), com 0,2-2,0mW de potência do laser na superfície da amostra (5 a 10 acumulações, 10s cada) em faixa espectral de 100 a 2000 cm⁻¹. O aparelho foi calibrado para linha de Si de 520,7 cm⁻¹. A luz retroespalhada foi dispersa por uma grade de 1200/mm e o sinal Raman foi detetado por um dispositivo acoplado de carga de depleção profunda resfriado por Peltier (-70 ° C) (RD-VIU, 578 \times 384 pixels). A resolução espectral nominal obtida para as medidas foi de cerca de 4 cm⁻¹.

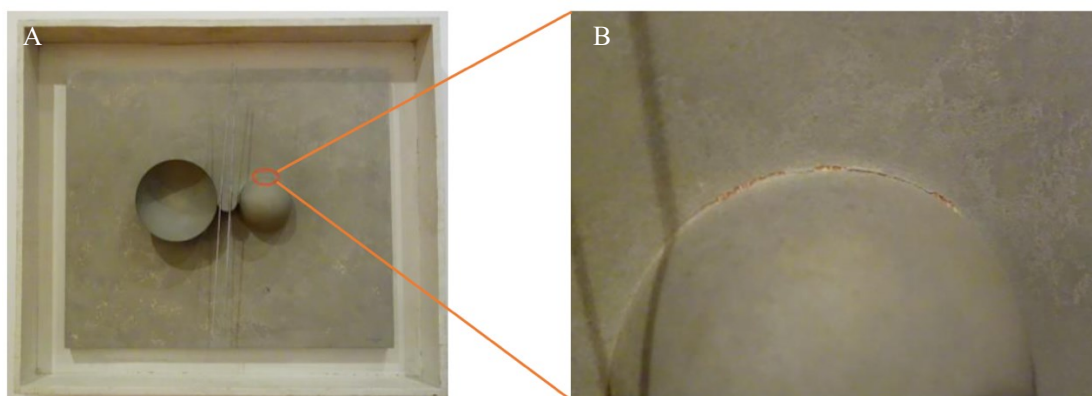
2.2.5.4 Resultado e discussão

A técnica atribuída ao objeto de estudo, consta nos registos do MCB, como óleo sobre madeira e metal. Alguns pigmentos são suscetíveis a determinados poluentes e sua identificação foi considerada relevante, desde que concentrações significativas de ácidos carboxílicos foram detetadas no interior da vitrine. Mesmo sem haver registos da moldura e seu histórico prévio à aquisição pelo MCB, considerou-se pertinente avaliar adicionalmente sua policromia e composição, pois a mesma se encontra inserida na vitrine junto ao objeto de estudo. No contexto da atual investigação, objetivou-se identificar os materiais de policromia do objeto e da moldura e estabelecer uma eventual conexão entre os gases ácidos, nomeadamente ácido acético e ácido fórmico.

2.2.5.5 Camadas de policromia da pintura

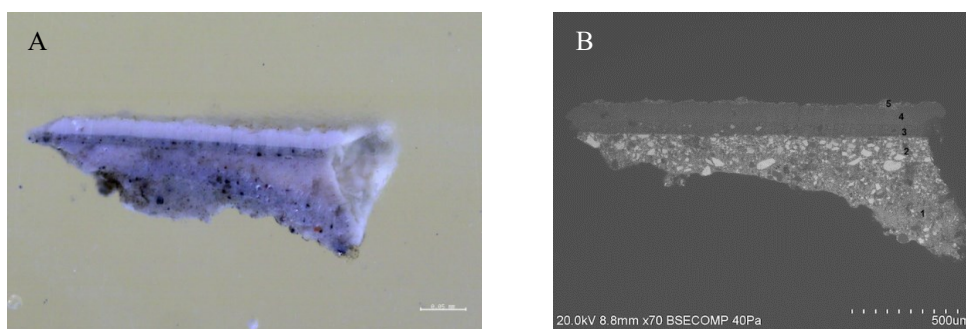
A amostra utilizada para as análises, foi coletada de uma área de junção na parte superior, entre o relevo convexo e o suporte plano da pintura (**Figura 11**). No local de retirada da amostra, já havia perdas por conta da movimentação dos materiais, deixando exposta parte da madeira do suporte. Inicialmente, as micro-amostras foram analisadas com o auxílio de um microscópio ótico, que permitiu uma visão mais detalhada das camadas da amostra. O corte estratigráfico da amostra da pintura, estabelecida como amostra n° 2, evidenciou um total de 5 camadas, conforme ilustrado na **Figura 12**. As análises elementares conduzidas em MEV-EDX identificaram a presença do elemento chumbo na camada de preparação, nomeadamente, camadas n° 1 e n° 2, evidenciado pelo mapa elementar. Na camada n° 1 foram adicionalmente identificados os elementos bário e cálcio, indicando a presença de sulfato de bário e carbonato de cálcio, podendo haver um pouco de zinco. Na camada n° 2 foram identificados igualmente o chumbo e o cálcio (carbonato de cálcio). Foram evidenciados na camada n° 3 os elementos enxofre, cálcio, bário e zinco, este último em quantidades bem pequenas. Na camada n° 4 foi detetado basicamente o zinco (óxido de zinco), o bário e o enxofre (sulfato de bário). Por fim, na camada n° 5, camada superficial da pintura, foi identificado o sulfato de bário e carga de carbonato de cálcio (**Figura 13**).

Figura 11 Léon Tutundjian, óleo sobre madeira e metal. MCB. (A) Sinalização do local de retirada da amostra; (B) Detalhe do local de retirada da amostra, junção entre o relevo semiesférico e o suporte plano de madeira.



Nota. Área com lacunas e descolamentos da camada pictórica.

Figura 12 Corte estratigráfico da amostra n° 2. (A) corte estratigráfico visto em microscopia ótica (10x/0.10). Créditos: A.P.; (B) MEV ampliação 70 x com numeração das camadas.

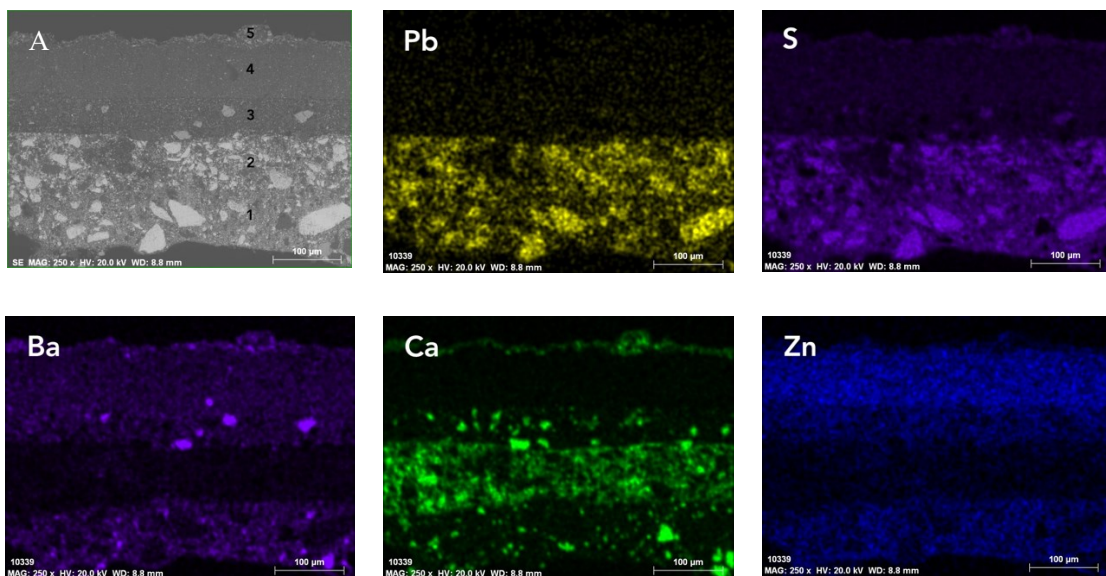


Nota. Créditos: Margarida Nunes.

Os procedimentos analíticos realizados por meio de μ -Difração de raios X e μ FT-IR identificaram na camada n° 1 (preparação), a presença da calcite (CaCO_3), litopone e provavelmente de uma resina natural triterpenica, sem identificar qual. O litopone é um

pigmento branco que resulta da mistura de sulfato de bário (BaSO_4) e sulfureto de zinco (ZnS), utilizado em massas de preparação para corrigir as imperfeições da madeira, podendo ter sido usado com essa finalidade no painel. Já a resina triterpenica, é mais comum de ser encontrada em camadas superficiais, na utilização de vernizes, como o Damar ou o Mastic. No caso de ter sido identificada na primeira camada, talvez possa ser atribuído ao material utilizado para aderir o relevo ao suporte de madeira, já que a amostra foi retirada em local de junção entre as duas partes.

Figura 13 Mapa de distribuição elementar MEV-EDS da amostra 2 em detalhe com ampliação de 250 x por MEV-EDS. (A) Camadas numeradas; (Pb) Mapa elementar do chumbo; (S) Mapa elementar do enxofre; (Ba) Mapa elementar do bário; (Ca) Mapa elementar do cálcio e (Zn) Mapa elementar do zinco.

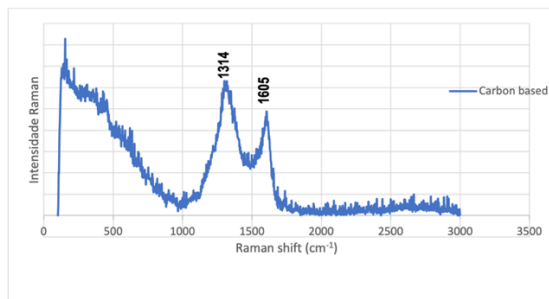


Nota. Créditos: Margarida Nunes.

Adicionalmente, as análises conduzidas com a técnica de espectroscopia Raman, evidenciaram a presença de carbono (Figura 14) na camada n° 3, que pode ser atribuída a um pigmento à base de carvão ou mesmo às impurezas.

Os resultados das análises em XRD reiteram e adicionam aos resultados das análises de MEV-EDX (Tabela 27).

Figura 14 Espectroscopia Raman: Amostra n° 2, camada n°3



Nota. Carvão ou pigmento à base de carvão onde as absorções aparecem entre o intervalo de 1300-1600 cm⁻¹.
Créditos: Gláucia Wanzeller.

A identificação do branco de chumbo na camada de preparação da obra (camadas 1 e 2), em um ambiente com elevada concentração de ácido acético e ácido fórmico, leva a algumas considerações. Entretanto, as análises em Raman não detetaram nenhuma alteração nas amostras analisadas, assim como nenhuma cristalização foi observada nas superfícies das amostras através do MEV-EDX. O chumbo, na presença de ácido acético, tende a formar uma camada branca espessa em sua superfície, enquanto na presença do ácido fórmico, tende a formar uma camada fina e escura de compostos de formiatos (Tétreault et al., 2003). A corrosão do chumbo pelo ácido acético, tem forte ligação com a umidade ambiente. Em atmosfera com umidade relativa superior a 67%, a mobilidade dos íons de acetato aumenta, permitindo uma deterioração mais rápida da superfície do chumbo (Tétreault et al., 1998). Seriam necessários mais estudos para verificar se o pigmento branco de chumbo pode sofrer alterações quando aplicado em camada de preparação em contato direto com suportes de madeira.

Tabela 27 *Amostra 2: Resultado MEV-EDX*

Camadas	Elementos	Compostos
1	chumbo (Pb), cálcio (Ca), bário (Ba)	branco de chumbo, carbonato de cálcio (grãos), sulfato de bário
2	chumbo (Pb) e cálcio (Ca)	carbonato de cálcio (calcite) e branco de chumbo
3	bário (Ba), enxofre(S), cálcio (Ca) e zinco (Zn)	sulfato de bário (grãos), sulfato de cálcio e um pouco de zinco
4	zinco (Zn), bário (Ba) e enxofre (S)	óxido de zinco e sulfato de bário (barite)
5	bário (Ba) e cálcio (Ca)	sulfato de bário (barite) e carbonato de cálcio

Nota: Resultados das análises de MEV-EDX. Créditos: Margarida Nunes.

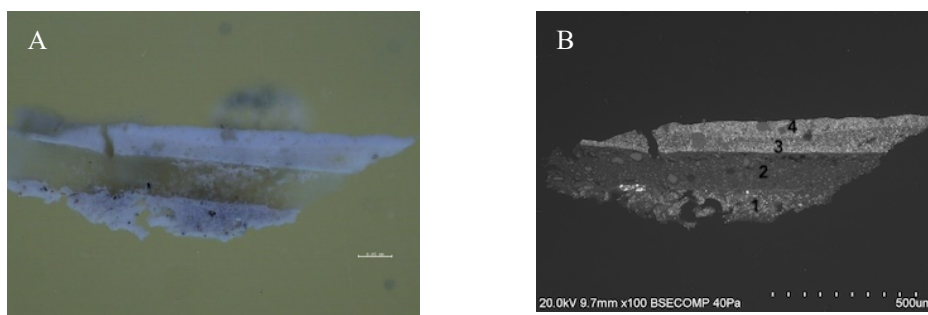
2.2.5.6 Camadas de policromia da moldura

As amostras n° 1 e n° 4 foram coletadas da parte inferior da moldura em áreas muito próximas. Dessa forma, o resultado da análise de uma amostra serviu para validar os resultados da outra. O corte estratigráfico analisado em microscopia ótica e pelas imagens em MEV-EDX, evidenciam um total de 4 camadas, conforme ilustrado em **Figura 15** e **Figura 16**.

Na amostra 1, camada n° 1 (camada de preparação), as análises em MEV-EDX mostraram a presença do cálcio (carbonato de cálcio) e do bário (sulfato de bário), que se tornaram evidentes nos mapas elementares. Com as análises em FT-IR, foi identificada a presença de uma resina triterpenica, ainda na primeira camada. Na camada n° 2 foram detetados os elementos cálcio, enxofre, bário e zinco. O FT-IR confirmou a presença de calcite nesta mesma camada. A camada n° 3 se mistura com a camada n° 4 nas análises em MEV-EDX. Para essas camadas, foram identificados o cálcio (calcite), bário (barite), zinco e enxofre. As

análises realizadas no FT-IR identificaram a presença da calcite e do litopone nas camadas 3/4.

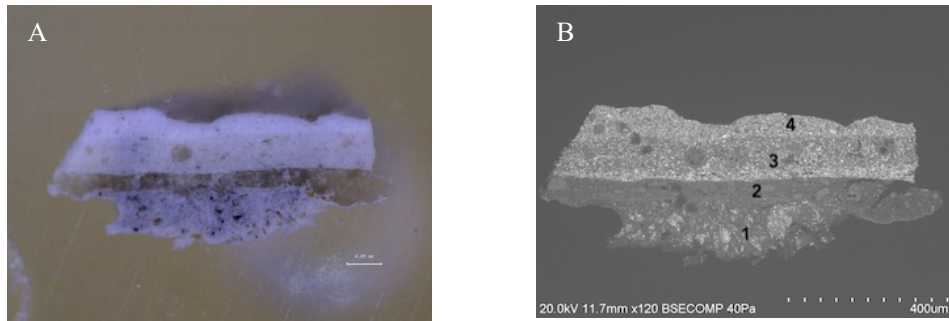
Figura 15 Corte estratigráfico da amostra n° 1. (A) corte estratigráfico visto em microscopia ótica (4x/0.10). Créditos: A.P.; (B) SEM ampliação 100 x com numeração das camadas.



Nota. Créditos: Margarida Nunes.

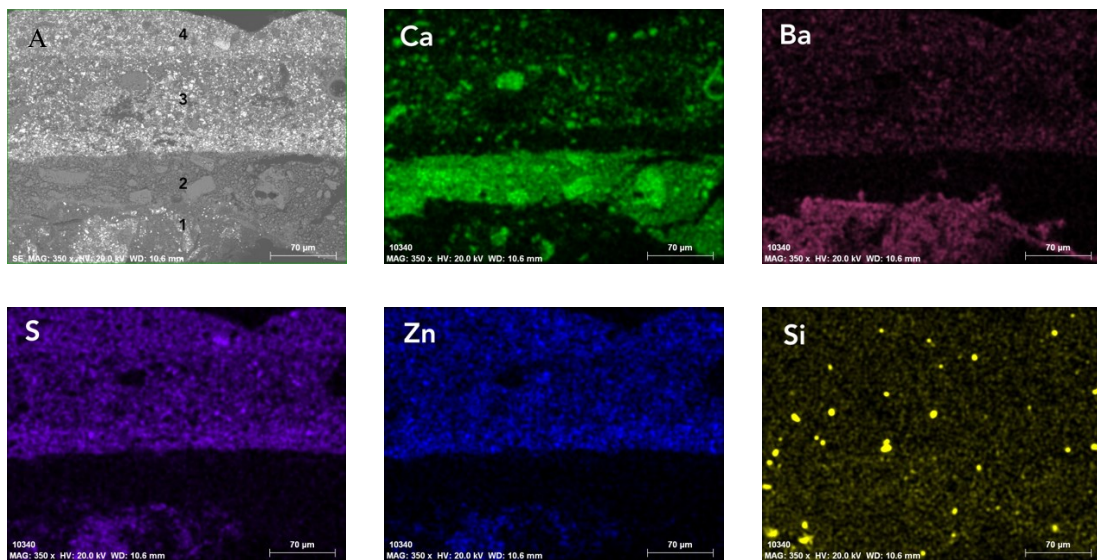
Através das análises realizadas em MEV-EDX na amostra 4, camada n° 1, foram detetados os elementos bário, cálcio, enxofre e um pouco de zinco. Na camada n° 2 o cálcio (carbonato de cálcio) se mostrou predominante, mas também foram identificadas partículas de silício, indicando a presença de quartzo. Na camada n° 3 foi detetado o zinco, bário, enxofre, bastante cálcio e talvez um pouco de silício. Na camada n° 4 igualmente foi encontrado o zinco, bário, cálcio e enxofre (**Tabela 28**). Quando observado no mapa, as camadas 3 e 4 parecem ser uma só. O silício pode ser visto como partículas espaçadas pela amostra, mas o elemento dominante é o zinco, que pode ser observado com aspeto brilhante. A visualização no mapa SE (*Secondary Electrons*) auxilia na identificação dos elementos, conforme observado na Figura 17.

Figura 16 Corte estratigráfico da amostra n° 4: (A) corte estratigráfico visto em microscopia ótica (10x/0.25). Créditos: A.P.; (B) MEV ampliação 120 x com numeração das camadas.



Nota. Crédito do MEV: Margarida Nunes.

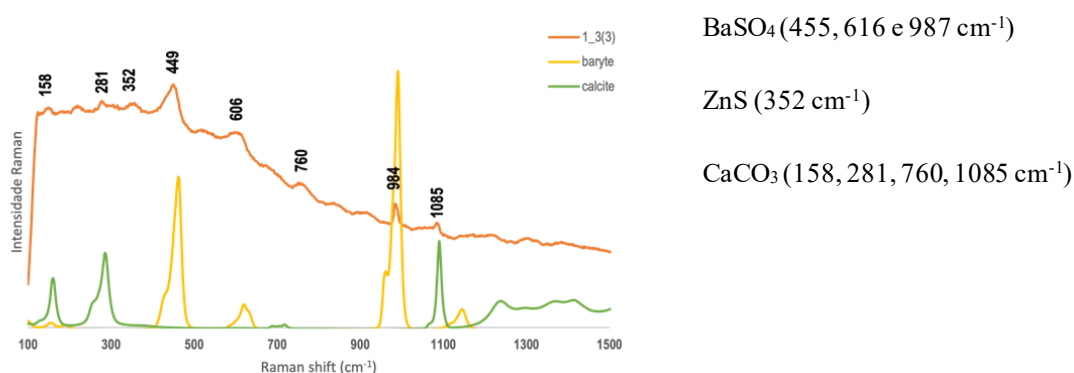
Figura 17 Mapa de distribuição elemental MEV-EDS da amostra 4. (A) Detalhe da amostra 4 com ampliação de 350 x por MEV-EDS. Camadas numeradas no canto superior esquerdo e mapa elemental do cálcio (Ca), bário (Ba), enxofre (S), zinco (Zn) e silício (Si).



Nota. Crédito: Margarida Nunes.

Os resultados em Raman, evidenciaram a presença da calcite e barite na camada n° 3 da amostra da policromia da moldura, além da contribuição do sulfureto de zinco, que junto ao sulfato de bário, forma o litopone (Figura 18).

Figura 18 Espectroscopia Raman: Camada n°3 da amostra n°1, referente a policromia da moldura onde evidencia a presença de calcite e barite e uma provável presença do sulfureto de zinco



Nota. Crédito: Gláucia Wanzeller.

Tabela 28. Resultados MEV-EDX: Policromia da moldura

	Amostra 1	Amostra 4
Camada 1	cálcio (carbonato de cálcio) e bário (sulfato de bário)	cálcio, bário, zinco e enxofre
Camada 2	cálcio, bário, enxofre e zinco	cálcio (carbonato de cálcio)
Camada 3	cálcio, bário, zinco e enxofre	cálcio, bário, zinco e enxofre
Camada 4	cálcio, bário, zinco e enxofre	cálcio, bário, zinco e enxofre

Nota: Na amostra n° 4 foram encontrados resquícios de branco de chumbo, assim como na análise pontual da camada de preparação da camada 1 da amostra n° 1. Crédito: Margarida Nunes.

As análises em FT-IR e XRD evidenciaram resultados semelhantes na amostra 2 da pintura, em que o litopone ($\text{BaSO}_4 + \text{ZnS}$) foi identificado na camada de preparação, enquanto o mesmo composto foi detetado na camada 3 da amostra 1 (moldura). Pela mesma análise, a resina triterpenica foi identificada tanto na camada de preparação da pintura (amostra 2) como da moldura (amostra 1). Fato este, que não pode se passar despercebido. A semelhança dos materiais de revestimento utilizados tanto para a obra como para a moldura, pode ser um indicativo da moldura ser original e contemporânea à obra. Entretanto, maiores investigações precisariam ser realizadas para confirmar tal hipótese.

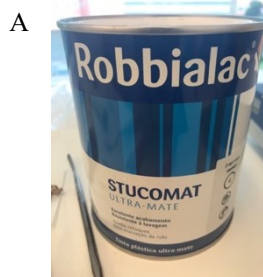
2.2.6 *Estudo dos materiais de construção dos espaços expositivos*

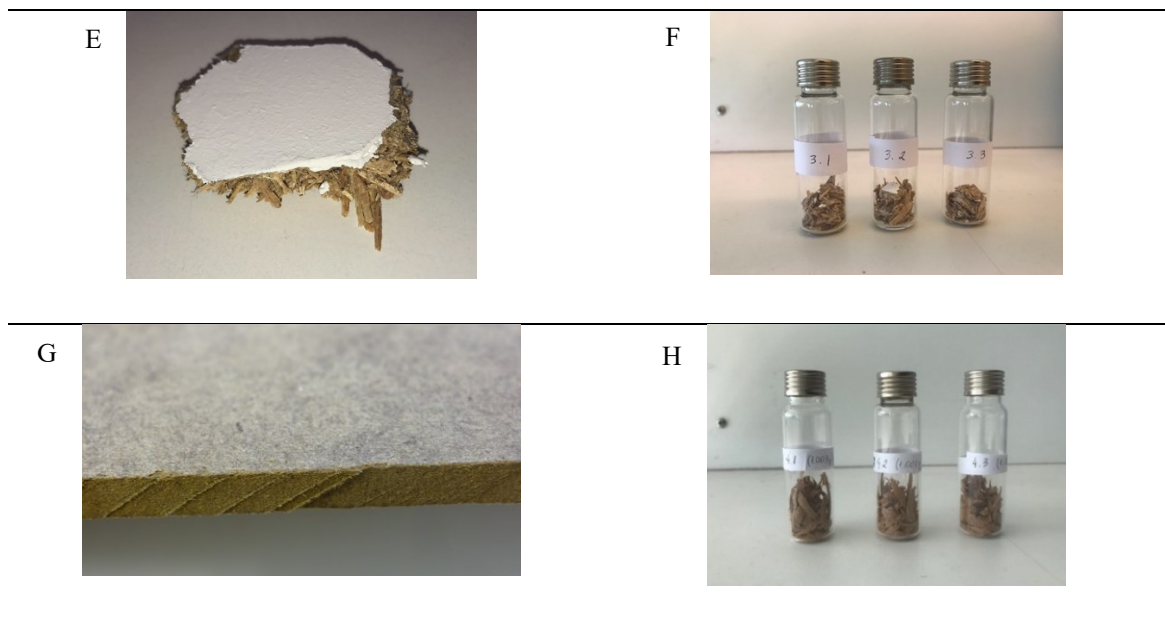
2.2.6.1 *Escolha e preparação das amostras*

O MCB é reconhecido como um museu dinâmico graças às diversas exposições temporárias que são realizadas a cada ano. Para que cada nova exposição receba um caráter e uma imagem que a faz única, os espaços quase sempre são remodelados, as paredes recebem uma cor diferente, por vezes são projetadas bases e vitrines expositivas e algumas vezes, paredes novas e divisórias são construídas, para os quais materiais diversos são usados e inseridos nos espaços. Durante o período que foi realizado o estudo sobre a qualidade do ar no interior da vitrine e na sala expositiva, foi detetado que os espaços que eram remodelados para receber uma nova exposição eram interligados com as demais salas de exposição do acervo. Como já mencionado anteriormente, a arquitetura dos espaços dificulta que seja efetuado um isolamento entre as diversas áreas do museu. Partindo dessa observação e das elevadas concentrações de COVT encontradas na área expositiva, considerou-se relevante, a nível experimental, coletar amostras dos principais materiais utilizados em suas remodelações e prosseguir com a análise da possível emissão de compostos voláteis. Para isso, quatro amostras de materiais diferentes foram selecionadas. A coleta se deu diretamente num espaço do museu que passava por fase de remodelação Os materiais coletados foram: a tinta utilizada para revestir as divisórias de aglomerados, o aglomerado MDF (*medium density fiberboard*) sem camada de preparação, o aglomerado de partículas com as duas faces

revestidas de MDF, que aqui será identificado simplesmente como "aglomerado" e o aglomerado com o revestimento de tinta (**Figura 19**). A tinta da amostra foi identificada como tinta plástica na cor branca Ultra-Mat Stucomat da marca Robbialac[®]. Três réplicas de cada amostra foram inseridas cada uma num *vial* de 20 mL com tampa. Um *vial* controle foi fechado no mesmo local que os outros, de forma a permitir identificar e desprezar os compostos voláteis do local em que foi fechado. Para cada *vial* foram inseridos aproximadamente 1,0 g de amostra, utilizando uma balança Scaltec (Max. 320 g, d=0,001 g). Foi produzida uma amostra de tinta pura, sem adição de água. O MDF foi raspado com uma lâmina, de forma a permitir uma medição mais precisa e deixar expostas maior número de áreas favorecendo a emissão de compostos voláteis. O aglomerado teve suas partículas desconstruídas para permitir a pesagem e facilitar a colocação no *vial* (**Figura 19**).

Figura 19 Amostras de materiais de construção de exposição temporária antes e após serem pesadas e inseridas em vials. (A) Tinta plástica Robbialac Stucomat Ultra-mate branca; (B) Vials com tinta; (C) Aglomerado; (D) Vials com aglomerado; (E) Aglomerado pintado (revestimento aplicado há mais de 6 meses); (F) Vials com aglomerado pintado; (G) MDF; (H) Vials com MDF.





2.2.6.2 Procedimentos e condições do HS-SPME-GC/MS

A microextração em fase sólida (SPME) em *headspace* (HS) seguida pela análise em cromatografia gasosa acoplada a um espectrômetro de massa (GC/MS) é uma técnica analítica que permite a detecção e quantificação de uma ampla variedade de COVs. O dispositivo SMPE inclui uma agulha em cuja ponta é posicionada uma fibra coberta com um polímero ou um adsorvente sólido que extrai os analitos voláteis da amostra recolhida por absorção ou adsorção e que é depois introduzida no GC/MS para dessorção a temperatura elevada e posterior análise (Curran et al., 2015). Para a extração da amostra em *headspace*, foi utilizada a fibra revestida com Divinilbenzeno/Carboxeno/Polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) da Supelco, referência 57298-U a 60 °C e com pré-incubação de 10 minutos. O tempo de exposição da fibra no *vial* com as amostras foi de 30 minutos e o tempo de dessorção da fibra no injetor de GC foi de 10 minutos.

Das três amostras de cada material, a amostra 1 foi exposta à fibra do SMPE, sem padrão interno, para análise qualitativa. Nos *vials* que continham as amostras 2 e 3, foi acrescentado dodecano deuterado para a calibração e normalização das variações da técnica. Para cada *vial*, foi adicionado 1 μ L de uma solução de dodecano deuterado a aproximadamente 0,7 mg/mL¹.

A cromatografia gasosa foi realizada utilizando um cromatógrafo Bruker GC 456 Scion TQ, equipado com uma coluna capilar CP-Wax 58 FFAP (50 m de comprimento, I.D. 0,25 mm e espessura do filme de 0,20 μm), e foi utilizado He (1 mL/min) como gás de arraste. A temperatura do injetor foi de 250 °C (*splitless*: 25 min). O programa de temperatura do forno do GC foi iniciado em 40 °C com 3 minutos de espera, aumentado a 5 °C/min até 225 °C com o tempo de espera de 5 minutos. O espectrômetro de massa funcionou em modo de impacto eletrônico (EI) a 70 eV, *Full Scan* entre 33-350 m/z. e utilizou-se uma biblioteca de espectros NIST versão 2.3, maio de 2017.

2.2.6.3 Resultado e discussão

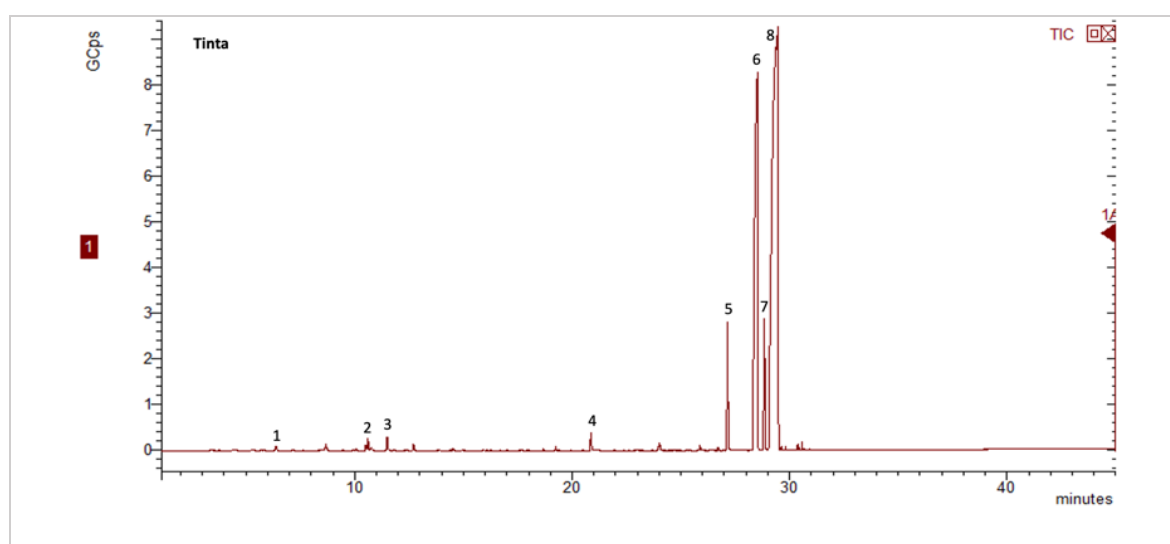
A técnica utilizada para a detecção de COVs emitidos a partir de materiais utilizados nas remodelações dos espaços expositivos, permitiu identificar cerca de 100 compostos voláteis emitidos pelos materiais amostrados. Apesar da detecção de um amplo número de compostos, a técnica não permite a detecção do formaldeído e do acetaldeído. Os resultados obtidos dos compostos detetados estão expressos em $\mu\text{g/g}^1$ e são avaliados de forma comparativa entre eles. Dos compostos detetados pela técnica, os cromatogramas (Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23) evidenciam sua abundância. O ácido acético foi identificado em abundância relativa, entre o total de compostos detetados, mas não está incluído nos cromatogramas de cada amostra, assim como outros compostos (Anexo E), porque a comparação não é feita entre os compostos do mesmo grupo, ex: ácidos com ácidos, aldeídos com aldeídos, etc.⁶⁴

Os painéis de derivados de madeira são conhecidos como fontes importantes de COVs, já que fibras, partículas ou folheados de madeira são unidos com o auxílio de colas e adesivos, além de receber outros aditivos na sua produção, tais como agentes de cura e solventes (Adamová et al., 2020). Adicionalmente, um revestimento final pode ou não, ser aplicado. O tipo de madeira utilizada na confecção dos aglomerados e sua espessura (Cinar, 2018) também proporcionam forte influência na emissão dos compostos desses materiais. Além

⁶⁴ Joel Pereira, CINATE, comunicação feita pessoalmente.

disso outros fatores colaboram para a emissão dos COVs, tais como a temperatura, HR, velocidade do ar, taxa de troca do ar, fatores relacionados com o tratamento do painel e ao seu processo de fabrico, como o teor de humidade e teor de resina, entre outros (Zhang et al., 2018).

Figura 20 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS da tinta utilizada em revestimentos de aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB.



Nota. A abundância dos compostos está expressa em giga counts (GCps). Os picos de 1 a 8 estão representados na Tabela 29. Fonte: Relatório CINATE (ANEXO E).

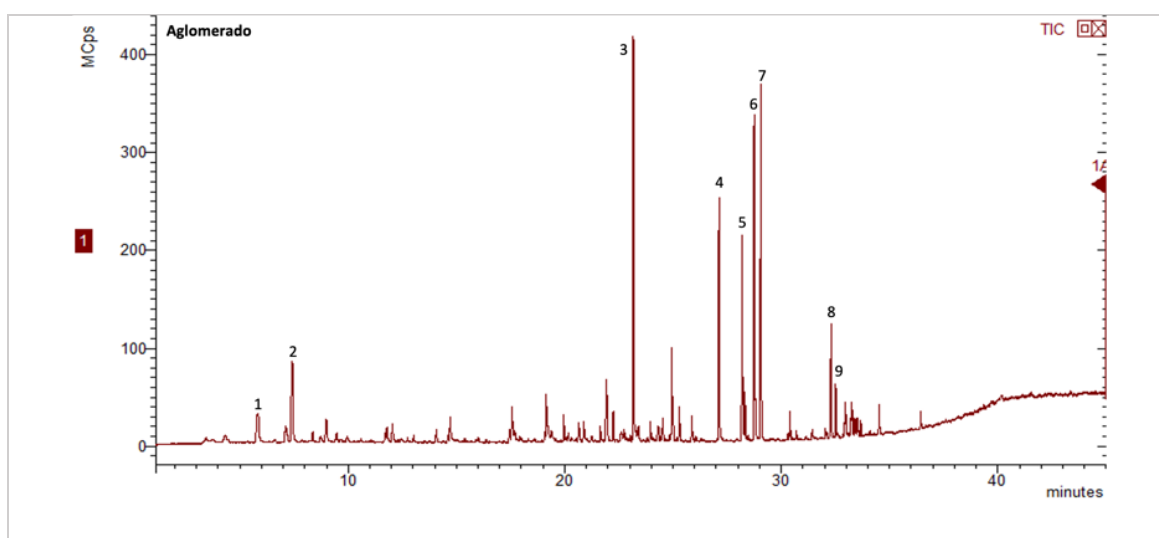
Tabela 29 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos da tinta utilizada em revestimentos de aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB

Pico	Nome do composto	Tempo de retenção (min)	CAS*
1	éter dibutílico	6,397	142-96-1
2	1-butanol	10,876	71-36-3
3	acrilato de butilo	11,496	141-32-2
4	benzaldeído	20,883	100-52-7

5	etanol,2-(2-butoxietoxi)	27,126	112-34-5
6	etanol,2-(2-butoxietoxi),acetato	28,323	124-17-4
7	1,3-pentanediol, 2, 2,4-trimetil-, 1-isobutirato	28,747	77-68-9
8	2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato	29,052	6846-50-0

Nota. *Número de registro.

Figura 21 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS dos aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB



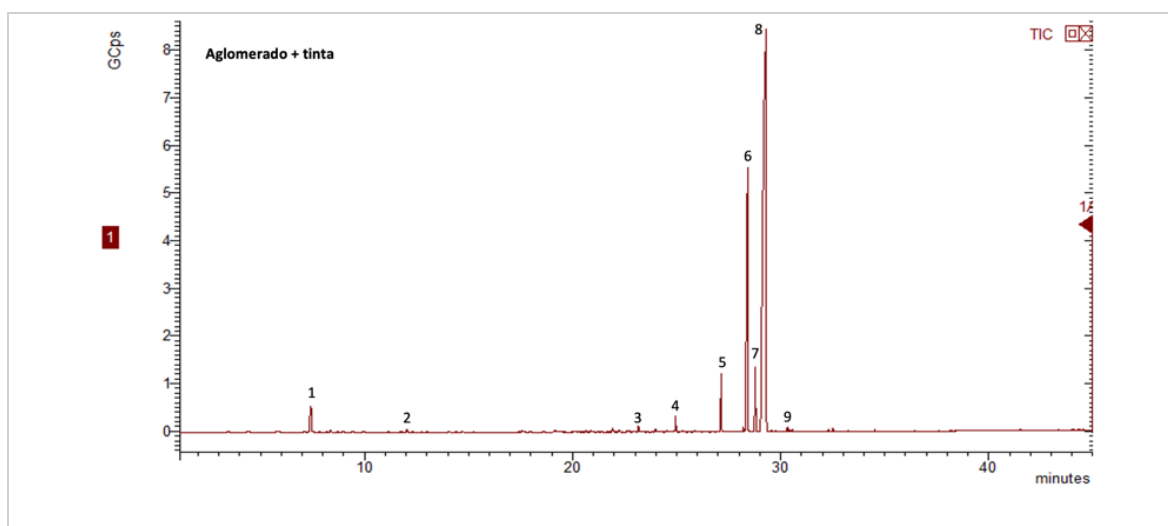
Nota. A abundância dos compostos está expressa em mega counts (MCps). Os picos de 1 a 9 estão representados na Tabela 30. Fonte: Relatório CINATE (ANEXO E).

Tabela 30 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos dos aglomerados de madeira nas galerias de exposição do MCB

Pico	Nome do composto	Tempo de retenção (min)	CAS
1	etanol	5,809	64-17-5
2	α -pineno	7,428	80-56-8
3	etanol,2-(2-etoxietoxi)	23,167	111-90-0

4	etanol, 2-(2-butoxi)etoxi	27,126	112-34-5
5	ácido hexanoico	28,19	142-62-1
6	1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato	28,747	77-68-9
7	2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato	29,052	6846-50-0
8	ácido neodecanoico	32,3	26896-20-8
9	ácido octanoico	32,511	124-07-2

Figura 22 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS do aglomerado de madeira revestido com tinta utilizado nas galerias de exposição do MCB



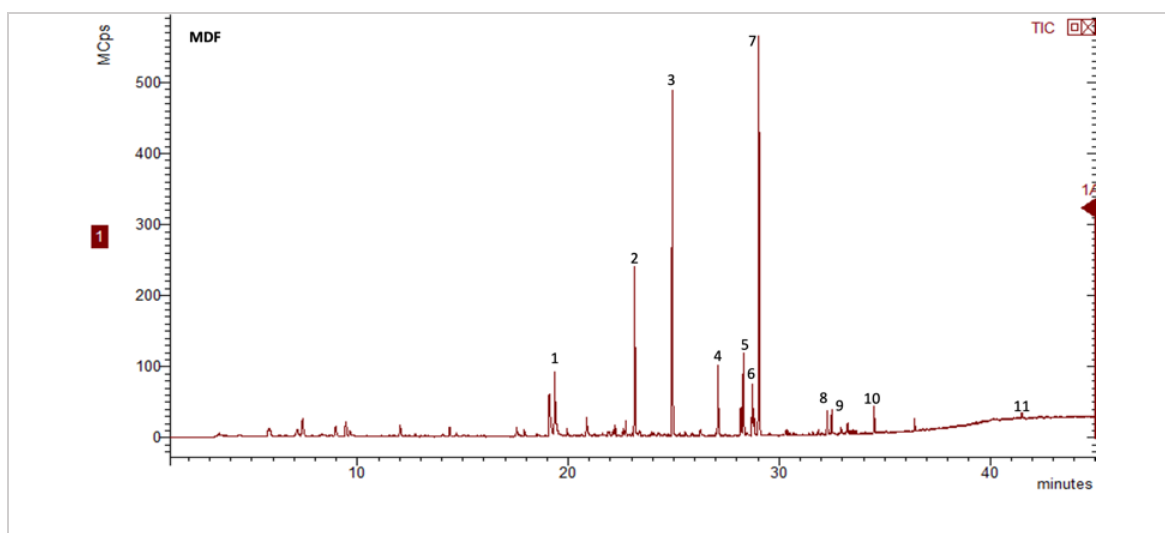
Nota. A abundância dos compostos está expressa em *giga counts* (GCps). Os picos de 1 a 9 estão representados na Tabela 31. Fonte: Relatório CINATE (ANEXO E).

Tabela 31 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos do aglomerado de madeira revestido com tinta utilizado nas galerias de exposição do MCB

Pico	Nome do composto	Tempo de retenção (min)	CAS
------	------------------	-------------------------	-----

1	α -pineno	7,428	80-56-8
2	limoneno	12,047	5989-54-8
3	etanol, 2-(2-etoxietoxi)	23,167	111-90-0
4	α -terpineol	24,947	98-55-5
5	etanol, 2-(2-butoxietoxi)	27,126	112-34-5
6	etanol, 2-(2-butoxietoxi)-, acetato	28,323	124-17-4
7	1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato	28,747	77-68-9
8	2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato	29,052	6846-50-0
9	ácido hexanóico, 2-etil	30,318	149-57-5

Figura 23 Cromatograma obtido por SPME-GC/MS dos compostos emitido do MDF utilizado nas galerias de exposição do MCB



Nota. A abundância dos compostos está expressa em *mega counts* (MCps). Os picos de 1 a 11 estão representados na Tabela 32. Fonte: Relatório CINATE (ANEXO E).

Tabela 32 Identificação e tempo de retenção dos compostos emitidos do MDF utilizado nas galerias de exposição do MCB

Pico	Nome do composto	Tempo de retenção (min)	CAS
1	furfural	19,382	98-01-1
2	etanol, 2-(2-etoxietoxi)	23,167	11-90-0
3	α -terpineol	24,947	98-55-5
4	etanol, 2-(2-butoxietoxi)	27,126	112-34-5
5	ácido hexanoico	28,19	142-62-1
6	1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato	28,747	77-68-9
7	2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato	29,052	6846-50-0
8	ácido neodecanoico	32,3	26896-20-8
9	ácido octanoico	32,511	124-07-2
10	ácido nonanoico	34,524	112-05-0
11	vanilina	41,508	121-33-5

A emissão de COVs dos mesmos materiais no ambiente real de museu tende a ter forte influência das condições térmicas e de humidade, do *design* estrutural, da qualidade de construção do espaço, da taxa de troca do ar com o ar externo, do tempo de secagem e dos tipos de revestimentos, entre outros (Adamová et al., 2020), pelo que os valores obtidos deverão ser considerados numa base comparativa e não absoluta.

A investigação conduzida no MCB teve como foco principal o estudo da qualidade do ar no interior da vitrine e sua comparação com o ar da sala de exposições. Foram detetados os principais COVs emitidos dentro e fora da vitrine e suas possíveis fontes foram investigadas. Para isso, foi necessária a compreensão dos materiais de composição da obra em estudo, da vitrine e dos materiais utilizados na construção e remodelações das galerias de exposição. Verificou-se que a obra de Tutundjian é pintada sobre madeira e em conjunto com a sua

moldura, igualmente de madeira, estão inseridas em uma vitrine de acrílico. Também foi observado que as paredes e divisórias utilizadas nos espaços expositivos são construídas de aglomerados de madeira pintados e adicionalmente o piso dos espaços expositivos onde a obra se encontra é de madeira. As madeiras e seus subprodutos são conhecidos como fontes de ácidos, nomeadamente o ácido acético e ácido fórmico. Adicionalmente, são fontes importantes de aldeídos e terpenos, além de outros COVs. O formaldeído, entretanto, está entre os aldeídos amplamente investigados em ambientes de acervos (Aldag et al., 2017; Hatchfield & Carpenter, 1987; Puglieri, 2014; Raychaudhuri & Brimblecombe, 2000; Striegel, 1992). Sua emissão é proveniente basicamente de três fontes: (a) os compostos de formaldeído provenientes da própria madeira; (b) o formaldeído livre residual das resinas à base de formaldeído; (c) o formaldeído libertado a partir das degradações estruturais de painéis à base de madeira (Zhang et al., 2018). O elevado teor de formaldeído encontrado durante a auditoria⁶⁵ efetuada no MCB em fevereiro e maio de 2020, pode justificar-se pelas paredes em MDF e aglomerado, construídas durante as remodelações das galerias expositivas, sendo que o formaldeído emitido por placas de aglomerados de partículas tende a aumentar com o aumento da HR. Apesar do composto não ter sido medido durante o atual projeto de investigação, considerou-se pertinente inserir os dados pré-existentes para uma melhor interpretação do contexto.

2.2.7 Comentários

Entre os aldeídos o hexanal foi detetado em todas as amostras de aglomerados, MDF e na galeria expositiva. É considerado um composto emitido indiretamente pelas madeiras, como produto principal da oxidação do ácido linoleico (Czajka et al., 2020). O n-hexanal foi encontrado em concentrações elevadas de 74 µg/m³ nas análises efetuadas no ar exterior à vitrine, na galeria expositiva, quando comparado com outros compostos.

⁶⁵ Dados adaptados do webinar da rede temática sobre a QAI-MBA, apresentado por Sérgio Caeiro, em 21/12/2021, onde é citado parte do relatório de auditoria realizado em 2020.

Análises resultantes das amostras dos aglomerados e MDF evidenciaram a presença de alguns aldeídos e seus respectivos ácidos carboxílicos, como o n-hexanal e o ácido hexanóico (Anexo E), que foi uma ocorrência igualmente observada em estudos anteriores semelhantes (Schieweck, 2009). É suposto que esses ácidos sejam produtos de emissão secundária resultantes do processo de degradação térmica e oxidativa dos ácidos gordos provenientes dos fragmentos de madeira durante os processos de secagem e prensagem no fabrico dos aglomerados (Schieweck, 2009).

O ácido hexanóico ($C_6H_{12}O_2$) é um ácido carboxílico também conhecido por ácido caprónico, devido ao seu desagradável odor de cabra. Foi detetado em concentrações elevadas no aglomerado, aglomerado com tinta e no MDF. O ácido hexanóico é usado para fazer uma variedade de produtos, tais como adesivos, selantes, cosméticos, biocidas, ceras, entre outros (*Compound Hexanoic Acid Data Collection Sheet (1/1)*, n.d.).

Ainda outros compostos foram detetados em concentrações mais elevadas na galeria expositiva em relação ao interior da vitrine, entre eles o n-butanol ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$), tolueno ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$), m-xileno ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$), α -pineno ($9,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o n-decano ($7,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O tolueno é conhecido por afetar borrachas e polímeros modernos (Pretzel, 2003) e apesar de ter sido encontrado na sala expositiva, não foi propriamente identificado em elevadas concentrações nas análises dos aglomerados e tinta. Os terpenos, como α -pineno e o limoneno, detetados nas amostras de aglomerados, no ar da sala expositiva e em menor concentração, no interior da vitrine, tendem a ter relação com a madeira e suas partículas, e não com as resinas e colas (Adamová et al., 2020; Czajka et al., 2020) e são responsáveis por um elevado percentual dos COVs normalmente emitidos diretamente pelas madeiras macias (Czajka et al., 2020).

Entre os COVs detetados através do adsorvedor Tenax[®] TA, o 2,2,4-trimetil-1,3-pentanodiol di-isobutirato (TMPD-DIB)⁶⁶ foi o único composto cujas concentrações ($7,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) detetadas foram superiores no interior da vitrine quando comparado ao espaço expositivo

⁶⁶ No inglês: TXIB, conforme consta no relatório da IVL dos resultados dos COVs detetados dentro e fora da vitrine (Anexo D).

(6,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Como já mencionado, todos os outros COVs detetados apresentaram concentrações mais elevadas na galeria expositiva. O TMPD-DIB é um composto de odor suave normalmente utilizado como plastificante na produção de plásticos, produtos de vinil, uretanos e vários outros polímeros para inclusão de bens de consumo, como pisos de PVC, papel de parede, tintas à base de água e produtos de couro artificial (Cain et al., 2005) e como ligante em tintas de látex e tintas a base de água (*Compound 2,2,4-Trimethylpentanediol Diisobutyrate Data Collection Sheet*, n.d.; Nakashima et al., 2007). Foi encontrado em todas as amostras de materiais de construção, contudo, na amostra de tinta o teor foi mais elevado. Oportuno destacar que a tinta amostrada, trata-se de uma tinta plástica à base de água numa dispersão estireno-acrílica (*Robbialac - Tinta Aquosa Ultra Mate Para Interior e Exterior, Stucomat 052*, 2020).

A concentração de COVT de 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ encontrada no interior da vitrine, sugere o potencial protetivo da caixa de acrílico, quando comparada com a concentração elevada de COVT de 750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ encontrada na área expositiva, superando de forma significativa a recomendação máxima de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ indicada na prevenção de coleções em geral (ASHRAE, 2015) e de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ recomendada para a saúde humana, valor este referente a ambientes interiores não industriais (Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente, 2009). Este resultado pode ser um indicador de ventilação insuficiente ou deficiente no espaço (Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente, 2009), mas adicionalmente sugere que houve fontes importantes de poluentes no espaço na ocasião da amostragem. Para relacionar estes resultados com as remodelações das galerias expositivas, assim como novos materiais introduzidos nos espaços, seria necessário realizar um número maior de medições. Além do valor de COVT, os compostos encontrados em concentrações elevadas necessitarão ser analisados individualmente quanto ao seu potencial risco de dano para a coleção.

O efeito protetivo das camadas de revestimento sobre os aglomerados, não foi explorado nesse trabalho. Contudo, estudos já realizados (Zhang et al., 2018) indicam que os revestimentos aplicados nas placas de aglomerados, tendem a formar uma barreira para o formaldeído e outros COVs, o que atua positivamente dificultando suas emissões. Contudo,

Tétreault (1999a) recomenda que haja critérios na escolha dos materiais de revestimento para que os mesmos não atuem como uma fonte adicional de poluentes. O uso de tintas que secam pelo processo de coalescência (ex. emulsão, látex) são preferíveis em museus devido a baixa emissão de compostos voláteis, entretanto, o tempo de secagem prévia recomendado por Tétreault (2003) antes de estar próximo aos objetos do acervo, é de 4 semanas. Já as tintas que secam por polimerização oxidativa (ex. à base de óleo, resinas de uretano, alquídicas e éster epoxi) devem ser prioritariamente evitadas devido aos gases ácidos emitidos (Tétreault, 2011a).

Apesar das concentrações elevadas de ácido acético e ácido fórmico detetadas no interior da vitrine, não foi observada nenhuma alteração na policromia da obra ou da moldura, através dos exames analíticos desenvolvidos neste trabalho. Contudo, estratégias como, aumentar a circulação de ar no interior da vitrine ou introduzir um material adsorvente para os gases ácidos (acético e fórmico), podem ser medidas preventivas a considerar para mitigar riscos e evitar danos futuros ao objeto (Cruz et al., 2004; Tétreault, 2021b; Thickett et al., 2011; Zhu et al., 2020).

2.3 Estudo de caso: Estudo da qualidade do ar no interior do Museu Nacional Soares dos Reis

2.3.1 Introdução

O estudo da qualidade do ar em museus é um estudo complexo que é próprio de cada edifício e do acervo que ele abriga. Envolve inúmeros parâmetros como a temperatura, HR, luz, poluentes gasosos, material particulado, microrganismos, e é influenciada por diversas situações como a abertura de portas e janelas, sistema de ar-condicionado (se possui ou não), filtros (de partículas, moleculares), taxa de renovação de ar, número de pessoas no espaço, localização do edifício e seu entorno, entre outros. O presente estudo não pretende abranger todos os parâmetros e suas sinergias, mas investigar os poluentes gasosos e particulados a partir de medições específicas e ainda avaliar a qualidade do ar nos espaços monitorizados.

Com a perspectiva de avaliar a QAI e com esta fundamentar a relevância da monitorização dos poluentes no ambiente interior de um museu como ferramenta de grande valia na gestão de riscos, o MNSR⁶⁷ foi selecionado como estudo de caso. A estratégia de investigação implicou a análise do espaço em sua abrangência, a identificação e análise de determinados poluentes considerados perigosos para este meio ambiente museológico, incluindo os COVT, além das análises realizadas no interior de uma vitrine especialmente concebida para expor objetos no museu.

O MNSR foi selecionado pelo presente estudo, pela sua importância como Museu Nacional, sua complexidade arquitetónica e pela diversidade e relevância de seu acervo. Pretende-se com esse estudo, avaliar os riscos pertinentes a qualidade do ar interior no museu, através da monitorização da temperatura, HR, material particulado, COVs e formaldeído e gerar dados

⁶⁷ A investigação do projeto GEO-SR (Abordagem multidisciplinar à alteração, alterabilidade e conservação da obra escultórica geomaterial de Soares dos Reis: reavaliação de paradigmas museológicos e criação de valor para sociedades em mudança, através do património cultural), foi integrada ao doutoramento, no que diz respeito às análises desenvolvidas no MNSR.

que permitam aos profissionais do museu traçar um planeamento futuro para prevenir danos ao acervo.

2.3.2 Objeto de estudo: O Museu

O Museu Nacional Soares dos Reis (MNSR) é o mais antigo museu público de arte em Portugal, tendo sido fundado em 1833 por D. Pedro IV (*Públicos Do Museu Nacional de Soares Dos Reis*, n.d.), mas só em 1932 adquire o estatuto de museu nacional. Desde 1942 encontra-se instalado no edifício neoclássico do Palácio dos Carrancas, na cidade do Porto, Portugal (Santos & Varejão, 2015) (Figura 24). O museu está distribuído por uma área total de 3.900 m² e 4 pisos, sendo 3.207 m² reservados às áreas expositivas. Seu diversificado acervo é composto por objetos de diferentes tipologias e materiais, entre cerâmicas, ourivesaria, vidros, têxteis, mobiliário, joalheria, pintura, escultura e lapidária (*Públicos Do Museu Nacional de Soares Dos Reis*, n.d.). Possui cerca de 8 reservas técnicas, além de uma sala-cofre, onde são acondicionadas as pratas e ourivesarias. Seu edifício possui um sistema de climatização que abrange áreas específicas, nomeadamente as reservas de pintura, cerâmica, mobiliário, lapidária e sala de exposição temporária grande. O sistema de ar-condicionado trabalha com filtros de partículas homologados⁶⁸ sem filtros moleculares (gases). Possui um total de 20 máquinas e 2 filtros por máquina. Em um estudo de Santos e Varejão (2015) realizado em 2015 no MNSR, é relatada a preocupação com a qualidade do ar do museu (temperatura e HR), devido a deficiente manutenção dos equipamentos de climatização. Segundo a equipe técnica do MNSR, não há registos de auditorias realizadas sobre a qualidade do ar no interior do edifício até a data. Em 2019 o museu iniciou obras de melhorias no edifício, quando foi encerrado gradualmente e durante o período das análises realizadas, assim como, até a presente data, o edifício se encontrava em fase de remodelação,

⁶⁸ Não foram especificados os tipos.

permanecendo parcialmente aberto ao público. Durante o ano de 2021, quando foram realizados os estudos, o museu recebeu um total de 21.124 visitantes.

Figura 24 *Fachada e entrada principal do Museu Nacional Soares dos Reis, Porto, Portugal*



2.3.3 *Materiais e métodos*

Para a escolha dos locais analisados foram considerados os materiais de construção dos artefactos, sua tipologia e suscetibilidade dos materiais aos poluentes. Adicionalmente foram consideradas as variações de temperatura, HR em sinergia com os poluentes e outros fatores que pudessem vir a maximizar a quantidade de poluentes no local, tais como fontes primárias de emissão, encerramento de obras em vitrines, circulação e filtragem do ar pelo sistema de ar-condicionado e fluxo de público no local, entre outros. A proposta de execução de medições em duas épocas distintas do ano, teve o objetivo de melhor avaliar possíveis interferências meteorológicas no microclima do museu. Os dispositivos de amostragem passiva foram selecionados para a análise de uma variedade de poluentes de forma qualitativa e quantitativa, com dimensão diminuta, custo econômico e realização de análises em laboratórios especializados externos. Os poluentes propostos de serem analisados foram os compostos orgânicos voláteis (COVs), incluindo o ácido acético, formaldeído e os materiais particulados, devido a importância destes poluentes, conforme já mencionado anteriormente (Parte 1, cap. 1.2).

A recolha de COVs foi realizada pela adsorção em tubos de aço com enchimento de Tenax[®] TA, através de amostragem passiva, semelhante ao método utilizado no Museu Berardo. As amostras foram recolhidas em 9 pontos distintos, em áreas que abrigam acervo, em 2 etapas/estações do ano diferentes, nomeadamente, no verão e no outono. Foram obtidas duas amostras (dois tubos) por cada local de amostragem, para que em caso de erros técnicos instrumentais que pudessem levar a inutilização da primeira amostra, a segunda seria utilizada. O conjunto de recolhas ainda inclui um branco que foi mantido fechado durante o intervalo de tempo em que os outros dispositivos estavam expostos. O ácido acético foi analisado juntamente com os COVs. Estes foram analisados por cromatografia gasosa⁶⁹, com identificação e quantificação por detetor seletivo de massa (GC/MSD), usando um cromatógrafo da marca Agilent Technologies, modelo 8890 e um detetor seletivo de massa, da mesma marca, modelo 5977B. A análise foi precedida da desadsorção térmica a partir do tubo, por meio de um sistema de desadsorção da marca Perkin Elmer, modelo Matrix ATD350 acoplado ao GC. A análise foi realizada de acordo com a norma ISO 16000-6⁷⁰ e o procedimento interno IT.401⁷¹. A concentração de COVs foi calculada com base no fator de resposta específico de cada composto, sempre que possível. Os níveis dos restantes compostos foram calculados com base no fator de resposta do tolueno (ver anexo G).

As partículas do ar (PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ e Total) foram detetadas através de um *data logger* Dusttrak DRX Aerosol Monitor 8533⁷². Foi selecionado uma sala expositiva próxima a entrada do museu (próximo a aberturas de portas), e uma sala expositiva onde não havia proximidade com as áreas externas. Adicionalmente, foi realizada uma medição no interior do cofre por ser um espaço onde havia ocorrência de acúmulo de material particulado visível

⁶⁹ Análises realizadas pelo Laboratório de Ar Interior do INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, Porto, Portugal.

⁷⁰ ISO 16000-6: *Indoor air - Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID.*

⁷¹ Indica o procedimento interno do laboratório que é baseado na norma ISO 16000-6.

⁷² Grupo de Energia do INEGI.

aos olhos. A detecção estava prevista ser efetuada durante 24 horas em dois espaços pré-determinados (24h por local), sendo duas amostragens no verão e duas no outono nos mesmos espaços. Entretanto, na data prevista para a segunda amostragem, uma das salas estava a ser remodelada e optou-se por medir, de forma substitutiva, na sala-cofre. A sala-cofre não possui tomadas e autonomia do *data logger* de partículas sem ligação direta na energia, é de aproximadamente 8 horas. Mesmo assim, considerou-se relevante fazer a medição nesse espaço. Para a outra sala, onde havia sido medida na primeira amostragem, manteve-se a segunda medição.

Os dispositivos SKC 500-100 UME^x100⁷³ de amostragem passiva foram utilizados para determinar a concentração do formaldeído⁷⁴, baseado na norma ISO 16000-3, sendo a análise efetuada por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), usando um cromatógrafo da marca Agilent Technologies, modelo 1220 Infinity LC. O fator de emissão (FE) foi calculado com base no fator de resposta específico do método analítico. O volume de amostragem foi calculado segundo as indicações da SKC. A incerteza do método analítico é de $\pm 13\%$ para o formaldeído.⁷⁵ O dispositivo de amostragem SKC UME^x 100 para formaldeído, cat. n° 500-100, é um amostrador passivo, ou seja, dispensa o uso de bombas. Seu princípio de detecção é através da formação de DNPH-hidrazina estável na presença de formaldeído. Possui a capacidade de detecção mínima de 0,0002 mg/m³ em 7 dias de exposição do dispositivo, segundo o fabricante.

A monitorização de temperatura e HR foi realizada através do *data logger* da marca Testo, modelo 174H, programado para efetuar medições em intervalos de 30 minutos. O mini data logger 174H de 60 x 38 x 18,5 mm, tem exatidão de $\pm 0,5$ °C (-20 a +70 °C) e resolução de 0,1 °C. O sensor de humidade possui capacidade de medir entre 0 e 100 %HR, com exatidão de ± 3 %HR (2 a 98 %HR) e resolução de 0,1 %HR.

⁷³ Dispositivos fornecidos pela empresa Ambicontrol Controlo de Poluição, Ltda. e analisados pelo INEGI.

⁷⁴ Determinado de acordo com o procedimento interno IT.402 do INEGI

⁷⁵ Informações adaptadas do relatório das análises fornecido pelo INEGI (ANEXO H).

Os tubos Tenax[®] TA foram expostos durante 7 dias para cada amostragem⁷⁶, segundo a indicação do fabricante. Todos foram acomodados na posição horizontal durante o período de amostragem, com exceção dos tubos que ficaram na reserva técnica de pintura e que foram pendurados nos trainéis com a extremidade do tubo com adsorvente direcionada para baixo.

As medições de formaldeído foram realizadas em duas tomadas diferentes⁷⁷ em cinco locais pré-estipulados, nomeadamente, na vitrine, reserva de mobiliários, sala das pedras, sala-cofre e reserva de cerâmicas.

2.3.4 Estratégia de amostragem

O MNSR possui espaços com características diversas, tais como mobiliários, tipologia de objetos, climatização, público, entre outros. Para obter dados que pudessem fornecer informações sobre a qualidade do ar no museu, foram selecionados 9 locais (**Tabela 33**) que tivessem características diferentes entre si e que abrigassem objetos do acervo ou que fossem espaços de exposição temporária. Os locais foram escolhidos em conjunto com a conservadora/restauradora do MNSR⁷⁸.

Inicialmente realizou-se uma inspeção visual ao edifício onde foram detetadas possíveis fontes de poluentes danosos em áreas de acervo. Após a inspeção foram recolhidas algumas informações consideradas relevantes. O museu encontrava-se fechado para visitas na data

⁷⁶ A amostragem para COVs decorreu entre os dias 20 e 27/07/2021 para a primeira tomada de amostras e os tubos foram entregues nos laboratórios do INEGI no dia 29/07/2021. A segunda tomada foi realizada entre os dias 22 e 29/11/2021 e as amostras foram entregues para análise no dia 29/11/2021.

⁷⁷ Cinco dispositivos foram expostos entre os dias 22 e 29/07/2021 e foram entregues ao laboratório para serem analisadas no dia 29/07/2021. A segunda amostragem decorreu entre os dias 22 e 29/11/2021 e os dispositivos foram entregues ao laboratório no dia 29/11/2021.

⁷⁸ Os locais foram selecionados junto a Dra. Salomé Carvalho, por ser considerado enriquecedor para a investigação contar com a contribuição de um profissional do museu, com amplo conhecimento sobre o funcionamento da instituição e conservação do acervo.

da inspeção em consequência de uma reestruturação que se passava no edifício. Talvez por este motivo, o sistema de ar-condicionado encontrava-se desligado. Entretanto, a climatização automatizada não abrange todos os espaços que abrigam o acervo. Apesar de possuir filtros de partículas, o sistema de ar-condicionado não possui filtros moleculares que impeçam a entrada de poluentes gasosos emitidos no exterior do edifício. Os registros de temperatura e HR são efetuados através de *data loggers* disponíveis em números limitados e não suprem todos os espaços com acervo. Determinadas vitrines que haviam sido construídas 2 anos antes desta inspeção e que seriam utilizadas posteriormente em uma exposição, apresentavam forte odor em seu interior, provavelmente proveniente dos materiais de construção, nomeadamente, revestimentos, adesivos, entre outros. Entre os materiais construtivos do interior do edifício, foi verificado que o piso de determinados espaços é de madeira, nomeadamente a sala de exposição temporária grande e a reserva técnica de cerâmicas. Ainda na reserva de cerâmicas, o mobiliário é construído de madeira com portas de vidro e madeira. Para abrigar os objetos do acervo, o museu possui 8 reservas técnicas, conforme mencionado anteriormente, cada uma se destina a acondicionar um grupo específico de objetos, divididos por tipologias, nomeadamente, pintura, escultura, têxtil, desenho e gravura, fotografia, cerâmica, mobiliário, material pétreo, além da sala-cofre que abriga objetos em prata e ourivesaria. A sala-cofre possui materiais de acondicionamento que podem representar potencial fonte de poluentes, tais como caixas em madeira, cartão e aglomerado. Adicionalmente foi verificado que a entrada principal do edifício, possui grande proximidade e interligação com a galeria de exposição temporária do térreo, nomeadamente, sala das pedras, e que a abertura constante da porta pelos visitantes pode ser também acesso de entrada para os poluentes provenientes do exterior. Finalmente foi verificado que após as remodelações dos espaços expositivos, os objetos são inseridos, aproximadamente, 2 dias após a realização de pintura nas paredes e divisórias.

Tabela 33 *Locais selecionados e poluentes medidos.*

	Local	COVs	Formaldeído	PM
L1	Vitrine nova	Amostragem 1 e 2 ^c	Amostragem 1 e 2	Não
L2	Galeria de esculturas	Amostragem 1 e 2	Não	Não
L3	Galeria exposição temporária	Amostragem 1 e 2	Não	Amostragem 1 e 2
L4	Reserva de mobiliários	Amostragem 1 e 2	Amostragem 1 e 2	Não
L5	Reserva de lapidária ^a	Amostragem 1 e 2	Não	Não
L6	Sala das pedras ^b	Amostragem 1 e 2	Amostragem 1 e 2	Amostragem 1
L7	Sala-cofre	Amostragem 1 e 2	Amostragem 1 e 2	Amostragem 2
L8	Reserva de pintura	Amostragem 1 e 2	Não	Não
L9	Reserva de cerâmicas	Amostragem 1 e 2	Amostragem 1 e 2	Não

Nota. ^aReserva de lapidária é a nomenclatura usada pelo museu para a reserva de materiais pétreos; ^bSala das pedras é a nomenclatura usada pelo museu para a sala de exposição do piso térreo que é revestida em pedra; ^cAmostragem 1 se refere às amostragens realizadas no verão e a amostragem 2 se refere às amostragens realizadas no outono.

O plano de amostragem implicou amostras em duas épocas distintas, nomeadamente, no verão e no outono (ver detalhes em Apêndice IV). Os COVs foram amostrados nos 9 espaços previamente selecionados. O formaldeído foi medido em 5 locais pré-selecionados, para atender à limitação de dispositivos disponíveis permitindo que 2 amostras pudessem ser realizadas no mesmo local. Os materiais particulados foram medidos em 3 locais diferentes dada a disponibilidade. Para a medição de partículas, foi priorizado que as medições tivessem duração de 24 horas para cada local, com exceção da sala-cofre, que não permitia a ligação com a corrente elétrica, sendo que nesse espaço a medição foi realizada por um período de 8 horas de acordo com a autonomia da bateria do equipamento.

2.3.5 Locais de amostragem

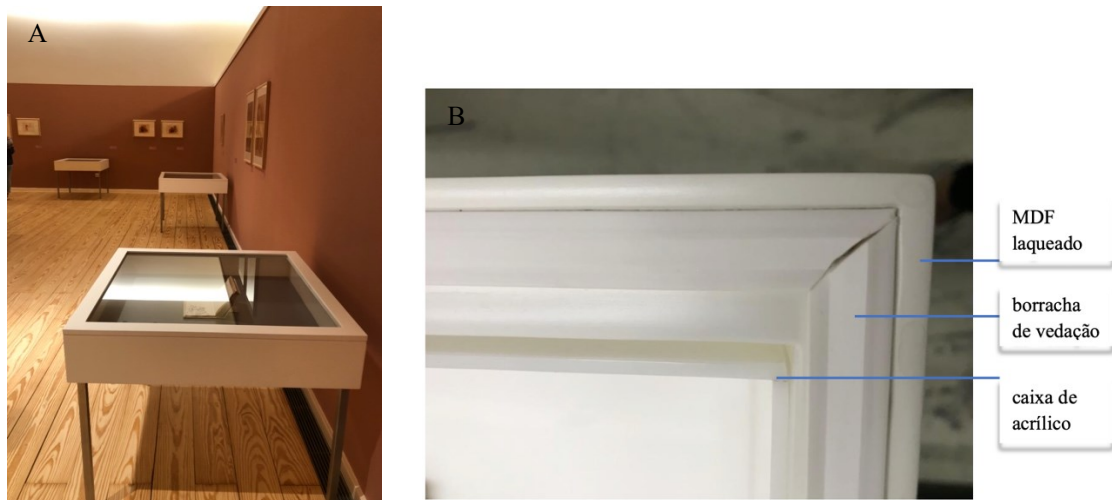
2.3.5.1 L1: Vitrine

Trata-se de uma vitrine tipo mesa, com 4 pés de metal e abertura superior. A base é de aglomerado laqueado com uma placa de vidro na parte superior que assume a função de uma tampa com abertura auxiliada por dobradiças em um dos lados. O vidro da tampa possui uma moldura do mesmo material da base, que o suporta. No interior, há uma caixa de acrílico de 3 mm de espessura, sem tampa complementar, sem fixação adicional ou vedação, que foi adicionada logo após a confecção da vitrine, pois desde então já havia um forte odor de compostos voláteis em seu interior. A vitrine é vedada com o auxílio de borrachas de vedação (não identificado o material) e trancada com uma chave (**Figura 25**).

Com o propósito de detetar os compostos voláteis emitidos a partir de uma vitrine (construída em 2019), cujo odor era fortemente perceptivo ao olfato, as medições foram realizadas em duas amostras diferentes. Para a primeira amostra, a vitrine se encontrava em um depósito climatizado e ali se manteve fechada até ser transportada para a área expositiva. A segunda amostra foi realizada com a vitrine já no espaço expositivo, também climatizado, e com um livro⁷⁹ exposto em seu interior (Figura 25). Para a exposição, uma película de vinil rígido de cor escura foi adesivada no interior da caixa de acrílico e não se tem registo do tipo de vinil ou do adesivo utilizado. A sala de exposição para onde a vitrine foi transferida, também foi ponto de medição (L3). No interior da vitrine foram medidos os COVs, o formaldeído, a temperatura e HR.

⁷⁹ Divulgação de detalhes do livro exposto, não foi autorizada pelo MNSR.

Figura 25 *Detalhes de uma vitrine de exposição no MNSR. (A) Vitrine em área expositiva; (B) Detalhe da parte interior da vitrine*



2.3.5.2 L2: Galeria de esculturas

A galeria de esculturas, também conhecida como galeria Soares dos Reis, está localizada no 1° piso do museu, com ligação à sala de exposições temporárias por um lado e aos jardins, por outro, com portas de vidro que são ocasionalmente abertas para a área externa em dias mais quentes. Não é um espaço climatizado, mas há ventilação de ar forçada, onde o ar que entra na galeria passa previamente por filtros de partículas. Trata-se de uma sala ampla que na ocasião da amostragem, tinha quatro esculturas em seu interior, duas de mármore e duas de bronze. Os dispositivos de amostragem foram depositados sobre a base de mármore, ao lado de uma escultura de Soares dos Reis, "Conde de Ferreira", também de mármore (**Figura 26**). Nesse espaço foram medidos os COVs, temperatura e HR.

Figura 26 Detalhe do local onde foram posicionados os dispositivos de amostragem na Galeria de Esculturas do MNSR. (A) Escultura de Soares dos Reis: "Conde de Ferreira" em cuja base foram posicionados os dispositivos. (B) Detalhe do local onde foram posicionados os dispositivos Tenax[®] TA e o data logger de temperatura e HR

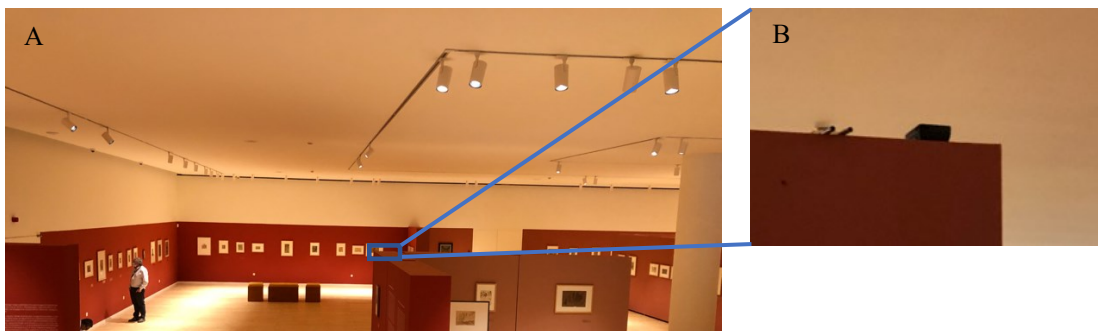


2.3.5.3 L3: Sala de exposição temporária grande

A sala de exposição temporária grande é uma sala de exposições rotativa, cujo espaço é remodelado de acordo com as exposições que acolhe. O piso é de madeira e as divisórias são em aglomerado de madeira pintado. Trata-se de um espaço climatizado que está localizado no 1º piso e a entrada principal faz a ligação à sala de esculturas. No momento da primeira amostragem, não havia nenhuma exposição. Por ocasião da segunda amostragem, havia uma exposição de desenhos, que por serem papéis, estavam todos emoldurados com vidro frontal. Relevante mencionar que a vitrine (L1) que também havia sido local de medições e que na primeira amostragem estava localizada em um depósito, na segunda amostragem (outono) havia sido realocada para esta sala de exposição temporária grande (L3), entre outras vitrines que também serviram de suporte para a exposição em curso, à época. Na sala de exposição,

os dispositivos foram posicionados na parte superior de uma das divisórias, conforme mostra a **Figura 27**. Nessa sala foram medidos os COVs, materiais particulados, temperatura e HR.

Figura 27 (A) Sala de exposição temporária grande do MNSR; (B) Detalhe de posicionamento do dispositivo Tenax[®] TA e data logger de temperatura e HR



2.3.5.4 L4: Reserva de mobiliário

A reserva de mobiliário é um espaço amplo que se encontra no 1º piso do edifício. Não possui aberturas para áreas exteriores, é um espaço climatizado e sua luz permanece apagada quando não há pessoas no local. Cerca de 90% do mobiliário acondicionado nesta reserva, se encontra encoberto por tecido (aparentemente de algodão) e ainda uma minoria se encontra encoberto por TNT (tecido não tecido), manta de espuma de polietileno ou plástico de bolhas de ar. Seu piso é de madeira assim como o mobiliário que lá se encontra acondicionado. Entre os mobiliários de madeira há ainda poltronas e cadeiras estofadas e revestidas em tecido. É um espaço que possui forte odor. Realizaram-se nesta reserva amostragens de COVs, formaldeído, temperatura e HR em 2 séries de amostragem em datas distintas, nomeadamente, no verão e no outono. O dispositivo Tenax[®] TA equivalente ao branco, foi depositado nesse espaço próximo aos outros (**Figura 28**).

Figura 28 (A) Reserva técnica de mobiliário do MNSR, com indicação do local onde os dispositivos foram posicionados; (B) Detalhe dos dispositivos da esquerda para a direita: SKC 500, Tenax[®] TA e data logger de temperatura e HR



2.3.5.5 L5: Reserva de lapidária

Trata-se de um espaço climatizado, que permanece com as portas fechadas sem contato direto com as áreas exteriores do edifício. O seu acervo de material pétreo, é acondicionado sobre paletes de madeira em estantes de metal (Figura 29). O espaço possui um odor acentuado. Há uma mesa de apoio onde são realizados procedimentos de conservação esporádicos. Nessa reserva foram realizadas amostragens de COVs, temperatura e HR em 2 séries de amostragem em datas distintas, nomeadamente, no verão e no outono.

Figura 29 Reserva de lapidária do MNSR, com indicação do local onde os dispositivos foram posicionados; (B) Detalhe dos dispositivos Tenax[®] TA e data logger de temperatura e HR



2.3.5.6 L6: Sala das Pedras

Sala das Pedras é o nome ao qual o MNSR se refere à galeria de exposição temporária, localizada no piso térreo próximo a entrada principal (frontal) do edifício e da abertura de portas de acesso ao exterior. Não possui climatização. Seu piso é em granito e suas divisórias são construídas em aglomerado pintado. Durante a primeira série de amostragem, havia uma exposição no espaço composta por objetos diversos, nomeadamente, pintura têxtil e cerâmica, onde alguns objetos (têxtil e cerâmica) se encontravam expostos no interior de vitrines. Durante a segunda série de amostragem, o espaço expositivo estava encerrado para o público e se encontrava em fase de reestruturação, com divisórias e bases a receber revestimentos de tinta no próprio espaço. Foram realizadas neste espaço amostragens de COVs, material particulado, temperatura e HR em 2 séries de amostragem em datas distintas, nomeadamente, no verão e no outono, sendo que a amostragem de material particulado foi realizada em uma amostragem única, no verão. Os dispositivos foram posicionados ao topo de uma das divisórias (Figura 30).

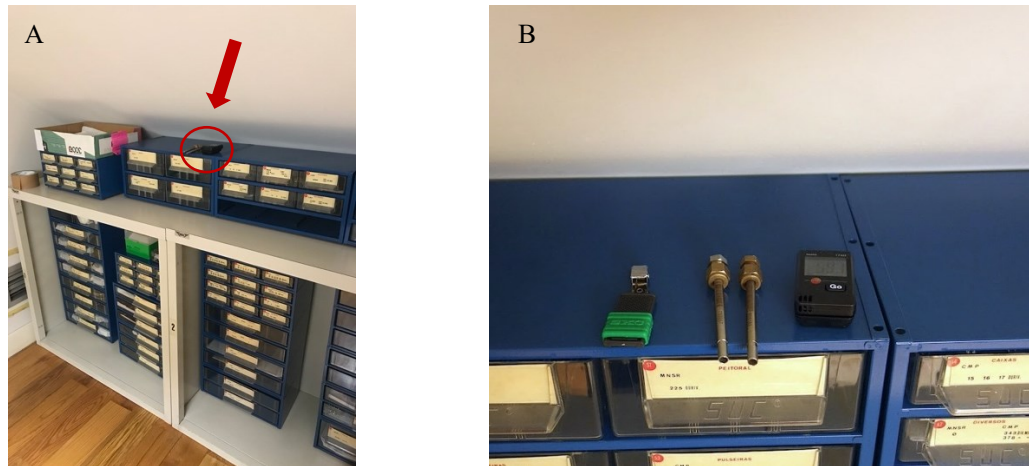
Figura 30 (A) Vista parcial da sala das pedras, térreo, MNSR; (B) Localização dos dispositivos Tenax[®] TA e data logger de temperatura e HR ao topo de uma divisória



2.3.5.7 L7: Sala-cofre

A sala-cofre é a reserva técnica onde ficam acondicionados os objetos em prata e de ourivesaria. Está localizada no 2º piso em um prédio anexo ao lado do edifício principal do museu e não possui nenhum contato com áreas exteriores. Apesar de não ser um espaço climatizado, possui ventilação com filtro de partículas. Trata-se de um espaço restrito com diversos materiais em seu interior, entre estantes de metal, caixas de aglomerado de madeira, caixas de cartão comercial reaproveitadas, caixas plásticas, mobiliário com revestimento em laminado, plástico bolha, objetos embalados em papel "tipo" glassine e ainda um rolo de filme. Entretanto, nenhum dos materiais foi analisado para indicar sua composição com precisão. Possui piso de madeira e um teto rebaixado com curvatura que tende a decrescer, sendo que uma pessoa com estatura de 1,60 m só consegue ficar ereta na parte da entrada, pois nos fundos o teto já possui altura com cerca de 1m. Pela complexidade que envolve este espaço e diversidade de materiais nele contido, foram feitas medições de COVs, formaldeído, material particulado, temperatura e HR (**Figura 31**).

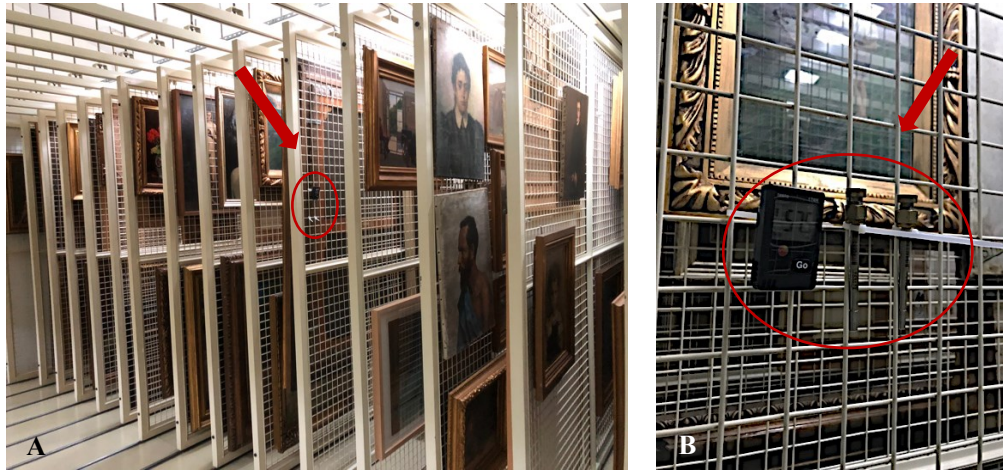
Figura 31 Sala-cofre no MNSR. (A) Vista de uma prateleira localizada na sala-cofre onde foram posicionados os dispositivos de amostragem; (B): Detalhe dos dispositivos Tenax[®] TA, SKC500 e data logger de temperatura e HR



2.3.5.8 L8: Reserva de pintura

A reserva técnica de pintura está localizada no 3° piso do museu. Trata-se de um espaço com painéis deslizantes de metal onde as pinturas são acondicionadas e piso de resina epoxi (Figura 32). Por ocasião das duas amostragens, as máquinas do sistema de ar-condicionado estavam desativadas e o espaço contava somente com ventilação forçada. É um espaço de acesso restrito ao público que é mantido com as luzes apagadas e as portas fechadas. O acesso só é realizado pela equipe técnica do museu para a movimentação das pinturas, quando necessário.

Figura 32 Painéis deslizantes da reserva de pintura do MNSR. (A) Indicação do local onde os dispositivos foram posicionados para as amostragens; (B) Detalhe dos dispositivos Tenax[®] TA e data logger de temperatura e HR



2.3.5.9 L9: Reserva de cerâmica

A reserva de cerâmica está localizada no 4º piso do edifício. Possui piso de madeira e armários em madeira com portas de vidro, onde as cerâmicas são acondicionadas, assim como objetos de argila, grés, porcelana e vidro arqueológico. Durante o período em que foram realizadas as duas amostragens, o sistema de ar-condicionado deste espaço estava desativado⁸⁰. É um espaço de acesso restrito e não possui portas e janelas diretas para a área exterior do edifício. Por se tratar de um espaço complexo, em relação aos revestimentos e mobiliários de madeira em seu interior, foram realizadas adicionalmente as medições de formaldeído, além dos COVs, temperatura e HR (**Figura 33**).

⁸⁰ De acordo com o técnico responsável pelo sistema de ar-condicionado do MNSR, o ar-condicionado neste espaço só é ativado durante a estação do inverno.

Figura 33 Reserva de cerâmica do MNSR. (A) Vista parcial dos mobiliários no espaço; (B) Detalhe do local onde foram realizadas as amostragens com os dispositivos Tenax[®] TA, SKC500 e data logger de temperatura e HR



2.3.6 Resultados e discussão

Os resultados das análises evidenciaram condições muito diversas entre os locais amostrados. Entretanto, os locais L1 (vitrine nova) e L9 (interior de armário de madeira, reserva de cerâmica), merecem atenção especial devido às concentrações extremamente elevadas de COVTs detetadas. Os resultados obtidos nas duas amostragens de todos os locais estão expostos na **Tabela 34**⁸¹ e detalhados nos capítulos subsequentes.

⁸¹ Os relatórios com os resultados das análises realizadas encontram-se disponíveis em Anexo F (análise do formaldeído, amostragem 1), Anexo G (análise do COVT, amostragem 1), Anexo H (análise do formaldeído, amostragem 2), e Anexo I (análise do COVT, amostragem 2). Todas as análises foram realizadas pelos laboratórios do INEGI, Porto.

Tabela 34 Resultados das medições realizadas nos espaços do MNSR

Local	Amostragem ^a	Formaldeído (µg/m ³)	Ácido acético (µg/m ³)	COVT (µg/m ³)	PM _{2,5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
L1	1 ^b	86,0	69,5	29145	-	-
	2 ^c	63,7	282	16327	-	-
L2	1	-	5,08	209	-	-
	2	-	5,00	65,1	-	-
L3	1	-	6,67	491	28	28
	2	-	9,60	175	10	10
L4	1	33,4	-	285	-	-
	2	25,8	17,2	196	-	-
L5	1	-	-	314	-	-
	2	-	4,81	288	-	-
L6	1 ^d	11,2	5,08	286	56	57
	2 ^e	13,0	32,4	1306	-	-
L7	1	18,2	16,7	288	-	-
	2	10,5	19,1	135	30	31
L8	1	-	5,75	245	-	-
	2	-	10,6	207	-	-
L9	1	643	708	2750	-	-
	2	152	770	1496	-	-

Nota. ^a As amostragens 1 são referentes às amostragens realizadas no verão e as amostragens 2 são referentes às amostragens realizadas no outono. ^b Amostragem realizada quando a vitrine se encontrava em um depósito. ^c Amostragem realizada quando a vitrine estava na galeria expositiva durante uma exposição. ^d Amostragem realizada durante uma exposição na sala das pedras. ^e Amostragem realizada durante uma remodelagem do espaço.

2.3.6.1 *Vitrine*

A vitrine do MNSR foi objeto de estudo durante duas amostragens, onde foram analisados os COVT, incluindo o ácido acético, e o formaldeído. Durante a primeira amostragem, a vitrine se encontrava em um depósito climatizado e durante a segunda amostragem, estava em uma exposição na sala de exposição temporária grande com um livro em seu interior. O forte odor resultante dos materiais de construção da vitrine, foi expresso através do resultado das análises laboratoriais. Os COVs podem ser detetados ao olfato humano em concentrações ainda abaixo daquelas recomendadas para a saúde humana, de $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente, 2009). Durante as medições realizadas, foram detetadas concentrações de COVT mais elevadas na primeira amostragem ($29145 \mu\text{g}/\text{m}^3$) em comparação com a segunda amostragem ($16327 \mu\text{g}/\text{m}^3$), chegando a ser 90 vezes superiores às concentrações de COVT recomendadas para a preservação de acervos em geral, de $328 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ASHRAE, 2015)⁸². Cerca de 53 COVs foram detetados e identificados no interior da vitrine, sendo que alguns contribuíram de forma significativa com os valores de COVT, entre eles o tolueno, cujas concentrações detetadas na primeira amostragem foram de $4187 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e de $2408 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda amostragem, enquanto os valores-limite recomendados dessa substância para a saúde humana são de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Diário Da República, Portaria 353-A/2013, 2013). O tolueno é um solvente aromático utilizado principalmente em tintas, lacas, vernizes, adesivos e resinas. O ácido acético, que é considerado um dos compostos de maior preocupação em ambientes de acervo, foi detetado em quantidades de $69,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na primeira tomada e de $282 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda tomada. Este valor talvez possa ser atribuído à placa de vinil acrescentada posteriormente no interior da vitrine para a exposição, ou talvez, pelo próprio objeto ali exposto.

⁸² Os valores-limite recomendados na publicação da ASHRAE para o COVT são de 100 ppb. A conversão de valores para $\mu\text{g}/\text{m}^3$ foi realizada pela autora, a considerar uma pressão atmosférica normal ao nível do mar de 1013 hPa e uma temperatura de 20°C.

O formaldeído, além de ser considerado uma substância carcinogénica, é considerado de grande preocupação em ambientes de acervo. As concentrações dessa substância no interior da vitrine foram de 86,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 63,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente na primeira e na segunda tomada. Os valores-limite dessa substância recomendados para acervos que não contenham materiais suscetíveis ao formaldeído, são entre 12,5 e 25,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ASHRAE, 2015)⁸³.

Durante a primeira tomada de amostras, a temperatura se manteve estável entre 21 °C e 22 °C e a HR entre 70% e 72%. Apesar do *data logger* ter permanecido no interior da vitrine, houve um momento em que ele foi retirado para que a vitrine fosse preparada para a exposição. Durante a exposição, a temperatura oscilou entre 17 °C e 22 °C e a HR entre 60% e 68%. Importante mencionar que os valores-limite dos poluentes, são indicados para um ambiente com HR abaixo de 60% e temperatura entre 15 °C e 25 °C (ASHRAE, 2015; Tétreault, 2003).

A adição da caixa de acrílico no interior da vitrine, com o objetivo de minimizar a concentração de COVs, parece não ter tido um retorno significativo. Provavelmente pelas grandes arestas que remanesceram. A vedação da tampa da vitrine, entretanto, colaborou com a concentração dos compostos emitidos em seu interior. O material de revestimento laqueado da vitrine provavelmente foi um dos grandes responsáveis pelas substâncias detetadas, que com a colaboração do encerramento da vitrine antes que os compostos volatilizassem, colaboraram por um microclima inadequado.

Problemas com concentrações elevadas de compostos voláteis provenientes de materiais de construção de vitrines não é uma exclusividade do MNSR (Chiantore & Poli, 2021), mas tão pouco deve ser relevado. Apesar de não se saber bem ao certo o efeito individual de muitos COVs sobre os materiais que compõem o acervo, sabe-se que os limites totais desses compostos estão significativamente acima dos valores-limite, tanto para a saúde humana como para a conservação do acervo.

⁸³ Valor-limite recomendado pela ASHRAE entre 10-20 ppb para o formaldeído. Conversão a considerar pressão atmosférica normal ao nível do mar de 1013 hPa e uma temperatura de 20 °C.

2.3.6.2 Galeria de esculturas

As amostragens realizadas na galeria de esculturas, detetaram concentrações de COVT de 209 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na primeira tomada e de 65,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda tomada. O ácido acético foi detetado em concentrações de 5,08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na primeira tomada e 5,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda. Todos os compostos analisados se apresentavam dentro dos limites recomendados pela ASHRAE (ASHRAE, 2015), que se justifica por ser uma sala ampla com grandes aberturas a favorecer uma maior circulação de ar e sem materiais que induzam a uma maior emissão de compostos. Os registos de temperatura e HR neste espaço, evidenciou a oscilação de HR entre 46% e 81% no verão e entre 35% e 90% no outono, enquanto a temperatura oscilou entre 21,0 °C e 24,7 °C no verão e entre 13,0 °C e 23,0 °C no outono, com um gráfico decrescente. Por ser um espaço aberto e sem sistema de controlo de climatização, somente com ventilação e filtros, as oscilações de temperatura e HR são bastante acentuadas.

2.3.6.3 Sala de exposição temporária grande

A galeria de exposição grande é uma galeria dinâmica com exposições temporárias que induzem o espaço a ser modificado a cada exposição. Possui paredes divisórias em aglomerado de madeira pintadas e piso também em madeira. Possui o pé direito alto e trata-se de um espaço climatizado, mas que mantém suas portas abertas e é interligada à sala de esculturas. A primeira tomada de medição detetou uma concentração de 491 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para os COVT, valor um pouco acima dos valores-limite recomendados pela ASHRAE de 328 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Entretanto, na segunda tomada os valores diminuíram para 175 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVT. O ácido acético, apesar de ter sido detetado, apresentou valores aceitáveis de 6,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 9,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na primeira e na segunda tomada respetivamente.

Os materiais particulados foram medidos nesse espaço em duas tomadas distintas de 24 horas cada. As medições mostraram concentrações média acima das concentrações indicadas entre

1 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para acervos em geral (ASHRAE, 2015) (**Tabela 35**). A circulação de público nesse espaço justifica as concentrações de materiais particulados em maiores concentrações.

Os registos de temperatura mostraram uma oscilação entre 22 °C e 24 °C no verão e entre 16,6 °C e 22,4 °C no outono. A HR oscilou entre 56% e 79% no verão e entre 47% e 78% no outono.

Tabela 35 *Concentrações de PM detetadas na galeria de exposição grande*

PM	Tomadas	Média ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Máximo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
PM _{2.5}	1ª tomada	28	22	54
	2ª tomada	10	4	52
PM ₁₀	1ª tomada	28	22	62
	2ª tomada	10	4	95

2.3.6.4 Reserva de mobiliário

As medições realizadas nesse espaço detetaram 285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVT na primeira e 196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda amostragem, concentrações essas, consideradas dentro dos limites indicados para acervos. O ácido acético foi detetado somente na segunda amostragem com concentrações de 17,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, também consideradas em limites aceitáveis. Por possuir um número elevado de objetos/mobiliários em madeira, as medições de formaldeído foram também realizadas nessa reserva. A concentração detetada de formaldeído foi de 33,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na primeira tomada e de 25,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda tomada. Valores esses, ligeiramente acima dos valores recomendados pela ASHRAE para acervos em sua generalidade.

Os registos dos *data loggers* evidenciaram dados obtidos de temperatura no verão entre 20,5 °C e 21,6 °C, com um gráfico decrescente de temperatura no outono entre 15,4 °C e 22,7 °C. A HR oscilou entre 66 % e 79% no verão e entre 52% e 77% no outono. Trata-se de um

espaço climatizado, com circulação reduzida de pessoas, onde as portas se mantêm fechadas a maior parte do tempo e o odor de voláteis provenientes de fungos é bastante acentuado.

2.3.6.5 Reserva de lapidária

Nessa reserva foram detetadas concentrações de 314 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVT durante a primeira amostragem e de 288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na segunda amostragem. O ácido acético foi detetado em concentrações de 4,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ somente na segunda tomada. Todos os compostos detetados se encontram nos limites recomendados pela ASHRAE (ASHRAE, 2015).

Trata-se de um espaço climatizado, mas com um odor bastante acentuado de fungos. Os registos de temperatura mostraram valores entre 19,3 °C e 22,2 °C no verão e entre 16,4 °C e 22,3 °C no outono. Os registos de HR mostraram dados entre 62% e 85% no verão e entre 65 % e 78 % no outono. O odor acentuado de fungos pode se justificar pela HR elevada. Entretanto, investigações sobre a taxa de renovação de ar nesse espaço, poderiam ser indicadas num estudo mais aprofundado.

2.3.6.6 Sala das Pedras

Durante a primeira tomada de amostras, o espaço estava ocupado com uma exposição temporária e lá foram realizadas as medições de COVT, com concentrações de 286 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Também foram coletadas amostras para análise de formaldeído, onde foram detetadas concentrações de 11,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Adicionalmente, nessa primeira amostragem foram realizadas as medições de PM, onde se detetou uma média de 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{2.5} e de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM₁₀. Os PM₁₀ são normalmente emitidos pelo tráfego de automóveis, manuseamento de materiais, bem como a poeira soprada pelo vento, esporos de fungos e poeira de cimento e de obras em geral. A sala das pedras, como já mencionado anteriormente, se localiza muito próxima à entrada principal do edifício, na rua de Dom Manuel II, Porto. Quando a segunda tomada de amostras foi realizada, o espaço encontrava-se em remodelação para ser preparado para uma nova exposição. As medições de COVT efetuadas nesse período

resultaram em concentrações de 1306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVT. Valor bem acima da concentração registada na primeira tomada, que evidencia os COVs resultantes de uma remodelação de espaço expositivo, com vários materiais novos introduzidos, tais como tintas, adesivos e outros materiais. As concentrações de formaldeído, entretanto, não apresentaram alterações significativas. As concentrações de formaldeído detetadas na segunda tomada foram de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Como o espaço estava em remodelação, considerou-se desnecessário fazer a segunda medição de PM no local.

Os registos de temperatura mostraram oscilações entre 21,3 °C e 23,4 °C no verão e entre 16,2 °C e 24,3 °C no outono. Nos registos de HR, a oscilação foi entre 42% e 79% no verão e entre 40% e 85% no outono. Importante mencionar que esse espaço não é climatizado e está localizado muito próximo à entrada principal do prédio. Fatores esses que podem justificar as mudanças bruscas climáticas.

2.3.6.7 Sala-cofre

As análises dos COVs realizadas na sala-cofre, resultaram em concentrações de 288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVT e de 16,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ácido acético na primeira tomada e de 135 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COVT e 19,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ácido acético na segunda tomada. As medições de formaldeído resultaram em concentrações de 18,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e de 10,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente na primeira e na segunda tomada. Todos os valores se encontram dentro dos limites recomendados para a conservação de acervos generalizados.

Adicionalmente foram registadas as concentrações de material particulado durante um período de 8 horas nesse espaço. A média registada para PM_{2.5} foi de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mínimo de 0,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximo de 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e para PM₁₀ foi de 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mínimo de 0,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e máximo de 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Os valores excedem as recomendações de limites máximos para partículas finas (ASHRAE, 2015).

Os parâmetros de temperatura registados para esse espaço foi entre 22,2 °C e 24,4 °C no verão e entre 16 °C e 23,7 °C no outono. Os dados de HR foram registados entre 46% e 70% no verão e entre 37% e 76% no outono. A sala-cofre não é um espaço climatizado, mas possui ventilação com filtros, que parece não favorecer o suficiente na redução de PM. Apesar de ser um espaço reduzido, fechado e restrito quanto a circulação de pessoas, as oscilações de temperatura e HR são significativas.

2.3.6.8 Reserva de pintura

Foram detetadas concentrações de 245 µg/m³ de COVT e de 5,75 µg/m³ de ácido acético na primeira tomada de amostras e de 207 µg/m³ de COVT e de 10,6 µg/m³ de ácido acético na segunda tomada. Todas as concentrações se encontram dentro dos limites recomendados pela ASHRAE (ASHRAE, 2015).

Os registos de temperatura mostraram variações entre 21°C e 23,3 °C no verão e entre 13 °C e 22,7 °C no outono. As oscilações de HR foram registadas entre 53% e 73% no verão e entre 48% e 87% no outono. A reserva de pintura se encontrava com o ar-condicionado desligado durante o período de medição, fator esse que pode justificar as oscilações elevadas de HR.

2.3.6.9 Reserva de cerâmicas

Como já mencionado anteriormente, as madeiras e os materiais que contenham madeira em sua composição, tendem a emitir um grande e diversificado número de COVs. A emissão desses compostos será influenciada principalmente pelo tipo de madeira usada, mas não somente, também os tipos de revestimentos aplicados, aditivos, adesivos e a taxa de circulação de ar também serão fatores de grande importância nesse processo (Adamová et al., 2020). A reserva de cerâmicas, com seu mobiliário em madeira e portas de vidro onde as cerâmicas são acondicionadas, resultou em concentrações elevadas de COVT. A primeira amostragem detetou concentrações de 2750 µg/m³ de COVT, entre eles o ácido acético em

concentrações de 708 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. O formaldeído igualmente foi detetado em concentrações elevadas de 643 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Com a segunda tomada de amostras, os teores de COVT diminuíram para 1496 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mas as concentrações de ácido acético subiram ligeiramente para 770 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. As concentrações de formaldeído também decresceram para 152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Talvez uma possível abertura de portas dos armários, tenham contribuído para as diferenças entre a primeira e a segunda tomada. Não obstante, todas as concentrações se encontram acima daquelas recomendadas pela ASHRAE (ASHRAE, 2015). A HR permaneceu estável entre 60% e 65% durante o verão e outono e a temperatura oscilou entre 21 °C e 24 °C no verão e no outono desceu gradativamente e manteve-se com as devidas oscilações entre 13 °C e 17 °C. Importante lembrar que o sistema de climatização deste espaço se encontrava desligado durante todas as tomadas de amostras, o que justifica uma temperatura instável a acompanhar as estações do ano. A temperatura mais baixa tende a não estimular maiores reações químicas, entretanto as concentrações elevadas dos poluentes no interior dos armários tendem a intensificar com a baixa circulação de ar.

Os limites de material particulado indicados pela OMS e pela Agência Europeia do Ambiente (European Environment Agency, 2020) direcionados para a saúde humana, são de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para $\text{PM}_{2.5}$ e de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PM_{10} . Não obstante, os valores indicados pela ASHRAE para a preservação de acervos que não contenham materiais suscetíveis, são entre 1 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

As concentrações elevadas de poluentes voláteis orgânicos e flutuações de HR podem desencadear num processo de deterioração em objetos de vidro. A formação de cristais de formiato de sódio na superfície de vidros acondicionados em armários de madeira, já foi reportada por outros autores e merece a devida atenção (Fischer et al., 2020; Robinet et al., 2005; Thickett & Ling, 2021). Nas cerâmicas, as concentrações elevadas de ácido acético e ácido fórmico podem resultar na formação de calclacita ou tecotriquita (Gibson & Watt, 2010).

2.3.7 Comentários

Os resultados obtidos pelas medições realizadas, podem não retratar com fidelidade as condições cotidianas do MNSR, a considerar que o museu se encontrava parcialmente aberto

ao público e ainda em fase de obras de melhorias, quando o sistema de climatização se encontrava desativado em vários espaços. Entretanto, os resultados não devem ser negligenciados.

O interior do edifício que abriga o MNSR possui uma grande diversidade de espaços cujas condições de climatização, circulação de ar, mobiliários e materiais constituintes dos objetos culturais, materiais de acondicionamento e a localização desses espaços dentro do edifício, colaboraram para os diversos resultados obtidos.

A medição de poluentes evidenciou elevadas concentrações de COVT em determinados espaços, com percentuais acima das recomendações consideradas seguras para os acervos e que demandam de estratégias futuras para melhorar essas condições, como o caso da vitrine e da reserva de cerâmicas, além do espaço expositivo (sala das pedras) quando em fase de remodelação. A seleção cuidadosa de materiais utilizados em vitrines, espaços expositivos e reservas é procedimento fortemente recomendado na preservação de acervos (Lee & Thickett, 2011). Muitos materiais já foram exaustivamente investigados e são conhecidos como fontes de poluentes. Evitar a introdução desses materiais em áreas de acervo, é estratégia de suma relevância em museus. Quando por motivos excepcionais a remoção desses materiais não é possível, estratégias para a mitigação de riscos podem ser praticadas, tais como: bloquear ou selar o material que é fonte de poluentes, maximizar a ventilação do ar no ambiente com a adição de filtros e/ou introduzir materiais absorventes ou adsorventes no espaço (Tétreault, 2021b).

A HR elevada pode contribuir para desencadear reações químicas, além de favorecer a proliferação de micro-organismos quando acima de 70% (Brown et al., 2002). Diante dos resultados obtidos, considera-se pertinente recomendar que as condições climáticas do museu sejam fatores a serem ponderados em um futuro projeto de melhorias.

Se faz importante mencionar que nos estudos realizados no MNSR, nenhum objeto do acervo foi analisado quanto a um possível processo de deterioração que possa ter se desencadeado decorrente de concentrações elevadas de poluentes e HR, pois não fazia parte do escopo. Entretanto, com os resultados já obtidos, seria de grande importância em um projeto futuro

que os objetos fossem analisados, sobretudo aqueles que se encontram acondicionados na reserva de cerâmicas em mobiliários de madeira.

2.4 A prática do uso de vidros/acrílicos como proteção de pintura em museus: Inquérito 1

A utilização de vidros como proteção de pintura em museus, não é considerada uma prática recente. Utilizados para proteção de poluentes (Hackney, 2007a), como uma alternativa econômica para proporcionar um microclima diferenciado para pintura (Sozzani, 1997), como proteção física contra vandalismo ou para restringir o acesso físico (Barbosa et al., 2019), as vitrines de pintura, molduras microclimáticas ou simplesmente vidros/acrílicos frontais com proteção no reverso, podem ser encontrados frequentemente em museus nacionais e internacionais. Sua eficiência protetiva contra vandalismo, vem sendo desafiada constantemente, não podendo deixar de citar os casos atuais de manifestantes ativistas que decidiram chamar a atenção do mundo, beneficiando-se da visibilidade dos museus e suas principais obras, ao lançar produtos diversos (ex. puré de batata, sopas etc.), além de colar suas mãos em pinturas consagradas mundialmente, nomeadamente, "Morte e Vida" de Gustav Klimt (*Leopold Museum*, Viena), "Moça com Brinco de Pérola" de Vermeer (Mauritshuis, *The Hague*), "Os Palheiros" de Monet (museu Barberini, Potsdam), "Os Girassóis" de Van Gogh (*National Gallery*, Londres), "Massacre na Coreia" (*National Gallery of Victoria*, Melbourne), "Mona Lisa" de da Vinci (Louvre, França), "Maia Desnuda" e "Maia Vestida" de Goya (Museu do Prado, Madri) e "O Semeador" de Van Gogh (Museu Kröller-Muller, Holanda) (Henley, 2022; Jones, 2022; Muschketat, 2022; Ore, 2022; Pereira, 2022; Schroeder, 2022; Vallen, 2022). Felizmente, todas as pinturas se encontravam protegidas por vidros e aparentemente, nenhum dano grave foi relatado pelos museus.

A evolução da produção de vidros antirreflexo, com proteção contra radiação UV e contra estilhaçamento, ou acrílicos com características semelhantes às dos vidros da linha museus, permitiu que o inconveniente do reflexo fosse minimizado, fator esse, que era de grande desagrado nos museus (Saunders & Reeve, 1994). As vitrines, como já mencionado anteriormente, podem, entretanto, favorecer na concentração de compostos voláteis em seu interior (Schieweck, 2009) e essas concentrações são ainda raramente medidas nesses invólucros (Spiegel, 2011). Foi observado que alguns países como a Dinamarca, Reino Unido, Espanha, Alemanha, Itália, República Checa, Estados Unidos e Canadá, entre outros,

apresentam um maior avanço em relação às investigações⁸⁴ sobre o efeito protetivo das molduras microclimáticas sobre a pintura e o potencial de risco dos poluentes nesses microclimas (Chiantore et al., 2018; Dahlin, 2010; Dahlin, Grøntoft, Wittstadt, et al., 2010; Grøntoft, 2010; Hackney, 2007a; Hatchfield, 2002; López-Aparicio et al., 2010; MEMORI, 2013; Röhrs et al., 2014; Schieweck, 2009; Tétreault & Hagan, 2022). Um inquérito desenvolvido em 2012 (Spiegel, 2011) durante o projeto Europeu MEMORI, onde participaram museus da Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Alemanha, Irlanda, Itália, Lituânia, Noruega, Polónia, Romênia, Espanha, Turquia e Reino Unido, mostrou que pouco mais da metade dos respondentes (56%) já teriam realizado medições de poluentes nas suas instituições, mas somente 10,7% os monitoravam periodicamente. Outro inquérito mais recente (entre setembro de 2019 e dezembro de 2021), distribuído durante o projeto Europeu APACHE, que teve a participação de 72 países a nível mundial, mostrou que entre 756 respondentes de museus, bibliotecas e arquivos, somente 22 mediam os poluentes regularmente em áreas de reserva e que apenas 13 efetuavam medições em espaços expositivos (Mirabile, 2021).

2.4.1 *Objetivos*

Com o objetivo principal de verificar a situação atual dos museus em relação ao tema dos poluentes, particularmente no que se refere aos poluentes gasosos em microclima de acervo, uma série de três inquéritos⁸⁵ foram elaborados e aplicados durante o projeto de tese, sendo o primeiro desenvolvido com o propósito de avaliar a frequência que os museus inserem as suas pinturas em vitrines⁸⁶, molduras microclimáticas ou adicionam vidro/acrílico frontal

⁸⁴ Baseado em publicações encontradas na língua inglesa e portuguesa.

⁸⁵ As questões e resultados tabelados dos 3 inquéritos podem ser vistos nos Apêndices I, II e III.

⁸⁶ Considera-se aqui a vitrine como uma peça do mobiliário desenhada para expor os objetos do museu, podendo ser uma escultura, pintura, obra sobre papel, têxtil ou qualquer outro objeto. No caso de objetos bidimensionais, pode ser uma caixa de vidro/acrílico ou mesmo utilizar a moldura, vidro frontal e fecho do reverso como um artifício para a construção de uma vitrine para a pintura. Essa vitrine pode ser chamada de moldura microclimática, quando a pintura é inserida em um invólucro selado e se mantém a moldura fora deste

e/ou proteção no reverso. Simultaneamente, tencionou-se investigar os materiais e procedimentos utilizados nessa prática, além de explorar a existência, ou não, de protocolos em relação a medição de poluentes nos museus e mais particularmente no interior das vitrines, se existentes. Para melhor avaliar a frequência, metodologia e protocolos referentes à prática do uso de vidro/acrílico como proteção frontal em pintura, o inquérito foi subdividido em tópicos e seus objetivos principais foram previamente estabelecidos (**Tabela 36**).

Tabela 36 *Subdivisão do inquérito em tópicos e seus objetivos principais*

Tópicos	Objetivos
Informação institucional	Identificar o local (país) onde estão estabelecidas as instituições e avaliar o perfil da instituição, se são públicas, privadas ou de suporte misto.
Dados do acervo	Avaliar se há relação entre a dimensão do acervo de pintura e eventuais protocolos de monitorização de poluentes.
Proteção frontal de vidro ou acrílico	Verificar metodologias utilizadas referentes à colocação de vidros ou acrílicos em pintura e o motivo pelo qual são inseridos
Proteção no reverso da pintura	Verificar a frequência, metodologia e materiais utilizados no reverso da pintura.
Abordagem conceitual	Avaliar eventuais críticas a respeito da interferência visual/estética causada pela colocação do vidro/acrílico.
Poluente	Verificar a existência de estratégias e protocolos para mitigar possíveis riscos causados por poluentes no interior de molduras microclimáticas ou vitrines.

invólucro. Pode adicionalmente ser chamada vitrine tipo caixa, quando a pintura e sua moldura são introduzidas dentro de uma caixa de acrílico/vidro. Pode ainda ter simplesmente uma proteção frontal e/ou proteção no reverso. No presente inquérito, as vitrines estudadas estão limitadas à proteção de pinturas.

2.4.2 *Publico-alvo*

O inquérito foi construído para respondentes pertencentes ao quadro de museus nacionais e internacionais, nomeadamente conservadores ou profissionais que atuem na preservação dos acervos, de forma que possam fornecer dados fidedignos. Entretanto, para museus menores, casas museus ou fundações que eventualmente não possuam um conservador responsável, considera-se aceitável que o inquérito seja respondido pelo profissional que conheça o acervo e que esteja apto em responder as questões que envolvam sua conservação.

2.4.3 *Método experimental*

Organizado em duas versões, o inquérito foi redigido em português e em inglês. As duas versões foram igualmente elaboradas e inseridas na plataforma do Google *Forms*. A distribuição foi realizada através de e-mails pessoais ou institucionais, baseados nos contatos pessoais da autora ou através dos contatos adquiridos através dos sites institucionais de museus e em redes digitais. Foi distribuído para um total de 131 instituições museológicas nacionais e internacionais, sendo 5 da Alemanha, 4 da Argentina, 6 da Áustria, 35 do Brasil, 1 da Colômbia, 1 da Coreia do Sul, 11 da Espanha, 12 dos EUA, 22 da França, 3 da Holanda, 2 da Hungria, 5 da Inglaterra, 6 do México, 1 de Mônaco, 2 da Noruega, 1 do Paraguai, 1 da Polónia, 7 de Portugal, 1 da Suíça, 1 do Uruguai, 1 do Reino Unido, além de ter sido divulgado pela rede do ICOM Brasil, ICOM Portugal, na rede do *ConsDistList*⁸⁷ e no site dos Museus de Santa Catarina, Brasil. Foi recebido um total de 27 respostas válidas. Posteriormente, os resultados dos inquéritos em português e em inglês foram resumidos e trabalhados em Microsoft Excel. Para as perguntas onde se detetou respostas inválidas, foi

⁸⁷ A *Conservation DistList* (*ConsDistList*) foi um projeto da Fundação para o Progresso da Conservação, que apoia a educação, investigação e atividades de divulgação da conservação. Desde 2019 está sediado no *Global Conservation Forum*.

mantido o respondente para as estatísticas, mas foi assinalado como "omisso". O inquérito permaneceu aberto para respostas durante 14 meses⁸⁸.

Aproximadamente 60% das questões foram apresentadas no formato aberto e descritivo, pois considerou-se importante perceber a diversidade de práticas adotadas nas instituições nesta área. Como era esperado, houve a necessidade de um reagrupamento das respostas após a receção do inquérito. O reagrupamento foi aplicado sobretudo em respostas que registavam quantidades (números), mas também em respostas descritivas com o agrupamento realizado por semelhança do conteúdo (ex. materiais com o mesmo nome).

Os resultados estão expostos em tabelas, assim como em forma gráfica, de forma a evidenciar os percentuais e auxiliar na comparação dos dados.

Os dados recebidos por meio dos inquéritos foram analisados com o auxílio do editor de dados da IBM, *SPSS Statistics*, Versão 28.0. Os dados foram tratados e transformados em gráficos e tabelas utilizando o *SPSS Statistics* e o Excel, Microsoft Excel para Mac, Versão 16.61.1 (22052000). As questões do inquérito em sua íntegra, estão disponíveis no Apêndice I.

2.4.4 *Informações institucionais*

A identificação das instituições, assim como de seus respondentes, foram omitidas na análise dos dados, por questões de proteção de dados e por não ser considerado relevante para o objetivo principal da investigação.

O inquérito foi respondido por um total de 27 instituições⁸⁹ divididas entre 8 países diferentes, onde o Brasil foi o país com maior número de representantes (44,4%) em

⁸⁸ Período de 18/04/2019 a 08/06/2020.

⁸⁹ Foram analisadas as respostas enviadas por 27 museus distintos, sendo que um deles enviou duas respostas diferentes encaminhadas e preenchidas por dois profissionais da mesma instituição e do mesmo setor. Neste

comparação com os outros respondentes, fato que pode se justificar por ter sido o país onde houve maior distribuição do inquérito (**Tabela 37**).

Além da localização geográfica, a caracterização dos museus foi avaliada a partir do país de procedência, do domínio financeiro da instituição (público, privado ou misto) e da dimensão total do seu acervo. A dimensão do acervo de pintura foi considerada um dado importante para posteriormente verificar o percentual de pinturas que recebem proteções de vidros/acrílicos em comparação ao número de pinturas do acervo.

Tabela 37 Países representados no inquérito e a frequência por respondentes

País	Frequência	Porcentagem
Áustria	1	3,7%
Brasil	12	44,4%
EUA	6	22,2%
Países Baixos	1	3,7%
Noruega	1	3,7%
Polónia	1	3,7%
Portugal	1	3,7%
Reino Unido	4	14,8%
Total	27	100,0%

caso foi considerado um único respondente e as respostas que entre eles não coincidiam, foram consideradas como inválidas/omissas.

Os museus podem ser de domínio público, privado ou mesmo serem parcialmente público e parcialmente privado, aqui nomeados como museus "mistos". O propósito da questão foi o de traçar o perfil das instituições respondentes e verificar se poderia haver algum tipo de relação entre o domínio dos museus e as práticas de colocação de vidros nas pinturas ou monitorização de poluentes.

Dos museus respondentes, 66,7% se identificaram como museus públicos, 22,2% como museus privados e somente 3% se enquadraram no sistema misto.

Do total de respondentes inqueridos, a grande maioria se identificou como conservador/restaurador, num total de 70,4%. O restante dos respondentes foi distribuído em minorias de 3,7% a 7,4% de profissionais das áreas da ciência da conservação, curadoria, gestão de acervo, museologia e área técnica de museus.

Figura 34. *Quantidade total de obras no acervo dos museus respondentes*

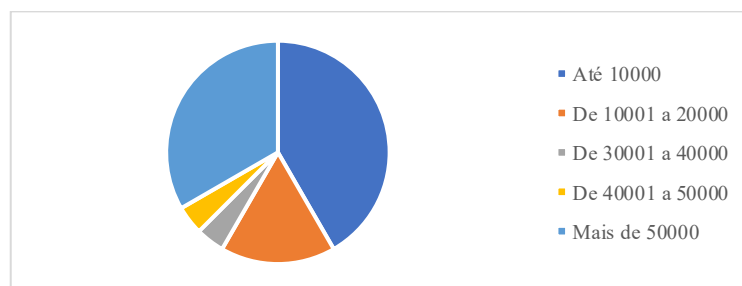
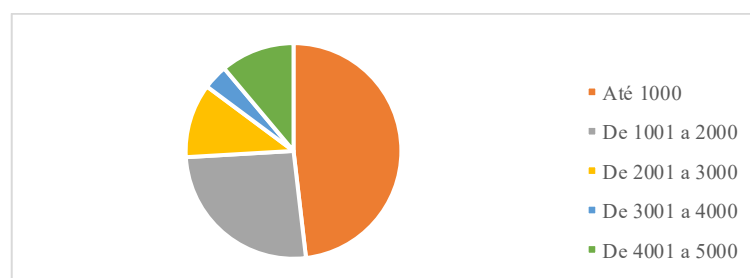


Figura 35 *Quantidade de pinturas no acervo dos museus respondentes.*



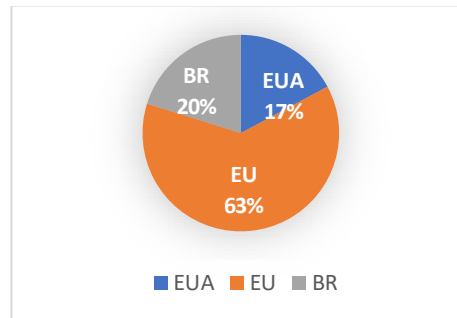
Os museus foram aqui classificados quanto a dimensão de seu acervo, nomeadamente o número total de objetos, para avaliar o tamanho das instituições dos respondentes. Foram classificados os museus com até 10.000 objetos (10 respondentes), museus entre 10.001 e 50.000 objetos (6 respondentes) e museus com mais de 50.000 objetos (8 respondentes). Ainda foi do interesse, verificar a dimensão do acervo de pintura para avaliar a frequência que os vidros/acrílicos frontais estão presentes em função da dimensão de seu acervo (**Figura 35**).

O controlo dos parâmetros climáticos é considerado de extrema importância na conservação de um acervo. Entretanto, os museus são muito diversos e fatores como o orçamento da instituição, tipologia da coleção, arquitetura do edifício ou o clima local podem fazer com que os museus administrem este tópico com estratégias particulares. Entre os museus respondentes, 88,9% afirmaram possuir controle de temperatura e HR automatizado em áreas de acervo, enquanto somente 7,4% disseram não ter controle desses parâmetros, sendo que destes, todos são museus pequenos, com menos de 1.000 objetos no acervo. Em relação a medição de gases poluentes, 59,3% dos respondentes afirmaram nunca terem medido, enquanto 25,9% medem ocasionalmente e somente 11,5% afirmaram medir periodicamente os poluentes em suas áreas de acervo. Não tendo sido possível estabelecer algum tipo de relação entre a dimensão do acervo e os museus que medem ocasionalmente ou periodicamente. Entre os respondentes que medem ou já mediram poluentes em áreas de acervo, os dispositivos utilizados foram os cupões metálicos (2), A-D strips e *Oddy Test* (1), amostradores passivos (SPME-GC/MS) (1) e *Particles Plus Handheld* 8306 (1), o que não representa uma amostra suficiente para se tirar conclusões. Ainda uma instituição respondeu que utiliza amostradores passivos através de aluguer a entidades exteriores. Um único respondente mostrou estar mais familiarizado com vários dispositivos, tendo já utilizado tubos de difusão, Eltek® *mixed* para dióxido de azoto e ozono, AirCorr® e OnGuard®. Dispositivos simples e com baixo custo, como o *A-D strips*, assim como o tradicional *Oddy test*, foram mencionados por uma única instituição. Estes resultados estão de acordo com Spiegel (2011) e Mirabile (2021) que referem que os gases poluentes seguem sendo pouco monitorizados em ambientes de acervo, seja por falta de conhecimento ou de verba.

2.4.5 Proteção frontal de vidro ou acrílico

Com o objetivo de criar um microclima diferenciado do restante do espaço, alguns museus inserem suas pinturas (Lundsten, 2021), sobretudo painéis (Wadum, 1998), em molduras ou vitrines microclimáticas, de forma a proporcionar uma melhor conservação para objetos vulneráveis a mudanças bruscas climáticas, ou simplesmente protegem as pinturas com vidros frontais e proteção no reverso (Barbosa et al., 2019), seja por razões de proteção contra vandalismo, poluentes ou mesmo para evitar acidentes durante os empréstimos (Hackney, 2007a). Entre os respondentes, 81,5% afirmaram que suas instituições possuem pinturas com proteção de vidro ou acrílico nas suas instituições. Entretanto, algumas pinturas já foram adquiridas com vidros frontais e outras foram inseridas pelos museus por diversas razões. Alguns respondentes não tinham registro de quantas pinturas haviam sido incorporadas ao acervo já com vidro. De um total de 20 respostas válidas, a frequência assinalada foi de 10 museus que afirmaram não haver nenhuma pintura que já tenha sido incorporada ao acervo com vidro frontal. Desses 10 museus, 7 assinalaram terem inserido posteriormente proteções de vidro frontal em suas pinturas. A frequência dos museus que inseriram vidros como proteção frontal em suas pinturas pode ser visualizada detalhadamente no Apêndice I. Para melhor verificar a frequência da prática do uso vidros ou acrílicos em pinturas por região geográfica, foi realizada uma divisão entre Estados Unidos da América (EUA), Europa (EU) e Brasil (BR) e calculado o percentual por país em função da proporção entre o número de pinturas no acervo e o número de pinturas com vidro ou acrílico (**Figura 36**). Ainda se observou que, apesar do Brasil ter um percentual mais elevado que os EUA, entre as 11 respostas válidas obtidas do BR, foi verificado que 5 instituições não possuíam nenhuma pintura com vidro e duas outras instituições possuíam 24% e 12% de seu acervo de pinturas com vidros ou acrílicos, sendo responsáveis por elevar o percentual no BR.

Figura 36 *Percentagem de pinturas com vidros em relação à dimensão do acervo de pinturas. Percentual por localização geográfica*



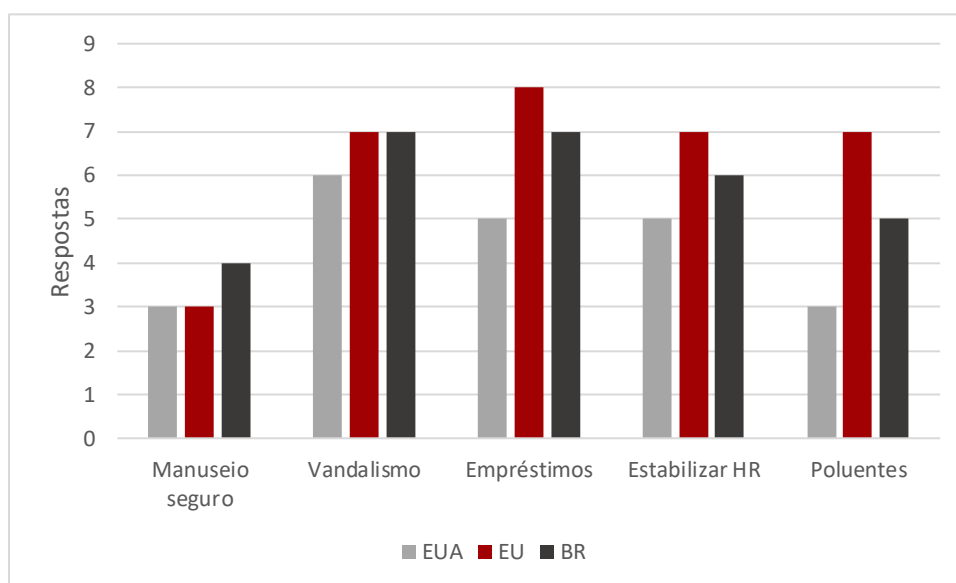
Entre as diversas razões que levam os museus a instalar um vidro frontal numa pintura (**Tabela 38**), a proteção física pareceu ser a maior preocupação das instituições, tendo sido assinalada pela maioria dos respondentes: "para prevenir contra vandalismo ou o toque dos visitantes" e "para proporcionar proteção durante os empréstimos". Um respondente que havia marcado "outros", especificou que também colocava vidros em pinturas que possuíam técnicas sensíveis, como pastel ou aguarela. Para uma melhor visualização por região geográfica, foi verificado que entre os respondentes da Europa, a principal razão para inserir vidros/acrílicos frontais, foi para aumentar a proteção durante os empréstimos, enquanto o manuseio seguro foi considerado a razão menos frequente entre as regiões dos Estados Unidos, Europa e Brasil (**Figura 37**). Esta questão, foi redigida com a opção de "caixa de verificação", ou seja, os respondentes tinham a possibilidade de marcar mais de uma resposta, entre as opções disponíveis, além da possibilidade de marcar "outros" e especificar.

Tabela 38 *Razões pelas quais os museus inserem vidros frontais em suas pinturas*

	Respostas	
	N	Percentagem
Proporcionar um manuseio seguro	9	11,8%
Prevenir contra vandalismo ou toque dos visitantes	19	25,0%

Proporcionar proteção durante os empréstimos	19	25,0%
Minimizar as flutuações de HR	17	22,4%
Proteger contra gases poluentes externos ou partículas	11	14,5%
Outro	1	1,3%
Total	76	100,0%

Figura 37 Razões para a instalação de vidros frontais. Frequência por região geográfica



No início do inquérito, o termo "pintura" foi usado sem, contudo, especificar o suporte. Para clarificar os tipos de pintura protegidos com vidro/acrílico, foi solicitado que os respondentes especificassem dentre os tipos de pintura. Os suportes de madeira (29,0%), papel (29,0%), e tela (33,9%) recebem atenção semelhante em relação a proteção de vidro. Adicionalmente, alguns respondentes mencionaram que pintura sobre cobre, desenhos, pintura com técnica mista e colagem também recebiam proteção de vidro em suas instituições. Uma outra instituição mencionou que em obras com suporte de papel, o vidro só é mantido durante

exposições. Quando acondicionadas em reserva, o vidro é retirado e os papéis são guardados em mapotecas.

O período ao qual as pinturas protegidas por vidro se enquadram, não pareceu ser um fator seletivo para a colocação de vidros e acrílicos. Apesar de um maior número de respondentes (15) terem assinalado as pinturas do século XX, ao analisar o perfil desses museus, pareceu que a escolha estava mais relacionada com o período das obras que cada museu abriga. Não foi possível verificar se havia algum critério específico associado às pinturas protegidas por vidro com a data em que foram pintadas.

A segurança durante os empréstimos, conforme apontado por 25,0% dos respondentes é um dos principais motivos para proteção com vidro e acrílico, sendo que 54,5% responderam que mantêm os vidros após o retorno dos empréstimos, 13,6% responderam que não e 31,8% consideraram que "algumas vezes" os vidros são mantidos.

2.4.6 Molduras microclimáticas e caixas de vidro/acrílico

As molduras microclimáticas são consideradas uma alternativa econômica (Sozzani, 1997) para proporcionar um microclima diferenciado para as pinturas, além de permitir a sua segurança física durante exposições e empréstimos. A partir de 1892 quando foram utilizadas para proteger uma pintura de J. M. William Turner "*Venice from the Canale della Guidecca*" do *Victoria & Albert Museum*, com resultados favoráveis para a sua conservação (Hackney, 2007a), que as molduras microclimáticas vêm sendo utilizadas por muitos museus (Dahlin, 2010). Como alternativa, as caixas de acrílico tendem a proporcionar uma proteção adicional às pinturas sem molduras. Ainda outras variantes de tipologias de vitrines para pintura podem ser vistas em alguns museus. Para simplificar e evitar erros na identificação, foram disponibilizados nos inquéritos distribuídos, os esquemas simplificados das molduras

microclimáticas⁹⁰ e vitrines microclimáticas⁹¹ (**Figura 38**). Pretendeu-se nesta pergunta, investigar a frequência, metodologia e materiais utilizados na confecção das vitrines e molduras microclimáticas.

As molduras microclimáticas foram assinaladas como sendo mais usuais pelos museus respondentes, que as vitrines microclimáticas (**Figura 39** e **Figura 40**). Sua selagem é feita maioritariamente com Marvelseal^{®92} e/ou com fitas de alumínio. O Marvelseal[®] é um filme barreira vendido em rolos, característica essa que lhe permite selar grandes superfícies, enquanto a fita de alumínio é mais utilizada para fechamento de bordas e gretas, normalmente na área de junção entre dois materiais. Tipologias de molduras microclimáticas foram exploradas pelo projeto PROPAINT e a utilização da fita de alumínio e do Marvelseal[®] é amplamente utilizada pelos museus do projeto mencionado⁹³. Esta questão foi redigida com sistema de resposta em aberto e os resultados foram reagrupados por semelhança, ratificando a frequência da utilização de fitas de alumínio (5) e do filme Marvelseal[®] (5) na vedação de molduras microclimáticas. Com menor frequência, ainda foram assinalados materiais como o Tyvek[®] (1), silicone (1) e *neoprane* (1).

⁹⁰ A nomenclatura do inglês: *microclimate frame* (Dahlin, 2010), *microclimate boxes* (Wadum, 1998) ou *microclimate vitrine* (Sozzani, 1997), acabam por se referirem todos ao mesmo esquema representado como "A" na figura 39, onde a pintura é inserida em um invólucro e este é montado na sua moldura. Neste caso, a moldura não fica dentro do invólucro, somente a pintura.

⁹¹ Para diferenciar das molduras microclimáticas, aqui chamamos de "vitrines microclimáticas" aquelas que têm a pintura e a moldura em seu interior, ou no caso de pintura sem moldura, onde a caixa -vitrine ficará sempre aparente.

⁹² O Marvelseal[®] é um filme de polietileno aluminizado e nylon termo selante com capacidade de bloquear vapores de água e gases atmosféricos.

⁹³ O relatório final de atividades do projeto PROPAINT está disponível on-line (Dahlin, 2010).

Figura 38 Esquema simplificado: (A) Moldura microclimática; (B) Vitrine microclimática

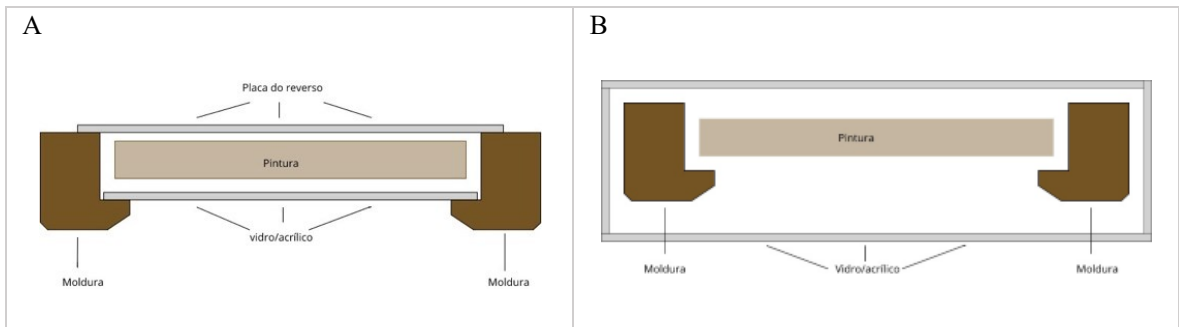


Figura 39 Quantidade de pinturas preservadas com molduras microclimáticas por percentual de respondentes

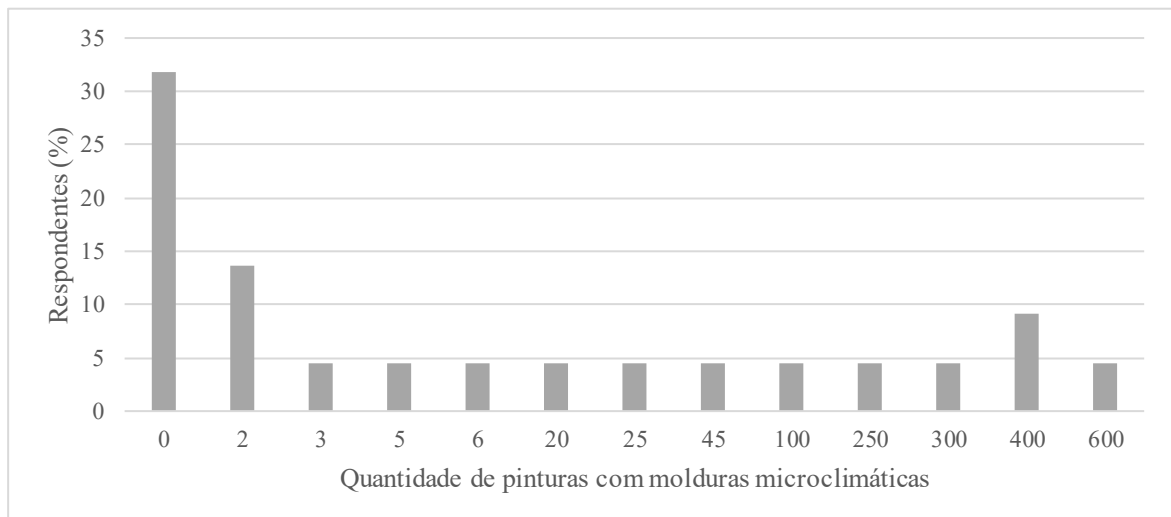
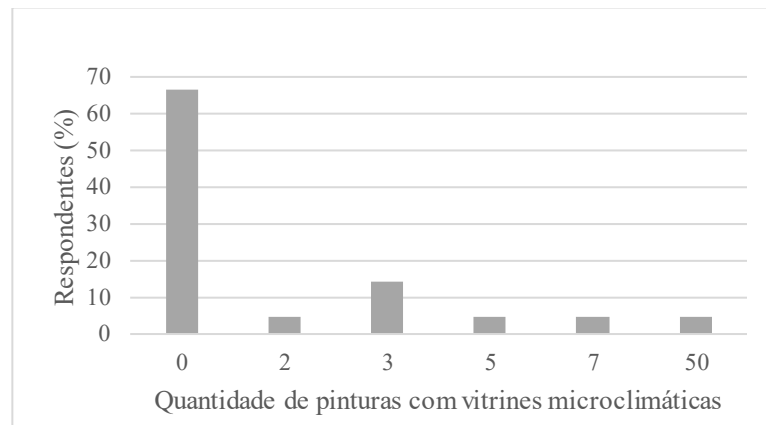


Figura 40 *Quantidade de pinturas preservadas com vitrines microclimáticas por percentual de respondentes*



Atualmente existem uma série de vidros com características diferenciadas direcionadas para museus. Adicionalmente, a tecnologia de fabrico de acrílicos também evoluiu e algumas particularidades indesejáveis desse material, como o reflexo, vulnerabilidade a abrasões e propriedade estática, foram corrigidas e passaram a corresponder às exigências dos museus, com características muito semelhantes à dos vidros, mas com vantagens em relação ao peso e resistência a quebra. Ambos os materiais têm características importantes para a conservação dos objetos, como a proteção contra radiação de UV (até 99% UV), capacidade anti-reflexo, transparência, proteção contra estilhaçamento (no caso do vidro), propriedade anti-estática e resistência à abrasão e à quebra (no caso do acrílico). Os materiais mais utilizados pelos respondentes, foram o *Tru Vue Optium Acrylic*, no caso dos acrílicos e o vidro *Mirogard[®] Protect* da *Schott Glass*. O vidro *Mirogard[®] Protect* é um vidro anti-reflexo, com proteção de 99,9% UV e laminado, com capacidade de não estilhaçar em caso de quebra (*MIROGARD[®] Protect Ultra | SCHOTT Advanced Optics*, n.d.). O acrílico da *Tru Vue*, também possui a característica de ser anti-reflexo, bloqueia cerca de 99% as radiações de UV, possui proteção anti estática, resistência a arranhões e, segundo o fabricante, é fácil de limpar, como o vidro (*Optium Museum Acrylic[®] - Tru Vue, Inc*, n.d.). Outros tipos de vidros e acrílicos foram apontados com menor frequência (**Tabela 39**). Quando comparado por localização geográfica, o acrílico da *Tru Vue* foi apontado com

maior frequência nos EUA, enquanto o vidro da *Schott Mirogard® Protect* foi considerado mais frequente entre os respondentes da EU.

Tabela 39 *Materiais utilizados como proteção frontal*

Material	Porcentagem
Tru Vue Optium Acrylic	17%
Mirogard Protect Schott Glass	17%
Vidro comum	14%
Vidro museu	14%
Acrílico comum (sem especificar marca)	9%
Acrílico com proteção UV e/ou anti-reflexo (sem especificar marca)	9%
Tru Vue Glass	9%
Outros	11%

Durante a montagem de um vidro numa moldura com pintura, é fundamental distanciar a pintura do vidro. Para isso, um determinado material é utilizado como distanciador ou afastador. Este afastador, quando necessário, ainda pode receber um revestimento adicional para evitar o atrito com a pintura (ex. feltro). A seleção desses materiais que estão inseridos no mesmo microclima da pintura é importante, já que podem libertar compostos voláteis adicionais no interior do invólucro. A madeira balsa é considerada uma madeira com menor acidez, quando comparada com outras madeiras (Hatchfield, 2002) e costuma ser utilizada como distanciador de vidro por ser uma madeira leve e macia. Adicionalmente, outros tipos de madeira foram indicados pelos respondentes, tais como a tilia, obeche, caixeta, ou mesmo a própria moldura, além de outras não identificadas. O potencial de emissão de gases ácidos da madeira já foi discutido anteriormente e é um material que demanda de atenção quando inserido em microclimas. O papel de passe-partout, muito utilizado em obras sobre papel

também foi assinalado, assim como a espuma de polietileno e o *foamboard* (poliestireno). Ainda que certos plásticos sejam bastante usuais em ambientes de museus, ácidos carboxílicos e aldeídos podem ser emitidos de um grande número de materiais poliméricos, tais como polietilenos (ex. *plastazote*) e poliestirenos (ex. *foamboard*) (Curran et al., 2017) e merecem ser vistos com atenção. Outros materiais relacionados com os revestimentos dos distanciadores e vedação, também foram indicados pelos respondentes, tais como a fita Volara® (espuma de polietileno com adesivo acrílico), fita 3M 425 (fita de alumínio com adesivo acrílico) e o feltro (**Tabela 40**)⁹⁴.

Tabela 40 *Tipos de materiais utilizados como distanciador entre a pintura e o vidro.*

Materiais	Percentagem
Madeira (diversas)	29%
Balsa	19%
Papel de passe-partout (<i>matt board</i>)	10%
Feltro	10%
Espuma de polietileno	10%
<i>Foamboard</i>	7%
Fita 3M 425	3%
Volara	3%
Espaçadores forrados (sem especificação)	3%
Cortiça	3%
Vários (sem especificação)	3%

⁹⁴ Questão com resposta livre, onde 22 respondentes indicaram um ou mais materiais.

2.4.7 *Proteções no reverso*

De acordo com o *Canadian Conservation Institute*, CCI (Hartin, 2017), a colocação de proteção no reverso de pintura é fortemente incentivada na conservação preventiva. Essas placas apresentam múltiplas funções, tais como: proteger contra danos mecânicos (ex. furos e rasgos); prevenir contra o depósito de partículas e outras sujidades; minimizar as flutuações de HR; reduzir o impacto na pintura em caso de batidas ou quedas; minimizar vibrações quando a pintura está em trânsito; bloquear a entrada de poluentes que podem danificar o suporte e dificultar a adesão de etiquetas diretamente no reverso da pintura. Com a colocação adicional do vidro frontal, a proteção contra alguns dos fatores mencionados tende a ampliar (Hackney, 2007a; Hartin, 2017; Michalski, 2005).

A maioria dos museus afirmou colocar proteção no reverso de suas pinturas (69,2%), enquanto 23,1% responderam que colocam algumas vezes. A quantidade de pintura protegida no reverso é muito variável e no presente inquérito, os museus com maior acervo de pinturas foram os que indicaram a utilização deste procedimento em percentagens mais elevadas, quando comparado com a quantidade de pintura em seu acervo. Entre os respondentes correspondendo a museus com mais de 800 pinturas (39,1%) com proteção no reverso, 88,9% deles afirmaram que suas instituições possuem mais de 60% da sua coleção de pintura com proteção no reverso. Entre os respondentes com menos de 200 pinturas (39,1%) protegidas no reverso, todos responderam que o percentual de pinturas com proteção no reverso equivale a menos de 20% do total de pintura em suas coleções. Quando comparado entre regiões geográficas, os museus dos EUA foram indicados como os que mais inserem proteção no reverso de suas pinturas (81,3%), seguidos pelos países da Europa (41,0%) e com menos frequência a prática é utilizada no Brasil (26,8%).

O *foamboard* foi assinalado por um total de 32,7% das instituições, como o material mais utilizado no reverso⁹⁵. Trata-se de uma espuma de poliestireno laminada com papel nos dois lados, sendo opcional o papel neutro. É um material leve, de fácil trabalhabilidade, com

⁹⁵ Questão que permitia múltiplas escolhas sobre os tipos de materiais utilizados.

menor resistência quando comparado aos plásticos rígidos. Em seguida ao *foamboard*, foram indicados o plástico corrugado (18,4%), o policarbonato alveolar (14,3%) e a placa de acrílico (10,2%). Os plásticos (policarbonato, corrugados, acrílico) são materiais rígidos, resistentes, leves e permitem uma difusão mínima de humidade. Alguns ainda são transparentes (acrílicos, policarbonato alveolar cristal), que permite a visualização do reverso da pintura e de eventuais inscrições. Por não serem materiais higroscópicos, não irão absorver ou libertar vapores de água em função das condições ambientais. Com menor frequência, foram indicados o papel cartão (8,2%) e o papelão corrugado (4,1%). A fixação das placas no reverso é feita por parafusos diretamente na moldura (37,5%), sendo que por vezes pode ser adicionalmente selada (31,3%), ou no chassis com parafusos (9,4%), que eventualmente também pode ser selada (9,4%). A instalação da proteção no reverso com entradas para ventilação só foi apontada por 3,1% dos respondentes.

2.4.8 Abordagem conceitual

Inserir uma proteção frontal em uma pintura, pode interferir esteticamente na obra de forma indesejada, além de adicionar um peso extra. Os vidros e acrílicos antirreflexo são usualmente mais dispendiosos que os vidros e acrílicos que emitem reflexo. Além disso, mesmo os vidros antirreflexo podem emitir um reflexo azulado ou esverdeado se a iluminação for inadequada. Em pinturas modernas ou contemporâneas que não possuem moldura, a colocação de proteção frontal ou de uma vitrine, pode implicar interferências na leitura da obra indesejadas pelos curadores, artistas, ou mesmo pelos visitantes. Este tipo de interferência é uma das desvantagens da proteção frontal com vidro ou acrílico. Grande parte das críticas em relação aos vidros/acrílicos frontais são provenientes dos curadores (34,5%). Menos críticos são os visitantes (20,7%), os artistas (10,3%) e os conservadores/restauradores (3,4%). Algumas instituições da Europa e do Brasil afirmaram nunca terem recebido críticas sobre a prática (27,6%). De uma forma uniforme, os curadores foram indicados como os mais críticos, independente da posição geográfica em que o museu se encontra. Entretanto, não foi possível identificar se as críticas eram direcionadas aos vidros e acrílicos antirreflexo ou se eram exclusivamente aos vidros e acrílicos comuns, já

que muitas das instituições dos respondentes trabalham com diferentes tipos de vidros e acrílicos.

Para melhor esclarecer o motivo pelo qual as instituições não aderem à prática do uso de proteção frontal em pintura, foi apresentada aos respondentes do inquérito uma questão com respostas fechadas sobre o tópico. Os principais motivos assinalados pelos museus foram: a dimensão da pintura (muito grande) (29,7%), quando não há vidros ou acrílicos disponíveis no tamanho da obra, e a razão financeira (27%). A interferência estética (16,2%) foi apontada como uma das outras razões, e com menos frequência, foi indicado o risco de biocolonização (mofo) (8,1%), além de alguns respondentes justificarem que possuem dúvidas sobre seus benefícios (5,4%). Adicionalmente, 13% dos respondentes que responderam "outros", identificaram o sobrepeso causado pelo vidro como fator prejudicial para o manuseio seguro; a falta de recursos humanos para conduzir o projeto; outras prioridades; questões internas (curadores); e nunca ter pensado a respeito. As justificativas para não colocar proteções frontais, parecem estar mais relacionadas com situações específicas que impossibilitam a colocação da proteção, tais como a grande dimensão de certas pinturas ou a falta de recursos financeiros, que propriamente desvantagens inerentes à prática. Ainda foi observado que, dependendo da localização geográfica do museu, as razões prioritárias serão diferentes. Entre os respondentes de instituições dos EUA, as razões estéticas (34%) e de dimensão (33%), foram indicadas com maior frequência, enquanto os respondentes da EU apontaram a dimensão (50%) e as razões financeiras (40%), como os principais motivos. No Brasil, as razões financeiras (29%) foram apontadas como sendo as justificativas mais frequentes, enquanto outras razões diversas foram marcadas na sequência (23%).

Algumas alterações ou problemas poderão ser observados após a colocação de proteção frontal com vidros/acrílicos em pinturas. Do total de respostas a esta questão, 40,7% afirmaram já terem observado alterações ou problemas, enquanto 51,9% afirmaram não terem observado problemas. Entre as alterações observadas, foram identificadas alterações relacionadas com os poluentes provenientes de madeiras novas, COV, embaciamento no vidro, acréscimo de peso, deslocamento de acrílicos de grande dimensão, reflexos indesejados (mesmo em vidros antirreflexo), fungos, condensações e sujidades (**Tabela 41**).

Muitas das alterações relatadas no inquérito, já foram tema de discussão e investigação anteriores. A formação de embaciamento (*fogging*) no interior dos vidros foi anteriormente relatada por diversos autores (Ganiaris & Readman, 2016; Grøntoft et al., 2014; Noble & van Loon, 2010; Ordonez & Twilley, 1997; Poulin, Coxon, Anema, Corbeil, et al., 2020; M. R. Schilling et al., 1999; van Iperen et al., 2021) e pode ser causada por fatores diversos, nomeadamente, poluentes particulados ou compostos voláteis (ex. ácido acético), fungos, ácidos gordos que migram para a superfície do vidro, saponificação e formação de sais ou mesmo pelos materiais utilizados na limpeza dos vidros. Poluentes provenientes da madeira de molduras novas também já foi relatado por outras instituições (Barbosa et al., 2019) e reforça as questões relacionadas com a acidez da madeira. Além da madeira, sabe-se que os COVs podem ser emitidos pelos têxteis, tintas, adesivos, vernizes e materiais de restauro (Chiantore & Poli, 2021).

Tabela 41 *Tipos de alterações observadas em pinturas com proteção frontal*

1	Poluentes da madeira da moldura nova;
2	A formação de embaciamento na superfície interior;
3	COV;
4	Peso (vidro), tamanho das pinturas;
5	Ocasionalmente o acrílico tende a saltar pela frente se for muito fino ou estiver com muita folga, especialmente em grandes dimensões e se a moldura for pouco consistente. O peso adicional, uma vez que o vidro e o acúmulo da estrutura do verso são adicionados, pode limitar as posições de pendurar seguras e ficar muito pesado;
6	Ácidos gordos emanam turvando o interior do vidro, abrasonando o vidro ou forçando os revestimentos da moldura, aumentando seu peso;
7	O acrílico que adotamos, apesar de ser antirreflexo, pode lançar e projetar reflexos/refrações desagradáveis;
8	Surgiu fungos na superfície interna do vidro;
9	Mofo;
10	Molduras que não são estanques tendem a criar condensações e depósitos de sujidade;
11	Em raras ocasiões vemos uma impressão esfumada da camada de pintura no vidro.

2.4.9 Poluentes

Ambientes fechados tendem a concentrar poluentes voláteis que são emitidos em seu interior, sejam eles provenientes dos materiais de construção das vitrines, materiais de restauro ou mesmo dos objetos museológicos em si. As questões elaboradas neste tópico, tem como objetivo avaliar os procedimentos ou protocolos, quando aplicáveis, adotados pelos museus como prevenção ao acúmulo de COVs em microambientes de pinturas envidraçadas (com proteção frontal ou em vitrines), nomeadamente o tempo necessário para fechar uma pintura em vitrine após ela ser restaurada e se a instituição adiciona algum tipo de material adsorvente para mitigar os riscos de determinados COVs no interior das vitrines ou molduras microclimáticas.

A preparação de pinturas que irão participar de uma exposição envolve alguns procedimentos, sobretudo quando elas são emprestadas. Alguns museus inserem suas pinturas em molduras microclimáticas exclusivamente para empréstimos (Lundsten, 2021), enquanto outros adicionam proteção frontal mesmo em exposições de longa duração no próprio museu (Barbosa et al., 2019). Algumas vezes as pinturas são limpas ou restauradas antes de receberem a proteção frontal ou serem inseridas em vitrines ou molduras microclimáticas. Entre os respondentes que assinalaram que as pinturas são limpas⁹⁶ antes de receberem proteção frontal, a maioria (62,5%) afirmou limpar a frente e o reverso da pintura, enquanto 29,2% responderam que limpam ocasionalmente e apenas uma minoria afirmou não limpar (4,2%). Foi ainda questionado o tempo estipulado pelos museus para fechar uma pintura com vidro/acrílico após o restauro, com resultado variável. Entre os respondentes, 21,4% afirmaram que aguardam entre 2 e 3 meses até que a pintura receba a proteção frontal, 14,3% responderam que suas pinturas são fechadas 1 mês após o restauro, enquanto os outros respondentes demonstraram não possuir protocolos definidos. Os

⁹⁶ Limpar uma pintura é um termo muito amplo que pode fazer referência a uma limpeza de sujidades ou de vernizes e repinturas. A limpeza de sujidades pode ser uma limpeza "seca" (ex. com pincel, borracha, etc.) ou aquosa (ex. água, enzimas, solventes, etc.). A limpeza (remoção) de vernizes e repinturas muitas vezes implica na utilização de solventes que emitem diversos compostos voláteis, dependendo da sua natureza.

respondentes que assinalaram que o prazo pode ser variável (35,7%), especificaram que o tempo para fechar uma pintura em vitrine irá depender do tempo disponível para efetuar os procedimentos de restauro em função das datas estipuladas para o início da exposição e que em alguns casos, a pintura é fechada imediatamente após o tratamento de restauro por não haver tempo.

O uso de materiais absorvedores e estabilizadores de HR no interior de vitrines ou molduras microclimáticas foi avaliado através de uma pergunta fechada focada no uso de sílica gel, ArtSorb[®] ou ProSorb[®]. Entre os respondentes, 10,0% afirmaram utilizar algum tipo de material absorvedor, 80,0% responderam que não adicionam nenhum dos absorvedores mencionados e 10,0% marcaram que usam algumas vezes. Daqueles que responderam que usam materiais absorvedores mesmo que ocasionalmente, o ArtSorb[®] (66,7%) foi considerado o material mais usual e o ProSorb[®] (16,7%) e a sílica gel (16,7%), foram considerados menos usados. A proteção frontal e proteção no reverso ou mesmo vitrines minimamente seladas têm mostrado um resultado favorável na estabilidade da HR sem nenhum material absorvedor adicionado. Os próprios materiais higroscópicos que compõem as pinturas (ex. madeira, tecido), têm mostrado ser o suficiente para manter o equilíbrio de humidade no interior de invólucros com pequenos volumes de ar (Dahlin, 2010; Hackney, 2007a; Thickett, 2008).

Apesar de haver uma incidência crescente de investigações sobre materiais adsorventes de gases poluentes nos últimos anos e seu uso em microclimas de museus (Bordes, 2021; Canosa, 2019; Cruz et al., 2004; Zhu et al., 2020; Zuliani et al., 2022), todos os respondentes indicaram que não utilizam adsorventes no interior de vitrines, entretanto, um deles justificou que sua instituição não utiliza, mas que o interior da moldura/placa de reverso é cuidadosamente selado e que já foi testado, sendo que só a emissão da pintura, previamente medida em várias instâncias, mostrou ser abaixo dos níveis de danos e nunca acima.

2.4.10 *Comentários*

O inquérito aplicado forneceu dados experimentais a respeito da prática do uso de proteção frontal de vidro ou acrílico em pinturas e evidenciou uma escassez de protocolos, no que diz respeito ao agente "poluente" em microclima de museus. Este resultado motivou, na sequência, a uma investigação mais apurada sobre a experiência que os profissionais de museus reúnem, a respeito dos poluentes em instituições que abrigam acervos, particularmente em Portugal e no Brasil.

De acordo com as respostas obtidas, os principais motivos que levam os museus a protegerem suas pinturas com vidro ou acrílico, são a proteção contra vandalismo, proteção durante empréstimos e a minimização das oscilações de HR. A prática de utilização de proteção frontal, molduras microclimáticas ou vitrines microclimáticas se mostrou menos usual no Brasil quando comparada às instituições da Europa e dos EUA. Ainda foi observado que no Brasil e Portugal o fator preponderante para a não utilização de proteções frontais foi a questão financeira, enquanto nos outros países foi a indisponibilidade de vidros e acrílicos para pinturas de grande dimensão.

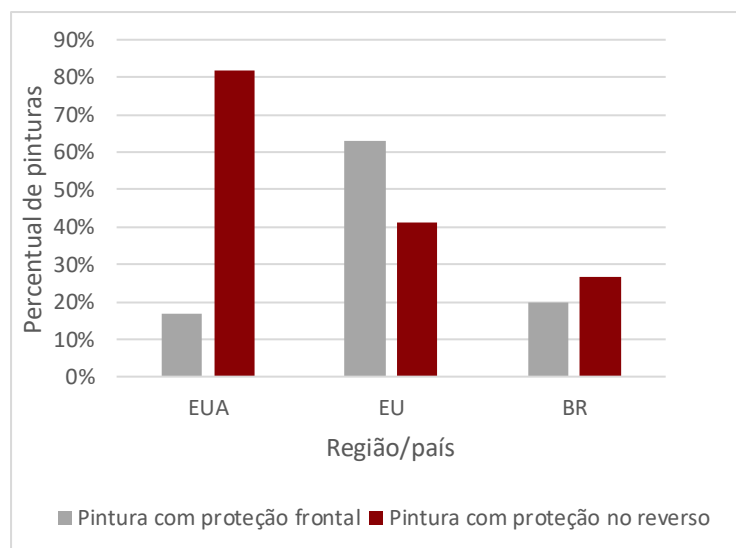
Os dados obtidos sobre a monitorização periódica de poluentes demonstrou ser uma prática pouco usual nos museus, com resultados equivalentes ao dos inquéritos anteriores, provenientes de projetos europeus já citados. Enquanto no inquérito atual 11,5% dos respondentes afirmaram monitorizar periodicamente os poluentes, no projeto MEMORI (Spiegel, 2011) o percentual foi de 10,7% e no projeto APACHE (Mirabile, 2021) o percentual foi de 2,1%⁹⁷.

Ao analisar as características dos museus respondentes em relação ao domínio, se público, particular ou privado, não foi observada nenhuma relação direta entre as categorias no que se refere à prática de colocação de proteção frontal em pinturas.

⁹⁷ No relatório do inquérito é especificado em número de respondentes (22 de 1053 respondentes) e não em percentagem.

Quanto a colocação de proteção no reverso de pinturas, foi verificado por região considerando o percentual de pinturas com proteção no reverso em relação com a quantidade de pinturas no acervo. O resultado evidenciou que as instituições americanas protegem com maior frequência suas pinturas no reverso (81,7%) em comparação com as instituições europeias (41,0%) e brasileiras (26,7%). Quando comparado com o percentual de proteção frontal, também em função da quantidade de pinturas na coleção, os resultados destacaram que a prática de colocação de proteção frontal em pinturas é mais usual na Europa (63%), se comparada com as instituições do Brasil (20%). Ainda se verificou que apesar dos EUA protegerem o reverso de suas pinturas com relativa frequência, o percentual de pinturas com proteção frontal é inferior ao das outras regiões (17%) (**Figura 41**).

Figura 41 *Relação percentual entre pinturas com proteção frontal e pinturas com proteção no reverso por região*



Este inquérito revelou algumas diferenças entre as regiões das instituições dos respondentes, no que se refere à prática da proteção de pinturas, seja frontal, no reverso ou em forma de vitrine. Ainda evidenciou uma lacuna importante no que se refere à monitorização e

estratégias para mitigação de poluentes em microclima de museus que foram aprofundadas posteriormente na parte 3 da investigação, enfatizando as instituições do Brasil e de Portugal.

3 Rede Temática sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA)

3.1 A rede temática QAI-MBA

3.1.1 *Introdução*

Durante as pesquisas bibliográficas realizadas sobre poluentes voláteis em microclimas de museus, bibliotecas e arquivos (MBA), verificou-se uma incidência menor de publicações na língua portuguesa e/ou materiais publicados por autores brasileiros e portugueses, em comparação com as publicações encontradas na língua inglesa⁹⁸, provenientes de investigações realizadas em países da Europa, Canadá e EUA, particularmente no Reino Unido (Bembibre & Strlič, 2017, 2022; Blades, 1995, 2007; Bradley & Thickett, 1998; Brimblecombe et al., 1999; Curran et al., 2015; Fenech, Strlič, Degano, et al., 2010; Green & Thickett, 1995; Hackney, 2016; Lee & Thickett, 2011; Odlyha et al., 2007, 2008, 2011, 2012; Odlyha & Thickett, n.d.; Thickett & Allen, 2018; Thickett & Costa, 2008, 2014; Thickett & Lee, 2004; Thomson, 1986), Canadá (Michalski, 2007; Tétréault, 1993, 1999b, 2021a), Dinamarca (Padfield, 1966; Padfield & Erhardt, 1987; Ryhl-Svendsen, 2001; Smedemark, Ryhl-Svendsen, & Toftum, 2020; Smedemark & Ryhl-Svendsen, 2022), Estados Unidos (Grzywacz, 2006; Grzywacz et al., 2011; Hatchfield, 2002; Krause et al., 1994), Noruega (Dahlin, Grøntoft, Henriksen, et al., 2010; Grøntoft et al., 2018; López-Aparicio et al., 2010), Alemanha (Mottner, 2006; Schieweck, 2009; Schieweck et al., 2007), Slovenia (Kraševc et al., 2021; Menart et al., 2014), Bélgica (Anaf et al., 2018, 2020; Marchetti et al., 2017; Schalm et al., 2018, 2022; 't Hart et al., 2016), entre outros. Adicionalmente, após visitas técnicas (Museu Calouste Gulbenkian e Museu Fundação de Serralves) e investigação conduzida em museus portugueses (Museu Coleção Berardo, Museu Nacional Soares dos Reis,), além do conhecimento prévio da realidade dos museus brasileiros (Barbosa & Moreira, 2012; Moreira et al., 2014), ou através de inquéritos⁹⁹, foi

⁹⁸ As pesquisas foram realizadas somente em publicações na língua inglesa e portuguesa.

⁹⁹ Ver resultado do inquérito na parte 2, capítulo 13.

detetada uma lacuna de conhecimento sobre os poluentes em MBA luso-brasileiros, no que diz respeito às suas fontes, reações, sinergia, monitorização, mitigação, entre outros.

A necessidade de se ter o tema abordado de forma mais aprofundada, não é algo recente. Após uma conferência¹⁰⁰ intitulada *Museum Pollution: Detection and Mitigation of Carbonyls*, onde estavam presentes mais de 30 representantes do Reino Unido, Holanda, Dinamarca, Canadá e Estados Unidos, foi decidida a criação do grupo *Indoor Air Pollution Working Group* (IAP), com o objetivo de aprofundar os conhecimentos sobre os efeitos dos poluentes carbonilos (ácido acético, ácido fórmico, formaldeído), bem como desenvolver investigações em torno da detecção e mitigação dos poluentes em museus. Desde então, são realizadas conferências sistemáticas. Apesar de se tratar de um grupo com âmbito internacional (IAP Working Group, 2021), desde a sua criação, poucas foram as comunicações de brasileiros e portugueses em suas conferências, entre elas, citam-se: Virgínia Costa em 2006 (Costa & Dubus, 2006) e 2008 (Thickett & Costa, 2008), Andrea Cavicchioli em 2006 (Odlyha et al., 2006), 2008 (Odlyha et al., 2008), 2012 (Cavicchioli et al., 2012), 2018 (Cavicchioli et al., 2018), Morena Ferreira (M. Ferreira et al., 2020), Nuno Saraiva (Saraiva et al., 2020) e Karen Barbosa (Barbosa et al., 2020) em 2020.

Entre as referências bibliográficas encontradas, referentes à monitorização de gases poluentes em MBA no Brasil e em Portugal, pode-se mencionar as investigações realizadas por Shin Maekawa (2015), nos projetos de estudo do meio ambiente em museus brasileiros, com destaque ao complexo projeto executado na Casa de Rui Barbosa, no Rio de Janeiro. Virgínia Costa (2003, 2008) conduziu uma série de experimentos utilizando placas metálicas, como dosímetros, em museus no Brasil e na Europa, cujo objetivo era de avaliar a qualidade do ar interior e compreender o seu efeito danoso sobre os artefactos metálicos. Karen Barbosa e Anna Ramus Moreira (Barbosa & Moreira, 2012) investigaram os compostos voláteis responsáveis por causar manchas acinzentadas em esculturas de bronze no Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand (MASP). Ricardo Godoi e Ana Flávia Godoi (2014; 2006; 2013) realizaram medições de poluentes gasosos no Museu Oscar

¹⁰⁰ Conferência realizada em Glasgow, em 1998.

Niemeyer, em Curitiba e na Fundação Biblioteca Nacional, no Rio de Janeiro, utilizando os dispositivos de amostragem passiva Radiello[®] que foram posteriormente analisados com o auxílio do GC-MS. Andrea Cavicchioli (2012, 2017) realizou estudos sobre a qualidade do ar interior em alguns dos principais museus de São Paulo, nomeadamente, o Museu Paulista, Pinacoteca do Estado de São Paulo, Museu de Arqueologia e Etnologia e a Casa de Dona Yayá. Paula Homem (2013) investigou o escurecimento da prata e suas ligas através dos estudos da corrosão atmosférica, com ênfase para a conservação preventiva. Com o objetivo de compreender os aspetos sinérgicos na corrosão de artefactos em chumbo, Thiago Puglieri em sua tese de doutoramento (Puglieri, 2014) investigou os efeitos sinérgicos entre o formaldeído e ácido acético, ácido fórmico ou dióxido de carbono na corrosão do chumbo, avaliando sua agressividade em ambientes que abrigam bens culturais. A monitorização dos compostos voláteis foi realizada no Brasil, na Igreja dos Freis Carmelitas (Santos), no Museu de Arte Contemporânea (MAC) e no Museu de Arqueologia e Etnologia (MAE), ambos museus da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo. Durante o projeto europeu AMECP - Assessment and monitoring the environment of cultural property (EV5V CT92-0144) (Blades, 1995; Holden, 1992; Leissner, 2016), foi conduzido um programa de monitorização de poluentes voláteis em museus de Portugal (Museu de Maria da Vitória, Batalha), Alemanha (Würzburg) e Grã-Bretanha (Victoria & Albert Museum, Londres), quando se desenvolveu um sensor a base de vidro pelo *Fraunhofer Institute*, Alemanha. Luis Dias (2013) conduziu uma série de medições e análises da QAI no Museu Nacional de Arte Antiga (MNAA) em Lisboa, tendo sido monitorizadas as concentrações de COVs, dióxido de azoto, ozono, amoníaco e sulfureto de hidrogênio nas salas de ourivesaria e vitrines do museu. Estudos sobre a qualidade do ar e materiais poluentes foram conduzidos no Museu da Fundação Cupertino de Miranda, Porto (I. Mosca et al., 2007), trabalho esse que resultou numa série de recomendações para mitigação dos efeitos dos poluentes sobre os artefactos do museu. Marta Veríssimo (2019) explorou a tecnologia do "nariz eletrônico"¹⁰¹ na identificação de compostos voláteis emitidos por livros.

¹⁰¹ Baseado na tecnologia de cristais de quartzo piezoelétricos revestidos.

As medições de poluentes são realizadas frequentemente como estudos de caso pontuais, nomeadamente em projetos, teses ou investigações específicas como os casos aqui citados. Poucas evidências foram encontradas em relatórios, inquéritos ou publicações que demonstrassem a realização de monitorização sistemática de compostos voláteis em MBA no Brasil e em Portugal.

3.1.2 *Objetivos*

Diante da complexidade que envolve o tema da QAI e o efeito sinérgico sobre os materiais que compõem os objetos que se deseja preservar, objetiva-se de uma forma ampla, mas não exclusiva, disseminar e compartilhar o conhecimento, estimular discussões, compartilhar experiências, incentivar o desenvolvimento de metodologias e protocolos para a monitorização da QAI e instigar investimentos para a investigação e publicações sobre o tema. Adicionalmente, objetiva-se com esse contributo, disponibilizar informações de valências diversas, nomeadamente, nas áreas da química, metalurgia, biologia, engenharia, museologia e conservação de bens culturais, através do site da rede temática, dos *webinars* realizados e disponibilizados no *site* e das publicações resultantes dessa iniciativa.

A rede temática ambiciona impulsionar investigações sobre os poluentes no interior de MBA, estabelecer parcerias com instituições de investigação e principalmente, melhorar o entendimento sobre a complexidade que envolve o tema dos poluentes e suas implicações na QAI dos MBA.

Através do contributo de profissionais com especialidades diversas, objetiva-se agregar o conhecimento entre profissionais dos mais diversos saberes. Cada acervo é único e os espaços que o alojam também o são. O estado de conservação dos artefactos, sua localização, materiais de composição ou materiais que o circundam, clima ou microclima, frequência de público no espaço, incidência de radiação de luz visível ou UV, circulação, renovação ou filtragem do ar e a forma como o objeto está acondicionado, são alguns dos fatores que devem ser analisados para se traçar um plano de prevenção de riscos. As especificidades são muitas e o objetivo da rede é o de partilhar conhecimento, estreitar as relações entre os

profissionais dos MBA e os investigadores palestrantes, de forma a fomentar projetos futuros. Suportado pelo conhecimento dos palestrantes e pela literatura existente, pretende-se incitar debates e discussões sobre metodologias de monitorização e mitigação de riscos, estimulando o profissional a agir de forma preventiva. Além disso, pretende-se, despertar o interesse dos participantes (ouvintes) para as investigações e publicações e sobre o tema dos poluentes em microclimas de acervos.

Através da criação de um *microsite*, a rede temática faz a divulgação das gravações dos *webinars* realizados com o conteúdo em sua íntegra, de forma a favorecer a disseminação do conhecimento específico ali reunido. Com a divulgação do conhecimento através dos *webinars* e das referências bibliográficas disponibilizadas no site, a rede segue as diretrizes do IBRAM, Instituto Brasileiro de Museus (Instituto Brasileiro de Museus, 2013), do Eixo 3 - Monitoramento e Controle de Riscos do Programa de Gestão de Riscos ao Patrimônio Musealizado Brasileiro: "4. Divulgar fontes de referência, manuais e publicações pertinentes aos agentes de riscos em museus, suas causas e efeitos sobre os bens musealizados".

Dentro do tema de QAI, fazem-se de particular interesse exploratório para a rede temática, os seguintes tópicos:

- Poluentes gasosos e COVs: fontes e riscos;
- Material particulado (PM_{2,5} e PM₁₀);
- Polímeros como fonte emissora de COVs;
- Metodologias para monitorização de poluentes;
- Dosimetria com metais;
- Microbiologia;
- Sistemas de climatização e renovação do ar interior;
- Análise de risco;
- Alternativas económicas para medição e deteção de poluentes;

- Vitrines: vantagens e desvantagens no contexto dos poluentes;
- A qualidade do ar interior: controlo e mitigação.

3.1.3 *Definição*

A rede temática sobre a qualidade do ar interior em museus, bibliotecas e arquivos (QAI-MBA) é uma rede multidisciplinar luso-brasileira composta por profissionais individuais, instituições académicas e culturais, públicas ou privadas, que têm como interesse comum a investigação, a preservação do património, a monitorização da QAI, o desenvolvimento e o partilhamento de conhecimentos gerais e específicos sobre a qualidade do ar, sobretudo no que diz respeito aos poluentes danosos ao património móvel. Seu objetivo principal é de fornecer ferramentas em forma de conhecimento para os profissionais responsáveis pela salvaguarda de acervos e criar conexões multidisciplinares que possam contribuir para uma melhor gestão de risco e permitir possibilidades diversas de interação, discussão e debate sobre as múltiplas especificidades que envolvem o tema.

É uma rede sem fins lucrativos, liderada e administrada dentro do CITAR pelas investigadoras Karen Barbosa e Professora Doutora Patrícia Moreira. Foi fundada em 29 de julho de 2021 por ocasião de um *webinar* inaugural apresentado por Karen Barbosa, Professora Doutora Patrícia Moreira (investigadoras do CITAR), Professora Doutora Eduarda Vieira (diretora do CITAR) e contou com a participação de sua primeira investigadora convidada, a Doutora Virgínia Costa, engenheira metalúrgica, doutorada em Ciência dos Materiais com especialização em conservação do património histórico e cultural metálico.

A sede da rede temática QAI-MBA reside no CITAR, Centro de Investigação em Ciências e Tecnologia das Artes, na Universidade Católica Portuguesa, Porto, com o objetivo de permitir a expansão e manutenção da sua atividade e dinâmica, cumprindo com os seus objetivos, ampliando e diversificando iniciativas mesmo após o término deste projeto académico.

3.1.4 *Metodologia*

Para estruturar a rede temática, definir sua dinâmica de trabalho e estratégia de disseminação, foram contatados cerca de 30 profissionais do Brasil e de Portugal. Os profissionais foram selecionados em decorrência dos artigos publicados ou da área de atuação relacionada com a qualidade do ar, além de profissionais ativos na preservação e conservação de acervos de MBA. O tema da rede temática foi debatido com cada profissional, a fim de perceber melhor as carências, direcionar, definir e estruturar os tópicos a serem priorizados. A temática se mostrou de interesse comum, seja nas instituições que abrigam acervos, nas instituições de ensino ou nas instituições de investigação. Num primeiro momento, a rede temática foi idealizada unicamente para os museus, mas durante o processo de estruturação e a partir de investigações bibliográficas (ASHRAE, 2011a; Blades et al., 2000; Tétréault, 2021a), chegou-se a conclusão de que o tema da qualidade do ar interior, é objeto de interesse não só para os museus, mas também para as bibliotecas e arquivos. Conseqüentemente, a rede temática passou a incluir as bibliotecas e os arquivos como partes interessadas, a fim de alcançar um número maior de instituições com as mesmas necessidades. Foram convidados palestrantes cujo idioma falado fosse propositalmente o português, a fim de alcançar o público específico da língua portuguesa e já definir este quesito como um padrão. Adicionalmente foram contatadas instituições e organizações patrimoniais com a solicitação de apoio e divulgação da rede. As instituições que aceitaram o convite, estão inseridas na rede como “parceiros institucionais” e auxiliam na divulgação de todos os *webinars*. Os profissionais de MBA ou mesmo de instituições acadêmicas que aceitaram o convite para participar da rede, são denominados “membros individuais” e muitos deles participaram ativamente também como palestrantes. O público que assiste aos *webinars*, estão inseridos e cadastrados na rede como “participantes ouvintes”.

A criação da rede ocorreu no período pandêmico de Covid-19, no ano de 2021. Essa circunstância, de certa forma, facilitou a propagação e implementação da rede, já que a familiarização e a aceitação de apresentações e reuniões on-line, como os *webinars*, já estavam em níveis de prática avançados pela comunidade ligada ao património e

investigação científica. Não houve financiamento destinado à implementação do projeto e sua dinâmica se fez valer do contributo intelectual gentilmente cedido pelos mais diversos especialistas. Ancorada por essas circunstâncias, a rede temática se estabeleceu por meio de *webinars* mensais, onde profissionais especializados em temas de interesse comum, foram convidados a darem seus contributos e a debaterem sobre os tópicos de suas áreas de domínio para um público, mais ou menos amplo, de interessados com a QAI. Os *webinars*, em sua totalidade, foram gratuitos e abertos ao público via inscrição. Foi realizado o registo de todo o público inscrito, onde consta o nome, e-mail, área de atuação e instituição de vínculo, de forma a auxiliar na divulgação dos eventos seguintes, conhecer o perfil do público interessado e redirecionar os tópicos dos *webinars* subsequentes. O programa foi pré-determinado para o primeiro ciclo com 7 *webinars* ininterruptos, nomeadamente, de julho de 2021 a fevereiro de 2022, com um total de 9 palestrantes. Um segundo ciclo se desenvolveu entre abril e julho de 2022, com 5 *webinars* e 6 palestrantes.

A criação de um *microsite*, incorporado ao site da Universidade Católica Portuguesa, permitiu que as informações sobre a rede temática, assim como as gravações dos *webinars*, ficassem disponíveis *on-line* e alcançasse um número mais significativo de interessados.

Foi ainda distribuído um inquérito com o objetivo de avaliar o perfil dos participantes, particularmente os profissionais de MBA, em relação aos protocolos adotados pelas instituições nas quais trabalham, no que diz respeito a QAI, além de melhor avaliar as expectativas dos respondentes sobre a rede temática.

3.1.4.1 *Microsite*

Como fonte de informação, o *microsite* da rede temática QAI-MBA (<https://artes.porto.ucp.pt/pt/qai.mba?msite=3>) foi criado e está inserido no site da Universidade Católica Portuguesa, Porto, Escola das Artes, CITAR (**Figura 42**). Foi desenvolvido com o objetivo de armazenar conteúdo informativo e esclarecedor aos usuários da rede temática QAI-MBA. Sua estrutura simplificada facilita a comunicação e sua transmissão de forma clara e precisa, além de servir como ferramenta de consulta,

nomeadamente, para os *webinars* e para a literatura sugerida, inserida em uma das subdivisões do *microsite*. Adicionalmente, a comunicação com os usuários da rede é feita através do e-mail criado para a rede temática QAI-MBA (redetemastica.qai.mba@gmail.com). Dadas limitações na possibilidade de dinamização autônoma do *microsite* dentro da UCP, o e-mail, apesar de ser uma ferramenta tradicional e menos dinâmica, foi escolhido como alternativa para manter a comunicação entre o público e os administradores da rede.

Figura 42 Página inicial do site da rede temática QAI-MBA

The screenshot shows the homepage of the QAI-MBA network. The browser address bar displays 'art.es.porto.ucp.pt'. The header identifies the site as belonging to the 'Escola das Artes - Universidade Católica Portuguesa' and provides navigation links for 'CATÓLICA - PORTO', 'CAMPUS ONLINE', 'WEBMAIL', 'INTRANET', and 'SERVIÇOS'. The main banner features the QAI-MBA logo and the text 'REDE TEMÁTICA' and 'QUALIDADE DO AR INTERIOR EM MUSEUS, BIBLIOTECAS E ARQUIVOS'. Below the banner, there are two columns of text: 'Resumo' and 'Objetivos'. At the bottom, there is a diagram titled 'QAI-MBA' showing various factors like Ventilação, CO2, PM, Gases ácidos, etc., influencing a central image of a museum interior.

Resumo

A Rede Temática sobre a Qualidade do ar em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA) é uma iniciativa do CITAR, Centro de Investigação em Ciência e Tecnologia das Artes e foi fundada no âmbito do doutoramento da conservadora/restauradora e investigadora Karen Barbosa. É uma rede multidisciplinar composta por instituições luso-brasileiras, académicas e de memória (museus, bibliotecas e arquivos), públicas ou privadas, que tenham como interesse comum a investigação, a preservação do património, a monitorização e os estudos da QAI, o desenvolvimento e o compartilhamento de conhecimentos específicos, sobretudo em relação aos poluentes voláteis danosos ao património móvel, com a finalidade de conservação e prevenção de riscos. Tem como objetivo principal incentivar investigações, compartilhar o conhecimento e despertar o interesse dos profissionais de MBA sobre a complexidade das reações promovidas por poluentes gasosos no microclima dos edifícios.

Objetivos

Competências

Núcleo Fundador e contactos

Alargamento

Parceiros Institucionais e

Membros Individuais

Webinars

Publicações sugeridas

© 2021 Universidade Católica Portuguesa • Braga • Lisboa • Porto • Viseu
[Política de Privacidade](#) [Direitos do Titular](#) [Marca](#) [Comunicação](#) [Contactos](#) [Início](#)
 Mapa das páginas

3.1.4.2 *Webinars*

No primeiro ciclo de palestras, procurou-se diversificar os tópicos e contou em sua grande maioria, com investigadores vinculados a universidades que tivessem, adicionalmente, experiência prática a ser compartilhada. Foram incluídos profissionais do Brasil e de Portugal, propositalmente, não com o objetivo de confrontar, mas perceber as diversidades e semelhanças entre os dois países nos mais diversos aspetos a fim de se complementarem. O conteúdo proposto para cada sessão de palestras, foi previamente debatido entre os administradores da rede e os profissionais convidados, a fim de alcançar as expectativas e o propósito da rede temática, sendo definidos os títulos que refletem as temáticas pretendidas. Os palestrantes incluídos no primeiro programa de *webinars* da rede temática, assim como suas especialidades e título da apresentação encontram-se listados na **Tabela 42**.

Tabela 42 *Palestrantes do primeiro ciclo de webinars da rede temática QAI-MBA: área de especialização, vínculo institucional e título das palestras*

<i>Webinar</i>	<i>Palestrante</i>	<i>Instituição</i>	<i>Especialização</i>	<i>Título</i>
1°	Virgínia Costa	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil	Engenheira metalúrgica, atua na área de conservação do património histórico e cultural metálico.	Impacto das condições ambientais sobre objetos do património, algumas reflexões.
2°	Karen Barbosa	Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal	Conservadora e restauradora, atua no restauro, conservação de pinturas e conservação preventiva em museus.	Poluentes voláteis no interior de edifícios que abrigam acervos. O que precisamos saber.
3°	Gabriela Ventura	INEGI, Porto, Portugal	Química, atua na caracterização de emissões de poluentes dos materiais e na QAI.	Qualidade do ar interior - conhecer as fontes dos problemas para os resolver.
4°	Thiago Puglieri	Universidade Federal de Pelotas	Químico, docente, atua em análises de bens	Compreensão de processos de

		(UFPel), Pelotas, Brasil	culturais e seus processos de degradação.	deterioração e definição estratégicas de preservação.
	Andrea Cavicchioli	Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil	Químico, docente, atua em áreas da conservação dos materiais, poluição ambiental e análise de risco do património.	
5°	Patricia Schossler	Profissional independente, Brasil	Química, atua na identificação e caracterização de tintas modernas e polímeros semissintéticos.	Polímeros sintéticos e semi-sintéticos como fonte de compostos orgânicos voláteis em instituições culturais: impacto na conservação de objetos e na qualidade do ar.
6°	Bruno Fedeli	Hypocaustum, São Paulo, Brasil	Engenheiro mecânico, atua em climatização de museus.	A importância da climatização para a qualidade do ar interno.
	Sérgio Caeiro	Centro Cultural Belém, Lisboa, Portugal	Técnico em engenharia, atua em climatização de museus.	
7°	Paula Menino Homem	Universidade do Porto, Porto, Portugal	Historiadora com variante em arqueologia, conservação e restauro, mestre em química e doutorada em museologia. Docente, atua na área de gestão de riscos, conservação preventiva e proteção do património.	A sensibilidade da prata a algumas espécies atmosféricas. O problema para os artefactos e as suas potencialidades como sensor da qualidade do ar

Para o segundo ciclo de palestras, foram propostos tópicos ainda por abordar, como a microbiologia do património ou a qualidade do ar interior e sua implicação na saúde humana. Objetivou-se também abrir um espaço para a apresentação de estudos de caso, como o exemplo da Fundação Biblioteca Nacional, no Rio de Janeiro e a apresentação de um projeto europeu relacionado com o controlo de compostos gasosos em acervos fotográficos e cinematográficos, além de um estudo de caso relacionado com a preservação de objetos em prata (**Tabela 43**).

Tabela 43 *Palestrantes do segundo ciclo de webinars da rede temática QAI-MBA: área de especialização, vínculo institucional e título das palestras*

<i>Webinar</i>	<i>Palestrante</i>	<i>Instituição</i>	<i>Especialização</i>	<i>Título</i>
8°	Marta Gabriel	INEGI, Porto, Portugal	Bioquímica, com atuação na área de caracterização da QAI de habitação e edifícios públicos e mitigação de riscos.	Qualidade do ar interior: A importância do seu controlo para mitigar riscos para a saúde e bem-estar.
9°	Jandira Flaeschen	Fundação Biblioteca Nacional, Rio de Janeiro, Brasil	Conservadora e restauradora, atua na área de conservação e restauro do património bibliográfico.	Estudo da qualidade do ar nas áreas de guarda de acervo da Biblioteca Nacional.
	Renato Freitas	Instituto Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil	Físico nuclear, atua na área analítica de artefactos do património cultural	
10°	Patrícia Moreira	Universidade Católica Portuguesa, Porto, Portugal	Bioquímica, docente, com atuação na área de biotecnologia e nanotecnologia para o património cultural.	Microbiologia do património no museu e fora dele: desafios e abordagens.
11°	Maria João Melo	Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal	Química, docente, com área de atuação nas ciências ligadas à conservação do património cultural.	A preservação do património fotográfico e cinematográfico através da monitorização dos ácidos: soluções inovadoras com uma "embalagem inteligente".
12°	Paula Menino Homem	Universidade do Porto, Porto, Portugal	Historiadora com variante em arqueologia, conservação e restauro, mestre em química e doutorada em museologia. Docente, atua na área de gestão de riscos, conservação preventiva e proteção do património.	Quatro estações em ambientes não controlados. Aspectos essenciais da dinâmica da alteração da prata, para sua preservação.

3.1.4.3 *Webinar inaugural da rede temática QAI-MBA*

Os poluentes estão inseridos entre os 10 agentes de deterioração conhecidos na conservação (Michalski & Pedersoli Jr, 2016; Tétreault, 2008), onde estão incluídos: forças físicas; fogo; água; dissociação; pragas; radiações de luz e de ultravioleta; HR inadequada; temperatura inadequada; poluentes; roubo e vandalismo. Não obstante, os poluentes quase sempre são menos monitorizados em relação aos outros agentes. Um inquérito distribuído entre MBA de 14 países europeus durante o projeto europeu MEMORI (Spiegel, 2011), onde Portugal não foi incluído, mostrou que cerca de 36,8% dos respondentes já haviam observado danos causados por poluentes em objetos de suas coleções, enquanto 63,2% nunca observaram danos que pudessem ter sido atribuídos aos mesmos. Os dados apontaram que 72,2% das instituições que afirmaram nunca terem observado danos em seus artefactos, também não mediam os poluentes transportados pelo ar. Um outro inquérito internacional distribuído durante este projeto de doutoramento¹⁰², mostrou que 61,5% dos respondentes, todos profissionais de museus, nunca haviam medido poluentes em suas instituições de trabalho.

Com o objetivo de avaliar o perfil dos participantes do *webinar* da rede temática QAI-MBA e para melhor direcionar as sessões seguintes, foi distribuído um inquérito durante a apresentação inaugural, no dia 29/07/2021, que foi respondido durante a sessão (Apêndice II). Pretendeu-se perceber a familiaridade dos participantes com as metodologias de monitorização de poluentes e compostos voláteis.

3.1.4.4 *Público-alvo*

O inquérito foi destinado ao público de participantes e interessados na rede temática sobre a QAI-MBA. Foi considerado desejável que os respondentes fossem profissionais de MBA, mas era suposto que houvesse adicionalmente a participação de profissionais da área científica e investigadores. O questionário foi distribuído para todos aqueles que estavam a

¹⁰² Ver Parte 2, Capítulo 13.

assistir ao *webinar* inaugural e não foi realizada nenhuma seleção prévia ou objeção de quem deveria responder ao questionário.

3.1.4.5 *Método experimental*

Durante o *webinar* inaugural foram inseridas 5 perguntas sucintas direcionadas a um público que não foi previamente selecionado, a não ser pelo interesse comum ao tema da QAI-MBA. As duas primeiras questões foram elaboradas com o objetivo de avaliar o perfil do público presente no *webinar* em relação às metodologias de detecção de gases poluentes em microclimas de MBA. Para isso, foram escolhidas duas metodologias desenvolvidas especialmente para a detecção de poluentes em microclimas de museus e foi questionado se os respondentes já tinham ouvido falar e em caso afirmativo, se sabiam a que se destinava. A terceira questão teve o propósito de verificar se as instituições, onde os respondentes trabalhavam, já haviam feito algum tipo de medição de poluentes. A questão subsequente estava condicionada à questão sobre medições e possuía respostas fechadas, com um total de 7 metodologias a optar ou “outras” que não estavam ali descritas. Finalmente, a última questão foi direcionada com o objetivo de relacionar a frequência de medições, quando realizadas, com a frequência de alterações observadas nos objetos do acervo. Todas as questões possuíam respostas fechadas (**Tabela 44**).

Tabela 44 *Questões distribuídas durante o webinar inaugural da rede temática QAI-MBA*

Questões	
1	Já ouviu falar em <i>A-D strips</i> ?
2	Já ouviu falar em <i>Oddy test</i> ?
3	A sua instituição já fez medição de poluentes gasosos alguma vez?
4	Que tipo de dispositivo (metodologia) é utilizado ou já utilizou para medição de poluentes voláteis?

5 Alguma vez já observou alterações em objetos da coleção onde trabalha que pudessem ter sido atribuídas aos poluentes gasosos?

Havia 118 pessoas inscritas no *webinar* inaugural, sendo que destas, somente 70 estavam efetivamente presentes, incluindo os oradores. O inquérito foi respondido por 51 participantes, *online*, simultâneo à sessão do *webinar*. Destes 51 respondentes, somente 15 responderam a todas as questões. Os dados foram analisados, considerando o percentual sobre uma população de 51 respondentes, pois foi considerado que mesmo não havendo respostas de todos os participantes para todas as questões, já havia sido formado um grupo fechado de respondentes. Posteriormente, foi realizada uma análise objetiva sobre os subgrupos de respondentes de cada questão, e só então foi considerado o percentual total de respondentes por questão. Para uma melhor interpretação e análise dos dados, os respondentes foram divididos em subgrupos e classificados de acordo com o tipo de instituição onde atuam. Dessa forma, os subgrupos foram identificados conforme mostra na **Tabela 45**.

Tabela 45 *Divisão em subgrupos e frequência dos respondentes do inquérito*

Subgrupos	Frequência	Porcentagem
Profissionais de bibliotecas e arquivos (B&A)	15	29,4
Profissionais de museus	13	25,5
Investigadores e docentes	10	19,6
Profissionais independentes	7	13,7
Estudantes	4	7,9
Não identificados	2	3,9
Total	51	100,0

Os profissionais de museus vinculados às redes de ensino foram classificados como profissionais de museus e não como investigadores, mesmo que sua atuação também pudesse incluir a investigação ou que o museu no qual trabalham, fosse um museu universitário. No subgrupo de investigadores e docentes, foram incluídos os investigadores vinculados às instituições de ensino, podendo ou não serem docentes. No subgrupo de estudantes, foram inseridos estudantes das mais diversas áreas e de todos os níveis, tanto alunos de licenciatura, como doutorandos. Os profissionais independentes também foram agrupados sem ter em conta sua área de atuação. Desta forma, o percentual final de respondentes, de acordo com o seu núcleo de atuação, pode ser visto na **Tabela 45**. Ao estabelecer a rede temática como uma rede luso-brasileira, foi considerado pertinente registrar o número de respondentes quanto ao seu país de atuação. Entre os respondentes, 78,4% estão estabelecidos profissionalmente no Brasil, 17,6% respondentes em Portugal, 2,0% nos EUA e 2,0% não forneceu seu local de atuação.

A incidência maior de brasileiros no *webinar* inaugural e, conseqüentemente, como respondentes do inquérito se deve, provavelmente, à ampla divulgação da rede temática, que foi realizada com o auxílio de colegas brasileiros e das associações de apoio ligadas ao património no Brasil. O percentual elevado de respondentes de museus, bibliotecas e arquivos, que juntos resultam em 54,9% dos respondentes, foi considerado importante para a análise dos resultados, já que representa o público-alvo deste inquérito e da rede temática.

3.1.4.6 Análise dos dados

Especificamente desenvolvidas e utilizadas por museus e instituições que abrigam acervos, o *Oddy test* (Eggert et al., 2019; Korenberg et al., 2017; Long et al., 2022; *Oddy Test: Materials Databases*, 2013; Oddy, 1975; Samide, Liggett, Mill, et al., 2018; Tsukada et al., 2012) e as *AD-strips* (Grzywacz, 2006; Hackney, 2016; Townsend et al., 2021) são metodologias para detecção de poluentes consideradas de baixo custo e que não requerem laboratórios especializados para a análise dos resultados. Apesar das *A-D strips* terem sido originalmente desenvolvidas para detetar os compostos voláteis de ácido acético

provenientes da deterioração dos filmes de acetato de celulose (síndrome do vinagre), as fitas são consideradas uma alternativa de baixo custo para detetar a presença de gases ácidos em qualquer tipo de acervo (Hackney, 2016; Townsend et al., 2021). Na questão sobre o conhecimento dos respondentes em relação às *AD-strips*, houve 42 respostas em uma população de 51 respondentes. Destes, 17,7% foram considerados omissos, 49% assinalaram que nunca ouviram falar nas fitas de deteção de ácidos e 33,3% apontaram que já ouviram falar, mas entre eles, 29,5% admitiram não saber para que serve e somente 70,5% afirmaram conhecer a metodologia. Ainda foi realizada uma avaliação por subgrupos, para verificar qual era a procedência dos profissionais que afirmaram conhecer as *A-D strips*. Foi observado que 33,3% são profissionais independentes e 25,0% são investigadores. Ainda que a metodologia seja de procedimento simples e de resultado visual direto, além do baixo custo, no presente inquérito foi considerada ainda pouco conhecida entre o público de museus (16,7%) e B&A (16,7%)¹⁰³.

O *Oddy test* foi criado em 1973 com a finalidade de detetar poluentes voláteis emitidos por materiais introduzidos em ambientes de museus. Como já mencionado anteriormente, as placas metálicas dos testes são avaliadas visualmente, apesar de algumas instituições optarem por uma análise laboratorial mais aprofundada. A questão inserida sobre o *Oddy test*, foi realizada com o mesmo tipo de abordagem da questão anterior, com o objetivo de verificar se os respondentes já haviam ouvido falar no referido teste. Foi igualmente considerada uma população de 51 respondentes para a avaliação percentual, onde houve 41 respostas. Desta forma, 19,7% foram considerados omissos, 47,0% afirmaram não conhecer a metodologia e 33,3% assinalaram já terem ouvido falar. Entretanto, destes, 47,1% admitiram não saber como funciona e somente 52,9% afirmaram conhecer a metodologia da questão. Quando avaliado o resultado entre os subgrupos, foi possível observar que entre os que conhecem o *Oddy test*, 55,6% são profissionais de museus, resultado este que vai de encontro a finalidade original do teste. Em percentual menor foram identificados os investigadores (22,2%), os profissionais independentes (11,1%) e os estudantes (11,1%).

¹⁰³ Ver tabelas na questão 1, apêndice 2 da tese.

Ainda se observou que nenhum dos respondentes de B&A assinalaram conhecer a metodologia.

Com o objetivo de adquirir dados adicionais ao inquérito anteriormente distribuído, foi questionado se as instituições dos respondentes já haviam efetuado alguma vez medições de poluentes. Ainda a considerar uma população total de 51 participantes, nesta questão contou-se com 39 respondentes, sendo considerado 23,5% como omissos. Entre os respondentes que afirmaram que suas instituições já efetuaram medições de poluentes (41,1%), 43,8% pertencem ao subgrupo dos investigadores, 25,0% trabalham em museus, 18,7% pertencem ao subgrupo das B&A e 12,5% são profissionais independentes. Entre os que nunca mediram poluentes (29,4%), foi verificado que a maioria é proveniente de museus (26,7%) ou de B&A (26,7%). Quando verificada a procedência dos investigadores que afirmaram nunca terem medido poluentes (13,4%), observou-se que todos (100%) são docentes de instituições de ensino. Ainda foi observado que 15,7% dos respondentes não têm conhecimento se as instituições onde trabalham, alguma vez já mediu poluentes. O percentual reduzido de museus que alguma vez efetuou medições, vai de encontro ao resultado observado nos outros inquéritos aqui já mencionados, entretanto, o resultado do inquérito realizado neste grupo específico de respondentes evidenciou que as B&A efetuam medições ainda com menor frequência que os museus. O percentual elevado de medições realizadas pelos investigadores, justifica-se quando observado que sua área de atuação envolve as análises e estudos da qualidade do ar, mas não necessariamente em instituições culturais. Considera-se relevante salientar que a questão se referia a medição (ocasional ou não) de poluentes gasosos, sem, contudo, especificar se era realizada a monitorização sistemática.

Condicionada a questão anterior, foram ainda verificados os tipos de dispositivos ou metodologias utilizadas pelos respondentes. Em uma questão com respostas fechadas, onde era possível assinalar mais que uma opção, contou com a efetiva participação de 22 respondentes, que selecionaram 27 respostas diferentes. Das opções disponibilizadas, as placas metálicas foram apontadas como a metodologia mais utilizada (29,6%), tendo sido selecionada pelos respondentes que trabalham em museus, B&A e investigadores, enquanto

metodologias diversas, não especificadas, foram marcadas por cerca de 33,3% dos respondentes. Os tubos difusivos Tenax[®] TA utilizados para medição de COVs, foram assinalados sobretudo pelos investigadores (11,1%). Menos usual foi a técnica do SPME (7,4%), dos cristais de quartzo piezoelétricos (3,7%) e dos sensores da Purafil[®] CCC¹⁰⁴ (3,7%), que são baseados também na tecnologia do uso de metais como sensores. Os detetores de acidez *A-D strips* foram considerados pouco utilizados (7,4%), assim como a metodologia do *Oddy test* (3,7%). Como a questão possibilitava a seleção de múltiplas respostas, ainda foram verificados os subgrupos que utilizavam metodologias mais diversificadas, sendo que o subgrupo dos investigadores foi o que apontou ter tido experiência com metodologias e dispositivos diversos (33,4%), seguido pelo subgrupo dos museus e B&A (Tabela 46).

Tabela 46 *Frequência dos tipos de dispositivos e metodologias de medição utilizados pelos subgrupos*

	Frequência	Porcentagem
B&A	6	22,2
Museus	7	25,9
Investigadores	9	33,4
Profissionais independentes	4	14,8
Estudantes	1	3,7
Sem identificação	0	0,0
Total	27	100,0

¹⁰⁴ Purafil[®] CCC, *corrosion classification coupons* é uma técnica passiva de monitorização por reatividade que utiliza o cobre e a prata como sensores. As placas são analisadas nos laboratórios da Purafil, que resultam numa classificação padronizada a partir da quantidade de corrosão (espessura) na superfície dos metais, assim como a identificação por classe dos poluentes. As análises seguem os padrões ISA-71.04-2013. Os resultados são fornecidos por nível de severidade, sendo classificado em leve (G1), moderado (G2), forte (G3) e severo (GX).

Um último questionamento foi lançado para verificar com qual frequência os respondentes já haviam observado alterações causadas por poluentes gasosos ou particulados nos objetos do acervo das instituições onde trabalham. O cálculo percentual foi realizado considerando uma população de 51 pessoas, sendo que somente 44 respondentes contribuíram com as respostas desta questão. Foi verificado que 54,9% dos participantes já observaram alterações nos objetos, 27,5% responderam que talvez possam ter ocorrido alterações e somente 3,9 % afirmaram não terem observado. Entre os subgrupos que responderam sim, 25,0% trabalham em museus e 25,0% trabalham em bibliotecas.

3.1.4.7 Comentários

Este pequeno inquérito respondido durante a sessão do *webinar* inaugural da rede temática, resultou em uma melhor percepção do perfil dos participantes e reiterou a necessidade de difusão do tópico sobre as metodologias de monitorização de poluentes em ambientes de acervo. Os resultados reiteraram os dados obtidos no primeiro inquérito¹⁰⁵ distribuído, onde 61,5% dos respondentes de MBA nunca haviam medido poluentes em ambientes de acervo.

Também se verificou que a maioria dos inquiridos eram profissionais atuantes em bibliotecas, arquivos e museus, mas que os investigadores também demonstraram interesse em participar da rede temática QAI-MBA. Este fator é de extrema relevância, pois vai de encontro ao público que a rede pretende alcançar.

Os resultados obtidos a partir deste inquérito sugeriram uma lacuna significativa nas instituições luso-brasileiras em relação aos poluentes, no que diz respeito à frequência diminuta com que as medições de poluentes são realizadas em MBA, mesmo quando as alterações nos objetos do acervo são observadas e atribuídas a estes poluentes. Os resultados foram considerados importantes, mas ainda pouco esclarecedores, pois o público de respondentes, apesar do interesse comum, era muito diverso em relação às instituições onde

¹⁰⁵ Inquérito analisado na Parte 2, capítulo 13.

trabalham, o que justificou e resultou na distribuição posterior de um novo inquérito mais aprofundado e detalhado entre os profissionais de MBA. Entretanto, o último questionário foi distribuído em uma fase mais avançada das atividades de *webinars* da rede temática, já no final do primeiro ciclo.

3.1.5 *A qualidade do ar interior em museus, bibliotecas e arquivos: Inquérito*

Este inquérito é parte resultante do projeto de desenvolvimento da rede temática QAI-MBA, e pretendeu, através de uma abordagem comparativa entre os principais parâmetros vinculados à qualidade do ar interior, avaliar a frequência que os MBA, representados pelos participantes da rede, monitorizam e observam danos nos objetos de seus acervos que possam estar relacionados a esses agentes de degradação, nomeadamente, temperatura, HR, radiações de luz visível e UV, e poluentes gasosos. Nos outros inquéritos previamente distribuídos, foi observado que poucos são os MBA que medem poluentes em áreas de acervo, mesmo quando danos nos objetos são atribuídos a estes parâmetros. Objetivou-se neste inquérito, avaliar, quando aplicado, a razão pela qual as instituições não medem ou monitorizam os poluentes, além de verificar os protocolos adotados pelos MBA luso-brasileiros com interesse na rede, e verificar lacunas existentes, a fim de possibilitar futuras diretrizes através da rede temática que possam contribuir para a compreensão sobre o tema dos poluentes e sua relação com a QAI. Adicionalmente, permitindo a recolha de sugestões e expectativas futuras dos respondentes em relação à rede e ao tema de forma geral.

3.1.6 *Público-alvo*

O inquérito foi direcionado aos profissionais que trabalham em instituições que abrigam acervos: museus, bibliotecas, arquivos, casas-museus, do Brasil e de Portugal, que já tivessem participado num ou mais *webinars* da rede temática QAI-MBA, demonstrando, portanto, interesse sobre o tema da rede. Apesar de ter sido considerado desejável que o

respondente tivesse conhecimento sobre os protocolos de conservação do acervo, não foi considerado como quesito para responder ao inquérito.

3.1.7 Método experimental

O inquérito foi elaborado e inserido na plataforma do Google *Forms*. A sua distribuição foi realizada através de e-mails direcionados aos profissionais de MBA com registo na lista de contatos dos participantes da rede temática. Foi distribuído para um total de 226 membros da rede.

A abertura para as questões estava diretamente vinculada ao consentimento informado pelo respondente, onde se fez necessário obter a aprovação para uma série de questões referentes à proteção de dados dos inquiridos (Apêndice III), de acordo com a lei da Proteção de Dados Pessoais (Lei N° 58/2019, de 08 de Agosto) em vigor.

Os resultados do inquérito foram trabalhados através do editor de dados da IBM, *SPSS Statistics*, Versão 28.0 e transformados em gráficos e tabelas utilizando o *SPSS Statistics* e o Excel, Microsoft Excel para Mac, Versão 16.61.1 (22052000). Para as perguntas onde se detetou respostas inválidas, foi mantido o respondente para as estatísticas, mas foi assinalado como "omisso". O inquérito recebeu respostas entre o período de 28/01/2022 a 28/02/2022.

O inquérito foi respondido por um total de 33 respondentes¹⁰⁶, dentre eles, 78,8% são provenientes de instituições brasileiras e 18,2% são de instituições portuguesas. Essa diferença justifica-se por a rede ser composta maioritariamente por instituições brasileiras (72,3%). Entre os respondentes, 48,5% trabalham em museus, 36,3% trabalham em bibliotecas, 6,0% trabalham em arquivos e aqueles marcados como "outros" (9,1%) são provenientes de fundação, instituição educativa e centro cultural (**Tabela 47**).

¹⁰⁶O inquérito completo com o resultado tabelado pode ser verificado no Apêndice III.

Tabela 47 *Classificação por tipologia das instituições onde os respondentes trabalham.*

	Frequência	Porcentagem
Museu	16	48,5
Biblioteca	12	36,4
Arquivo	2	6,1
Outros	3	9,1
Total	33	100,0

Com o objetivo de avaliar a dimensão das instituições de origem dos participantes, foi solicitado especificar o tamanho das coleções pela quantidade de objetos no acervo. Entre as instituições participantes, 30,3% possuem entre 10.000 e 50.000 objetos em seus acervos, seguido por 18,2% das instituições que possuem entre 100.000 e 500.000 objetos. Entre os respondentes que trabalham em instituições com acervos quantitativamente menores, 9,1% assinalaram que suas instituições possuem menos de 1.000 objetos.

3.1.8 *Análise dos dados*

3.1.8.1 *Temperatura e HR*

A temperatura e a HR foram considerados os parâmetros mais monitorizados nas instituições dos respondentes, com similaridade na frequência de medições dos dois parâmetros, 72,7% e 69,7% respectivamente, que pode justificar-se por grande parte dos dispositivos e equipamentos atualmente disponíveis (ex. termohigrógrafos, *data loggers*), serem aptos a medir os dois parâmetros em simultâneo. Entretanto, os respondentes indicaram terem observado mais danos atribuídos a HR inadequada (78,8%) do que a temperatura inapropriada (57,6%). Considera-se relevante mencionar que 84,8% dos respondentes, afirmaram que suas instituições são climatizadas (sistema de ar condicionado), mas não necessariamente em todos os espaços que abrigam acervos. A prioridade ao controlo de temperatura e HR em museus também foi observada no inquérito previamente distribuído

(Apêndice I) e em outros inquéritos nacionais e internacionais (M. F. da F. A. Gomes, 2018; Mirabile, 2021; Spiegel, 2011).

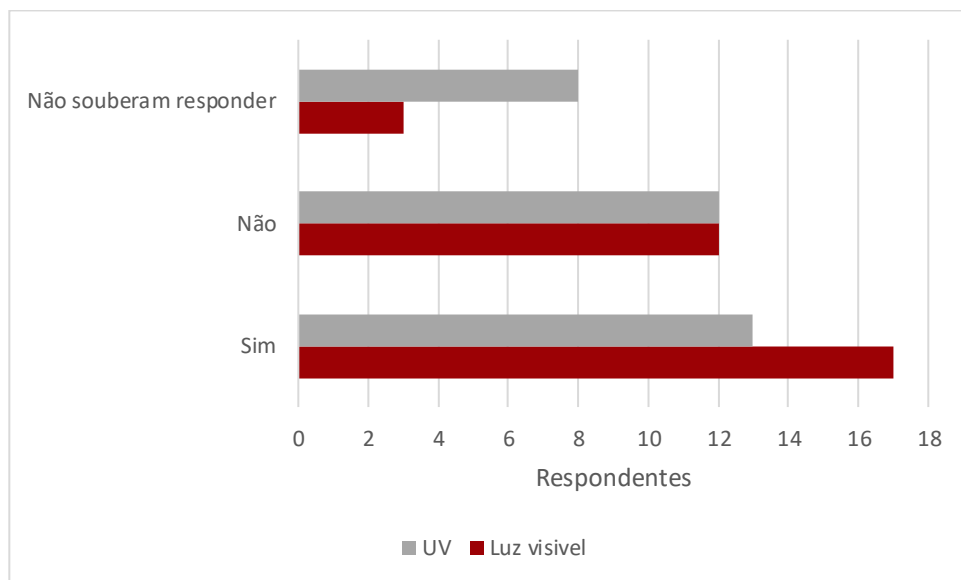
3.1.8.2 *Radiações de luz e de ultravioleta*

A frequência de medição de luz entre as instituições respondentes, mostrou ser uma atividade relativamente ocasional. Entretanto, para estabelecer um comparativo entre os outros parâmetros aqui avaliados, foi considerado como afirmativo o fator da medição ser realizada (45,5%), mesmo que somente em ocasiões específicas. Não é raro que a afinação de luz seja realizada somente após a montagem de uma exposição (15,2%), quando um objeto é inserido em uma exposição ou quando um objeto mais suscetível à luz é exposto (12,1%). Com menos frequência é realizada a monitorização de luz sistemática (3,0%) durante todo o período de uma exposição. Entre os respondentes que indicaram que as medições de luz nunca são realizadas nas instituições onde trabalham (51,5%), 70,6% deles são provenientes de bibliotecas e arquivos e somente 29,4% são profissionais de museus. Ainda houve um inquerido que respondeu outras (3%) e justificou que o controlo de radiações de luz se encontra em processo de implantação. Ainda 3,0% dos inquiridos não souberam responder à questão e 9,1% consideraram a possibilidade de já terem observado danos causados pelo excesso de luz, mas não conseguiram afirmar com certeza.

As radiações UV são menos medidas entre as instituições dos respondentes em relação à luz visível. Entre os respondentes, 15,1% afirmaram que efetuam medições, sendo que destes, alguns medem somente quando objetos mais suscetíveis são expostos (6,1%), outros medem sempre quando um objeto é colocado em exposição (6,1%) ou quando utilizam uma fonte de iluminação nova nas exposições e reservas (3,0%), enquanto 9,1% disseram que não utilizam iluminação com radiação UV e foi considerado que a questão não se aplica a este grupo de respondentes. Ainda, 39,4% dos inquiridos justificaram não terem aparelho para medição e outros 36,4% indicaram que nunca efetuam medições de radiação UV. Estes dois últimos grupos foram considerados como aqueles que não medem as radiações UV, resultando em 75,7% dos respondentes.

Os danos observados em objetos do acervo, atribuídos à radiação UV foram considerados menos observados (39,4%) quando comparados aos danos causados pelas radiações de luz visível (51,5%). Entre aqueles que nunca observaram danos que pudessem ser atribuídos às radiações de luz visível e UV, o resultado foi similar, entretanto, uma percentagem maior de respondentes (24,2%) não soube responder quanto aos danos atribuídos à radiação de UV, quando comparado aos respondentes que indicaram terem dúvidas (9,1%) se os danos observados poderiam ter sido causados pelo excesso de luz (**Figura 43**).

Figura 43 *Comparativo entre os danos observados, atribuídos ao excesso de luz e às radiações UV*



3.1.8.3 Poluentes

O inquérito evidenciou que a maioria das instituições que abrigam acervos não aderem à prática de medição ou monitorização sistemática de poluentes. Entre os respondentes, 75,8% afirmaram nunca terem feito medições. Os dispositivos e metodologias utilizadas pelos

respondentes que fazem ou já fizeram medições de poluentes são variadas¹⁰⁷. As *A-D strips* (20,0%) e as placas de metal (20,0%) foram as metodologias indicadas com maior frequência, muito provavelmente por proporcionarem a facilidade de uma leitura direta, mesmo que as placas de metal possam, adicionalmente, serem submetidas às análises laboratoriais. Com menor frequência, o *Oddy test* também foi identificado como uma alternativa (13,3%). Entre as metodologias menos utilizadas, foram indicados os cristais de quartzo piezoelétrico (PQC) (6,7%) e o *data logger* de partículas (6,7%). Entre os que responderam utilizar outras metodologias, foram ainda identificados os tubos de difusão (dióxido de azoto, dióxido de enxofre e ozono) por um dos respondentes, enquanto o restante não soube identificar o tipo de metodologia utilizada na instituição onde trabalha. Entre os respondentes que afirmaram que suas instituições fazem ou já fizeram medições de poluentes (24,2%), somente 20,0% deles realizam medições com periodicidade anual, enquanto 80,0% medem ocasionalmente.

Para que a monitorização sistemática dos poluentes seja uma ferramenta de grande valia na prevenção de riscos e controlo da qualidade do ar, é necessário que os valores-limite de poluentes sejam estipulados e, segundo os respondentes, nenhuma das instituições possui essas diretrizes. Foi ainda verificado, que apenas uma minoria dos respondentes (28,1%) indicou já ter observado danos em objetos do acervo que pudessem ser atribuídos aos poluentes gasosos ou aos poluentes particulados.

Ainda foi explorado, se as instituições dos respondentes testavam ou avaliavam as vitrines (quando aplicável), quanto a uma possível fonte de poluentes gasosos antes de receberem os objetos a serem expostos. Entre os inquiridos, 75,0% assumiram que não, enquanto 6,3% afirmaram que avaliavam ou testavam as vitrines.

¹⁰⁷ Questão com opção de múltiplas respostas. Foram obtidas 15 respostas diferentes entre 11 respondentes. O percentual dos dispositivos aqui referido foi calculado sobre a frequência de 15 respostas. Verificar dados percentuais tabelados no apêndice III.

Para melhor avaliar o resultado apurado, foram investigados os motivos pelos quais as instituições não medem os gases voláteis¹⁰⁸, e verificou-se que a falta de conhecimento (27,7%) e a falta de recursos financeiros (27,7%) são os motivos preponderantes. Em seguida, a falta de recursos humanos (22,3%) foi ainda um dos motivos expostos. Em menor percentual (5,6%) foi admitido não haver necessidade.

Apesar de a maioria das instituições dos respondentes não fazer medições de poluentes (75,8%) em seus espaços, algumas estratégias para mitigação são adotadas. Entre os respondentes que afirmaram adotar algum tipo de estratégia para mitigar a ação danosa dos poluentes gasosos ou particulados em ambientes de acervo (32,3%)¹⁰⁹, os filtros de partículas finas no sistema de ar-condicionado é a estratégia mais decorrente (50%), adicionalmente a utilização de materiais com baixa emissão de poluentes gasosos (35,7%) e a utilização de vitrines para proteger os objetos mais suscetíveis aos poluentes gasosos e particulados (28,6%) também foram assinaladas como estratégias aderidas¹¹⁰. Entre os que responderam que fazem uso de outras estratégias (21,4%), foi ainda especificada a utilização de filtros HEPA no sistema de ar condicionado e a sanitização periódica dos ambientes.

3.1.8.4 Alterações durante a pandemia de COVID-19

Durante 2020, 2021 e 2022, a pandemia de COVID-19 causada pelo SARS-CoV-2, resultou em uma alteração na qualidade do ar em países que aderiram ao *lockdown*, particularmente durante estes períodos específicos, quando foi detetada a redução dos poluentes gerados no exterior, tais como, os materiais particulados, dióxido de azoto, monóxido de carbono,

¹⁰⁸ Questão com a opção de assinalar múltiplas respostas. Foi respondida por 28 respondentes e foram obtidas 36 respostas diferentes. Verificar detalhes dos dados obtidos tabelados no questionário do apêndice III.

¹⁰⁹ Percentagem válida, onde não foram considerados os omissos. Ver tabela com todos os dados no questionário do apêndice III.

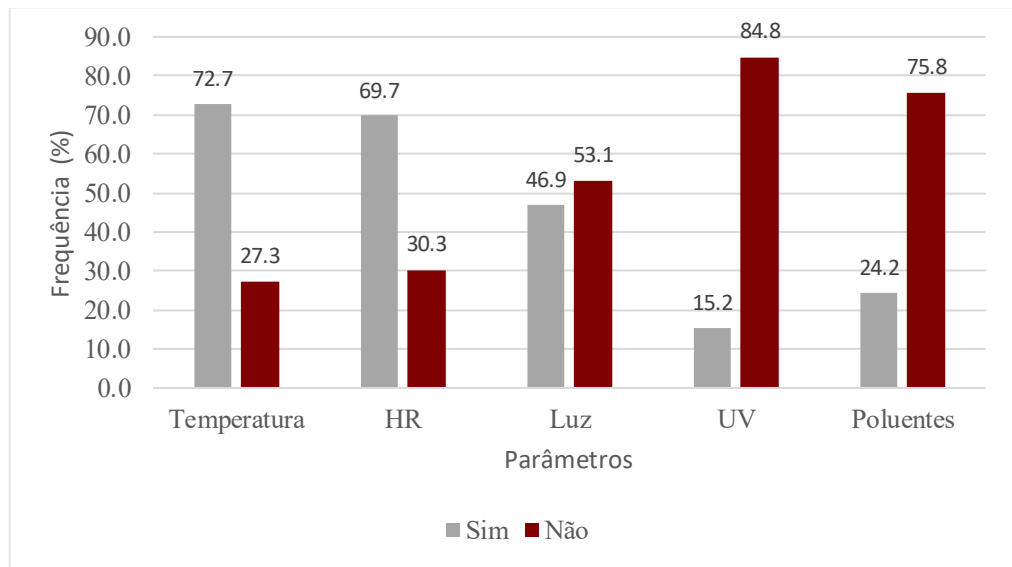
¹¹⁰ A questão sobre os tipos de estratégias de mitigação adotadas permitiu a escolha de múltiplas respostas. Foram obtidas 21 respostas diferentes entre 14 respondentes.

dióxido de enxofre e COVs (Adam et al., 2021; Dang & Trinh, 2022; Higham et al., 2021; Niu et al., 2022; Sannino et al., 2021; Venter et al., 2020). Com a reabertura das instituições associadas ao património, houve o estímulo para que mudanças fossem efetuadas em busca de uma melhoria na qualidade do ar interior. Igualmente, recomendações foram atribuídas aos edifícios que abrigam acervos (Covid-, n.d.; Meira et al., 2021; *Recomendações de Boas Práticas Na Reabertura Das Bibliotecas Da Rede Nacional de Bibliotecas Públicas Durante a Pandemia de Covid-19*, 2020), entre elas, o aumento da taxa de renovação de ar, limpeza frequente dos filtros do ar condicionado e abertura de portas e janelas, quando possível. Entre os respondentes do inquérito, 48,5% afirmaram ter havido algum tipo de alteração em sua instituição para melhorar a QAI desde o início da pandemia, enquanto 36,4% apontaram não terem feito alterações e outros 15,2% não têm conhecimento sobre o tópico. Entre as instituições que fizeram algum tipo de alteração para a melhoria da qualidade do ar, 41% afirmaram terem aumentado a ventilação natural (ex. ventiladores, abertura de portas e janelas) e algumas instituições estabeleceram uma maior frequência da limpeza de filtros e do sistema de ar condicionado (29%). Há ainda aqueles que instalaram ou solicitaram a compra de purificadores de ar (12%) ou instalaram filtros no sistema de ar condicionado (6%). A desinfecção frequente dos espaços também foi assinalada como uma alteração adotada (12%) para combater a contaminação biológica ou de vírus, mas que pode, adicionalmente, resultar em um aumento de compostos voláteis no espaço, provenientes dos produtos utilizados.

3.1.9 Discussão dos resultados

Ao analisar os dados de forma comparativa, os parâmetros de temperatura e HR são indubitavelmente mais medidos quando comparados aos outros parâmetros aqui investigados. Os poluentes, entretanto, seguem como os menos medidos e monitorizados (**Figura 44**). Ainda que tenha sido demonstrada uma familiaridade dos respondentes com alguns dispositivos ou metodologias de medição dos poluentes gasosos e particulados, a frequência das medições é quase sempre ocasional.

Figura 44 Percentagem de medição para os parâmetros de temperatura, HR, luz, radiação UV e poluentes

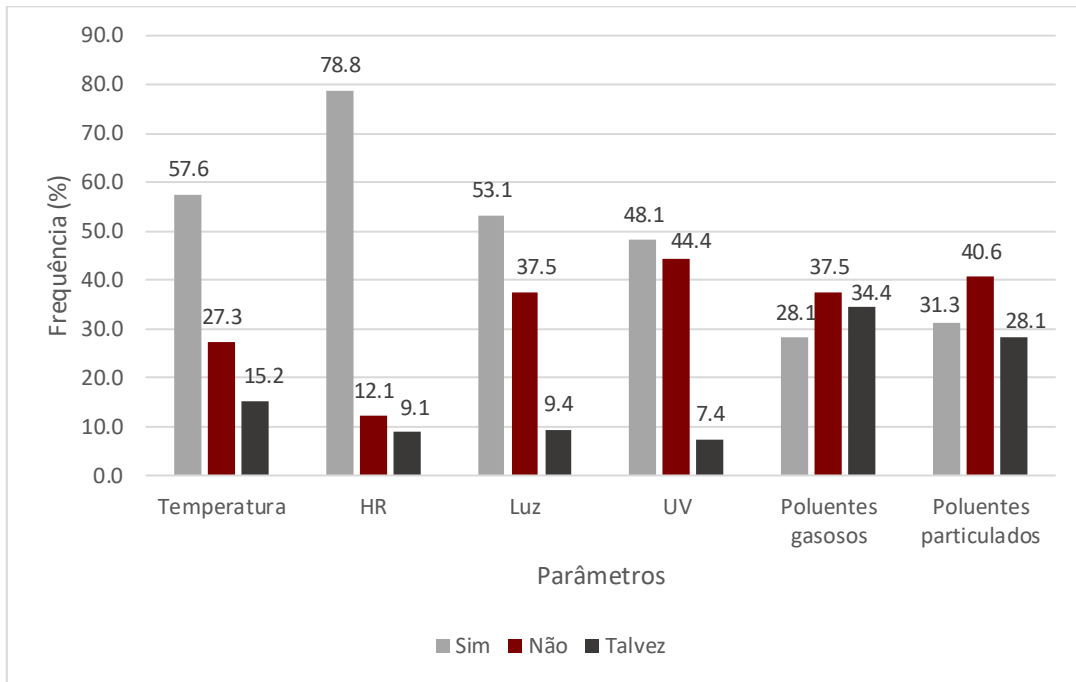


Nota. As respostas sobre a medição da luz, foram reagrupadas como "sim" para todas aquelas com indicativo de realização de medições, independente da frequência.

Entre os parâmetros avaliados, a temperatura e HR, foram considerados os parâmetros mais medidos de forma sistemática, mas também foram considerados os parâmetros com maior percentual de atribuição de danos aos objetos do acervo. As radiações de luz e UV pareceram similares entre elas em relação aos danos observados, apesar das radiações de luz serem medidas com mais frequência que as radiações de UV. Já o percentual de respondentes que demonstraram ter dúvidas quanto a atribuição de danos causados pelos poluentes gasosos e particulados, foi mais elevado quando comparados àqueles que tiveram dúvidas em relação aos outros parâmetros¹¹¹ (**Figura 45**). Parece haver dúvidas quanto aos danos que possam ou não ser atribuídos à ação dos poluentes.

¹¹¹ Foram considerados no presente gráfico, somente as respostas "sim", "não" e "talvez". Aqueles que indicaram "não sei responder" não foram considerados na análise percentual e comparativa por não haver esta opção de resposta em todas as questões (dos outros parâmetros).

Figura 45 Atribuição de danos observados por parâmetros inadequados.



As alterações implementadas por muitas instituições durante a pandemia de COVID-19, possivelmente resultaram em mudanças significativas nos parâmetros de temperatura, HR e poluentes no interior dos edifícios, que não foram exploradas no atual inquérito, mas que foram discutidas durante o 6º *webinar* da rede temática QAI-MBA, intitulado “A importância da climatização para a qualidade do ar interno” (Barbosa, 2021).

A monitorização de poluentes, estabelecimento de valores-limite, metodologias para mitigação e reconhecimento de danos específicos causados por eles, são temas complexos, e os resultados do inquérito indicaram a necessidade de apoio especializado adicional e de verba nas instituições dos respondentes. Em uma das questões do inquérito, 93,8% dos respondentes, todos eles profissionais de instituições responsáveis pela salvaguarda de acervos, reconheceram a importância e a necessidade de haver um suporte científico nas questões relacionadas à qualidade do ar interior.

3.1.10 Comentários

Foram explorados neste inquérito 4 (temperatura, HR, radiações de luz e UV, e os poluentes,) entre os 10 principais agentes de deterioração, cujo controlo é considerado essencial para a preservação de acervos. A monitorização, sistemática ou não, e a observação de danos atribuídos a estes parâmetros foram aqui avaliadas de forma sucinta e comparativa, de forma a perceber como as instituições dos respondentes priorizam e conduzem o controlo desses parâmetros que podem influenciar na QAI. O inquérito evidenciou particularidades, fragilidades e necessidades das instituições luso-brasileiras dos respondentes em relação aos poluentes, que vão de encontro aos resultados anteriormente obtidos em outros inquéritos (Mirabile, 2021; Spiegel, 2011), no que diz respeito a ausência de monitorização sistemática de poluentes em ambientes de acervos. As questões sobre poluentes inseridas neste inquérito, foram apresentadas de forma sequencial e complementar. Inicialmente objetivou-se entender a frequência das medições, seguido pelo motivo que leva os MBA a não efetuarem a monitorização. A observação ou não de danos causados pelos poluentes em objetos do acervo, poderia ser uma justificativa para a monitorização sistemática e foi então explorada. A constatação de que nenhuma das instituições dos respondentes trabalha com valores-limite de poluentes, foi considerado um fator importante, a considerar que a ausência de valores-limite, dificulta a interpretação ou análise dos dados resultantes de eventuais medições. Ainda foi explorada a familiaridade dos respondentes com os dispositivos e metodologias de medição, como um indicativo do conhecimento sobre determinadas metodologias consideradas mais usuais. A utilização de estratégias que possam mitigar a ação de poluentes, é considerada uma ferramenta valiosa na preservação de acervos e entre os respondentes, apenas 32,3% afirmaram adotar algum tipo de estratégia de mitigação de poluentes. Com o objetivo de verificar a presença ou não de protocolos em relação aos microambientes, ainda foi verificado se as vitrines, quando usadas, eram avaliadas quanto a uma possível fonte de poluentes, e foi verificado que a maioria (75%) não o faz. Por fim, a necessidade de apoio científico foi claramente exposta pelos respondentes na última questão do inquérito.

A considerar que o trabalho da rede temática de disseminação do conhecimento específico é um trabalho contínuo e merece atualização constante, não se considera propriamente que todos os objetivos foram alcançados, mas há o estímulo e a consciência de que o progresso deve ser contínuo. Pode-se dizer que a primeira etapa foi realizada com a criação da rede temática e a finalização do primeiro e do segundo ciclo de *webinars*. Despertar o interesse de um público específico, ao qual a rede temática se destina e promover a interação entre os investigadores e os profissionais de MBA, além de divulgar tópicos importantes e atualizados, fazem parte do compromisso assumido pela rede temática QAI-MBA (<https://artes.porto.ucp.pt/pt/qai.mba>).

Até o presente momento, a rede temática QAI-MBA contou com um total de 344 participantes entre profissionais de museus, bibliotecas, arquivos, universidades, institutos de pesquisa, além de estudantes universitários e profissionais autônomos, que estiveram inscritos em um ou mais *webinars*, provenientes maioritariamente do Brasil e Portugal. No período entre julho de 2021 e julho de 2022, a rede realizou 12 *webinars* e conta com o apoio de 18 parceiros institucionais e 18 membros individuais.

Considerações finais e perspectivas futuras

Este projeto de investigação procurou alcançar um maior entendimento sobre os poluentes no interior de MBA e explorar como o tema é abordado nas instituições que abrigam acervos, no que diz respeito a protocolos, diretrizes, mitigação e planos de prevenção de riscos. A evolução deste trabalho só foi possível após uma ampla revisão bibliográfica, quando se verificou que muito já foi estudado e investigado, mas em Portugal e Brasil ainda há uma ausência significativa de conhecimento e protocolos em muitas instituições responsáveis pela salvaguarda de acervos, o que justificou o direcionamento do trabalho aos MBA portugueses e brasileiros.

Os poluentes enquadram-se como importantes agentes de degradação nos ambientes interiores que podem resultar em danos mais ou menos acentuados aos objetos culturais, sob grande influência de diversos parâmetros. Não são facilmente visíveis e se não forem monitorizados, os materiais que compõem o acervo servirão como dosímetros, por meio de alterações e possíveis degradações. Os estudos desenvolvidos em dois museus portugueses, mostraram a importância da medição ao detetar uma vasta quantidade e variedade de compostos no ambiente e no interior de vitrines, muitos deles, já estudados exaustivamente e conhecidos como danosos à diversos materiais, como exemplo, o ácido acético e o ácido fórmico. As investigações realizadas, endossadas pelos resultados dos inquéritos, evidenciaram que, mais do que a falta de verba, há uma lacuna importante de conhecimento entre os profissionais de MBA em relação ao tema, e que muitos desses profissionais estão abertos à contribuições e informações técnicas e científicas pertinentes à QAI.

O estudo realizado no MCB, em Lisboa, precedido por inquérito e por visitas realizadas a outros museus, em Portugal e na Áustria, confirmou a generalização da prática de proteger pinturas com vidros ou acrílicos por diversas razões. No caso específico do estudo de caso no MCB, a vitrine havia sido instalada para proteger uma pintura moderna do contato indevido do público. As medições de poluentes realizadas no interior da vitrine evidenciaram a presença de gases voláteis de ácido acético e de ácido fórmico em concentrações elevadas, superiores aos valores-limite recomendados para acervos, provavelmente provenientes dos materiais da própria obra e de sua moldura (madeira, óleo e metal). Simultaneamente, as

concentrações de COVT foram 11 vezes mais elevadas na galeria expositiva, muito provavelmente, provenientes dos materiais utilizados na remodelação dos espaços expositivos. Salienta-se que os resultados das análises em SPME-GC/MS realizadas com os materiais utilizados nas remodelações dos espaços expositivos, nomeadamente aglomerados e tinta, evidenciaram a presença de cerca de 100 COVs diferentes emitidos por esses materiais. Até o momento, o museu nunca tinha realizado medições no interior de vitrines de pinturas, tal como foi verificado através dos inquéritos, de forma muito semelhante a muitos museus.

O estudo de caso realizado no MNSR, permitiu verificar que diferentes espaços num mesmo edifício podem apresentar condições diversas de qualidade do ar, e que a presença e concentração dos compostos voláteis podem ser influenciadas por vários fatores, nomeadamente, o sistema de climatização e seus filtros, os tipos de materiais presentes, a circulação do ar e as diferentes estações do ano, entre outros. Ainda foi evidenciado durante as medições, que as remodelações efetuadas nos espaços expositivos resultaram em um aumento de 286 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 1306 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de concentração de COVTs no ambiente. Adicionalmente, as medições realizadas no interior de uma vitrine, confirmaram que o forte odor perceptível pelo olfato humano, refletia elevadas concentrações de COVTs, chegando a ser 90 vezes superiores às concentrações recomendadas para a preservação de acervos. Este fato enfatizou que o odor não deve ser negligenciado e sim, usado como uma ferramenta adicional na deteção de elevadas concentrações de certos compostos. Ainda foi verificado que numa reserva técnica, no interior de um mobiliário de madeira contendo objetos cerâmicos, as concentrações de COVTs atingiram 2750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto as concentrações recomendadas pela ASHRAE para acervos em geral são de 328 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Na mesma reserva, também no interior de armários de madeira, as concentrações detectadas de formaldeído foram de 643 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto as recomendações de concentrações máximas para este composto são de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para acervos em geral.

Os dois estudos de caso realizados foram preponderantes para enfatizar a importância da monitorização de poluentes em ambientes de acervo e demonstraram a relevância dos valores-limite pré-existentes como guia em relação aos poluentes. Os estudos realizados, entretanto,

careceram de medições da taxa de renovação de ar, que poderiam trazer um maior entendimento sobre as concentrações de compostos nos espaços, mas que não foram possíveis executar por diversas razões.

Os inquéritos, respondidos por uma amostra populacional limitada, mas de representatividade significativa na área de MBA, evidenciaram fragilidades e lacunas existentes nas instituições que abrigam acervos, nomeadamente, a ausência de diretrizes com valores-limite de poluentes e a falta de monitorização sistemática de compostos voláteis nessas instituições. Ainda se verificou que os poluentes são os parâmetros menos medidos em MBA, quando comparados com a temperatura, HR e a luz. Adicionalmente, os inquéritos evidenciaram o desconhecimento da maioria dos respondentes, profissionais de MBA, em relação às metodologias tradicionalmente conhecidas e desenvolvidas para a deteção de poluentes em museus, como o caso do *Oddy test* e das *A-D strips*.

A última tarefa deste projeto, contemplou a criação da rede temática QAI-MBA como uma estratégia para suprir algumas lacunas detetadas anteriormente. Objetivou-se com essa rede, colaborar com as instituições culturais, ao disseminar o conhecimento previamente existente sobre a QAI, poluentes e metodologias de monitorização, além de estreitar relações entre a comunidade científica e os profissionais responsáveis pela salvaguarda de acervos. Para isso, realizou-se uma série de *webinars* em língua portuguesa, com palestrantes, cuja especialidade se relaciona diretamente com o tema da QAI. Ainda foram convidados palestrantes de MBA para apresentarem estudos de caso, como o exemplo da Fundação Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro. A rede temática contou com o apoio de órgãos e instituições de interesse, como o Instituto Brasileiro de Museus (IBRAM), *Association for Heritage Preservation of the Americas* (ApoyOnline), Associação Brasileira de Encadernação e Restauro (ABER), Museu de Arqueologia e Etnologia da USP (MAE-USP), Museu de Arte Contemporânea da USP (MAC-USP), Museu Nacional Soares dos Reis (MNSR), Museu de Arte da Pampulha (MAP), Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI), Museu Oscar Niemeyer (MON), Real Gabinete Português de Leitura, Pinacoteca do Estado de São Paulo, Museu Paulista da USP, Museu Coleção Berardo, Universidade Federal de Pelotas e o Fórum Permanente, além de contar com o apoio do

ICOM-BR e ICOM-PT na divulgação de seus eventos. Os *webinars* da rede temática resultaram na participação total de 344 ouvintes, na sua maioria, profissionais de MBA, mas também estudantes e investigadores interessados pelo tema.

Objetiva-se como perspectivas futuras, trabalhar com maior proximidade aos MBA no sentido de colaborar, auxiliar e estimular as instituições para a adoção de protocolos específicos para a avaliação de risco e prevenção de danos causados pelos poluentes, com metas, diretrizes e controlo sistemático e periódico da QAI, a buscar uma forma sustentável economicamente. Adicionalmente, pretende-se promover grupos de discussão, workshops e seminários, onde o tema possa ser abordado inicialmente em Portugal e Brasil, mas com perspectivas futuras de expansão para os países ibero-americanos.

Glossário

Climatização: termo genérico para designar o processo de tratamento do ar ou forma de fazer alterar individual ou conjuntamente a sua temperatura, humidade, qualidade ou velocidade no local. Identifica-se, assim, respetivamente, com as funções aquecimento ou arrefecimento, humidificação ou desumidificação e ventilação. No caso de todas as funções serem passíveis de ser ativadas de forma conjugada, tem-se o ar condicionado (Decreto-Lei N° 79/2006/DRE, 2006).

Composto orgânico volátil (COV): composto orgânico cujo ponto de ebulição inicial, à pressão normal de 101,3 kPa, seja inferior ou igual a 250 °C (“Diretiva 2004/42/CE Do Parlamento Europeu e Do Conselho de 21 de Abril de 2004,” 2004).

Hidrólise: reação entre uma substância e a água, que resulta na quebra química da substância original e na formação de uma ou mais novas substâncias.

Invólucro: embalagem que abriga um objeto em um espaço limitado onde é colocado um ou mais objetos (ex. envelope, saco plástico, vitrine, caixa de armazenagem ou caixa de transporte).

Materiais à base de madeira: qualquer material fabricado a partir de fibras de madeira, lascas de madeira ou madeira, por um de entre vários processos, que podem passar pela utilização de temperaturas e pressões elevadas, resinas ligantes ou colas. Compreende o aglomerado de fibras de madeira duro, o aglomerado de fibras de madeira, o aglomerado de fibras de madeira de média e de alta densidade, o aglomerado de partículas de madeira, o

aglomerado de partículas longas e orientadas (OSB), o contraplacado e as placas de madeira maciça (Decisão (UE) 2017/176, 2017).

Material particulado: mistura de partículas sólidas e líquidas em suspensão no ar que são pequenas o suficiente para não depositarem na superfície da Terra sob a influência da gravidade, classificada pelo diâmetro aerodinâmico. Os materiais particulados possuem composições químicas diversas que são altamente dependentes de sua origem (World Health Organization, 2005).

Moldura microclimática (do inglês: *microclimate frames, mc-frames, microclimate boxes, microclimate vitrine*): refere-se a um tipo de vitrine compactada utilizada para a proteção da pintura, independente do seu suporte ser em madeira, tela ou papel. Normalmente é confeccionada com um vidro (ou acrílico) frontal e proteção no reverso e laterais, de forma a manter um microclima em seu interior. A moldura é posicionada sobre esse invólucro, de forma a alterar minimamente a aparência da pintura. As molduras microclimáticas podem ser mais ou menos seladas, dependendo dos materiais e técnica construtiva utilizados e pode ou não conter materiais absorventes ou adsorventes em seu interior.

Monitorização: acompanhamento do funcionamento de um edifício ou de um sistema mediante um programa de leituras e registos periódicos regulares dos parâmetros característicos pertinentes.

Objeto: Item que integra o acervo de uma instituição de forma permanente ou temporária. Na atual dissertação será utilizada também a palavra artefacto e eventualmente, obra, com o

mesmo significado. (Comitê Internacional de Documentação (CIDOC). Conselho Internacional de Museus (ICOM), 2014).

Poluentes gasosos: poluentes presentes no ar sob forma de gases ou vapores, sendo pequenas moléculas individuais capazes de passar pelos filtros, desde que não sejam adsorvidas ou que reajam quimicamente com o meio filtrante (World Health Organization, 2005).

Smog: do inglês *smoke* (fumo) + *fog* (neblina, nevoeiro). Foi inicialmente utilizada para descrever a combinação de fumaça e nevoeiro que encobria Londres durante os anos de 1950. Atualmente é mais comum utilizar a designação de *smog* fotoquímico, o qual se forma pelas ações dos escapes dos automóveis na presença de luz solar (Chang & Goldsby, 2013). É um fenômeno fotoquímico caracterizado pela formação de uma espécie de neblina composta por poluição, vapor de água e outros compostos químicos.

Valor-limite: nível máximo fixado com base em conhecimentos científicos com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos na saúde humana e no ambiente na sua globalidade (“Directiva 2008/50/CE, 2008).

Vitrines de exposição (do inglês: *showcase* ou *display-case*): é um espaço envidraçado mais ou menos selado, construído com o objetivo de expor de forma protegida um objeto. O vidro (ou acrílico) pode estar presente em toda a sua extensão ou somente em um ou alguns de seus lados.

Referências bibliográficas

- A, R., Liu, M., Pang, L., Yang, D., Wang, J., & Zhou, Y. (2017). Kinetics study of gas pollutant adsorption and thermal desorption on silica gel. *Applied Sciences*, 7(6), 609. <https://doi.org/10.3390/app7060609>
- Adam, M. G., Tran, P. T. M., & Balasubramanian, R. (2021). Air quality changes in cities during the COVID-19 lockdown: A critical review. In *Atmospheric Research* (Vol. 264). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105823>
- Adamová, T., Hradecký, J., & Pánek, M. (2020). Volatile organic compounds (VOCs) from wood and wood-based panels: Methods for evaluation, potential health risks, and mitigation. In *Polymers* (Vol. 12, Issue 10, pp. 1–21). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/polym12102289>
- Agência Portuguesa do Ambiente, A. (2005). *Dióxido de enxofre*. Agência Portuguesa Do Ambiente. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/dioxido-de-enxofre-so2>
- Agência Portuguesa do Ambiente. Laboratório Referência do Ambiente. (2009). Qualidade do ar em espaços interiores: um guia técnico. In *Agência Portuguesa do Ambiente* (pp. 1–53).
- AIC Wiki - A Collaborative Knowledge Resource (s.d.). *Airborne particulate pollutants*. Retrieved April 8, 2022, from https://www.conservation-wiki.com/wiki/Pollution#Airborne_Particulate_Pollutants
- Aldag, N., Gunschera, J., & Salthammer, T. (2017). Release and absorption of formaldehyde by textiles. *Cellulose*, 24(10), 4509–4518. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1393-8>
- Alebic-Juretic, A., & Sekulic-Cikovic, D. (2014). The impact of air pollution on the paintings in storage at the Museum of Modern and Contemporary Art, Rijeka, Croatia. *Studies in Conservation*, 54(1), 49–57. <https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.1.49>
- Alvarez-Martin, A., McHugh, K., Martin, C., Kavich, G., & Kaczkowski, R. (2020). Understanding air-tight case environments at the National Museum of the American Indian (Smithsonian Institution) by SPME-GC-MS analysis. *Journal of Cultural Heritage*, 44(4), 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.01.004>
- Alvarez-Martin, A., Wilcop, M., Anderson, R., Wendt, D., Barden, R., & Kavich, G. M. (2021). Investigation of volatile organic compounds in museum storage areas. *Air*

- Quality, Atmosphere and Health*, 14(11), 1797–1809. <https://doi.org/10.1007/s11869-021-01054-2>
- Amaral, J. F. C. do. (2017). *Estudo das condições de exposição da coleção de ourivesaria portuguesa do Museu Nacional de Arte Antiga* [Dissertação de Mestrado]. Universidade Nova de Lisboa.
- Anaf, W., Cabal, A., Robbe, M., & Schalm, O. (2020). Real-time wood behaviour: The use of strain gauges for preventive conservation applications. *Sensors (Switzerland)*, 20(1). <https://doi.org/10.3390/s20010305>
- Anaf, W., Leyva Pernia, D., & Schalm, O. (2018). Standardized indoor air quality assessments as a tool to prepare heritage guardians for changing preservation conditions due to climate change. *Geosciences (Switzerland)*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/geosciences8080276>
- Androulidakis, C., Kotsidi, M., Gorgolis, G., Pavlou, C., Sygellou, L., Paterakis, G., Koutroumanis, N., & Galiotis, C. (2021). Multi-functional 2D hybrid aerogels for gas absorption applications. *Scientific Reports*, 11(1), 13548. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92957-8>
- Ankersmit, H. A., Noble, G., Ridge, L., Stirling, D., Tennent, N. H., & Watts, S. (2000). The protection of silver collections from tarnishing. *Studies in Conservation*, 45(sup1), 7–13. <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.supplement-1.7>
- ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017. (2017). *Method of testing general ventilation air-cleaning devices for removal efficiency by particle size*. ASHRAE. www.ashrae.org/technology.
- ANVISA. (2003). *RESOLUÇÃO-RE No 09, DE 16 DE JANEIRO DE 2003*. Ministério da Saúde - MS / Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA.
- ASHRAE. (2011a). 2011 Gaseous and particulate contamination guidelines for data centers. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*, 1–22.
- ASHRAE. (2011b). Museums, galleries, archives, and libraries. In C. M. Grzywacz, P. Maybee, & J. Tétreault (Eds.), *ASHRAE Handbook-HVAC Applications* (SI Edition, p. 1109). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC.

- ASHRAE. (2015). Museums, Galleries, Archives, and Libraries. In *ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications* (Inch-Pound, pp. 23.1-23.22). ASHRAE.
- Baglioni, P. (2021). Innovative “green” gels as new pollutant absorbers in preventive conservation. *APACHE, Active & Intelligent Packaging Materials and Display Cases as a Tool for Preventive Conservation of Cultural Heritage. First Public Training*.
- Barbosa, K. (2021). *Rede Temática sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA)*. CITAR. <https://artes.porto.ucp.pt/pt/qai.mba>
- Barbosa, K., Ferreira, T., Moreira, P., & Vieira, E. (2021). Monitorização de gases poluentes em microclimas de museus: estratégia relevante para a conservação preventiva. *Conservar Património*, 38, 22–34. <https://doi.org/10.14568/2020069>
- Barbosa, K., Ferreira, T., Vieira, E., & Moreira, P. (2020). Berardo Museum: a preliminary investigation of VOCs inside display case with contemporary painting. In *14th Indoor Air Quality 2020 Meeting* (p. 72). IAQ 2020 Meeting.
- Barbosa, K., & Moreira, A. R. (2012). Investigação sobre gases poluentes em ambientes museológicos. *The International Seminar on Conservation of Modern Bronzes*.
- Barbosa, K., Moreira, P., & Vieira, E. (2019). The showcases of the paintings of the Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand, MASP-Brazil. The Lina Bo Bardi museum project and the evolution in conservation | As vitrines das pinturas do Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand, MASP-Brasil. *Ge-Conservacion*, 15, 18–26.
- Beltran, V., Grzywacz, C., Henry, M., Linden, J., Lukomski, M., Michalski, S., Taylor, J., & Tétreault, J. (2019). Museums, Galleries, Archives, and Libraries. In *ASHRAE handbook : heating, ventilating, and air-conditioning applications.: Vol. Chapter 23* (SI Edition). ASHRAE.
- Bembibre, C., & Strlič, M. (2017). Smell of heritage: A framework for the identification, analysis and archival of historic odours. *Heritage Science*, 5(1), 2–11. <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0114-1>
- Bembibre, C., & Strlič, M. (2022). From smelly buildings to the scented past: an overview of olfactory heritage. *Frontiers in Psychology*, 12(January), 1–7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.718287>
- Bennett, J. W., & Inamdar, A. A. (2015). *Are some fungal volatile organic compounds (VOCs) Mycotoxins ?* 7(9). <https://doi.org/10.3390/toxins7093785>

- Bergsten, C. J., Odlyha, M., Jakiela, S., Slater, J., Cavicchioli, A., de D. L. A., F., Niklasson, A., Svensson, J.-E., Bratasz, L., Camuffo, D., della A., V., Baldini, F., Falciai, R., Mencaglia, A., Senesi, F., & Theodorakopoulos, C. (2010). Sensor system for detection of harmful environments for pipe organs (SENSORGAN). *E-Preservation Science*, 7, 116–125.
- Bertolotti, G., Korenberg, C., & Stacey, R. (2016, March 3). *Investigating the performance and suitability of various coatings as barriers to off-gassing from medium density fibreboard (MDF)*. Indoor Air Quality in heritage and historic environments meeting, Birmingham, UK.
- Blackshaw, S. M., & Daniels, V. D. (1978). Selecting safe materials for use in the display and storage of antiquities. *ICOM-CC 5th Triennial Meeting*.
- Blades, N. (1995). Measuring pollution in the museum environment. Results of pollution analysis at the V & A. *Conservation Journal - Victoria and Albert Museum*, 14, 11–14.
- Blades, N. (2007). Application of an air pollution modelling tool to cultural heritage buildings. *Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic / European Communities, January 2007*.
- Blades, N., Kruppa, D., & Cassar, May. (2002). Development of a web-based software tool for predicting the occurrence and effect of air pollutants inside museum buildings. *13th Triennial Meeting of ICOM-CC*, 9–14. <http://discovery.ucl.ac.uk/4603/1/4603.pdf>
- Blades, N., Oreszczyn, T., Bordass, B., & and Cassar, May. (2000). *Guidelines on pollution control in heritage buildings*. Museum Association.
- Bordes, R. (2021). Development of silica-based composites for the capture of gaseous pollutants in museum and archives. *APACHE, Active & Intelligent Packaging Materials and Display Cases as a Tool for Preventive Conservation of Cultural Heritage. First Public Training*.
- Bradley, S., & Thickett, D. (1998). The pollutant problem in perspective. In L. Gibson (Ed.), *IAP - Indoor Air Pollution* (p. Presentation 5).
- Bradley, S., & Thickett, D. (1999). Pollution Problem in Perspective. In Jame & James Ltd (Ed.), *ICOM-CC 12th Triennial Meeting* (pp. 8–13). ICOM-CC Publications Online.
- Brimblecombe, P. (1990). The composition of museum atmospheres. *Atmospheric Environment*, 24B (No. 1), 1–8. <https://doi.org/10.1177/0968344510391139>

- Brimblecombe, P., Blades, N., Camuffo, P., Sturaro, G., Valentino, A., Gysels, K., van Grieken, R., Busse, H. J., Kim, O., Ulrych, U., & Wieser, M. (1999). The indoor environment of a modern museum building, the Sainsbury Centre for Visual Arts, Norwich, UK. *Indoor Air*, 9(3), 146–164. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.1999.t01-1-00002.x>
- Brimblecombe, P., Shooter, D., & Kaur, A. (1992). Wool and Reduced Sulphur Gases in Museum Air. *Studies in Conservation, IIC*, 37(1), 53–60.
- British Standards Institute. (2012). Specification for managing environmental conditions for cultural collections. In *PAS 198:2012*. British Standards Institute.
- Brown, S., Cole, I., Daniel, V., King, S., & Pearson, C. (2002). *Guideline for environmental control in cultural institutions*. <http://www.dca.gov.au>
- Cain, W. S., Wijk, R. A., Jalowayski, A. A., Caminha, G. P., & Schmidt, R. (2005). Odor and chemesthesis from brief exposures to TXIB. *Indoor Air*, 15(6).
- Campagnolo, D., Saraga, D. E., Cattaneo, A., Spinazzè, A., Mandin, C., Mabilia, R., Perreca, E., Sakellaris, I., Canha, N., Mihucz, V. G., Szigeti, T., Ventura, G., Madureira, J., de Oliveira Fernandes, E., de Kluizenaar, Y., Cornelissen, E., Hänninen, O., Carrer, P., Wolkoff, P., ... Bartzis, J. G. (2017). VOCs and aldehydes source identification in European office buildings - The OFFICAIR study. *Building and Environment*, 115, 18–24. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.009>
- Camuffo, D., Sturaro, G., & Valentino, A. (2000). Showcases: A really effective mean for protecting artworks? *Thermochimica Acta*, 365(1–2), 65–77. [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00614-6](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00614-6)
- Canosa, E. (2019). *Adsorbents for pollution reduction in cultural heritage collections*. www.raa.se
- Canosa, E., & Norrehed, S. (2019). Strategies for pollutant monitoring in museum environments. *Researchgate Review*, June, 65. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24172.00640>
- Cassar, M. (1999). *Energy efficient pollution control in museums and galleries*. Conservation Journal. Victoria and Albert Museum, July, 32.
- Cavicchioli, A., Alegre, P. L. D., & Martins, A. G. S. (2017). Microambientes e conservação preventiva em áreas indoor: o caso do espaço interior não climatizado da Casa de Dona Yayá, em São Paulo (Brasil). *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material*, 25(3), 291–340. <https://doi.org/10.1590/1982-02672017v25n0309>

- Cavicchioli, A., de Souza, R. O. C., Ranieiri Reis, G., & Fornaro, A. (2012). Indoor air quality in heavily polluted cities: Ozone and nitrogen dioxide contamination in the indoor atmosphere of two museums of São Paulo, Brazil. *10th Indoor Air Quality 2012 Meeting*, 14, London, UK.
- Cavicchioli, A., Nunes, V. A., & Chambergo, F. S. (2018). Bacterial consortium as biodegradation agents in indoor traditional Mortars: XIX century farmhouses in Brazil. *Indoor Air Quality 2018 Meeting*, 27, Krakow.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Química - Raymond Chang - 11ª edição -português (pdf)* (p. 1139).
- Chapuis, M., Lydon, A., & Brandt-Grau, A. (Eds.). (2009). *Preserving our heritage, improving our environment. Volume II. Cultural heritage research: FP5, FP6 and related projects*. European Commission. <https://doi.org/10.2777/22797>
- Chen, Z. Y., Liang, D., Ma, G., Frankel, G. S., Allen, H. C., & Kelly, R. G. (2010). Influence of UV irradiation and ozone on atmospheric corrosion of bare silver. *Corrosion Engineering Science and Technology*, 45(2), 169–180. <https://doi.org/10.1179/147842209X12579401586681>
- Chiantore, O., & Poli, T. (2021). Indoor air quality in museum display cases: volatile emissions, materials contributions, impacts. *Atmosphere*, 12(3), 364. <https://doi.org/10.3390/atmos12030364>
- Chiantore, O., Riedo, C., Poli, T., Cotrufo, G., & Hohenstatt, P. (2018). Risk assessment and preservative measures for volatile organic compounds in museum showcases. In A. Nevin, J. Townsend, M. Strlič, N. Blades, D. Thickett, & J. Kirby Atkinson (Eds.), *Preventive Conservation: The State of the Art - IIC 2018 Turin Congress* (pp. 58–63). The International Institute for Conservation (IIC). www.tandfonline.com/ysic
- Cinar, H. (2018). Effects of temperature and thickness of wood based boards on formaldehyde emission. *Wood Research*, 63(5), 895–908.
- Cincinelli, A., Martellini, T., Amore, A., Dei, L., Marrazza, G., Carretti, E., Belosi, F., Ravegnani, F., & Leva, P. (2016). Measurement of volatile organic compounds (VOCs) in libraries and archives in Florence (Italy). *Science of the Total Environment*, 572, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.201>
- Coccatto, A., Moens, L., & Vandenabeele, P. (2017). On the stability of mediaeval inorganic pigments: A literature review of the effect of climate, material selection, biological activity, analysis and conservation treatments. *Heritage Science*, 5(1), 1–25. <https://doi.org/10.1186/s40494-017-0125-6>

- Comitê Internacional de Documentação (CIDOC). Conselho Internacional de Museus (ICOM). (2014). *Declaração de Princípios de Documentação em Museus e Diretrizes internacionais de informação sobre objetos: categorias de informação do Comitê Internacional de Documentação (CIDOC - ICOM)*. http://issuu.com/sisem-sp/docs/cidoc_guidelines
- Compound 2,2,4-Trimethylpentanediol diisobutyrate Data collection sheet*. (n.d.). Retrieved May 22, 2022, from <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewiN66askfT3AhX8gs4BHaZtCFoQFnoECAQQAww&url=https%3A%2F%2Fec.europa.eu%2Fdocsroom%2Fdocuments%2F39983%2Fattachments%2F8%2Ftranslations%2Fen%2Frenditions%2Fnative&usq=AOvVaw0PwLdyouw-yqm0nn5pVh6Q>
- Compound Hexanoic acid Data collection sheet (1/1)*. (n.d.). https://www.env.go.jp/en/air/odor/measure/02_3_2.pdf
- Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018, Diário Oficial da União (2018). https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603
- Costa, V. (2001). The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation. *Reviews in Conservation, Number 2*, 19–35. <https://doi.org/10.1179/sic.1983.28.4.194>
- Costa, V. (2003). *Museum's air quality in a tropical climate: evaluation by using metallic coupons*. 5th Indoor Air Quality 2003 Meeting, Norwich.
- Costa, V. (2008). Ligas metálicas: estrutura, propriedades e conservação de objetos culturais. In A. C. F. da Silva & P. M. Homem (Eds.), *Ligas metálicas: Investigação e conservação* (pp. 15–28). Universidade do Porto.
- Costa, V., & Dubus, M. (2006). Evaluation of the environmental impact on metal artifacts using electrochemistry and grazing incidence XRD. *7th Indoor Air Quality 2006 Meeting*, Braunschweig.
- Covid-, E. M. T. D. E. (n.d.). *Recomendações aos museus em tempos de covid-19*. https://www.museus.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/Recomendacoes_Museus.pdf
- Cruz, A. J., Pires, J., Carvalho, A. P., & Brotas de Carvalho, M. (2004). Adsorption of acetic acid by activated carbons, zeolites, and other adsorbent materials related with the preventive conservation of lead objects in museum showcases. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 49, 725–731.

- Cruz, A. J., Pires, J., Carvalho, A. P., & Carvalho, M. B. (2008a). Comparison of adsorbent materials for acetic acid removal in showcases. *Journal of Cultural Heritage*, *9*(3), 244–252. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.03.001>
- Cruz, A. J., Pires, J., Carvalho, A. P., & Carvalho, M. B. (2008b). Utilização de materiais adsorventes na prevenção da alteração dos objetos metálicos expostos em museus - o caso do chumbo. In P. M. Homem & A. C. Ferreira (Eds.), *Ligas metálicas. Investigação e conservação* (1ª Edição, pp. 91–105). Faculdade de Letras da Universidade do Porto.
- Curran, K., Aslam, A., Ganiaris, H., Hodgkins, R. E., Moon, J., Moore, A., & Ramsay, L. (2017). Volatile organic compound (VOC) emissions from plastic materials used for storing and displaying heritage objects. In J. Bridgland (Ed.), *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints, Copenhagen, 4-8 September 2017* (Issue September). Paris: International Council of Museums.
- Curran, K., & Strlic, M. (2014). Polymers and volatiles: Using VOC analysis for the conservation of plastic and rubber objects. *Studies in Conservation*, *0*(0), 1–14. <https://doi.org/10.1179/2047058413Y.0000000125>
- Curran, K., Underhill, M., Gibson, L. T., & Strlic, M. (2015). The development of a SPME-GC/MS method for the analysis of VOC emissions from historic plastic and rubber materials. *Microchemical Journal*, *124*, 909–918. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2015.08.027>
- Curran, K., Underhill, M., Grau-Bové, J., Fearn, T., Gibson, L. T., & Strlič, M. (2018). Classifying degraded modern polymeric museum artefacts by their smell. *Angewandte Chemie - International Edition*, *57*(25), 7336–7340. <https://doi.org/10.1002/anie.201712278>
- Czajka, M., Fabisiak, B., & Fabisiak, E. (2020). Emission of volatile organic compounds from heartwood and sapwood of selected coniferous species. *Forests*, *11*(1). <https://doi.org/10.3390/fl1010092>
- Dahlin, E. (2010). PROPAIN-T-Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit: Final Activity Report. In *Norwegian Institute for Air Research-* (Issue February 2016, p. 147). EU FP6 Supported Research Project: SSPI-044254.
- Dahlin, E., Grøntoft, T., Henriksen, J. F., Taylor, J., Blades, N., Cassar, M., Heinze, J., Rentmeister, S., Hanko, M., Glytsos, T., Lazaridis, M., Aleksandropoulou, V., Kopanakis, I., Czop, J., Karaszkiwicz, P., Obarzanowski, M., Hallett, K., Sommer-Larsen, A., Calnan, C., ... Larsen, R. (2010). *MASTER Final Report, EVK4-CT-2002-*

00093: *Preventive conservation strategies for protection of organic objects in museums, historic buildings and archives*. www.nilu.no/master.no

- Dahlin, E., Grøntoft, T., Wittstadt, K., Drda-Kühn, K., Colombini, M. P., Bonaduce, I., Vandenabeele, P., Larsen, R., Potthast, A., Marincas, O., Schieweck, A., Thicket, D., Odlyha, M., Andrade, G., Hackney, S., McDonagh, C., & Ackerman, J. J. (2010). *MEMORI - Measurement, Effect Assessment and Mitigation of Pollutant Impact on Movable Cultural Assets. – Innovative Research for Market Transfer* (Issues FP7-ENV-2010. Theme 6: Environment (including climate change)). https://nilu.brage.unit.no/nilu-xmlui/bitstream/handle/11250/2507694/15-2014-emd-memori-final_report.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Dang, H. A. H., & Trinh, T. A. (2022). The beneficial impacts of COVID-19 lockdowns on air pollution: evidence from Vietnam. *Journal of Development Studies*, 58(10), 1917–1933. <https://doi.org/10.1080/00220388.2022.2069492>
- De Faria, D. L. A., Cavicchioli, A., & Puglieri, T. S. (2010). Indoors lead corrosion: Reassessing the role of formaldehyde. *Vibrational Spectroscopy*, 54(2), 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2010.09.002>
- de Laet, N., Lycke, S., van Pevenage, J., Moens, L., & Vandenabeele, P. (2013). Investigation of pigment degradation due to acetic acid vapours: Raman spectroscopic analysis. *European Journal of Mineralogy*, 25(5), 855–862. <https://doi.org/10.1127/0935-1221/2013/0025-2298>
- Decisão (UE) 2017/176 da Comissão da UE (2017). Critérios para a atribuição do rótulo ecológico da UE a revestimentos à base de madeira, de cortiça ou de bambu para pavimentos [notificada com o número C(2017) 303] L 28/44. http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC83683/eca%20report%2029_final.pdf
- Decreto-Lei n° 79/2006/DRE, (2006). <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/79-2006-672459>
- Dedecker, K., Pillai, R. S., Nouar, F., Pires, J., Steunou, N., Dumas, E., Maurin, G., Serre, C., & Pinto, M. L. (2018). Metal-organic frameworks for cultural heritage preservation: The case of acetic acid removal. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(16), 13886–13894. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b02930>
- Dias, L. C. R. (2013). *Qualidade do ar interior e influência na conservação de objetos de prata – as salas de ourivesaria do Museu Nacional de Arte Antiga*. [Mestrado]. Universidade de Évora.

- Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Maio de 2008 relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. (2008). In *Jornal Oficial da União Europeia* (Vol. L152, p. 44).
- Directiva 2004/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Abril de 2004. (2004). In *Jornal Oficial da União Europeia*: (Vol. L 143/89).
- Decreto-Lei n° 101-D/2020, Pub. L. No. n° 101-D/2020 (2020). Diário da República, 1ª série 7 (21). <https://files.dre.pt/1s/2020/12/23701/0002100045.pdf>
- Dupont, A.-L., & Tétreault, J. (2000). Cellulose degradation in an acetic acid environment. *Studies in Conservation*, 45(3), 201. <https://doi.org/10.2307/1506766>
- Eggert, G., Fischer, A., & Dinnebier, R. (2016). *Efflorescence X? Case solved: Ca3(CH3COO)3Cl(NO3)2·6H2O! The research history, identification, and crystal structure of thecotrichite*. <https://www.researchgate.net/publication/304575994>
- Eggert, G., Kuitert, R., Korenberg, C., Ziegler, J., Bette, S., & Stelzner, J. (2019). Metal conservation, cellulose nitrate and the Oddy Test. In C. Chemello, L. Brambilla, & E. Joseph (Eds.), *ICOM-CC Metals Working Group*. International Council of Museums - Committee for Conservation (ICOM-CC) and Haute Ecole Arc Conservation-restauration (HE-Arc CR).
- el Masri, I., Lescop, B., Talbot, P., Vien, G. N., Becker, J., Thierry, D., & Rioual, S. (2020). Development of a RFID sensitive tag dedicated to the monitoring of the environmental corrosiveness for indoor applications. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 322(July). <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128602>
- Formaldehyde emission standards for composite wood products, Pub. L. No. EPA-HQ-OPPT-2016-0461-0001, EPA-HQ-OPPT-2016-0461-0001. Retrieved August 26, 2022, from <https://www.regulations.gov/document/EPA-HQ-OPPT-2016-0461-0001>
- European Environment Agency. (2018). Air quality in Europe — 2018 report. In *EEA Technical Report* (Issue 12). European Environment Agency. <https://doi.org/10.2800/850018>
- European Environment Agency. (2020). Air quality in Europe - 2020 report. In *EEA Report* (Issue No 09/2020). Publication Office of the European Union.
- European Environment Information and Observation Network (Eionet). (2021). *O que são partículas em suspensão e quais os seus efeitos na saúde humana?* Agência Europeia do Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/pt/help/perguntas-frequentes/o-que-sao-particulas->

em?utm_source=EEASubscriptions&utm_medium=RSSFeeds&utm_campaign=Generic

- Fabre, G., & Deniau, M. (2018). *Léon Tutundjian: Biomorphie and geometric reveries. Introduction to the work of Léon Tutundjian*. Foundation León Tutundjian.
- Fenech, A., Strlič, M., Degano, I., & Cassar, M. (2010). Stability of chromogenic colour prints in polluted indoor environments. *Polymer Degradation and Stability*, 95(12), 2481–2485. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2010.08.009>
- Fenech, A., Strlič, M., Kralj Cigić, I., Levart, A., Gibson, L. T., de Bruin, G., Ntanos, K., Kolar, J., & Cassar, M. (2010). Volatile aldehydes in libraries and archives. *Atmospheric Environment*, 44(17), 2067–2073. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.021>
- Fenn, J., & Williams, R. S. (2018). *Caring for plastics and rubbers*. Canadian Conservation Institute, CCI. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/caring-plastics-rubbers.html>
- Ferreira, A. L., Borillo, G., Ogawa, T., Vedovati, T., Flaeschen, J., Spinelli, J., Godoi, R., & Godoi, A. F. (2014). *Qualidade do ar interno na Biblioteca Nacional do Brasil no Rio de Janeiro, Brasil*. <https://www.bn.gov.br/producao/documentos/qualidade-ar-interno-biblioteca-nacional-brasil-rio-janeiro>
- Ferreira, M., Grau-Bové, J., Blades, N., & Altamiro, H. (2020). The impact of air motion on indoor microenvironments: passive ventilation strategies for historic bookshelves. *Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments*, 38–39.
- Fischer, A., Eggert, G., & Stelzner, J. (2020). When glass and metal corrode together, VI: Chalconatronite. *Studies in Conservation*, 65(3), 152-159. <https://doi.org/10.1080/00393630.2019.1677081>
- Fitzhugh, E. W. (Ed.). (1997). *Artists' Pigments: A handbook of their history and characteristics. Volume 3*. National Gallery of Art, Oxford University Press.
- Fowler, D., Brimblecombe, P., Burrows, J., Heal, M. R., Grennfelt, P., Stevenson, D. S., Jowett, A., Nemitz, E., Coyle, M., Lui, X., Chang, Y., Fuller, G. W., Sutton, M. A., Klimont, Z., Unsworth, M. H., & Vieno, M. (2020). A chronology of global air quality: The development of global air pollution. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 378(2183). <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0314>

- Freemantle, R. (2004). Glazing over: A review of glazing options for works of art on paper. *Paper Conservator: Journal of the Institute of Paper Conservation*, 28(3), 5–16. <https://doi.org/10.1080/03094227.2004.9638638>
- Freixo, E., & Cavicchioli, A. (2010). Avaliação e perspectivas da abordagem à conservação do patrimônio organístico no Brasil. *Anais Do Museu Paulista*, 18(1), 231–273.
- Frihart, C. R., Wescott, J. M., Chaffee, T. L., & Gonner, K. M. (2012). *Formaldehyde emissions from urea-formaldehyde- and no-added-formaldehyde-bonded particleboard as influenced by temperature and relative humidity*.
- Ganiaris, H., & Readman, J. (2016). Hazing on display case glass: a review and progress on prevention. *IAQ 2016: Heritage Research to Conservation Practice - Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments - 12th International Conference*. Birmingham. http://iaq.dk/iap/iaq2016/Ganiaris_IAQ2016.pdf
- Gawade, D. R., Buckley, J, Rather, N. N., Ziemann, S., Zabeo, A., Barton, J., Iacopino, D., Schuhmann, K., Anders, M., Burke, M., Quinn, A., & Flynn, B. (2019). A Battery-Less NFC Sensor Transponder for Museum Artefact Monitoring-A Review of NFC Sensor Technology and a Proposed Solution. *SENSORCOMM 2019: The Thirteenth International Conference on Sensor Technologies and Applications, November, 27–31*. <https://www.thinkmind.org/index.php?view=article&articleid=sensorco>
- Gibson, L. T., Cooksey, B. G., Littlejohn, D., Linnow, K., Steiger, M., & Tennent, N. H. (2005). The mode of formation of thecotrichite, a widespread calcium acetate chloride nitrate efflorescence. *Studies in Conservation*, 50(4), 284–294. <https://doi.org/10.1179/sic.2005.50.4.284>
- Gibson, L. T., Ewlad-Ahmed, A., Knight, B., Horie, V., Mitchell, G., & Robertson, C. J. (2012). Measurement of volatile organic compounds emitted in libraries and archives: An inferential indicator of paper decay? *Chemistry Central Journal*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-42>
- Gibson, L. T., & Watt, C. M. (2010). Acetic and formic acids emitted from wood samples and their effect on selected materials in museum environments. *Corrosion Science*, 52(1), 172–178. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.08.054>
- Glastrup, J., & Ryhl-Svendsen, M. (2001). Recent improvements in SPME-GC/MS detection of acetic and formic acid in air. *IAP 2001*, 3.
- Godoi, A. F. L., Stranger, M., Potgieter-vermaak, S., Kaegi, R., Cocheo, C., Pagani, D., Quaglio, F., Sacco, P., Belleil, M., Grieken, R. Van, & Ricardo, H. M. (2006).

- Poluentes Atmosféricos em Museus Resultados e Discussão* (pp. 1–2). Sociedade Brasileira de Química (SBQ).
- Godoi, R. H. M., Carneiro, B. H. B., Paralovo, S. L., Campos, V. P., Tavares, T. M., Evangelista, H., Van Grieken, R., & Godoi, A. F. L. (2013). Indoor air quality of a museum in a subtropical climate: The Oscar Niemeyer museum in Curitiba, Brazil. *Science of the Total Environment*, 452–453, 314–320.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.070>
- Gomes, L. S., Furtado, A. C. R., & Souza, M. C. (2018). A sílica e suas particularidades. In *Rev. Virtual Quim* (Vol. 10, Issue 4). <http://rvq.s bq.org.br>
- Gomes, M. F. da F. A. (2018). *Conservação preventiva - condições de reserva: novos paradigmas de visibilidade e acesso às coleções museológicas* [Tese de Doutorado]. Universidade Católica Portuguesa.
- González-Martín, J., Kraakman, N., Pérez, C., Lebrero, R., & Muñoz, R. (2021). A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere*, 262, 128376. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128376>
- Gorney, C. (2020). *Decades ago, this pollution disaster exposed the perils of dirty air*. National Geographic. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/decades-ago-donora-smog-disaster-exposed-perils-dirty-air>
- Granström, K. (2005). *Emissions of volatile organic compounds from wood* [Dissertation]. Karlstad University Studies.
- Green, L. R., & Thickett, D. (1995). Testing Materials for Use in the Storage and Display of Antiquities: A Revised Methodology. *Studies in Conservation*, 40(3), 145–152.
- Grøntoft, T. (2010). Derivation of a model for the calculation of impact loads of air pollutants to paintings in microclimate frames. *E-Preservation Science*, 7, 132–140. <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2010/Grontoft-06-04-2010.pdf>
- Grøntoft, T., Dahlin, E., Haland, S., Vika Hoen, H., Heltne, T., Thickett, D., Lankester, P., & Schieweck, A. (2013). The “Memori System”; measurements, effect assessment and mitigation of pollutant impact on movable cultural assets. - Innovative research for market transfer. *3rd European Workshop on Cultural Heritage Preservation*, 28.
- Grøntoft, T., Lankester, P., & Thickett, D. (2015). Reduction of acidic pollutant gases inside showcases by the use of activated carbon. *E-Preservation Science*, 12, 28–37.

- Grøntoft, T., Lopez-Aparicio, S., Dahlin, E., Odlyha, M., Jakiela, S., Mottner, P., Scharff, M., Ryhl-Svendsen, M., Andrade, G., Obarzanowski, M., Colombini, M. P., Bonaduce, I., Hackney, S., Wadum, J., & Thickett, D. (2008). EU project PROPAINT - Assessment of Environmental Protection for Paintings Offered by Microclimate Frames and Varnishes. *Cultural Heritage Meet Practice, 8th European Conference on Sustaining Europe's Cultural Heritage*, 12–16.
- Grøntoft, T., Marchiori, E., & Odlyha, M. (2018). Response of lead deposited on glass to acetic acid exposure, with potential for its application as an acetic acid dosimeter/sensor. *E-PRESERVATION Science*, 15(March 2021), 9–16.
- Grøntoft, T., Odlyha, M., Mottner, P., Dahlin, E., Lopez-Aparicio Susana, S., Jakiela, S., Scharff, M., Andrade, G., Obarzanowski, M., Ryhl-Svendsen, M., Thickett, D., Hackney, S., & Wadum, J. (2010). Pollution monitoring by dosimetry and passive diffusion sampling for evaluation of environmental conditions for paintings in microclimate frames. *Journal of Cultural Heritage*, 11(4), 411–419.
<https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.02.004>
- Grøntoft, T., Schmidbauer, N., Wisthaler, A., Mikoviny, T., Eichler, P., Müller, M., Hackney, S., & Sommer Larsen, A. (2014). VOC emissions from canvas and acetic acid deposition to canvas and glass. *E-Preservation Science*, 11, 22–28.
- Grøntoft, T., Thickett, D., Lankester, P., Hackney, S., Townsend, J. H., Ramsholt, K., & Garrido, M. (2016). Assessment of indoor air quality and the risk of damage to cultural heritage objects using MEMORI® dosimetry. *Studies in Conservation*.
<https://doi.org/10.1080/00393630.2015.1131477>
- Grosjean, D., Salmon, L. G., & Cass, G. R. (1992). Fading of organic artists' colorants by atmospheric nitric acid: reaction products and mechanisms. *Environmental Science and Technology*, 26(5), 952–959. <https://doi.org/10.1021/es00029a013>
- Grzywacz, C. M. (2006). Monitoring for gaseous pollutants in museum environments. In *Tools for conservation*. Getty Publications.
http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/pdf_publications/pdf/monitoring.pdf
- Grzywacz, C. M., Maybee, P., & Tétreault, J. (2011). Museums, galleries, archives, and libraries. In *ASHRAE handbook: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning applications* (SI Edition). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, INC.

- Guild, S. (2018). *Caring for paper objects*. Preventive Conservation Guidelines for Collections Online Resource; Canadian Conservation Institute, Department of Canadian Heritage. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/preventive-conservation/guidelines-collections/paper-objects.html>
- Hackney, S. (2007a). The development of a conservation framing policy at Tate. *Museum Microclimates*.
- Hackney, S. (2007b). The evolution of a conservation framing policy at Tate. In *Museum microclimates: contributions to the Copenhagen conference* (pp. 229–235).
- Hackney, S. (2016). Colour measurement of acid-detector strips for the quantification of volatile organic acids in storage conditions. *Studies in Conservation*, 61(sup1), 55–69. <https://doi.org/10.1080/00393630.2016.1140935>
- Hanlon, W. W. (2016). *Coal smoke and the costs of the Industrial Revolution* (No. 22921; NBER Working Paper Series). <http://www.nber.org/papers/w22921>
- Hartin, D. D. (Canadian C. I. (2017). *Backing boards for paintings on canvas – Canadian Conservation Institute (CCI)*. 1993. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/backing-boards-paintings.html>
- Hatchfield, P. (2002). *Pollutants in the museum environment: Practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage*. Archetype Publications Ltd.
- Hatchfield, P. (2004). An excerpt from pollutants in the museum environment. Practical strategies for problem solving in design, exhibition and storage. *WAAC Newsletter*, 26(2), 10–22.
- Hatchfield, P., & Carpenter, J. (1987). *Formaldehyde: How great is the danger to museum collections?* (p. 44). Harvard University Art Museum.
- Havermans, J. (2018). Indoor environment and historical collections. In M. Adriaens, S. Bioletti, & I. Rabin (Eds.), *Chemical Interactions between Cultural Artefacts and Indoor Environment (EnviArt)* (First edit, pp. 11–23). Uitgeverij Acco.
- Helmenstine, A. (2021, July 15). *Adsorption vs absorption – differences and examples*. Science Notes. <https://sciencenotes.org/adsorption-vs-absorption-differences-and-examples/>
- Henley, J. (2022, October 27). *Just Stop Oil activist tries to glue own head to Girl with Pearl Earring*. The Guardian.

- https://www.theguardian.com/environment/2022/oct/27/girl-with-a-pearl-earring-vermeer-just-stop-oil-protest-mauritshuis-the-hague?CMP=Share_iOSApp_Other
- Higham, J. E., Ramírez, C. A., Green, M. A., & Morse, A. P. (2021). UK COVID-19 lockdown: 100 days of air pollution reduction? *Air Quality, Atmosphere and Health*, *14*(3), 325–332. <https://doi.org/10.1007/s11869-020-00937-0>
- Holden, A. (1992). The AMECP project: prevention is better than cure. *Conservation Journal - Victoria and Albert Museum*, *05*.
- Homem, P. M. (2013). *Corrosão atmosférica da prata: Monitorização e perspectivas de conservação preventiva* [Tese de Doutoramento]. Universidade do Porto. <https://hdl.handle.net/10216/72784>
- IAP Working Group. (2021). *Homepage of IAP: Indoor Air Pollution Working Group*. IAP - Indoor Air Pollution. <http://iaq.dk/iap.htm>
- IARC, I. A. for R. on C. (1999). *IARC Monographs Volume 71*. *71*(1985), 319–335.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. (2016). Outdoor Air Pollution. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, *109*, 9–444. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK368024/>
- Instituto Brasileiro de Museus. (2013). *Programa para a gestão de riscos ao patrimônio musealizado brasileiro*. 39.
- IVL. (n.d.). *Diffusive sampling IVL*. Retrieved October 31, 2022, from <https://diffusivesapmling.ivl.se/oursamplers.4.75d7780712240e747ea80004619.html>
- Jantunen, M., Jeakkola, J. J. K., & Krzyzanowski, M. (1997). Assessment of exposure to indoor air pollutants. *WHO Regional Publications. European Series*, *78*(4), iii–xii, 1–139. <https://doi.org/10.1080/09593339009384866>
- Japan Mitsubishi Gas Chemical Company. (2011). *AGELESS® Brochure*.
- Jones, J. (2022, November 16). *What next, petrol on a Picasso? Threatening art is no answer to the climate crises*. The Guardian. https://www.theguardian.com/commentisfree/2022/nov/16/klimt-climate-activists-crisis-petrol-picasso?CMP=Share_iOSApp_Other
- Kaden, D., Mandin, C., Nielsen, G. D., & Wolkoff, P. (2010). Formaldehyde. In *WHO Guidelines for Indoor Air Guidelines: Selected Pollutants* (pp. 103–142). WHO Regional Office for Europe.

- Korenberg, C., & Bertolotti, G. (2019). Emissions from MDF: Governing Factors and Mitigation Strategies. *Studies in Conservation*, 64(5), 249–260.
<https://doi.org/10.1080/00393630.2019.1565153>
- Korenberg, C., Keable, M., Phippard, J., & Doyle, A. (2017). Refinements introduced in the Oddy Test methodology. *Studies in Conservation*, 63(1), 2–12.
<https://doi.org/10.1080/00393630.2017.1362177>
- Kraševac, I., Menart, E., Strlič, M., Kralj, I., & Cigić, C. (2021). Validation of passive samplers for monitoring of acetic and formic acid in museum environments. *Heritage Science*, 9(19).
- Krause, P., Kraus, P., Reilly, J. P., & Reilly, J. M. (1994). IPI Storage Guide for Acetate Film. *Journal of the American Institute for Conservation*, 33(3), 321.
<https://doi.org/10.2307/3179643>
- Krupińska, B., van Grieken, R., & de Wael, K. (2013). Air quality monitoring in a museum for preventive conservation: Results of a three-year study in the Plantin-Moretus Museum in Antwerp, Belgium. *Microchemical Journal*, 110(2013), 350–360.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.05.006>
- Kutlar Joss, M., Eeftens, M., Gintowt, E., Kappeler, R., & Künzli, N. (2017). Time to harmonize national ambient air quality standards. *International Journal of Public Health*, 62(4), 453–462. <https://doi.org/10.1007/s00038-017-0952-y>
- Lafuente, D., Llorente, I., Crespo, A., Künne, J., & Schieweck, A. (2013). The effects of organic pollutants on metals in museums: corrosion products, synergistic effects and the influence of climatic parameters. In E. Hyslop, V. Gonzalez, L. Troalen, & L. Wilson (Eds.), *Metal 2013 Edinburg, Scotland - Interim Meeting of the ICOM-CC Metal Working Group* (Issues 16-20 September, pp. 229–233). ICOM-CC.
- Laganà, A., & Keneghan, B. (2012). *Which plastics are in my collection? The need for a plastic reference sample collection (SamCo)*. Popart.
- Lattuati-Derieux, A., Bonnassies-Termes, S., & Lavédrine, B. (2004). Identification of volatile organic compounds emitted by a naturally aged book using solid-phase microextraction/gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1026(1–2), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2003.11.069>
- Lee, L. R., & Thickett, D. (2011). Selection of materials for the storage and display of museum objects. In C. Caple (Ed.), *Preventive Conservation in Museums* (pp. 239–257). Routledge.

- Lei n° 47/2004, de 19 de Agosto, Pub. L. No. 195, Diário da República - 1 Série-A 5379 (2004).
- Leissner, J. (2016). *Environmental monitoring with glass sensors*. Fraunhofer Institute for Silicate Research, Germany. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1503.5760>
- Long, E. R., Bone, A., Breitung, E. M., Thickett, D., & Grau-Bové, J. (2022). Automated corrosion detection in Oddy test coupons using convolutional neural networks. *Heritage Science*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00778-3>
- López-Aparicio, S., Grontoft, T., Odlyha, M., Dahlin, E., Mottner, P., Thickett, D., Ryhl-Svendsen, M., Schmidbauer, N., & Scharff, M. (2010). Measurement of organic and inorganic pollutants in microclimate frames for paintings. *E-Preservation Science*, 7(x), 59–70. <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2010/LopezAparicio-16-02-2010.pdf>
- Luna, F. J., & Schuchardt, U. (2001). Modificação de zeólitas para uso em catálise. *Química Nova*, 24(6), 885–892. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000600027>
- Lundsten, S. (2021). *Microclimate frames for paintings on canvas: A literature review with a case study from Nationalmuseum* [Master, University of Gothenburg]. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/69879>
- Maekawa, S. (1998). *Research in conservation - Oxygen-Free Museum Cases*. The Getty Conservation Institute.
- Maekawa, S., Beltran, V. L., & Henry, M. C. (2015). *Environmental management for collections: Alternative preservation strategies for hot and humid climates* (T. Ball, Ed.). The Getty Conservation Institute.
- Maekawa, S., & Elert, K. (2003). *The Use of Oxygen-Free Environments in the Control of Museum Insect Pests* (M. Greenberg, A. Lucke, T. Ball, & S. Berg, Eds.). The Getty Conservation Institute.
- Maines, C. A. (2015). Implementation of solid-phase microextraction (SPME) for assessment of exhibition & storage materials. *Conservation & Exhibition Planning: Material Testing for Design, Display & Packing*, 14–15.
- Mapelli, E., Pedrocchi-Fantoni, G., & Strini, A. (2003). Volatile organic compound emissions from museum showcase materials. *IAQ, Indoor Air Quality in Museums and Historic Properties, Figure 1*, 5–9.

- Marchetti, A., Pilehvar, S., 't Hart, L., Leyva Pernia, D., Voet, O., Anaf, W., Nuyts, G., Otten, E., Demeyer, S., Schalm, O., & de Wael, K. (2017). Indoor environmental quality index for conservation environments: The importance of including particulate matter. *Building and Environment*, 126(October), 132–146.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.022>
- Markowicz, P., & Larsson, L. (2015). Influence of relative humidity on VOC concentrations in indoor air. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8).
<https://doi.org/10.1007/s11356-014-3678-x>
- Martinez, J. (2005). *Great smog of London*. Encyclopedia of Toxicology.
<https://doi.org/10.1016/B0-12-369400-0/01037-1>
- Mathey, R. G., Faison, T. K., & Silberstein, S. (1983). *NBSIR 83-2795 - Air Quality Criteria for Storage Paper-Based Archival Records*. National Bureau of Standards.
- Meira, S. M., Fedeli, B., Vieira, A. C. D., & Lavezzo, A. (2021). A climatização de museus em tempos de COVID-19: recomendações. *Centro de Preservação Cultural da Universidade de São Paulo, CPC*, 16(32), 268–291.
- MEMORI. (2013). Final Report Summary-MEMORI (Measurement, Effect Assessment and Mitigation of Pollutant Impact on Movable Cultural Assets. Innovative Research for Market Transfer.). In *CORDIS EU research results* (Vols. FP7-Environment).
<https://cordis.europa.eu/project/id/265132/reporting>
- Menart, E., de Bruin, G., & Strlič, M. (2014). Effects of NO₂ and acetic acid on the stability of historic paper. *Cellulose*, 21(5), 3701–3713.
<https://doi.org/10.1007/s10570-014-0374-4>
- Michalski, S. (2005). Risk analysis of backing boards for paintings: damp climates vs cold climates. *Colour and Conservation - Materials and Methods in the Conservation of Polychrome Art Works. Minimal Intervention on the Structural Conservation of Paintings. Proceedings of the CESMAR7 Conference, Thiene, October 2004. Padua: Il Prato.*, 21–28.
- Michalski, S. (2007). The ideal climate, risk management, the ASHRAE chapter, proofed fluctuations, and toward a full risk analysis model. *Experts' Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies*, 1–19.
- Michalski, S., & Pedersoli Jr, J. L. (2016). *The ABC Method: a risk management approach to the preservation of cultural heritage*. Canadian Conservation Institute.
http://canada.pch.gc.ca/DAMAssetPub/DAM-PCH2-Museology-PreservConserv/STAGING/texte-text/risk_Manual_2016_1486742306045_eng.pdf

- Mirabile, A. (2021). Report on stakeholders' needs with respect to a decision maker tool (DMT). In *Active & intelligent PACKaging materials and display cases as a tool for preventive conservation of Cultural Heritage, APACHE: Vol. Milestone MSI*. Active & intelligent packing materials and display cases as a tool for preventive conservation of cultural heritage, APACHE. <http://www.apacheproject.eu>
- MIROGARD® Protect Ultra | SCHOTT Advanced Optics. (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from <https://www.schott.com/shop/advanced-optics/en/MIROGARD-Protect-Ultra/c/glass-MIROGARD-ULTRA>
- Missia, D. A., Demetriou, E., Michael, N., Tolis, E. I., & Bartzis, J. G. (2010). Indoor exposure from building materials: A field study. *Atmospheric Environment*, 44(35), 4388–4395. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.07.049>
- Mohtar, A., Kolmykov, O., Nouar, F., & Serre, C. (n.d.). *New generation of robust MOFs for cultural heritage preservation*. 13894(2018), 13894.
- Molina, S. L. (2021). Los plásticos emisores de contaminantes gaseosos en las colecciones de Arte Contemporáneo. Propuesta de un protocolo para su conservación. *Ge-Conservacion*, 20, 162–172. <https://doi.org/10.37558/gec.v20i1.1061>
- Moreira, A. R., Barbosa, K., Almeida, N. L. de, & Panossian, Z. (2014). Staining of bronze sculptures, determining the causes. *European Corrosion Congress*.
- Mosca, A. I., Camões, M. F., & Casanovas, L. E. (2007). Materiais poluentes e controlo da poluição no Museu da Fundação Cupertino de Miranda, Porto. *Conservar Património*, n° 6, 31–37.
- Mosca, I., Camões, M. F., & Casanovas, L. E. (2007). Materiais poluentes e controlo da poluição no Museu da Fundação Cupertino de Miranda, Porto TT - Pollutant materials and pollution control at Cupertino de Miranda Foundation. *Conservar Património*, 6, 31–37.
- Mottner, P. (2006). *Environmental monitoring of cultural heritage: Glass sensor measurements on stained glass windows – recent evaluations*.
- Mould Growth on Textiles*. (2008). Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 13:15 - Canada. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/mould-growth-textiles.html>
- Muller, C., Corel, R., & Van Dijke, R. (2008). Advances and trends in air purification. *8th Indoor Air Quality 2008 Meeting*, 1–56.

- Muschketat, N. (2022, October 23). *Activistas climáticos atiraram puré de batata a obra de Monet*. Público. <https://www.publico.pt/2022/10/23/azul/noticia/activistas-climaticos-atiraram-pure-batata-obra-monet-2025094>
- Museu Coleção Berardo. (2019). *Relatório e contas 2019*. https://pt.museuberardo.pt/sites/default/files/documents/famc_cb_relatorio_e_contas_2019.pdf
- Museu Coleção Berardo. (2021). *Relatório e contas 2021*. https://pt.museuberardo.pt/sites/default/files/documents/famc_-_cb_relatorio_e_contas_2021.pdf
- Nakashima, H., Nakajima, D., Takagi, Y., & Goto, S. (2007). volatile organic compound (VOC) analysis and anti-VOC measures in water-based paints. In *Journal of Health Science* (Vol. 53, Issue 3).
- National Parks Service. (1999). Anoxic microenvironments – a treatment for pest control. *Conserve O Gram*, 3/9(3).
- Ncube, M., & Su, Y. (2012). The removal of volatile organic compounds from supply air using a desiccant column – A theoretical study. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2013.03.003>
- NEMOSINE. (2021). *Innovative packaging solutions for storage and conservation of 20th century cultural heritage of artefacts based on cellulose derivate*.
- NEMOSINE. (2022). *Periodic Reporting for period 2-NEMOSINE (Innovative packaging solutions for storage and conservation of 20th century cultural heritage of artefacts based on cellulose derivate)*. CORDIS EU Grant Agreement ID: 760801. <https://doi.org/10.3030/760801>
- Niu, H., Zhang, C., Hu, W., Hu, T., Wu, C., Hu, S., Silva, L. F. O., Gao, N., Bao, X., & Fan, J. (2022). Air Quality Changes during the COVID-19 Lockdown in an Industrial City in North China: Post-Pandemic Proposals for Air Quality Improvement. *Sustainability*, 14(18), 11531. <https://doi.org/10.3390/su141811531>
- Noble, P., & van Loon, A. (2010). Evaporation of fatty acids and formation of whitish deposits on the inside of the glass/microclimate boxes: a case study in the Mauritshuis. In E. Dahlin (Ed.), *PROPAINTE Improved Protection of Paintings during Exhibition, Storage and Transit Final Activity Report* (pp. 149–164). Norwegian Institute for Air Research. <https://www.researchgate.net/publication/282247431>

- Oddy Test: materials databases*. (2013). AIC Wiki - A Collaborative Knowledge Resource. https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test
- Oddy Test Protocols*. (n.d.). AIC Wiki - A Collaborative Knowledge Resource. Retrieved May 23, 2020, from https://www.conservation-wiki.com/wiki/Oddy_Test_Protocols
- Oddy, W. A. (1975). The corrosion of metals on display. *Conservation in Archaeology and the Applied Arts*, 235–237.
- Odlyha, M., Bozec, L., Dahlin, E., Grøntoft, T., Chelazzi, D., Baglioni, P., Bonaduce, I., Colombini, M. P., Larsen, R., Scharff, M., Hackney, S., & Thickett, D. (2012). Memori project: evaluation of damage to exposed organic-based heritage materials and Nanoforart: evaluation of nanoparticle-based conservation treatment. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(1_suppl), 319–324. <https://doi.org/10.1260/2047-4970.1.0.319>
- Odlyha, M., Jakiela, S., Bozec, L., Grøntoft, T., Dahlin, E., Colombini, M. P., Bonaduce, I., Thickett, D., Larsen, R., & Scharff, M. (2011). Piezo-electric quartz crystal-based dosimetry and damage assessment of parchment and artists' varnish. *European Workshop on Cultural Heritage Preservation - EWCHP 2011*. <https://doi.org/10.1002/9783527678679.dg10426>
- Odlyha, M., Theodorakopoulos, C., Cavicchioli, A., De Faria, D. L. A., Svensson, J.-E., & Niklasson, A. (2006). Use of spectroscopic and impedance techniques to monitor the cumulative damage caused by indoor environmental factors on organ pipe. *7th Indoor Air Quality 2006 Meeting*.
- Odlyha, M., Theodorakopoulos, C., Slater, J. M., Cavicchioli, A., de Faria, D. L. A., Niklasson, A., Schieweck, A., & Thickett, D. (2008). The application and further development of Piezoelectric Quartz Crystal (PQC) - based dosimeters for monitoring microclimates. *8th Indoor Air Quality 2008 Meeting*.
- Odlyha, M., Theodorakopoulos, C., Thickett, D., Ryhl-Svendsen, M., Slater, J. M., & Campana, R. (2007). Dosimeters for indoor microclimate monitoring for cultural heritage. *Museum Microclimates, November*, 73–79.
- Odlyha, M., & Thickett, D. (n.d.). Damage dosimeters as tools for risk assessment of cultural heritage within art galleries and museums in northern and southern European locations. *EC Advanced Study Course - Science and Technology of the Environment for Sustainable Protection of Cultural Heritage*, 1–10. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/364/1/012056>

- Odlyha, M., Wade, N., Wang, Q., Campana, R., Slater, J. M., Ryhl-Svendsen, M., Padfield, T., De Santis, F., Smith, V. A., Bullock, L., Ferreira, E. S. B., Boon, J. J., Pratt, K., & Ormsby, B. (2005). Microclimate indoor monitoring: damage assessment for cultural heritage preservation. In I. Verger (Ed.), *14th triennial meeting, The Hague, 12-16 September 2005: preprints (ICOM Committee for Conservation) Vol. II* (pp. 670–676). ICOM-CC.
- Oikawa, T., Matsui, T., Matsuda, Y., Takayama, T., Niinuma, H., Nishida, Y., Hoshi, K., & Yatagai, M. (2006). Volatile organic compounds from wood and their influences on museum artifact materials II: Inference of causal substances of deterioration based on intercomparison of laser Raman spectra of deteriorated products. *Journal of Wood Science*, 52(2), 140–146. <https://doi.org/10.1007/s10086-005-0736-5>
- Optium Museum Acrylic® - Tru Vue, Inc.* (n.d.). Retrieved June 19, 2022, from <https://tru-vue.com/solution/optium-museum-acrylic/>
- Ordonez, E., & Twilley, J. (1997). Clarifying the haze: efflorescence on works of art. *Analytical Chemistry*, 69(11).
- Ore, A. (2022, October 9). *Prized Picasso “unharmred” after Extinction Rebellion activists glue hands to painting in Melbourne.* The Guardian. https://www.theguardian.com/australia-news/2022/oct/09/prized-picasso-unharmred-after-extinction-rebellion-activists-glue-hands-to-painting-in-melbourne?CMP=Share_iOSApp_Other
- OSHA. (2011). Indoor air quality in commercial and institutional buildings. In *Occupational Safety & Health Administration* (Vols. 3430–04, p. 26). Occupational Safety and Health Administration, U. S. Department of Labor.
- Padfield, T. (1966). The control of relative humidity and air pollution in show-cases and picture frames. *Studies in Conservation*, 11(1), 8. <https://doi.org/10.2307/1505401>
- Padfield, T., & Erhardt, D. (1987). The spontaneous transfer to glass of an image of Joan of Arc. *ICOM Committee for Conservation 8th Triennial Meeting: Sydney, Australia, 6-11 September 1987: Preprints, September 1987*, 909–913.
- Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. (2008). Directiva 2008/50/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 21 de Maio, relativa à qualidade do ar ambiente e a um ar mais limpo na Europa. In *European Journal of Operational Research* (p. L 152/1-L 152/44). Jornal Oficial da União Europeia.
- Parthasarathy, S., Maddalena, R. L., Russell, M. L., & Apte, M. G. (2011). Effect of temperature and humidity on formaldehyde emissions in temporary housing units.

- Journal of the Air and Waste Management Association*, 61(6), 689–695.
<https://doi.org/10.3155/1047-3289.61.6.689>
- Paterakis, A. B. (1990). A preliminary study of salt efflorescence in the collection of the ancient Agora, Athens, Greece. In *ICOM Committee for Conservation 9th triennial meeting: Dresden, German Democratic Republic, 26-31 August 1990: preprints* (pp. 675–679).
- Paterakis, A. B., & Steiger, M. (2015). Salt efflorescence on pottery in the Athenian Agora: A closer look. *Studies in Conservation*, 60(3), 172–184.
<https://doi.org/10.1179/2047058413Y.0000000113>
- Pereira, R. C. (2022, May 30). *Mona Lisa atacada: homem disfarçado de idosa atira bolo contra o quadro*. TSF Rádio Notícias. <https://www.tsf.pt/mundo/mona-lisa-atacada-homem-atira-bolo-contra-quadro-no-louvre-14900214.html>
- Perles, A., Fuster-López, L., García-Diego, F. J., Peiró-Vitoria, A., García-Castillo, A. M., Andersen, C. K., Bosco, E., Mavrikas, E., & Pariente, T. (2020). CollectionCare: an affordable service for the preventive conservation monitoring of single cultural artefacts during display, storage, handling and transport. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 949(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/949/1/012026>
- Portaria 353-A/2013, de 4 de Dezembro, Pub. L. No. n° 235/2013, 1° Suplemento, Série I de 2013-12-04 (2013).
- Portaria n° 138-G/2021, Presidência do Conselho de Ministros, Pub. L. No. n° 126, Diário da República, 1° série 128 (1) (2021).
<https://files.dre.pt/1s/2021/07/12602/0000200006.pdf>
- Poulin, J., Coxon, H., Anema, J. R., Corbeil, M. C., & Helwig, K. (2020). Investigation of fogging on glass display cases at the Royal Ontario Museum. *14th International Conference on Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments*, 48–49.
- Poulin, J., Coxon, H., Anema, J. R., Helwig, K., & Corbeil, M. C. (2020). Investigation of fogging on glass display cases at the Royal Ontario Museum. *Studies in Conservation*, 65(1), 1–13. <https://doi.org/10.1080/00393630.2019.1674479>
- Pretzel, B. (2003). Materials and their interaction with museum objects. *Conservation Journal - Victoria & Albert Museum*, 44, 1–5.
<http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-44/materials-and-their-interaction-with-museum-objects/>

- Prosek, T., Kouril, M., Dubus, M., Taube, M., Hubert, V., Scheffel, B., Degres, Y., Jouannic, M., & Thierry, D. (2013). Real-time monitoring of indoor air corrosivity in cultural heritage institutions with metallic electrical resistance sensors. *Studies in Conservation*, 58(2), 117–128. <https://doi.org/10.1179/2047058412Y.0000000080>
- Públicos do Museu Nacional de Soares dos Reis*. (n.d).
<http://www.patrimoniocultural.gov.pt/>
- Puglieri, T. S. (2014). *Impacto da composição química de microambientes em bens culturais: reatividade e monitoramento* [Tese de Doutorado]. (p. 251). Universidade de São Paulo.
- Ramos, A. L. D., Tanase, S., & Rothenberg, G. (2014). Redes metalorgânicas e suas aplicações em catálise. *Química Nova*, 37, 110–111.
- Raychaudhuri, M. R., & Brimblecombe, P. (2000). Formaldehyde Oxidation and Lead Corrosion. *Studies in Conservation*, 45(4), 226–232.
<https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.4.226>
- Recomendações de boas práticas na reabertura das bibliotecas da rede nacional de bibliotecas públicas durante a pandemia de Covid-19*. (2020). Direção Geral do Livro, dos Arquivos e das Bibliotecas, DGLAB/DSB, Rede Nacional de Bibliotecas Públicas.
- Ribeiro, A. I. M. (2015). *Carbono orgânico e elementar de PM 2.5 em ambientes domésticos urbanos* [Master]. Universidade de Aveiro.
- Rioual, S., Lescop, B., Pellé, J., de Alkmim Radicchi, G., Chaumat, G., Bruni, M. D., Becker, J., & Thierry, D. (2022). Development of low-cost RFID sensors dedicated to air pollution monitoring for preventive conservation. *Heritage Science*, 10(1).
<https://doi.org/10.1186/s40494-022-00755-w>
- Robbialac - Tinta aquosa ultra mate para interior e exterior, Stucomat 052*. (2020, July 8). Robbialac. https://tintasrobbialac.pt/download/ficha_tecnica/ROB_052/1/Stucomat-ficha_tecnica.pdf
- Robinet, L., Fearn, S., Eremin, K. (2005, September). Understanding glass deterioration in museum collections: a multi-disciplinary approach. *ICOM 14th Triennial Meeting*.
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03028167>

- Röhrs, S., Kames, J., Acksel, A., Gómez-Sánchez, E., & Simon, S. (2014). Monitoring air pollutants in showcases by proton-transfer-reaction mass spectrometry and passive samples tubes. *ICOM-CC 17th Triennial Conference Melbourne 15-19 September 2014: Preprints*. <http://icom-cc-publications-online.org/PublicationDetail.aspx?cid=0c702aec-086b-4e19-82d4-b71e7eb3558d>
- Rowell, J. L. C., & Yaghi, O. M. (2004). Metal-organic frameworks: A new class of porous materials. In *Microporous and Mesoporous Materials* (Vol. 73, Issues 1–2, pp. 3–14). <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2004.03.034>
- Roy, A. (Ed.). (1993). *Artists' Pigments: A handbook of their history and characteristics. Volume 2*. National Gallery of Art, Oxford University Press.
- Rychly Jozef, Rychlá, L., & Lattuati-Derieux, A. (2012). *Measurement of polymer degradation by CL, TGA, DSC, Py-GCMS and SPME-GCMS*. Popart. Scientific Assessment of Plastics Degradation. http://popart-highlights.mnhn.fr/wp-content/uploads/4_Degradation/4_Measurement_of_polymer_degradation/4_3_MeasurementOfPolymerDegradation.pdf
- Ryhl-Svendsen, M. (2006). Indoor air pollution in museums: a review of prediction models and control strategies. *Reviews in Conservation*, 7, 27–41. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1179/sic.2006.51.Supplement-1.27>
- Ryhl-Svendsen, M. (2011). The influence of urban air pollution in archives. *ICOM-CC 16th Triennial Conference Lisbon*, 1–7.
- Ryhl-Svendsen, M., & Glastrup, J. (2002). Acetic acid and formic acid concentrations in the museum environment measured by SPME-GC/MS. *Atmospheric Environment*, 36(24), 3909–3916. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00335-7](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00335-7)
- Salthammer, T., Mentese, S., & Marutzky, R. (2010). Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews*, 110(4), 2536–2572. <https://doi.org/10.1021/cr800399g>
- Samide, M. J., Liggett, M. C., Mill, J., & Smith, G. D. (2018). Relating volatiles analysis by GC–MS to Oddy test performance for determining the suitability of museum construction materials. *Heritage Science*, 6(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0213-2>
- Samide, M. J., Liggett, M. C., & Smith, G. D. (2018). The dose makes the poison: measuring harmful sulfurous VOCs emitted by rigid PVC used in museum construction. *IAQ - Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments 2018*, 8.

- Sampieri, A., Pérez-Osorio, G., Hernández-Espinosa, M. Á., Ruiz-López, I. I., Ruiz-Reyes, M., Arriola-Morales, J., & Narváez-Fernández, R. I. (2018). Sorption of BTEX on a nanoporous composite of SBA-15 and a calcined hydrotalcite. *Nano Convergence*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40580-018-0153-2>
- Sannino, A., D'emilio, M., Castellano, P., Amoroso, S., & Boselli, A. (2021). Analysis of air quality during the covid-19 pandemic lockdown in Naples (Italy). *Aerosol and Air Quality Research*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.07.0381>
- Santos, H., & Varejão, J. (2015). *Dinâmicas e desafios dos museus públicos: resultados do estudo realizado no Museu Nacional Soares dos Reis*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2017.4481>
- Saraiva, N. G., Pereira, G., Gaspar, A. R., & Costa, J. J. (2020). Are our management actions good enough to preserve collections? *Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments*, 56–57.
- Saunders, D. (2000). Pollution and the National Gallery. *National Gallery Technical Bulletin*, 21, 77–94.
- Saunders, D., & Reeve, A. (1994). Protective Glass for Paintings. *National Gallery Technical Bulletin*, 15.
- Sawoszczuk, T., Syguła-Cholewińska, J., & del Hoyo-Meléndez, J. M. (2015). Optimization of headspace solid phase microextraction for the analysis of microbial volatile organic compounds emitted by fungi: Application to historical objects. *Journal of Chromatography A*, 1409, 30–45. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2015.07.059>
- Schalm, O., Anaf, W., Callier, J., & Leyva Pernia, D. (2018). New generation monitoring devices for heritage guardians to detect multiple events and hazards. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 364, 012056. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/364/1/012056>
- Schalm, O., Carro, G., Lazarov, B., Jacobs, W., & Stranger, M. (2022). Reliability of lower-cost sensors in the analysis of indoor air quality on board ships. *Atmosphere*, 13(10), 1579. <https://doi.org/10.3390/atmos13101579>
- Schieweck, A. (2009). *Airborne pollutants in museum showcases: material emissions, influences, impacts on artworks*. (Doctoral dissertation). Dresden Academy of Fine Arts.

- Schieweck, A. (2020). Adsorbent media for the sustainable removal of organic air pollutants from museum display cases. *Heritage Science*, 8(1), 1–18.
<https://doi.org/10.1186/s40494-020-0357-8>
- Schieweck, A., Markewitz, D., & Salthammer, T. (2007). Screening emission analysis of construction materials and evaluation of airborne pollutants in newly constructed display cases. In T. Padfield & K. Borchersen (Eds.), *Museum Microclimates, Contributions to the Conference in Copenhagen, 19-23 November 2007 - Copenhagen Conference* (Issue November, pp. 67–72). The National Museum of Denmark.
- Schieweck, A., & Salthammer, T. (2009). Emissions from construction and decoration materials for museum showcases. *Studies in Conservation*, 54(4), 218–235.
<https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.4.218>
- Schilling, M., Carson, D. M., & Khanjian, H. P. (1999). Gas chromatographic determination of the fatty acid and glycerol content of lipids. IV. Evaporation of fatty acids and the formation of ghost images by framed oil paintings. *ICOM Committee for Conservation, I*, 242–247.
- Schilling, M. R., Carson, D. M., & Khanjian, H. P. (1999). Evaporation of fatty acids and the formation of ghost images by framed oil paintings. *Newsletter (Western Association for Art Conservation)*, 21(1), 17–19.
- Schroeder, L. (2022, October 14). *Ativistas jogam sopa de tomate em obra de Van Gogh no Reino Unido*. CNN Brasil. <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/ativistas-jogam-sopa-de-tomate-em-obra-de-van-gogh-no-reino-unido/>
- Schwanke, A. J., & Pergher, S. B. C. (2012). Peneiras moleculares mesoporosas MCM-41: uma perspectiva histórica, o papel de cada reagente na síntese e sua caracterização básica. *Perspectiva, Erechim*, 36, 113–125.
- Scott, D. A. (1983). The deterioration of gold alloys and some aspects of their conservation. *Studies in Conservation*, 28(4), 194–203.
- SensMat: Preventive solutions for sensitive materials of cultural heritage*. (2019).
<https://www.sensmat.eu/about-sensmat/>
- Shashoua, Y. (2014). A safe place: storage strategies for plastics. *Conservation Perspectives GCI Newsletter*, 29(1), 13–15. <https://doi.org/10.2307/3179439>
- Shelton, S. Y. (2008). Byne’s “Disease”: How to recognize, handle and store affected shells and related collections. *Conserve O Gram - Number 11/15*.

- Silva, G. V. da. (2000). *Estudo de emissões de COVs por materiais usados em interiores de edifícios* [Tese de doutoramento]. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Smedemark, S. H., & Ryhl-Svendsen, M. (2022). Determining the level of organic acid air pollution in museum storage rooms by mass-balance modelling. *Journal of Cultural Heritage*, 55, 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.04.006>
- Smedemark, S. H., Ryhl-Svendsen, M., & Schieweck, A. (2020). Quantification of formic acid and acetic acid emissions from heritage collections under indoor room conditions. Part I: laboratory and field measurements. *Heritage Science*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00404-0>
- Smedemark, S. H., Ryhl-Svendsen, M., & Toftum, J. (2020). Removal of organic acids from indoor air in museum storage rooms by active and passive sorption techniques. *Studies in Conservation*, 65(5), 251–261. <https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1754057>
- Sozzani, L. S. G. (1997). An economical design for a microclimate vitrine for paintings using the picture frame as the primary housing. *Journal of the American Institute for Conservation*, 36(2), 95–107.
- Spiegel, E. (2011). *MEMORI Survey Report: The current situation and management of indoor air quality (IAQ) in European collections* (p. 21). http://www.memori.fraunhofer.de/uploads/media/Summary_web_based_survey.pptx.pdf
- Striegel, M. F. (1992). The effects of gas phase formaldehyde on selected inorganic materials found in museums. *Objects Specialty Group Postprints, Volume One*, 1–12. www.conservation-us.org
- Strlič, M., Thomas, J., Trafela, T., Cséfalvayová, L., Kralj Cigić, I., Kolar, J., & Cassar, M. (2009). Material Degradomics: On the Smell of Old Books. *Analytical Chemistry*, 81(20), 8617–8622. <https://doi.org/10.1021/ac9016049>
- 't Hart, L., Storme, P., Anaf, W., Nuyts, G., Vanmeert, F., Dorriné, W., Janssens, K., de Wael, K., & Schalm, O. (2016). Monitoring the impact of the indoor air quality on silver cultural heritage objects using passive and continuous corrosion rate assessments. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 122(10). <https://doi.org/10.1007/s00339-016-0456-2>
- Tennent, N. H., & Baird, T. (1992). The identification of acetate efflorescence on bronze antiquities stored in wooden cabinets. *The Conservator*, 16(1), 39–47. <https://doi.org/10.1080/01400096.1992.9635625>

- Tétreault, J. (1993). *Guidelines for selecting materials for exhibit, storage and transportation date: material which is compatible with an artefact*. 1–11. Canadian Conservation Institute.
- Tétreault, J. (1999a). Coatings for display and storage in museums. In *Technical bulletin, Canadian Conservation Institute* (Vol. 21). Canadian Conservation Institute.
- Tétreault, J. (1999b). Standards for levels of pollutants in museums Part.II. In *IAP - Indoor Air Pollution Work Group*.
- Tétreault, J. (2003). *Airborne pollutants in museums, galleries and archives: risk assessment, control strategies and preservation management*. Canadian Conservation Institute.
- Tétreault, J. (2008). *Agent of deterioration: pollutants*. Canadian Conservation Institute.
<https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/agents-deterioration/pollutants.html>
- Tétreault, J. (2011). Sustainable use of coatings in museums and archives: some critical observations. *E-Preservation Science*, 8(June), 39–48.
<https://www.researchgate.net/publication/262804637>
- Tétreault, J. (2018). The evolution of specifications for limiting pollutants in museums and archives. *Journal of the Canadian Association for Conservation (J.CAC)*, 43(613), 21–37.
https://www.researchgate.net/publication/338127728_The_Evolution_of_Specifications_for_Limiting_Pollutants_in_Museums_and_Archives
- Tétreault, J. (2020). *Levels of pollutants in museums and archives*. 12–15.
- Tétreault, J. (2021, June). Control of pollutants in museums and archives. *CCI Technical Bulletin No. 37*, 63. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins/pollutants-museums-archives.html>
- Tétreault, J., & Bégin, P. (2018, January). Silica gel: passive control of relative humidity. *CCI Technical Bulletin No. 33*, 22.
- Tétreault, J., Cano, E., van Bommel, M., Scott, D., Dennis, M., Barthés-Labrousse, M.-G., Minel, L., & Robbiola, L. (2003). Corrosion of copper and lead by formaldehyde, formic and acetic acid vapours. *Studies in Conservation*, 48(4), 237–250.
<https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.4.237>

- Tétreault, J., Dupont, A. L., Bégin, P., & Paris, S. (2013). The impact of volatile compounds released by paper on cellulose degradation in ambient hygrothermal conditions. *Polymer Degradation and Stability*, 98(9), 1827–1837.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2013.05.017>
- Tétreault, J., & Hagan, E. (2022). Airtightness measurement of display cases and other enclosures –In *Technical Bulletin 38*. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/technical-bulletins/airtightness-measurement-display-cases.html>
- Tétreault, J., Sirois, J., & Stamatopoulou, E. (1998). Studies of lead corrosion in acetic acid environments. *Studies in Conservation*, 43(1), 17–32.
<https://doi.org/10.1179/sic.1998.43.1.17>
- Tétreault, J., & Stamatopoulou, E. (1997). Determination of Concentrations of Acetic Acid Emitted from Coatings in Enclosures. *Studies in Conservation*, 42, 141–156.
- Textiles and the Environment*. (2013). Canadian Conservation Institute (CCI) Notes 13:1 - Canada. <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/textiles-environment.html>
- The MEMORI technology. Innovation for conservation. Air quality*. (n.d.).
<https://memori.nilu.no/AirQuality>
- The Royal Society of Chemistry. (2017). *The Cannizzaro reaction synthesis of p-chlorobenzylalcohol and p-chlorobenzoic acid*.
- Thickett, D. (2008). Presentation in original contexts via microclimates. *IIC Congress*.
https://www.english-heritage.org.uk/siteassets/home/learn/conservation/collections-advice--guidance/iic2008_thickett.pdf
- Thickett, D. (2011). Effects of Light on Silver Tarnishing. *ICOM-CC 16th Triennial Conference Lisbon*.
- Thickett, D., & Allen, S. (2018). Effect of temperature on off-gassing and corrosion. *IAQ - Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments 2018*, 7.
- Thickett, D., & Costa, V. (2008). The influence of dust on indoor metal corrosion at heritage. *8th Indoor Air Quality 2008 Meeting*.

- Thickett, D., & Costa, V. (2014). The effect of particulate pollution on the corrosion of metals in heritage locations. *ICOM-CC 17th Triennial Conference Preprints, Melbourne, 15-19 September 2014*, 1–8.
- Thickett, D., David, F., & Luxford, N. (2011). Air exchange rate: The dominant parameter for preventive conservation? *The Conservator*, 29(1), 19–34.
<https://doi.org/10.1080/01410096.2005.9995210>
- Thickett, D., & Lee, L. R. (2004). Selection of materials for the storage or display of museum objects. *The British Museum Occasional Paper*, 111, 30.
- Thickett, D., & Ling, D. (2021). Investigation of weeping glass deterioration under controlled relative humidity conditions. *Studies in Conservation*, 0(0), 1–7.
<https://doi.org/10.1080/00393630.2021.1892429>
- Thomson, G. (1986). *The Museum Environment* (Second). Routledge.
- Townsend, J. H., Hackney, S., & Kearney, M. (2021). A critical assessment of A-D Strips® used in degradation studies of artworks made from cellulose acetate. *Studies in Conservation*, 0 (0), 1–9. <https://doi.org/10.1080/00393630.2021.1996091>
- Tsukada, M., Rizzo, A., & Granzotto, C. (2012). A New Strategy for Assessing Off-Gassing from Museum Materials: Air Sampling in Oddy Test Vessels. *AIC - American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*, 37(1), 1–28.
- Twumasi, E. (2011). *Molecular Filtration, the Study of Adsorbents* [Thesis]. University of Gävle.
- Umney, N. (1992). Corrosion of metals associated with wood. *V&A Conservation Journal*, 4, 1–3.
- Uring, P., Chabas, A., & Alfaro, S. C. (2021). Textile ageing due to atmospheric gases and particles in indoor cultural heritage. *Environmental Science and Pollution Research*, 66340–66354. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15274-7>
- Vallen, M. (2022, November 7). *Eco-Vandals attack Goya & Van Gogh paintings*. Art For a Change. <https://art-for-a-change.com/blog/2022/11/eco-vandals-attack-goya-van-gogh-paintings.html>
- van Iperen, J., van Keulen, H., Keune, K., Abdulah, K., & van Langh, R. (2021). Crystalline deposits in new display cases at the Rijksmuseum: characterization and origin. *Studies in Conservation*, 66(5), 253–271.
<https://doi.org/10.1080/00393630.2020.1811475>

- Venter, Z. S., Aunan, K., Chowdhury, S., & Lelieveld, J. (2020). COVID-19 lockdowns cause global air pollution declines. *PNAS*, *117*(32), 18984–18990.
<https://doi.org/10.1073/pnas.2006853117/-/DCSupplemental>
- Verhaar, G. (2018). *Glass sickness: detection and preservation. Investigating unstable glass in museum collections*. (Doctoral dissertation). University of Amsterdam.
- Verissimo, M. I. S., Oliveira, J. A. B. P., Evtugin, D. v., & Gomes, M. T. S. R. (2019). Preserve Your Books through the Smell. *ACS Sensors*.
<https://doi.org/10.1021/acssensors.9b01279>
- Wadum, J. (1998). Microclimate boxes for panel paintings. In K. Dardes & A. Rothe (Eds.), *The Structural Conservation of Panel Paintings* (pp. 497–524). The Getty Conservation Institute.
- Watts, S., Crombie, D., Jones, S., & Yates, S. A. (2007). Museum showcases: specification and reality, costs and benefits. *Museum Microclimates: Contributions to the Copenhagen Conference, 19-23 November 2007*, 253–260.
- Wilhelm, V. R. B. (2005). Conservação preventiva: vitrines - ontem, hoje e sempre. In *Arquimuseus*. <https://arquimuseus.arq.br/seminario2005/arquivos/artigos/S4-03.pdf>
- World Health Organization. (1964). *Atmospheric pollutants - Report of a WHO expert committee*. World Health Organization Technical Report Series N° 271.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40578/WHO_TRS_271.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- World Health Organization. (1972). Air quality criteria and guides for urban air pollutants. In *World Health Organization Technical Report Series No. 506*.
https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/40989/WHO_TRS_506.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- World Health Organization. (2000). *Air Quality Guidelines for Europe* (Second Ed, p. 288). WHO Regional Publications.
- World Health Organization. (2001). Formaldehyde. In *Air Quality Guidelines* (Second Ed, pp. 396–404). WHO Regional Office for Europe.
<https://doi.org/10.1525/9780520948068-061>
- World Health Organization. (2005). *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005* (p. 496). WHO Regional Office for Europe. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90109-6](https://doi.org/10.1016/0004-6981(88)90109-6)

- World Health Organization. (2010). *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants* (p. 484). WHO Regional Office for Europe.
- World Health Organization. (2017). Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future. In *WHO Regional Office for Europe*. WHO Regional Office for Europe.
- World Health Organization. (2021a). Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. In *WHO global air quality guidelines*. (p. 273). WHO.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- World Health Organization. (2021b, September 22). *Ambient (outdoor) air pollution*. World Health Organization. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization Europe. (1987). Air Quality Guidelines for Europe. In *WHO regional publications, European series* (Issue 23). WHO Regional Office for Europe.
- World Health Organization. Expert Committee on Environmental Sanitation. (1958). *Air Pollution: fifth report of the Expert Committee on Environmental Sanitation*.
- World Health Organization Regional Office for Europe. (2000). H2S/ Air Quality Guidelines - Second Edition. *Air Quality Guidelines - Second Edition*, 3(2), 1–7.
- Zappi, D., Ramma, M. M., Scognamiglio, V., Antonacci, A., Varani, G., & Giardi, M. T. (2020). High-tech and nature-made nanocomposites and their applications in the field of sensors and biosensors for gas detection. *Biosensors*, 10(11).
<https://doi.org/10.3390/bios10110176>
- Zhang, J., Song, F., Tao, J., Zhang, Z., & Shi, S. Q. (2018). Research progress on formaldehyde emission of wood-based panel. *International Journal of Polymer Science*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/9349721>
- Zhu, L., Shen, D., & Luo, K. H. (2020). A critical review on VOCs adsorption by different porous materials: Species, mechanisms and modification methods. *Journal of Hazardous Materials*, 389, 1–60. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122102>
- Zuliani, A., Bandelli, D., Chelazzi, D., Giorgi, R., & Baglioni, P. (2022). Environmentally friendly ZnO/Castor oil polyurethane composites for the gas-phase adsorption of acetic acid. *Journal of Colloid and Interface Science*, 614, 451–459.
<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2022.01.123>

APÊNDICE

Apêndice I.
Inquérito 1
A prática do uso de vidros/acrílicos como proteção de pinturas em museus

INQUÉRITO 1:

A prática do uso de vidros/acrílicos como proteção de pinturas em museus

Este inquérito faz parte da investigação de doutoramento de Karen Barbosa realizado na Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa, Porto (Portugal) e tem como finalidade avaliar e obter dados relevantes sobre a prática do uso de vidros/acrílicos como proteção de pinturas, em forma de molduras microclimáticas, vitrines (caixas) ou simplesmente com vidros/acrílicos como proteção frontal. Utilizados cada vez com mais frequência em pinturas, durante exposições de longa duração, em empréstimos ou no acondicionamento em reservas, os vidros/vitrines ocupam um importante papel na conservação preventiva dos museus. Com o propósito de avaliar suas vantagens e desvantagens, este inquérito será enviado para instituições nacionais e internacionais e seus resultados serão posteriormente analisados, compilados em forma de relatório e distribuídos para as instituições que generosamente colaboraram com seu preenchimento. Caso posteriormente seja necessário mencionar o nome de alguma instituição em futuras publicações, será enviado um pedido prévio de autorização ao respondente.

1. Informações sobre o Museu

1.1. Nome da instituição

.....

1.2. Endereço institucional

Tabela AI 1 Respondentes por país de procedência

	País	Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Brasil	12	44,4	44,4
	EUA	6	22,2	22,2
	Reino Unido	4	14,8	14,8
	Áustria	1	3,7	3,7
	Países Baixos	1	3,7	3,7

Noruega	1	3,7	3,7
Polónia	1	3,7	3,7
Portugal	1	3,7	3,7
Total	27	100,0	100,0

1.3. O museu é público ou privado?

Tabela AI 2 *Tipologia de gestão do museu*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Público	18	66,7	66,7
	Privado	6	22,2	22,2
	Misto	3	11,1	11,1
	Total	27	100,0	100,0

1.4. Nome do respondente (opcional)

.....

1.5. Profissão do respondente

Tabela AI 3 *Profissão do respondente*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Conservador/ restaurador	19	70,4	70,4
	Curador	2	7,4	7,4
	Gestor de acervo	2	7,4	7,4

Técnico	2	7,4	7,4
Cientista da conservação	1	3,7	3,7
Museólogo	1	3,7	3,7
Total	27	100,0	100,0

1.6. E-mail do respondente (opcional)

.....

2. Dados do Acervo

2.1. Total de obras no acervo

Tabela AI 4 *Total de obras no acervo*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Até 10 000	10	37,0	41,7
	De 10 001 a 20 000	4	14,8	16,7
	De 30 001 a 40 000	1	3,7	4,2
	De 40 001 a 50 000	1	3,7	4,2
	Mais de 50 000	8	29,6	33,3
	Total	24	88,9	100,0
Omisso		3	11,1	
Total		27	100,0	

2.2. Quantidade de pinturas no acervo

Tabela AI 5 *Quantidade de pinturas no acervo*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Até 1 000	13	48,1	48,1
	De 1 001 a 2 000	7	25,9	25,9
	De 2 001 a 3 000	3	11,1	11,1
	De 3 001 a 4 000	1	3,7	3,7
	De 4 001 a 5 000	3	11,1	11,1
	Total	27	100,0	100,0

2.3. Número de pinturas com vidro/acrílico frontal

Tabela AI 6 *Quantidade de pinturas com proteção frontal*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Até 100	12	44,4	50,0
	De 101 a 200	1	3,7	4,2
	De 201 a 300	5	18,5	20,8
	De 301 a 400	1	3,7	4,2
	De 401 a 500	3	11,1	12,5
	Mais de 500	2	7,4	8,3
	Total	24	88,9	100,0
Omisso		3	11,1	
Total		27	100,0	

2.4. O museu possui controlo de temperatura e umidade relativa automatizado em áreas de acervo?

Tabela AI 7 *Controlo de temperatura e HR em áreas de acervo*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Sim	24	88,9	92,3
	Não	2	7,4	7,7
	Total	24	96,3	100,0
Omisso		1	3,7	
Total		27	100,0	

2.5. Gases poluentes são medidos em áreas de acervo?

Tabela AI 8 *Medição de gases poluentes em áreas de acervo*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Nunca	16	59,3	61,5
	Ocasionalmente	7	25,9	26,9
	Periodicamente	3	11,1	11,5
	Total	26	96,3	100,0
Omisso		1	3,7	
Total		27	100,0	

2.6. Se são medidos periodicamente, com que frequência?

.....

2.7. Se os poluentes são medidos, que tipos de sensores/equipamentos são utilizados?

.....

3. Proteção frontal de vidro/acrílico

3.1. Existem pinturas na coleção com proteção frontal de vidro/acrílico?

Tabela AI 9 *Pinturas com proteção frontal*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	22	81,5	81,5
	Não	5	18,5	18,5
	Total	27	100,0	100,0

3.2. Quantas pinturas foram incorporadas ao acervo do museu já com proteção de vidro/acrílico?

Tabela AI 10 *Pinturas incorporadas ao acervo já com proteção frontal*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	0	10	37,0	50,0
	1	2	7,4	10,0
	3	1	3,7	5,0
	20	2	7,4	10,0
	50	2	7,4	10,0
	100	1	3,7	5,0
	250	1	3,7	5,0
	600	1	3,7	5,0
	Total	20	74,1	100,0
Omisso		7	25,9	
Total		27	100,0	

3.3. Quantas pinturas receberam proteção de vidro/acrílico pelo museu?

Tabela AI 11 *Pinturas que receberam proteção frontal pelo museu*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	0	4	14,8	18,2
	De 1 a 100	7	25,9	31,8
	De 101 a 200	1	3,7	4,5
	De 201 a 300	6	22,2	27,3
	Mais de 300	4	14,8	18,2
	Total	22	81,5	100,0
Omisso		5	18,5	
Total		27	100,0	

3.4. Por quais razões os vidros/acrílicos são instalados nas pinturas?

Tabela AI 12 *Razões pelas quais as proteções frontais são instaladas nas pinturas*

		Frequência	Percentagem	Percentagem de casos
Válido	Para prevenir contra vandalismo ou o toque de visitantes	19	25,0	79,2
	Para proporcionar proteção durante os empréstimos	19	25,0	79,2
	Para minimizar as flutuações de HR	17	22,4	70,8
	Para proteger contra gases poluentes externos ou partículas do ar	11	14,5	45,8

Para proporcionar um manuseio seguro	9	11,8	37,5
Outro	1	1,3	4,2
Total	76	100,0	316,7

3.5. Se marcou outros, poderia explicar?

.....

3.6. Quais os tipos de pinturas são protegidos com vidros/acrílicos?

Tabela AI 13 *Tipologia das pinturas com proteção frontal*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	Pintura sobre tela	21	33,9	87,5
	Pintura sobre madeira	18	29,0	75,0
	Pintura sobre papel	18	29,0	75,0
	Outros	5	8,1	20,8
	Total	62	100,0	258,3

3.7. Se marcou outras, poderia explicar?

.....

3.8. Entre as pinturas com proteção de vidro/acrílico, quais os períodos correspondentes às obras?

Tabela AI 14 *Período das pinturas com proteção frontal*

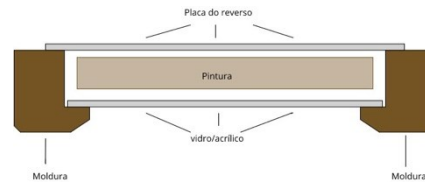
		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	Anterior ao séc. XVIII	9	18,4	42,9
	Pinturas do séc. XVIII	10	20,4	47,6
	Pinturas do séc. XIX	9	18,4	42,9
	Pinturas do séc. XX	15	30,6	71,4
	Pinturas do séc. XXI	6	12,2	28,6
	Total	49	100,0	233,3

3.9. As pinturas que receberam proteção de vidro/acrílico por razões de empréstimo, foram mantidas com os vidros/acrílicos após seu retorno ao museu?

Tabela AI 15 Percentagem de pinturas que receberam proteção frontal por razões de empréstimo e são mantidas com as proteções após o retorno ao museu

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	12	44,4	54,5
	Algumas vezes	7	25,9	31,8
	Não	3	11,1	13,6
	Total	22	81,5	100,0
Omisso		5	18,5	
Total		27	100,0	

3.10. Quantas pinturas da coleção são preservadas com molduras microclimáticas?

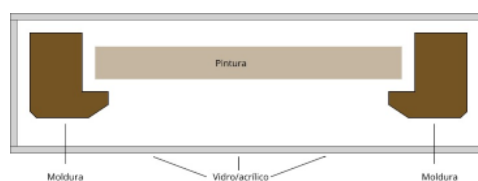


Nota. Esquema simplificado de uma moldura microclimática

Tabela AI 16 *Pinturas preservadas com molduras microclimáticas*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	0	7	25,9	31,8
	2	3	11,1	13,6
	3	1	3,7	4,5
	5	1	3,7	4,5
	6	1	3,7	4,5
	20	1	3,7	4,5
	25	1	3,7	4,5
	45	1	3,7	4,5
	100	1	3,7	4,5
	250	1	3,7	4,5
	300	1	3,7	4,5
	400	2	7,4	9,1
	600	1	3,7	4,5
	Total	22	81,5	100,0
Omisso		5	18,5	
Total		27	100,0	

3.11. Quantas pinturas da coleção são preservadas em vitrines microclimáticas?



Nota. Esquema simplificado de uma vitrine microclimáticas

Tabela AI 17 *Pinturas preservadas com vitrines microclimáticas*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	0	14	51,9	66,7
	2	1	3,7	4,8
	3	3	11,1	14,3
	5	1	3,7	4,8
	7	1	3,7	4,8
	50	1	3,7	4,8
	Total	21	77,8	100,0
	Omisso	6	22,2	
Total	27	100,0		

3.12. Como as molduras microclimáticas são seladas? Quais os tipos de adesivos ou fitas utilizadas?

Tabela AI 18 *Materiais utilizados para selar as molduras microclimáticas*

		Frequência	Porcentagem
Válido	Fita de alumínio	5	33,3
	Marvelseal	5	33,3
	Outros tipos	1	6,7

Fita Tyvek	1	6,7
Silicone	1	6,7
Não são seladas	2	13,3
Total	15	100,0

3.13. Como as vitrines microclimáticas são seladas? Quais os tipos de adesivos ou fitas utilizadas?

.....

3.14. Quais os tipos de vidro(s)/acrílico(s) são utilizados pelo museu?

Tabela AI 19 *Tipos de vidros utilizados pelos museus*

		Frequência	Porcentagem
Válido	Tru Vue Optium Acrylic	6	17,0
	Mirogard Protect Schott Glass	6	17,0
	Vidro comum (sem especificação)	5	14,0
	Vidro museu	5	14,0
	Outros	4	11,0
	Acrílico comum (sem especificar marca)	3	9,0
	Acrílico com proteção UV e/ou antirreflexo (sem especificar marca)	3	9,0
	Tru Vue Glass	3	9,0
	Total	35	100,0

3.15. Qual o tipo de material é utilizado para distanciar a pintura do vidro?

Tabela AI 20 *Materiais utilizados para distanciar a pintura do vidro*

		Frequência	Porcentagem
Válido	Madeira (diversas)	9	29,0
	Balsa	6	19,4
	Espuma de polietileno	3	9,7
	Feltro	3	9,7
	Papel de <i>passé-partout</i> (<i>mat board</i>)	3	9,7
	<i>Foamboard</i>	2	6,5
	Cortiça	1	3,2
	Espaçadores forrados (sem especificação)	1	3,2
	Fita 3M 425	1	3,2
	Vários (sem especificação)	1	3,2
	Volara	1	3,2
	Total	31	

4. Proteções no reverso da pintura (*backboard*)

4.1. É usual a colocação de placas no reverso da pintura?

Tabela AI 21 *Frequência dos museus que inserem proteção no reverso de pinturas*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	18	66,7	69,2
	Algumas vezes	6	22,2	23,1
	Não	2	7,4	7,7
	Total	26	96,3	100,0

Omisso	1	3,7
Total	27	100,0

4.2. Quantas pinturas da coleção possuem proteção no reverso?

Tabela AI 22 *Frequência de pinturas com proteção no reverso*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	0	2	7,4	8,7
	10	3	11,1	13,0
	20	1	3,7	4,3
	30	1	3,7	4,3
	45	1	3,7	4,3
	100	1	3,7	4,3
	230	1	3,7	4,3
	250	1	3,7	4,3
	300	1	3,7	4,3
	400	1	3,7	4,3
	700	1	3,7	4,3
	1150	1	3,7	4,3
	1500	2	7,4	8,7
	1600	1	3,7	4,3
	1700	1	3,7	4,3
	2000	3	11,1	13,0
	4775	1	3,7	4,3
	Total	23	85,2	100,0
Omisso		4	14,8	
Total		27	100,0	

4.3. Quais os tipos de materiais são utilizados como proteção do reverso

Tabela AI 23 *Tipos de materiais utilizados como proteção no reverso de pinturas*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	<i>Foam board</i>	13	27,7	50,0
	Plástico corrugado	9	19,1	34,6
	Policarbonato alveolar	7	14,9	26,9
	Placa de acrílico	6	12,8	23,1
	Papel cartão	5	10,6	19,2
	Outro	5	10,6	19,2
	Papelão corrugado	2	4,3	7,7
	Total	47	100,0	180,8

4.4. Se respondeu outros, poderia descrever?

.....

4.5. Como a proteção no reverso é fixada?

Tabela AI 24 *Tipos de fixação do reverso de pinturas*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	Fixada na moldura com parafusos	12	37,5	48,0

Fixada na moldura com parafusos e selada	10	31,3	40,0
No chassis com parafusos	3	9,4	12,0
No chassis com parafuso e selada	3	9,4	12,0
Outro	3	9,4	12,0
Fixada na moldura ou no chassis com entradas para ventilação	1	3,1	4,0
Total	32	100,0	128,0

5. ABORDAGEM CONCEITUAL

5.1. Já houve comentários negativos quanto ao uso de vidros/acrílicos nas pinturas? Por parte de quem?

Tabela AI 25 *Fontes de críticas recebidas em consequência da colocação de proteção frontal em pinturas*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	Curadores	10	34,5	43,5
	Nunca	8	27,6	34,8
	Visitantes	6	20,7	26,1
	Artistas	3	10,3	13,0
	Conservadores/ restauradores	1	3,4	4,3
	Outros	1	3,4	4,3
	Total	29	100,0	126,1

5.2. Se o museu não adere à prática de colocação de vidros/vitrines nas pinturas, poderia dizer a razão?

Tabela AI 26 Razões por não inserir proteção frontal em pinturas

		Frequência	Percentagem	Percentagem de casos
Válido	Dimensão da pintura (muito grande)	11	29,7	57,9
	Financeira	10	27,0	52,6
	Interferência estética	6	16,2	31,6
	Outros	5	13,5	26,3
	Evitar biocolonização (mofo)	3	8,1	15,8
	Dúvidas sobre os benefícios	2	5,4	10,5
	Total	37	100,0	194,7

5.3. Se escolheu outros, poderia explicar?

.....

5.4. Alguma vez já observou algum tipo de problema ou alteração em pinturas envidraçadas?

Tabela AI 27 Frequência de alterações observadas em pinturas envidraçadas

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Não	14	51,9	56,0

Sim	11	40,7	44,0
Total	25	92,6	100,0
Omisso	2	7,4	
Total	27	100,0	

5.5. Se sim, poderia explicar o tipo de alteração?

Tabela AI 28 *Tipos de alterações observadas em pinturas envidraçadas*

1	Poluentes da madeira da moldura nova;
2	A formação de embaciamento na superfície interior;
3	COV;
4	Peso (vidro), tamanho das pinturas;
5	Ocasionalmente o acrílico tende a saltar pela frente se for muito fino ou estiver com muita folga, especialmente em grandes dimensões e se a moldura for pouco consistente. O peso adicional, uma vez que o vidro e o acúmulo da estrutura do verso são adicionados, pode limitar as posições de pendurar seguras e ficar muito pesado;
6	Ácidos gordos emanam turvando o interior do vidro, abrasonando o vidro ou forçando os revestimentos da moldura, aumentando seu peso;
7	O acrílico que adotamos, apesar de ser antirreflexo, pode lançar e projetar reflexos/refrações desagradáveis;
8	Surgiu fungos na superfície interna do vidro;
9	Mofo;
10	Molduras que não são estanques tendem a criar condensações e depósitos de sujidade;
11	Em raras ocasiões vemos uma impressão esfumada da camada de pintura no vidro.

6. Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

6.1. Quando uma pintura é restaurada com produtos que possam emitir COVs (ex. solventes, vernizes), quanto tempo se considera necessário para a instalação de vidro/acrílico?

Tabela AI 29 Tempo considerado necessário para envidraçar uma pintura após o restauro

		Frequência	Porcentagem
Válido	Variável	5	35,7
	2 a 3 meses	3	21,4
	1 mês	1	14,3
	24 horas	1	7,1
	Em avaliação	1	7,1
	Nós não cobrimos as pinturas. Se é feito pelo artista, não sabemos	1	7,1
	Tem poucos exemplos	1	7,1
	Total	14	

6.2. As pinturas são limpas (sujidades) antes de receberem proteção de vidro/acrílico?

Tabela AI 30 Frequência que as pinturas são limpas antes de receberem uma proteção frontal

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim, na frente e no reverso	15	55,6	62,5
	Ocasionalmente	7	25,9	29,2
	Não	1	3,7	4,2
	Sim, somente no reverso	1	3,7	4,2
	Total	24	88,9	100,0
Omisso		3	11,1	
Total		27	100,0	

6.3. As molduras microclimáticas ou vitrines são fechadas com sílica gel, ArtSorb[®] ou ProSorb[®] no seu interior?

Tabela AI 31 *Frequência de utilização de absorvedores de humidade no interior de molduras ou vitrines microclimáticas*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Não	16	59,3	80,0
	Algumas vezes	2	7,4	10,0
	Sim	2	7,4	10,0
	Total	20	74,1	100,0
Omisso		7	25,9	
Total		27	100,0	

6.4. Se sim, qual é usado?

.....

6.5. As molduras microclimáticas ou vitrines microclimáticas são construídas com algum tipo de absorvedor de gases poluentes?

Tabela AI 32 *Frequência de utilização de absorvedores de gases poluentes no interior de molduras ou vitrines microclimáticas*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Não	17	63,0	100,0
Omisso		10	37,0	
Total		27	100,0	

6.6. Se sim, poderia descrever o tipo?

.....

Apêndice II.

Inquérito 2

***Webinar* inaugural da Rede Temática QAI-MBA**

INQUÉRITO 2:

Webinar inaugural da Rede Temática QAI-MBA

Total de respondentes e inscritos no *webinar* por país de procedência:

Tabela AII 1 *Respondentes e inscritos por país de procedência*

País onde atua	Frequência	Inscritos
Brasil	40	85
Portugal	9	25
EUA	1	1
Não identificados	1	7
TOTAL	51	118

1. Já ouviu falar em *A-D strips*?
- Sim
 - Não
 - Já, mas não sei para que serve

Tabela AII 2 *Frequência de respondentes que conhecem as A-D strips*

	Frequência	Porcentagem
Sim	17	40,5
Não	25	59,5
Total	42	100,0

2. Já ouviu falar em *Oddy test*?
- Sim
 - Não
 - Já, mas não sei como funciona

Tabela AII 3 *Frequência de respondentes que conhecem o Oddy test*

	Frequência	Porcentagem
Sim	17	41,5
Não	24	58,5
Total	41	100,0

3. A sua instituição já fez medição de poluentes gasosos alguma vez?

- Sim
- Não
- Não tenho conhecimento

Tabela AII 4 *Frequência de medição de poluentes gasosos nas instituições dos respondentes*

	Frequência	Porcentagem
Sim	16	41,1
Não	15	38,4
Não tenho conhecimento	8	20,5
Total	39	100,0

4. Que tipo de dispositivo (metodologia) é utilizado ou já utilizou para monitorização de poluentes voláteis?

Tabela AII 5 *Tipo de metodologia utilizada para a monitorização de poluentes voláteis*

	Frequência	Porcentagem
A-D strips	2	7,4
Oddy test	1	3,7
Placas metálicas	8	29,6
SPME	2	7,4

PQC	1	3,7
Tenax TA	3	11,1
Purafil CCC	1	3,7
Outros	9	33,3
Total	27	100,0

5. Alguma vez já observou alterações em objetos da coleção onde trabalha que pudessem ter sido atribuídas aos poluentes gasosos?

- Sim
- Não
- Talvez

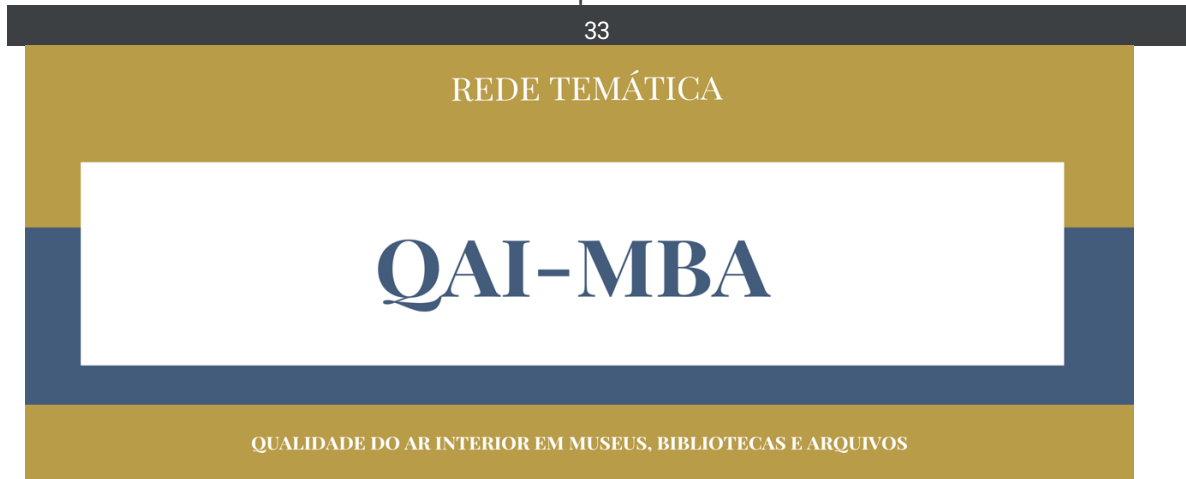
Tabela AII 6 *Alterações em objetos do acervo atribuídas aos poluentes gasosos*

	Frequência	Porcentagem
Sim	28	63,6
Não	2	4,5
Talvez	14	31,8
Total	44	100,0

Apêndice III

Inquérito 3

A qualidade do ar interior em museus, bibliotecas e arquivos



Inquérito sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos

O presente inquérito está inserido no projeto de tese de doutoramento em conservação e restauro de bens culturais de Karen Barbosa na Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa, Porto, e tem como objetivo principal avaliar a situação atual dos museus, bibliotecas e arquivos no Brasil e em Portugal em relação aos protocolos institucionais adotados sobre a Qualidade do Ar Interior, com finalidade académica (tese) e com o objetivo de melhor direcionar os futuros tópicos da rede temática sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos, QAI-MBA (<https://artes.porto.ucp.pt/pt/qai.mba?msite=3>).

Toda a informação fornecida no preenchimento do inquérito será anónima e mantida em sigilo de acordo com a Lei de Proteção de Dados Pessoais (Lei N° 58/2019, de 08 de Agosto). Nenhum participante será identificado se, ou quando, os resultados forem publicados. As suas respostas serão completamente anónimas para a equipa de investigação e não será registada qualquer informação pessoal ou o ID dos dispositivos eletrónicos utilizados para responder o inquérito.

O inquérito é destinado a profissionais que trabalham em instituições que abrigam acervos: museus, bibliotecas, arquivos, casas-museus, etc.

É um inquérito que possui participação voluntária. O titular tem o direito que seus dados pessoais sejam retificados ou que sua participação no inquérito seja retirada a qualquer momento, sem nenhum prejuízo para o respondente, mesmo que já tenha completado o consentimento informado. A qualquer momento o respondente poderá entrar em contato e tirar suas dúvidas com o

responsável pelo estudo:

Karen Cristine Barbosa

Estudante de doutoramento em conservação e restauro de bens culturais

Universidade Católica Portuguesa, Porto

kristine@yahoo.com

Para darmos sequência ao inquérito, é necessário que o respondente concorde com o consentimento informado nas perguntas seguintes da secção 1 clicando em "sim".

Secção 1 de 5

Eu li e entendi todas as informações referentes a minha participação

Sim

Eu tenho a opção de fazer perguntas e discutir sobre a pesquisa com o investigador responsável, caso seja do meu interesse

Sim

Eu entendi que eu posso optar por não responder qualquer questão se eu assim o quiser

Sim

Eu entendi que os meus dados permanecerão anónimos e confidenciais, atendendo a Lei de Proteção de Dados

Sim

Eu entendi que a qualquer momento posso retirar ou retificar as minhas respostas do inquérito, sem nenhum prejuízo para mim

Sim

Eu tenho mais de 18 anos

Sim

Secção 2 de 5

Instituição

Nome da instituição

Texto de resposta curta

Cidade da instituição

Texto de resposta curta

País da instituição

Texto de resposta curta

Tabela AIII 1 Respondentes por país de procedência

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Brasil	26	78,8	81,3
	Portugal	6	18,2	18,8
	Total	32	97,0	100,0
Omisso		1	3,0	
Total		33	100,0	

Tipologia da instituição

- Museu
- Biblioteca
- Arquivo
- Casa-museu
- Outros

Profissão do respondente

Texto de resposta curta

Tabela AIII 2 Profissão do respondente

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Conservador-restaurador	15	45,5	48,4
	Bibliotecário	9	27,3	29,0
	Museólogo	2	6,1	6,5
	Arqueólogo	1	3,0	3,2
	Arquivista	1	3,0	3,2
	Engenheiro químico	1	3,0	3,2
	Profissional de museu	1	3,0	3,2

Técnico superior	1	3,0	3,2
Total	31	93,9	100,0
Omisso	2	6,1	
Total	33	100,0	

Quantidade de artefactos (objetos) no acervo

- Mais de 1.000.000
- 500.000 - 1.000.000
- 100.000 - 500.000
- 10.000 - 50.000
- 5.000 - 10.000
- 1.000 - 5.000
- Menos de 1.000

Secção 3 de 5

Temperatura e Humidade Relativa

Sua instituição faz medições diárias de temperatura?

- Sim, em todas as áreas que abrigam acervos
- Não
- Somente em algumas áreas
- Somente em reservas
- Fazemos medidas ocasionais

Tabela AIII 3 *Frequência de medição de temperatura*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Sim	24	72,7	72,7
	Não	9	27,3	27,3
	Total	33	100,0	100,0

Já observou algum dano em objetos do acervo que pudesse ser atribuído à temperatura inadequada?

- Sim
- Não
- Talvez

Tabela AIII 4 *Dano em objetos do acervo atribuído à temperatura inadequada*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	19	57,6	57,6
	Não	9	27,3	27,3
	Talvez	5	15,2	15,2
	Total	33	100,0	100,0

Sua instituição faz medições diárias de humidade relativa?

Caixas de verificação

- Sim
- Não
- Somente em algumas áreas
- Somente em reservas
- Fazemos medidas ocasionais

Tabela AIII 5 *Frequência de medição de HR*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	23	69,7	69,7
	Não	10	30,3	30,3
	Total	33	100,0	100,0

Já observou algum dano em objetos do acervo que pudesse ser atribuído à humidade relativa inadequada?

- Sim

- Não
- Talvez

Tabela AIII 6 *Dano em objetos do acervo atribuído à HR inadequada*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Sim	26	78,8	78,8
	Não	4	12,1	12,1
	Talvez	3	9,1	9,1
	Total	33	100,0	100,0

A sua instituição é climatizada (sistema de ar-condicionado)?

- Sim
- Não

Tabela AIII 7 *Frequência de instituições climatizadas*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Sim	28	84,8	84,8
	Não	5	15,2	15,2
	Total	33	100,0	100,0

Se sim, poderia descrever os espaços que são climatizados?

Texto de resposta longa

Secção 4 de 5

Luz e Radiação de Ultravioleta (UV)

Sua instituição faz medições de luz?

- Sempre quando um objeto é colocado em exposição
- Somente quando objetos mais susceptíveis à luz são expostos
- Somente para afinar a luz no início de uma exposição
- Várias vezes durante o tempo de uma exposição

- Nunca
- Outras

Tabela AIII 8 *Ocasão em que a medição de radiação de luz é realizada*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Nunca	17	51,5	51,5
	Sempre quando um objeto é colocado em exposição	5	15,2	15,2
	Somente para afinar a luz no início da exposição	5	15,2	15,2
	Somente quando objetos mais suscetíveis à luz são expostos	4	12,1	12,1
	Várias vezes durante a exposição	1	3,0	3,0
	Outras	1	3,0	3,0
	Total	33	100,0	100,0

Tabela AIII 9 *Frequência de medição de radiação de luz*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	17	51,5	51,5
	Sim	15	45,5	45,5
	Outras	1	3,0	3,0
	Total	33	100,0	100,0

Se respondeu "outras" poderia descrever?

Texto de resposta longa

Já observou algum dano em objetos do acervo que pudesse ser atribuído ao excesso de luz?

- Sim
- Não
- Talvez
- Não sei responder

Tabela AIII 10 *Dano em objetos do acervo atribuído ao excesso de luz*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	17	51,5	51,5
	Não	12	36,4	36,4
	Talvez	3	9,1	9,1
	Não sei responder	1	3,0	3,0
	Total	33	100,0	100,0

Sua instituição faz medições de radiações de UV?

Caixas de verificação

- Sempre quando um objeto é colocado em exposição
- Somente quando materiais mais susceptíveis são expostos
- Não utilizamos iluminação com radiação UV
- Sempre quando utilizamos uma fonte de iluminação nova nas exposições e reservas
- Não temos medidor de radiação de UV
- Nunca

Tabela AIII 11 *Ocasão em que a medição de radiação de UV é realizada*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Nunca	12	36,4	36,4

Não temos medidor de radiação de UV	13	39,4	39,4
Não utilizamos iluminação com radiação UV	3	9,1	9,1
Somente quando objetos mais suscetíveis à luz são expostos	2	6,1	6,1
Sempre quando um objeto é colocado em exposição	2	6,1	6,1
Sempre quando utilizamos uma fonte de iluminação nova nas exposições e reservas	1	3,0	3,0
Total	33	100,0	100,0

Tabela AIII 12 *Frequência de medição de radiação de UV*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	25	75,7	75,7
	Sim	5	15,1	15,1
	Não se aplica	3	9,2	9,2
	Total	33	100,0	100,0

Já observou algum dano em objetos do acervo que pudesse ser atribuído às radiações de UV?

- Sim
- Não

- Talvez
- Não sei responder

Tabela AIII 13 *Dano em objetos do acervo atribuído às radiações de UV*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	13	39,4	39,4
	Não	12	36,4	36,4
	Não sei responder	8	24,2	24,2
	Total	33	100,0	100,0

Secção 5 de 5

Poluentes

Sua instituição faz ou já fez medições de poluentes gasosos?

- Sim
- Não

Tabela AIII 14 *Realização de medição de poluentes gasosos*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	25	75,8	75,8
	Sim	8	24,2	24,2
	Total	33	100,0	100,0

Em caso afirmativo, com qual frequência?

- Diariamente
- Uma vez por mês
- Uma vez por ano
- Ocasionalmente
- Quando se observa algum problema

Tabela AIII 15 *Frequência de medição de poluentes gasosos*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Ocasionalmente	8	80,0	80,0
	Uma vez por ano	2	20,0	20,0
	Total	10	100,0	100,0

Caso tenha respondido nunca ou ocasionalmente, poderia dizer o motivo?

(Caixas de verificação)

- Falta de conhecimento
- Falta de recursos financeiros
- Falta de recursos humanos
- Não há necessidade
- Outros

Tabela AIII 16 *Motivo por não realizar medição de poluentes*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	Falta de conhecimento	10	27,7	35,7
	Falta de recursos financeiros	10	27,7	35,7
	Falta de recursos humanos	8	22,3	28,6
	Outros	6	16,7	21,4
	Não há necessidade	2	5,6	7,1
	Total	36	100,0	128,8

Já observou algum dano em objetos do acervo que pudesse ser atribuído aos poluentes gasosos?

- Sim
- Não

- Talvez

Tabela AIII 17 *Dano em objetos do acervo atribuído aos poluentes gasosos*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	12	36,4	37,5
	Talvez	11	33,3	34,4
	Sim	9	27,3	28,1
	Total	32	97,0	100,0
Omisso		1	3,0	
Total		33	100,0	

Já observou algum dano na coleção que pudesse ser atribuído aos poluentes particulados?

- Sim
- Não
- Talvez

Tabela AIII 18 *Dano em objetos do acervo atribuído aos poluentes particulados*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	13	39,4	40,6
	Talvez	10	30,3	31,3
	Sim	9	27,3	28,1
	Total	32	97,0	100,0
Omisso		1	3,0	
Total		33	100,0	

Sua instituição trabalha com algum limite máximo tolerado de poluentes?

- Sim
- Não
- Não tenho conhecimento

Tabela AIII 19 *Frequência com que as instituições trabalham com valores-limite de poluentes*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	24	72,7	75,0
	Não tenho conhecimento	8	24,2	25,0
	Sim	0	0,0	0,0
	Total	32	97,0	100,0
Omisso		1	3,0	
Total		33	100,0	

Em caso afirmativo, para qual poluente do ar há um valor limite?

Caixas de verificação

- Ácido acético
- Ácido fórmico
- Formaldeído
- Ozono
- Dióxido de enxofre
- Dióxido de azoto
- TCOVs - Compostos Orgânicos Voláteis Totais
- Material particulado

Caso a sua instituição já tenha feito alguma vez medições de poluentes, qual dispositivo/metodologia foi usado?

Caixas de verificação

- A-D strips
- Placas de metal
- Oddy Test
- Cristais de Quartzo Piezoelétrico
- Tubos de Tenax TA
- Umex-100 para formaldeído

- Data loggers de partículas
- Outros

Tabela AIII 20 *Metodologias utilizadas para a medição de poluentes nas instituições dos respondentes*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Outros	5	33,3	45,4
	A-D strips	3	20,0	27,3
	Placas de metal	3	20,0	27,3
	Oddy Test	2	13,3	18,2
	PQC*	1	6,7	9,1
	Data-loggers de partículas	1	6,7	9,1
	Total	15	100,0	136,4

Nota. *Cristais de Quartzo Piezoelétrico.

Se respondeu outros, poderia especificar?

Texto de resposta longa

Sua instituição adota algum tipo de estratégia para a mitigação de poluentes gasosos ou particulados em ambientes com acervo?

- Sim
- Não
- Não tenho conhecimento

Tabela AIII 21 *Frequência com que as instituições implementam algum tipo de estratégia para a mitigação de poluentes*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Não	18	54,5	58,1
	Sim	10	30,3	32,3

Não tenho conhecimento	3	9,1	9,7
Total	31	93,9	100,0
Omisso	2	6,1	
Total	33	100,0	

Em caso afirmativo, que tipo de estratégia?

Caixas de verificação

- Utilização de materiais com baixa emissão de poluentes gasosos nos ambientes que abrigam acervo
- Utilização de vitrines para proteger os objetos mais suscetíveis aos poluentes gasosos e particulados
- Filtros de partículas finas no sistema de ar-condicionado
- Filtros de poluentes gasosos no sistema de ar-condicionado
- Não tenho conhecimento
- Outras

Tabela AIII 22 *Tipo de estratégia de mitigação de poluentes implementada pelas instituições*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem de casos
Válido	Filtros de partículas finas no sistema de ar-condicionado	7	33,4	50,0
	Utilização de materiais com baixa emissão de poluentes gasosos	5	23,8	35,7
	Utilização de vitrines	4	19,0	28,6
	Outras	3	14,3	21,4
	Não tenho conhecimento	2	9,5	14,3

Filtros de poluentes gasosos no sistema de ar-condicionado	0	0,0	0,0
Total	21	100,0	150,0

Se respondeu "outras", poderia descrever?

Texto de resposta longa

As vitrines utilizadas são previamente avaliadas/testadas, quanto a uma possível fonte de poluentes gasosos, antes de receberem os objetos a serem expostos?

- Sim
- Não
- Algumas vezes
- Não utilizamos vitrines

Tabela AIII 23 *Avaliação de fontes de poluentes no interior de vitrines*

		Frequência	Percentagem	Percentagem válida
Válido	Não	24	72,7	75,0
	Não utilizamos vitrines	6	18,2	18,8
	Sim	2	6,1	6,3
	Total	32	97,0	100,0
Omisso		1	3,0	
Total		33	100,0	

Sua instituição fez algum tipo de alteração para melhorar a qualidade do ar interior desde o início da pandemia de Covid-19?

- Sim
- Não
- Não tenho conhecimento

Tabela AIII 24 Alterações implementadas pelas instituições durante a pandemia de COVID 19 relacionadas à QAI

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	16	48,5	48,5
	Não	12	36,4	36,4
	Não tenho conhecimento	5	15,1	15,1
	Total	33	100,0	100,0

Se sim, poderia explicar que tipo de alteração?

Texto de resposta longa

Considera importante contar com um suporte científico para auxiliar nas questões relacionadas à qualidade do ar interior na sua instituição?

- Sim
- Não
- Talvez

Tabela AIII 25 Importância do apoio científico para questões relacionadas à QAI em instituições que abrigam acervos

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	30	90,9	93,7
	Talvez	2	6,0	6,3
	Não	0	0,0	0,0
	Total	32	97,0	100,0
Omisso		1	3,0	
Total		33	100,0	

Se tiver sugestões e expectativas para as atividades da rede temática QAI-MBA em 2022, deixe aqui sua opinião

Tabela AIII 26 *Sugestões e expectativas relacionadas às atividades da rede temática QAI-MBA*

1	Tenho interesse principalmente na taxa de renovação de ar indicada para salas de guarda de acervo fotográfico e fílmico em base de nitrato e acetato.
2	Gostaria de receber informações da rede para aprender mais sobre o assunto e aplicar à biblioteca em que trabalho
3	Técnicas de medição e de emissão de relatórios para análise de riscos à coleção
4	Medidas sustentáveis e de baixo orçamento para museus em clima quentes, úmidos e em regiões litorâneas.
5	Seria maravilhoso um treinamento na aferição da qualidade do ar no interior das salas onde abrigam acervos específicos e no ambiente do acervo geral
6	Gostaria de sugerir um workshop com a professora Virgínia Costa para ter mais orientações sobre os danos dos poluentes e os cuidados que devemos ter nas instituições.
7	Mesas redondas e debates entre profissionais
8	Penso que a rede temática QAI_MBA_2022 pode ser um excelente instrumento para o início e um trabalho de medição/monitorização de indicadores relacionados com a qualidade do ar e as suas consequências nos objetos em exposição em reserva. Deveria ser elaborado um manual base de apoio/esclarecimento para os técnicos dos museus, sobretudo os de tutela municipal que, na maioria dos casos, não possuem recursos humanos e técnicos para desenvolver operações básicas de controle das condições ambientais dos espaços museológicos.

Deseja receber comunicações sobre os *webinars* e futuros eventos da rede temática sobre a qualidade do ar interior em museus bibliotecas e arquivos (QAI-MBA)?

- Sim
- Não

Tabela AIII 27 *Frequência dos respondentes que desejam receber comunicados de eventos da rede temática QAI-MBA*

		Frequência	Porcentagem	Porcentagem válida
Válido	Sim	33	100,0	100,0
	Não	0	0,0	0,0
Total		33	100,0	100,0

Apêndice IV
Plano de amostragem realizado no MNSR

Tabela AIV 1 *Datas referentes à realização das amostragens nos espaços do MNSR*

Poluentes	1ª amostragem		2ª amostragem	
	Início	Final	Início	Final
COV	20/07/2021	27/07/2021	22/11/2021	29/11/2021
Formaldeído	22/07/2021	29/07/2021	22/11/2021	29/11/2021
PM	20/07/2021 (15h11)	21/07/2021 (14h48)	22/11/2021 (11h29)	23/11/2021 (11h30)
	21/07/2021 (15h27)	22/07/2021 (14h59)	23/11/2021 (11h48)	23/11/2021 (19h47)

Anexo A.

Instruções de uso para os amostradores de difusão Tenax TA

INSTRUCTIONS FOR USE OF DIFFUSIVE VOC-SAMPLERS (Volatile Organic Compounds)

The diffusive sampler is made of a stainless steel tube that is filled with an appropriate adsorbent for C_6 - C_9 hydrocarbons. The sampler should be stored at room temperature.

When the samplers are sent from IVL they are sealed with Swagelock-sealings. Please check the sealings when unpacking and mounting the samplers and make a note on the protocol if they are not properly sealed. (If possible order a replacement sampler.)

To **start the sampling** open the stainless steel swagelock-sealing (the silver-colored) and replace it with a diffusion cap with stainless steel gauze. (See the figure below). The brass swagelock-sealing is not removed.

It is very important that the tube is pushed to the bottom of the diffusion cap.

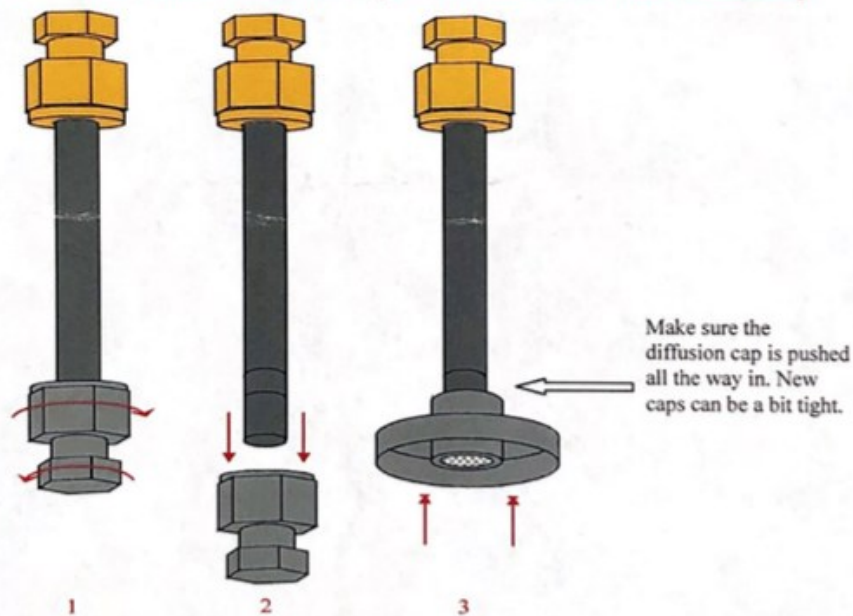


Figure 1. Mounting of diffusion cap on the VOC sampler

Please note the date and time when the sampling started at the protocol.

Every sampler has an individual number written on the sampling tube. Check that the number of the sampler is the same as the number on the protocol.

Write the location or your identification on the protocol.

Anexo B.
Declaração de Consentimento: Sérgio Caeiro

Declaração de Consentimento

Designação do estudo

Gravação dos webinários relacionados à Rede Temática sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA) no âmbito do doutoramento de Karen Cristine Barbosa desenvolvido sob orientação da Professora Doutora Patrícia Moreira, Professora Doutora Eduarda Vieira e Professora Doutora Teresa Ferreira, na Escola das Artes da Universidade Católica Portuguesa, Porto.


Enquadramento

Eu, Sérgio Caeiro, pessoa singular de dados pessoais declaro para os devidos efeitos autorizar por minha livre, específica e informada vontade, a captação da imagem própria e os dados pessoais inerentemente a esta associados durante os webinars realizados no âmbito da Rede Temática sobre a Qualidade do Ar Interior em Museus, Bibliotecas e Arquivos (QAI-MBA), cujo material final será compilado para fins académicos e de investigação (dissertação, artigos científicos em revistas nacionais e/ou internacionais, apresentações em conferências, seminários, congressos nacionais e/ou internacionais e outros trabalhos académicos necessários) durante o Doutoramento de Karen Cristine Barbosa, podendo ser disponibilizado no website da rede temática com o objetivo de divulgação de conhecimento específico, no que se refere ao tema da QAI-MBA. As gravações serão utilizadas apenas para os fins anteriormente indicados e durante o período de tempo estritamente necessário à prossecução dessas mesmas finalidades.

Declaro estar ciente do conteúdo da gravação e de que não possuo qualquer direito autoral sobre o mesmo e atesto serem verdadeiras todas as informações fornecidas nesta autorização.

Sérgio Caeiro

NIF: 182641082


(Assinatura)

Lisboa, 09 de Dezembro 2021

Anexo C.

Relatório da IVL: Resultados das amostragens de gases ácidos realizadas no interior e no exterior da vitrine no MCB entre os dias 27/08/2019 e 24/09/2019.



TEST REPORT 1(3)
issued by an Accredited Testing Laboratory

Karen Barbosa
Universidade Católica
Portuguesa
Rua Diogo Botelho, 1327
469-005 Porto, Portugal

Test report 19-0369 UCP, Porto

Extent of assignment

Measurement of concentrations of SO₂, HCOOH, CH₃COOH, HCl, HF in indoor air by using the IVL diffusive samplers.

Results

Concentrations of measured compounds: Table 1

Method, limit of detection and uncertainty: Table 2

The results are expressed with at most two significant numbers.


Analysis of sulfur dioxide (SO₂) and hydrochloric acid (HCl) is performed under accreditation, but not analysis of hydrofluoric acid (HF), formic acid (HCOOH) or acetic acid (CH₃COOH).

Sampling is in this case not performed under accreditation since it is not performed by IVL. The results assume IVL's sampling instructions have been followed, and information on sampling protocol is correct and sufficient, since the results are calculated from these data. The result is valid only for the actual sampling point.

Göteborg 2019-11-22

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute

Report issued by

Gabriella Villamor
Project manager

Report reviewed by

Camilla Hällinder Ehrencrona
Quality manager

Laboratories are accredited by the Swedish Board for Accreditation and Conformity Assessment (Swedac) under the terms of Swedish legislation. The accredited laboratory activities meet the requirements in SS-EN ISO/IEC 17025 (2005).

Parts of this report may only be reproduced other than in full if IVL Swedish Environmental Research Institute is clearly indicated as source and all relevant data is included and not changed.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB
IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

Org.nr: 556116-2446
VAT no.: SE556116244601
Reg. office: Stockholm
www.ivl.se

Box 21060, SE-100 31 Stockholm
Valhallavägen 81, 114 27 Stockholm
Tel: +46 (0)10-788 65 00

Box 53021, SE-400 14 Göteborg
Aschebergsgatan 44, 411 33 Göteborg
Fax: +46(0)10-788 68 90

Table 1: Concentrations measured compounds

Sampling site	Start	Stop	Temp °C	SO ₂ (µg/m ³ STP)	HCOOH (µg/m ³ STP)	CH ₃ COOH (µg/m ³ STP)	HCl (µg/m ³ STP)	HF (µg/m ³ STP)
134887	2019-08-27 15:48	2019-09-24 15:37	24.7	<0.2	22	13	<0.3	<0.2
134895	2019-08-27 15:42	2019-09-24 15:39	24.6	<0.2	>150	>490	<0.7	<0.2

*STP Standard Temperature and Pressure of 20°C and 1013 hPa.

The sampler 134895 is overexposed, the results can be underestimated.

Please note that IVL has no accreditation for measuring formaldehyde and acetaldehyde.

Table 2: Method, limit of detection and uncertainty

	Method	Measurement uncertainty **	Limit of detection
SO ₂	Sampling: IVL P1:1 Diffusive sampling with IVL-sampler Analysis: ISO 10304-1:2007 Water quality – Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions	12%	0.2 µg SO ₂ /m ³ when sampling for one month
HCl	Sampling: IVL P1:1 Diffusive sampling with IVL-sampler Analysis: SS-EN ISO 10304-1:2009 Water quality – Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions	indicative	0.3 µg/m ³ when sampling for one month
HF	Sampling: IVL P1:1 Diffusive sampling with IVL-sampler Analysis: SS-EN ISO 10304-1:2009 Water quality – Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions	indicative	0.2 µg/m ³ when sampling for one month
Acetic acid	Sampling: IVL P1:1 Diffusive sampling with IVL-sampler Analysis: SS-EN ISO 10304-1:2009 Water quality – Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions	indicative	1.5 µg/m ³ when sampling for one month
Formic acid	Sampling: IVL P1:1 Diffusive sampling with IVL-sampler Analysis: SS-EN ISO 10304-1:2009 Water quality – Determination of dissolved anions by liquid chromatography of ions	indicative	1.5 µg/m ³ when sampling for one month

**Uncertainty covers both sampling and analysis and is given at 95% confidence interval.

Anexo D.

Relatório IVL: Resultado de amostragem de COV realizada no interior e no exterior de vitrine no MCB entre os dias 20 e 28 de agosto de 2019

Test report: 19-0369

Universidade Católica Portuguesa
Karen Barbosa
Rua Diogo Botelho, 1327

469-005 Porto
PORTUGAL

UCP, Porto - passiva

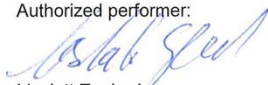
Object:

Your Sample No. (Our Sample No.)

- A. Inside Vitrine-Berardo (VOC-145304)
- B. Outside Vitrine-Berardo (VOC-145305)

Stockholm 2019-10-08
IVL Swedish Environmental Research Institute LTD

Authorized performer:



Liselott Egelrud
Liselott.egelrud@ivl.se
+4610-78866622

Reviewer:



Linda Örtlund

S.1 (5)

Background.

The sampling and analytical methods used (www.ivl.se) follow the instructions and suggestions coming from EU and WHO (World Health Organisation) (SIS ISO 16000 series).

These instructions and suggestions means basically that you should take samples on the solid adsorbent Tenax TA. The sample is thermally desorbed and is followed by gas chromatographic analysis. With this method one can analyse substances with boiling points from about 50 ° C to about 300 ° C.

The results are reported in the enclosed tables and chromatograms.

The total concentrations of volatile organic compounds, TVOC, are expressed in toluene equivalents. This means that the calculations have been made as if all the compounds were toluene. This is done in order to get an idea of total concentration of volatile organic compounds.

The specific substances, whose concentrations are reported, are calculated in absolute levels, i.e. with known concentrations of the specific substance, as reference for calibration.

Note that TVOC is a very non-specific value, which today cannot be correlated to medical health effects. One must consider the individual substances, giving TVOC value.

All test results are compensated for background values from analysis of a blank sample.

The limit, which is used practically for TVOC in indoor air, is 300 µg/m³. The limits apply to non-industrial indoor air.

More information of the methods of sampling, analysis and assessment of test results are available on IVL's website, www.ivl.se.

S.2 (5)

Interpretation and comments

Sample marked Inside Vitrine-Berardo

The sample marked Inside Vitrine-Berardo has low levels of VOC both in terms of total concentration of VOC and individual substances.

Sample marked Outside Vitrine-Berardo

The sample marked Outside Vitrine-Berardo has a level of total concentration of VOC that are above the limit of 300 µg/m³ practically used.

The sample contains many substances in low levels, this may be an indication that ventilation efficiency is not adequate.

The sample contain n-butanol which can be found as a solvent in water-soluble glue.

The sample also contain methylene chloride (in the chromatogram at 6,7 min) and methyl methacrylate (in the chromatogram at 8,8 min). These substances are used as solvents in various products.

The sample contains a-pinene and hexanal which comes from natural wood material and / or linoleum mats. The sample also contains furfural (in the chromatogram at 22,1 min). Furfural is an aldehyde that often comes from linoleum mats.

S.3 (5)

Object:

Your sample no.: A. Inside Vitrine-Berardo

Our sample no.: VOC-145304

Arrival date: 2019-09-19

Analysis date: 2019-09-23

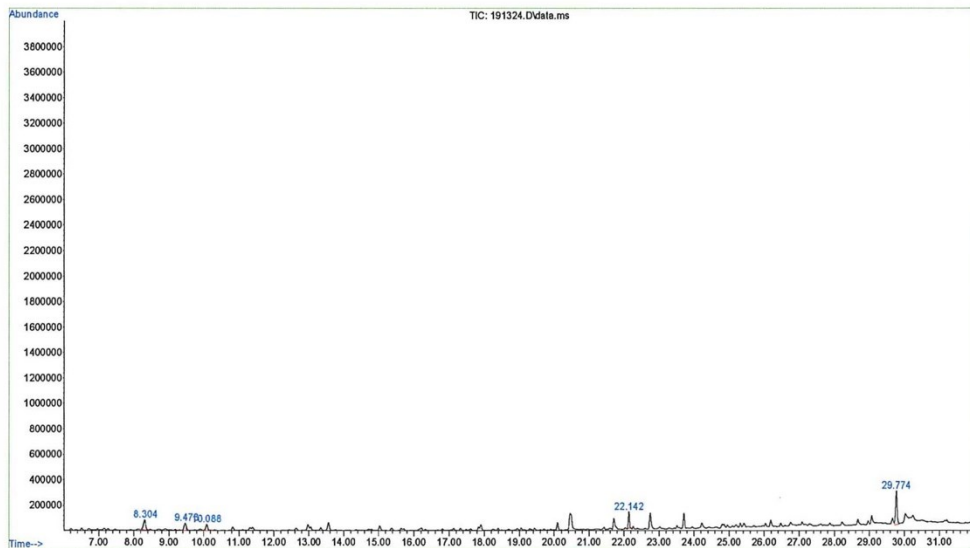
Sampling: Diffusion, exposed: 2019-08-20 16:13:00 - 2019-08-27 15:33:00

Result:

TVOC (Total VOC): 65 µg/m³ (toluene equivalents)

<u>Substances:</u>	<u>Concentration: (µg/m³)</u>	<u>Retention time (min):</u>
Bensene	<0.9	7.3
n-Decane	1.5	8.3
a-Pinene	2.2	9.5
Toluene	1.9	10.1
n-Hexanal	1.0	11.3
n-Butanol	2.2	13.0
m-Xylene	2.7	13.6
3-Carene	<0.7	13.8
Limonene	<0.7	15.4
1,3,5-Trimethylbensene	<0.6	-
1-Octene-3-ol	<0.6	-
2-Ethylhexanol	4.1	22.1
Benzylalkohol	0.7	30.0
TXIB	7.7	29.8
Naftalene	<0.6	28.3

Chromatogram:



S.4 (5)

Object:

Your sample no.: B. Outside Vitrine-Berardo

Our sample no.: VOC-145305

Arrival date: 2019-09-19

Analysis date: 2019-09-23

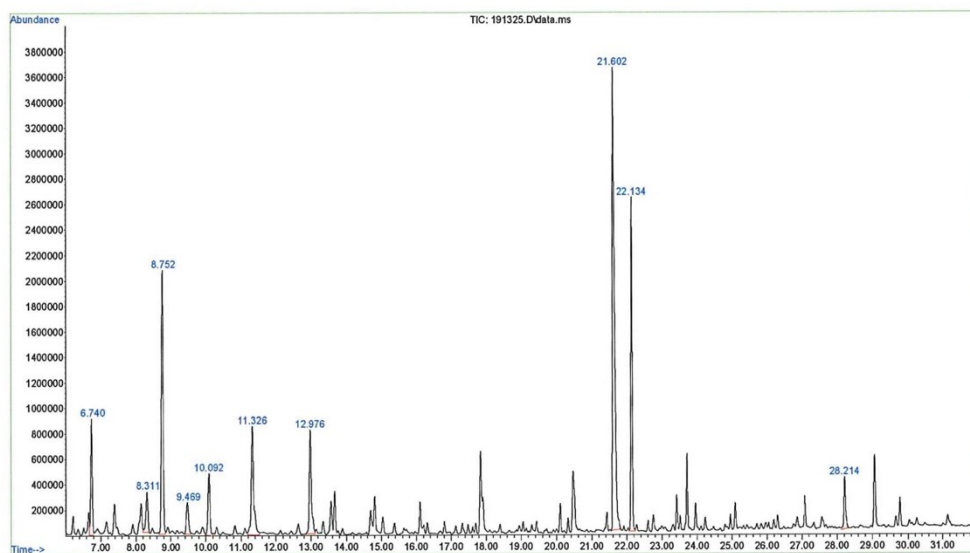
Sampling: Diffusion, exposed: 2019-08-20 16:27:00 - 2019-08-27 15:34:00

Result:

TVOC (Total VOC): 750 µg/m³ (toluene equivalents)

<u>Substances:</u>	<u>Concentration: (µg/m³)</u>	<u>Retention time (min):</u>
Bensene	<0.9	7.3
n-Decane	7.6	8.3
a-Pinene	9.8	9.5
Toluene	20	10.1
n-Hexanal	74	11.3
n-Butanol	30	13.0
m-Xylene	12	13.6
3-Carene	<0.7	13.8
Limonen	1.9	15.4
1,3,5-Trimethylbensene	1.3	
1-Octene-3-ol	<0.6	-
2-Ethylhexanol	<1	-
Benzylalkohol	1.0	30.0
TXIB	6.9	29.8
Naftalene	0.6	28.3

Chromatogram:



S.5 (5)

Anexo E.
Resultados HS-SPME-GC/MS
CINATE

RT	CAS	NAME	Average µg/g (external calib. Exept Deuterated Dodecane estimated compounds)			
			2105114 - Aglomerado	2105115 Aglomerado + tinta	2105113 Tinta	2105239 MDF
4,436	67-64-1	Acetone	1.1	1.2	4.2	4.3
4,518	79-20-9	Acetic acid, methyl ester			0,005	
5,298	75-65-0	2-Propanol, 2-methyl-			0,000	
5,809	64-17-5	Ethanol	4,080	3,966		0,000
6,397	142-96-1	n-Butyl ether			4,120	5,432
7,134	80-62-6	Methyl methacrylate	0,054	0,088		0,000
7,428	80-56-8	α-Pinene	0,000	0,000		0,046
7,861	108-88-3	Toluene	0,000	0,000		
8,366	79-92-5	Camphene	0,000	0,000		
8,745	123-86-4	Butyl acetate	0,000	0,000	0,000	
8,997	66-25-1	Hexanal	0,178	0,237		0,000
9,48	127-91-3	β-Pinene	0,000	0,000		0,073
9,665	1120-21-4	Undecane (Alkane)				0,019
9,971	100-41-4	Ethylbenzene			0,026	
10,114	123-19-3	4-Heptanone			0,000	
10,518	590-01-2	Propanoic acid, butyl ester			0,000	
10,761	1888-57-9	3-Hexanone, 2,5-dimethyl-			0,000	
10,876	71-36-3	1-Butanol			0,000	
11,156	123-35-3	β-Myrcene	11,662	12,310		0,000
11,496	141-32-2	Acrylic acid butyl ester			0,001	
12,047	5989-54-8	Limonene	0,206	0,273		0,000
12,294	555-10-2	β-Phellandrene	0,000	0,000		0,008
12,71	109-21-7	Butanoic acid, butyl ester			0,001	
13,027	3777-69-3	Furan, 2-pentyl-	0,083	0,110		0,000
13,202	13679-46-4	Furan, 2-(methoxymethyl)-				0,004
13,529	71-41-0	1-Pentanol	0,000	0,000		0,004
13,639	611-14-3	Benzene, 1-ethyl-2-methyl-			0,084	
13,761	300-57-2	Benzene, 2-propenyl-			0,000	
14,07	99-87-6	p-Cymene	0,007	0,010		0,000
14,377	586-62-9	Terpinolene				0,020
14,396	95-63-6	Benzene, 1,2,4-trimethyl- 2,4-Dipropyl-5-ethyl-1,3-	0,000	0,000	0,004	0,012
14,494	6413-83-8	dioxane			0,001	
14,53	589-55-9	4-Heptanol			0,000	
14,6	111-13-7	2-Octanone	1,038	1,113		
14,71	124-13-0	Octanal	0,000	0,000		0,000
14,967	na	Probable alcohol			0,017	
15,391	2816-57-1	Cyclohexanone, 2,6-dimethyl-	1,115	1,538		
15,93	21460-36-6	2-Propanol, 1-(2-propenyloxy)-			0,000	
16,02	110-93-0	5-Hepten-2-one, 6-methyl-	0,008	0,011		0,000
17,019	111-45-5	Ethanol, 2-(2-propenyloxy)-			0,009	
17,446	821-55-6	2-Nonanone	0,008	0,009		

17,564	124-19-6	Nonanal	0,000	0,000		0,000
17,564	1195-79-5	Fenchone	0,000	0,000		
17,693	111-76-2	Ethanol, 2-butoxy-	0,000	0,000	0,000	0,0000
17,99	112-36-7	Diethyl carbitol		0,013	0,000	
18,612	1195-32-0	p-Cymenene	0,007	0,006		0,000
18,681	5842-53-5	3-Penten-1-ol, 2,2,4-trimethyl-			0,004	
18,949	3391-86-4	1-Octen-3-ol	0,204	0,121		0,000
19,08	111-70-6	1-Heptanol	0,000	0,000		
19,138	64-19-7	Acetic acid	0,000	0,000	0,000	0,000
19,242	112-07-2	2-Butoxyethyl acetate			11,360	
19,382	98-01-1	Furfural	0,038	0,059	0,000	0,000
19,958	104-76-7	1-Hexanol, 2-ethyl-	0,021	0,010		0,190
20,039	14912-44-8	Ylangene	0,000	0,000		
20,164	693-54-9	2-Decanone	0,000	0,000		
20,299	112-31-2	Decanal	0,000	0,000		0,000
20,409	1192-62-7	Ethanone, 1-(2-furanyl)-				0,007
20,647	76-22-2	Camphor	0,000	0,000		
20,883	100-52-7	Benzaldehyde	0,000	0,000	0,000	0,000
21,647	111-87-5	1-Octanol	0,265	0,293		0,024
21,914	475-20-7	Longifolene	0,000	0,000		0,342
22,132	620-02-0	Furfural, 5-methyl-	0,000	0,000		0,019
22,243	1632-73-1	Fenchol	0,000	0,000		0,014
22,622	87-44-5	Caryophyllene	0,000	0,000		0,061
22,747	562-74-3	Terpinen-4-ol	0,000	0,000		0,046
23,167	111-90-0	Ethanol, 2-(2-ethoxyethoxy)-	0,000	0,000	0,065	0,094
23,406	564-94-3	Myrtenal	0,011	0,005		
23,406	107-92-6	Butanoic acid	0,000	0,000		0,000
23,669	78-67-1	Propanenitrile, 2,2'-azobis[2-methyl-			0,584	
23,823	3913-81-3	2-Decenal, (E)-	0,117	0,065		0,000
23,959	5947-36-4	Pinocarveol	0,000	0,000		0,006
24,007	629-73-2	Cetene		0,000	0,005	
24,044	98-00-0	2-Furanmethanol				0,000
24,276	29911-28-2	Dipropylene glycol, butyl ether	0,000	0,000	0,010	0,008
24,335	503-74-2	Butanoic acid, 3-methyl-	0,010			
24,522	1820-09-3	trans-Verbenol	0,000	0,000		
24,947	98-55-5	α -Terpineol	0,000	0,000		0,000
25,002	507-70-0	endo-Borneol	0,000	0,000		2,054
25,201	695-06-7	2(3H)-Furanone, 5-ethylidihydro-	0,000	0,000		
25,298	1196-01-6	S-Verbenone	0,000	0,000		
25,87	109-52-4	Pentanoic acid	0,000	0,000		0,000
25,87	112-73-2	Ether, bis(2-butoxyethyl)		0,000	0,877	
26,067	122-03-2	Benzaldehyde, 4-(1-methylethyl)-	0,061	0,065		
26,278	483-76-1	δ -Cadinene	0,000	0,000		0,000

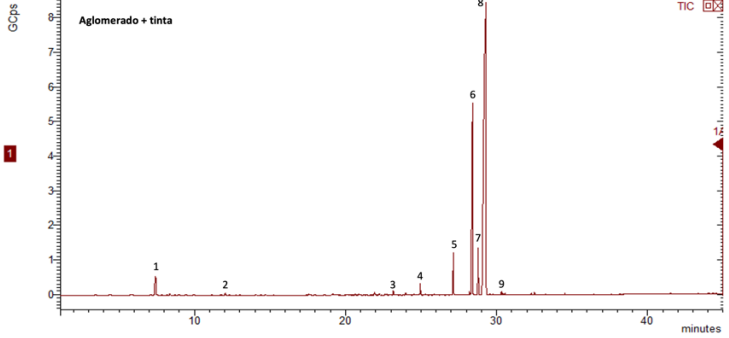
26,709	124-17-4	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-, acetate		0,000	0,041		
27,126	112-34-5	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-	0,037	0,033	0,000	0,000	
27,956	1197-07-5	trans-Carveol	2,789	1,856			
28,19	142-62-1	Hexanoic acid	0,000	0,000			0,000
28,27	1197-01-9	Benzenemethanol, $\alpha,\alpha,4$ -trimethyl-	0,000	0,000			8,386
28,323	124-17-4	Ethanol, 2-(2-butoxyethoxy)-, acetate	0,000	0,000	0,001		0,001
28,747	77-68-9	1,3-Pentanediol, 2,2,4-trimethyl-, 1-isobutyrate	16,263	13,818	0,062		0,058
28,817	100-51-6	Benzyl alcohol	1,734	1,861			0,038
29,052	6846-50-0	2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	0,000	0,000	0,016		0,017
30,318	149-57-5	Hexanoic acid, 2-ethyl-	34,361	33,887	0,339		0,344
30,401	111-14-8	Heptanoic acid	0,012	0,003			0,002
31,429	108-95-2	Phenol	0,000	0,000	0,717		1,256
31,859	1003-29-8	1H-Pyrrole-2-carboxaldehyde					0,002
32,3	26896-20-8	Neodecanoic acid	0,000	0,000			0,021
32,511	124-07-2	Octanoic acid	0,000	0,000			0,234
34,524	112-05-0	Nonanoic acid	0,000	0,000			5,811
36,445	334-48-5	Decanoic acid	0,000	0,000			5,622
41,508	121-33-5	Vanillin	0,000	0,000	38,109		7,422

Tinta SMPE-GC/MS	Identificação COV
<p>The chromatogram for 'Tinta' shows a baseline with several peaks. Peak 1 is at ~5 min, 2 at ~8 min, 3 at ~9 min, 4 at ~20 min, 5 at ~25 min, 6 at ~28 min, 7 at ~29 min, and 8 at ~30 min. The y-axis is labeled 'GCps' and ranges from 0 to 8. The x-axis is labeled 'minutes' and ranges from 0 to 40. A red box with the number '1' is on the left side of the plot area.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.- 2. 1-butanol 3. Acrylic acid butyl ester 4. benzaldeído 5. etanol, 2-(2-butoxietoxi)- 6. etanol, 2-(2-butoxietoxi)-, acetato 7. 1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato 8. 2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato

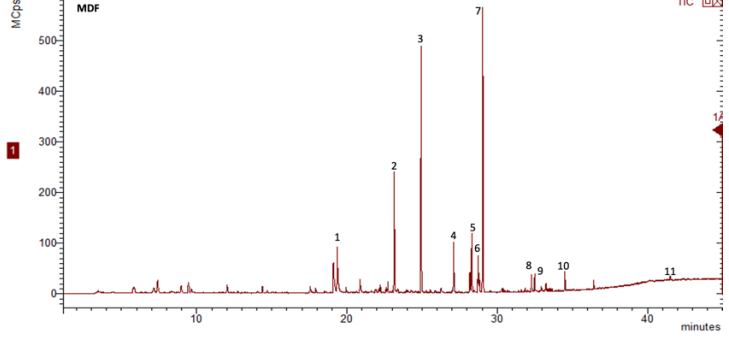
Nota. Notar que a abundância dos compostos está expressa em *giga counts* (GCps). Fonte: Relatório CINATE

Aglomerado SMPE-GC/MS	Identificação COV
<p>The chromatogram for 'Aglomerado' shows a baseline with several peaks. Peak 1 is at ~5 min, 2 at ~8 min, 3 at ~25 min, 4 at ~28 min, 5 at ~29 min, 6 at ~30 min, 7 at ~31 min, 8 at ~35 min, and 9 at ~38 min. The y-axis is labeled 'MCps' and ranges from 0 to 400. The x-axis is labeled 'minutes' and ranges from 0 to 40. A red box with the number '1' is on the left side of the plot area.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. etanol 2. α-pineno 3. etanol, 2-(2-ctoxietoxi)- 4. etanol, 2-(2-butoxietoxi)- 5. ácido hexanoico 6. 1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato 7. 2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato 8. ácido neodecanoico 9. ácido octanoico

Nota. Notar que a abundância dos compostos está expressa em *mega counts* (MCps). Fonte: Relatório CINATE

Aglomerado + tinta SMPE-GC/MS	Identificação COV
	<ol style="list-style-type: none"> 1. α-pineno 2. limoneno 3. etanol, 2-(2-etoxietoxi)- 4. α-terpineol 5. etanol, 2-(2-butoxietoxi)- 6. etanol, 2-(2-butoxietoxi)-, acetato 7. 1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato 8. 2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato 9. ácido hexanóico, 2-etil-

Nota. Notar que a abundância dos compostos está expressa em *giga counts* (GCps). Fonte: Relatório CINATE

MDF SMPE-GC/MS	Identificação COV
	<ol style="list-style-type: none"> 1. furfural 2. etanol, 2-(2-etoxietoxi)- 3. α-terpineol 4. etanol, 2-(2-butoxietoxi)- 5. ácido hexanóico 6. 1,3-pentanediol, 2,2,4-trimetil-, 1-isobutirato 7. 2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol diisobutirato 8. ácido neodecanoico 9. ácido octanoico 10. ácido nonanoico

Nota. Notar que a abundância está expressa em *mega counts* (MCps). Fonte: Relatório CINATE

Anexo F.
Resultado análise do formaldeído no MNSR
INEGI
Amostragem 1

3. METODOLOGIAS UTILIZADAS

A recolha de formaldeído foi efetuada em amostradores SKC 500-100, tendo sido realizada amostragem passiva, com início no dia 2021/07/22 e término no dia 2021/07/29 (informação fornecida pelo cliente). A amostragem não foi realizada pelo ISA, pelo que este apenas se responsabiliza pelo resultado analítico. As amostras foram entregues no INEGI no dia 2021/07/29.

Os resultados aplicam-se às amostras conforme rececionadas. As análises e/ou ensaios reportados foram realizados nas instalações permanentes do laboratório.

O formaldeído foi determinado de acordo com a norma ISO 16000-3¹ e o procedimento interno IT.402. Concretamente, procedeu-se à análise por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), usando um cromatógrafo da marca Agilent Technologies, modelo 1220 Infinity LC. O fator de emissão (FE) foi calculado com base no fator de resposta específico do método analítico. O volume de amostragem foi calculado segundo as indicações da SKC. As análises decorreram no dia 2021/08/04. A incerteza do método analítico é de $\pm 13\%$ para o formaldeído.

4. RESULTADOS

Na tabela seguinte apresentam-se os níveis de formaldeído observados nas amostras.

Tabela 1. Níveis de formaldeído (CAS 50-00-0) nas amostras referentes a 5 locais. Data de análise: 2021/08/04.

Local	Amostrador	Massa (ng)	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
L1	A336128	17445	86,0
L4	A336150	6770	33,4
L6	A336154	2283	11,2
L7	A336147	3692	18,2
L9	A336121	130871	643

5. REFERÊNCIAS

1. ISO 16000-3 (2011). Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method.

Porto, 24 de setembro de 2021



(Investigadora)

(Assinatura
Qualificada) Gabriela
Ventura Alves da Silva

Digitally signed by (Assinatura
Qualificada) Gabriela Ventura
Alves da Silva
Date: 2021.08.24 16:17:11
+01'00'

Anexo G.
Resultado análise dos COVT no MNSR
INEGI
Amostragem 1

3. METODOLOGIAS UTILIZADAS

As recolhas dos compostos orgânicos voláteis (COVs) foram efetuadas por adsorção em tubos de aço com enchimento de Tenax TA, com recurso a amostragem passiva, com início no dia 2021/07/20 e término no dia 2021/07/27. A amostragem não foi realizada pelo ISA, pelo que este apenas se responsabiliza pelo resultado analítico. As amostras foram entregues no INEGI no dia 2021/07/29.

Os resultados aplicam-se às amostras conforme rececionadas. As análises e/ou ensaios reportados foram realizados nas instalações permanentes do laboratório.

Os COVs foram analisados por cromatografia gasosa, com quantificação e identificação por detetor seletivo de massa (GC/MSD), usando um cromatógrafo da marca Agilent Technologies, modelo 8890 e um detetor seletivo de massa, da mesma marca, modelo 5977B. A análise foi precedida da desadsorção térmica a partir do tubo, por meio de um sistema de desadsorção da marca Perkin Elmer, modelo Matrix ATD350 acoplado ao GC. A análise foi feita de acordo com a norma ISO 16000-6¹ e o procedimento interno IT.401.

Os níveis de COVs foram calculados com base no fator de resposta específico de cada composto, sempre que possível. Os níveis dos restantes compostos foram calculados com base no fator de resposta do tolueno. O valor de COVsT foi calculado como sendo a soma dos níveis de todos os compostos com tempos de retenção entre o hexano e o hexadecano numa coluna apolar. A incerteza do método analítico, calculada para o tolueno, é $\pm 3.8\%$.

A taxa de amostragem, por difusão, foi calculada segundo a norma ISO 16017-2². No caso dos compostos benzeno, tolueno, naftaleno e ácido acético, a taxa de amostragem foi calculada considerando o valor teórico específico para cada um deles. Para os restantes casos, considerou-se o valor teórico da taxa de difusão do tolueno.

4. RESULTADOS

Foi analisado no dia 2021/08/10 o tubo número 753062, que acompanhou as amostragens, e no qual não foi feita qualquer recolha (branco). O valor de COVsT determinado no branco foi de 39 ng.

Nas tabelas seguintes apresentam-se os níveis de COVs específicos mais importantes (com massa superior a 25 ng) e de COVsT observados nas diferentes amostras. O composto naftaleno foi quantificado, verificando-se que apresentava níveis inferiores ao limite de quantificação (5.3 ng ou 1.46 µg/m³) em todas as amostras.

Tabela 1. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "1". Tubo 638661. Data de análise: 2021/08/09.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m ³)
acetato de etilo	141-78-6	1	921
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	16,3
butanol	71-36-3	1	226
1-hidroxi-2-propanona	116-09-6	2	35,6
1-metoxi-2-propanol	107-98-2	1	56,9
pentanal	110-62-3	3**	572
etilenoglicol	107-21-1	1	342
metacrilato de metilo	80-62-6	1	23,9
formato de n-butilo	592-84-7	2	6,40
propilenoglicol	57-55-6	1	190
tolueno	108-88-3	1	4187
2-hexanona	591-78-6	3***	26,4
ácido butanóico	107-92-6	3*	32,3
hexanal	66-25-1	1	3656
acetato de butilo	123-86-4	1	4992
formato de n-pentilo	638-49-3	2	5,45
furfural	98-01-1	1	117
acetato de 2-hidroxietilo	542-59-6	2	33,6
etilbenzeno	100-41-4	1	389

Determinação da Concentração Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.015
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

acetato de 1-metoxi-2-propilo	108-65-6	1	648
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	1395
ácido pentanóico	109-52-4	3*	217
estireno	3777-69-3	1	5918
2-butoxietanol	95-63-6	1	52,2
acetato de 1-etoxipropano-2-ilo	54839-24-6	2	15,4
α -pineno	80-56-8	1	40,7
propilbenzeno	103-65-1	1	40,8
4-metilnonano	17301-94-9	2	8,45
benzaldeído	100-52-7	1	930
1,3,5-trimetilbenzeno	108-67-8	1	104
ácido hexanóico	142-62-1	1	592
2-pentilfurano	3777-69-3	2	110
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	310
octanal	124-13-0	1	260
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	42,4
1,2,3-trimetilbenzeneo	526-73-8	1	60,2
indano	496-11-7	2	13,3
1-octanol	111-87-5	2	30,3
ácido heptanóico	111-14-8	3**	22,2
acetofenona	98-86-2	2	96,2
2-metilbenzaldeído	529-20-4	3***	28,5
undecano	1120-21-4	1	30,8
nonanal	124-19-6	1	109
ácido 2-etilhexanóico	149-57-5	1	342
(S)-(+)-6-metil-1-octanol	110453-78-6	2	69,6
ácido octanóico	124-07-2	3**	60,3
1-nonanol	143-08-8	2	27,7

dodecano	112-40-3	1	13,8
decanal	112-31-2	1	18,7
acrilato de 2-etilhexilo	103-11-7	1	17,0
dimetilftalato	131-11-3	1	210
benzeno	71-43-2	1	31,5
ácido acético	64-19-7	1	69,5
COVsT	---	---	29145

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **hexanal; *** ciclohexanona; †ácido isovalérico; ††ácido hexanóico; ††benzaldeído).

Tabela 2. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "2". Tubo 638674. Data de análise: 2021/08/09.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m ³)
tolueno	108-88-3	1	9,45
hexametilciclotrissiloxano	541-05-9	2	8,93
ácido hexanóico	142-62-1	1	6,88
ácido benzóico	65-85-0	3*	26,1
texanol	25265-77-4	1	67,4
benzeno	71-43-2	1	<0.57 [#]
ácido acético	64-19-7	1	5,08
COVsT	---	---	209

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*ácido hexanóico).

[#]limite de quantificação do método calculado para o benzeno.

Tabela 3. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "3". Tubo 638682. Data de análise: 2021/08/09.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.‡	Concentração (µg/m³)
n-hexano	110-54-3	1	17,5
2-metil-1-propanol	78-83-1	1	7,49
heptano	142-82-5	1	5,91
propilenoglicol	57-55-6	1	8,54
tolueno	108-88-3	1	41,3
hexanal	66-25-1	1	11,7
etilbenzeno	100-41-4	1	7,28
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	25,7
estireno	100-42-5	1	6,10
o-xileno	95-47-6	1	9,38
a-pineno	80-56-8	1	14,7
3-etiltolueno	620-14-4	3*	7,44
ácido hexanóico	142-62-1	1	22,6
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	5,90
2-(2-etoxietoxe)etanol	111-90-0	1	23,6
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	6,08
álcool benzílico	100-51-6	1	5,03
1-metil-2-pirrolidina	872-50-4	1	9,37
ácido heptanóico	111-14-8	3**	3,98
nonanal	124-19-6	1	4,65
ácido octanóico	124-07-2	3**	6,45
ácido nonanóico	112-05-0	3**	4,39
texanol	25265-77-4	1	28,9
2,5-difenil-p-benzoquinona	844-51-9	2	69,8
benzeno	71-43-2	1	2,45

Determinação da Concentração Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.015
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

ácido acético	64-19-7	1	6,67
COVsT	---	---	491

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espetro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espetro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*4-etiltolueno; **ácido hexanóico).

Tabela 4. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "4". Tubo 638686. Data de análise: 2021/08/09.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
n-hexano	110-54-3	1	14,8
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	9,75
heptano	142-82-5	1	5,38
tolueno	108-88-3	1	45,7
hexanal	66-25-1	1	10,9
etilbenzeno	100-41-4	1	7,43
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	22,3
estireno	100-42-5	1	3,93
o-xileno	95-47-6	1	6,24
α-pineno	80-56-8	1	8,45
3-etiltolueno	620-14-4	3**	6,90
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	4,40
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	3,22
álcool benzílico	100-51-6	1	15,1
nonanal	124-19-6	1	2,81
texanol	25265-77-4	1	13,9
benzeno	71-43-2	1	1,16
COVsT	---	---	285

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **4-etiltolueno).

Tabela 5. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "5". Tubo 639163. Data de análise: 2021/08/10.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m ³)
n-hexano	110-54-3	1	5,45
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	27,5
propilenoglicol	57-55-6	1	4,22
1-etoxi-2-propanol	1569-02-4	3*	5,64
tolueno	108-88-3	1	40,5
hexanal	66-25-1	1	5,84
etilbenzeno	100-41-4	1	7,67
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	24,7
estireno	100-42-5	1	3,44
o-xileno	95-47-6	1	10,4
α-pineno	80-56-8	1	33,7
3-etiltolueno	620-14-4	3**	7,30
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	6,00
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	5,83
álcool benzílico	100-51-6	1	3,21
ácido benzóico	65-85-0	3***	4,48
texanol	25265-77-4	1	10,6
benzeno	71-43-2	1	2,64
COVsT	---	---	314

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **4-etiltolueno; ***ácido hexanóico).

Tabela 6. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "6". Tubo 639180. Data de análise: 2021/08/10.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.§	Concentração (µg/m³)
hexano	110-54-3	1	15,7
heptano	142-82-5	1	3,91
tolueno	108-88-3	1	2,35
ácido hexanóico	142-62-1	1	4,52
hexametildiclotrissiloxano	541-05-9	2	4,72
nonanal	124-19-6	1	4,21
texanol	25265-77-4	1	70,1
2,5-difenil-p-benzoquinona	844-51-9	2	113
benzeno	71-43-2	1	<0.56*
ácido acético	64-19-7	1	5,08
COVsT	---	---	286

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno.

*limite de quantificação do método calculado para o benzeno.

Tabela 7. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "7". Tubo 639183. Data de análise: 2021/08/10.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
heptano	142-82-5	1	3,65
propilenoglicol	57-55-6	1	5,02
tolueno	108-88-3	1	6,38
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	11,0
o-xileno	95-47-6	1	4,03
2-butoxietanol	111-76-2	1	5,45
ácido hexanóico	142-62-1	1	5,61
decano	124-18-5	1	7,14
ácido benzóico	65-85-0	3*	6,13
ácido octanóico	124-07-2	3*	5,09
ácido nonanóico	112-05-0	3*	2,93
texanol	25265-77-4	1	72,5
2,5-difenil-p-benzoquinona	844-51-9	2	23,7
benzeno	71-43-2	1	<0.57 [#]
ácido acético	64-19-7	1	16,7
COVsT	---	---	288

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*ácido hexanóico).

[#]limite de quantificação do método calculado para o benzeno.

Tabela 8. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "8". Tubo 753076. Data de análise: 2021/08/10.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
heptano	142-82-5	1	3,72
tolueno	108-88-3	1	14,2
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	10,4
o-xileno	95-47-6	1	3,80
3-etiltolueno	620-14-4	3*	17,4
4-etiltolueno	622-96-8	1	3,79
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	13,6
álcool benzílico	100-51-6	1	23,9
ácido benzóico	65-85-0	3**	2,02
ácido octanóico	124-07-2	3**	2,54
texanol	25265-77-4	1	4,36
2,5-difenil-p-benzoquinona	844-51-9	2	73,8
benzeno	71-43-2	1	<0.57 [#]
ácido acético	64-19-7	1	5,75
COVsT	---	---	245

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*ácido hexanóico; ** 4-etiltolueno).

[#]limite de quantificação do método calculado para o benzeno.

Tabela 9. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "9". Tubo 753080. Data de análise: 2021/08/10.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. [§]	Concentração (µg/m ³)
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	8,23
1-butanol	71-36-3	1	30,4
1-metoxi-2-propanol	107-98-2	1	39,3
pentanal	110-62-3	3**	44,3
propilenoglicol	57-55-6	1	6,61
ácido isobutírico	79-31-2	3***	8,18
1-pentanol	71-41-0	2	13,8
tolueno	108-88-3	1	151
ácido butanóico	107-92-6	3***	9,86
isobutenil metil cetona	141-79-7	3*	156
hexanal	66-25-1	1	313
acetato de butilo	123-86-4	1	33,7
furfural	98-01-1	1	28,1
álcool diacetónico	123-42-2	3*	53,1
2-n-butilacroleína	1070-66-2	3**	32,6
acetato de 1-metoxi-2-propilo	108-65-6	1	81,8
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	16,5
ácido pentanóico	109-52-4	3***	22,6
2-heptanona	110-43-0	3*	10,6
o-xileno	95-47-6	1	14,0
heptanal	111-71-7	3**	30,5
2-butoxietanol	111-76-2	1	192
α-pineno	80-56-8	1	16,9
benzaldeído	100-52-7	1	17,5
1-heptanol	111-70-6	2	9,10

Determinação da Concentração de Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.015
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

ácido hexanóico	142-62-1	1	99,7
2-pentilfurano	3777-69-3	2	16,1
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	3,43
octanal	124-13-0	1	21,8
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	7,39
álcool benzílico	100-51-6	1	6,15
ácido heptanóico	111-14-8	3 ^{***}	6,06
1-octanol	111-87-5	2	4,03
nonanal	124-19-6	1	16,0
cânfora	76-22-2	2	25,8
α-cubebeno	17699-14-8	2	38,1
texanol	25265-77-4	1	5,89
copaeno	3856-25-5	2	5,88
γ-muuroleno	30021-74-0	2	5,88
α-muuroleno	10208-80-7	2	44,2
(-)-β-cadineno	523-47-7	2	15,9
(-)-calameneno	483-77-2	2	68,2
α-calacoreno	21391-99-1	2	11,5
benzeno	71-43-2	1	<0.57 [#]
ácido acético	64-19-7	1	708
COVsT	---	---	2750

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **hexanal; ***ácido isovalérico; *ciclohexanona; **octanal; ***ácido hexanóico).

[#]limite de quantificação do método calculado para o benzeno.

5. REFERÊNCIAS

- 1) ISO 16000-6:2011, Indoor air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID.
- 2) ISO 16017-2 (2003). Indoor, ambient and workplace air - Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography - Part 2: Diffusive sampling.

Porto, 17 de dezembro de 2021



(Investigadora)

[Assinatura
Qualificada] Gabriela
Ventura Alves da Silva

Digitally signed by [Assinatura
Qualificada] Gabriela Ventura
Alves da Silva
Date: 2021.12.17 13:50:09 Z

Anexo H.
Resultado análise do formaldeído no MNSR
INEGI
Amostragem 2

3. METODOLOGIAS UTILIZADAS

A recolha de formaldeído foi efetuada em amostradores SKC 500-100, tendo sido realizada amostragem passiva, com início no dia 2021/11/22 e término no dia 2021/11/29 (informação fornecida pelo cliente). A amostragem não foi realizada pelo ISA, pelo que este apenas se responsabiliza pelo resultado analítico. As amostras foram entregues no INEGI no dia 2021/11/29.

Os resultados aplicam-se às amostras conforme rececionadas. As análises e/ou ensaios reportados foram realizados nas instalações permanentes do laboratório.

O formaldeído foi determinado de acordo com a norma ISO 16000-3¹ e o procedimento interno IT.402. Concretamente, procedeu-se à análise por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), usando um cromatógrafo da marca Agilent Technologies, modelo 1220 Infinity LC. O fator de emissão (FE) foi calculado com base no fator de resposta específico do método analítico. O volume de amostragem foi calculado segundo as indicações da SKC. As análises decorreram no dia 2021/12/07. A incerteza do método analítico é de $\pm 13\%$ para o formaldeído.

4. RESULTADOS

Na tabela seguinte apresentam-se os níveis de formaldeído observados nas amostras.

Tabela 1. Níveis de formaldeído (CAS 50-00-0) nas amostras referentes a 5 locais. Data de análise: 2021/12/07.

Local	Amostrador	Massa (ng)	Concentração ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
L1	A336127	13182	63,7
L4	A336137	5300	25,8
L6	A336145	2651	13,0
L7	A336132	2172	10,5
L9	A336144	31143	152

5. REFERÊNCIAS

- ISO 16000-3 (2011). Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds - Active sampling method.

Porto, 16 de dezembro de 2021



(Investigadora)

(Assinatura)
Qualificada) Gabriela
Ventura Alves da Silva

Digitally signed by
Universidade Qualificada
Gabriela Ventura Alves da
Silva
Date: 2021.12.16 17:18:28 Z

Anexo I.
Resultado análise dos COVT no MNSR
INEGI
Amostragem 2

3. METODOLOGIAS UTILIZADAS

As recolhas dos compostos orgânicos voláteis (COVs) foram efetuadas por adsorção em tubos de aço com enchimento de Tenax TA, com recurso a amostragem passiva, com início no dia 2021/11/22 e término no dia 2021/11/29. A amostragem não foi realizada pelo ISA, pelo que este apenas se responsabiliza pelo resultado analítico. As amostras foram entregues no INEGI no dia 2021/11/29.

Os resultados aplicam-se às amostras conforme rececionadas. As análises e/ou ensaios reportados foram realizados nas instalações permanentes do laboratório.

Os COVs foram analisados por cromatografia gasosa, com quantificação e identificação por detetor seletivo de massa (GC/MSD), usando um cromatógrafo da marca Agilent Technologies, modelo 8890 e um detetor seletivo de massa, da mesma marca, modelo 5977B. A análise foi precedida da desadsorção térmica a partir do tubo, por meio de um sistema de desadsorção da marca Perkin Elmer, modelo Matrix ATD350 acoplado ao GC. A análise foi feita de acordo com a norma ISO 16000-6¹ e o procedimento interno IT.401.

Os níveis de COVs foram calculados com base no fator de resposta específico de cada composto, sempre que possível. Os níveis dos restantes compostos foram calculados com base no fator de resposta do tolueno. O valor de COVsT foi calculado como sendo a soma dos níveis de todos os compostos com tempos de retenção entre o hexano e o hexadecano numa coluna apolar. A incerteza do método analítico, calculada para o tolueno, é $\pm 3.8\%$.

A taxa de amostragem, por difusão, foi calculada segundo a norma ISO 16017-2². No caso dos compostos benzeno, tolueno, naftaleno e ácido acético, a taxa de amostragem foi calculada considerando o valor teórico específico para cada um deles. Para os restantes casos, considerou-se o valor teórico da taxa de difusão do tolueno.

4. RESULTADOS

Foi analisado no dia 2021/12/02 o tubo número 639180, que acompanhou as amostragens, e no qual não foi feita qualquer recolha (branco). O valor de COVsT determinado no branco foi de 54 ng.

Nas tabelas seguintes apresentam-se os níveis de COVs específicos mais importantes (com massa superior a 25 ng) e de COVsT observados nas diferentes amostras. O composto naftaleno foi identificado, verificando-se que apresentava níveis inferiores ao limite de quantificação (5.3 ng ou 1.46 µg/m³) em todas as amostras.

Tabela 1. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "1". Tubo 639164. Data de análise: 2021/11/29.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.‡	Concentração (µg/m ³)
acetato de etilo	141-78-6	1	404
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	9,58
2-metoxietanol	109-86-4	3**	8,71
butanol	71-36-3	1	216
2-etilacroleína	922-63-4	3***	18.4
1-hidroxi-2-propanona	116-09-6	2	11.3
1-metoxi-2-propanol	107-98-2	1	47,9
pentanal	110-62-3	3***	301
metacrilato de metilo	80-62-6	1	10,8
formato de n-butilo	592-84-7	3****	12,8
propilenoglicol	57-55-6	1	30,8
ácido isobutírico	79-31-2	3*	16,6
tolueno	108-88-3	1	2408
acetato de isobutilo	110-19-0	3****	143
2-hexanona	591-78-6	3**	16,3
hexanal	66-25-1	1	1910
acetato de butilo	123-86-4	1	3250
formato de pentilo	638-49-3	3****	10,1
furfural	98-01-1	1	45,4

Determinação da Concentração Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.017
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

acetato de 2-hidroxietilo	542-59-6	2	4,11
etilbenzeno	100-41-4	1	203
acetato de 1-metoxi-2-propilo	108-65-6	1	438
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	831
ácido pentanóico	109-52-4	3*	25,1
estireno	100-42-5	1	2789
o-xileno	95-47-6	1	405
2-butoxietanol	111-76-2	1	26,2
cumeno	98-82-8	2	12,3
acetato de 1-etoxipropan-2-ilo	54839-24-6	2	7,54
α-pineno	80-56-8	1	15,6
1-butoxi-2-propanol	5131-66-8	3***	112
2-etil-hexanal	123-05-7	3****	15,4
propilbenzeno	103-65-1	1	20,8
benzaldeído	100-52-7	1	331
1,3,5-trimetilbenzeno	108-67-8	1	43,1
fenol	108-95-2	1	338
2-etiltolueno	611-14-3	1	34,8
2-pentilfurano	3777-69-3	2	157
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	144
octanal	124-13-0	1	101
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	270
1,2,3-trimetilbenzeno	526-73-8	1	28,0
indano	496-11-7	2	6,05
acetofenona	98-86-2	2	34,8
2-metilbenzaldeído	529-20-4	3*	7,86
undecano	1120-21-4	1	14,7
nonanal	124-19-6	1	37,8

Determinação da Concentração de Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.017
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

ácido 2-etilhexanóico	149-57-5	1	85,5
1-nonanol	143-08-8	2	9,00
(S)-(+)-6-metil-1-octanol	110453-78-6	2	26,9
ftalato de dimetilo	131-11-3	1	18,0
benzeno	71-43-2	1	19,3
ácido acético	64-19-7	1	282
COVsT	---	---	16327

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **1-metoxi-2-propanol; ***hexanal; ****acetato de butilo; *ácido isovalérico; **ciclohexanona; ***2-butoxietanol; ****octanal; *benzaldeído).

Tabela 2. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "2". Tubo 639178. Data de análise: 2021/11/29.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.§	Concentração (µg/m³)
tolueno	108-88-3	1	7,15
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	4,49
benzeno	71-43-2	1	0,86
ácido acético	64-19-7	1	5,00
COVsT	---	---	65,1

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa.

Tabela 3. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "3". Tubo 639188. Data de análise: 2021/11/29.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.§	Concentração (µg/m³)
heptano	142-82-5	1	4,33
tolueno	108-88-3	1	26,5
etilbenzeno	100-41-4	1	4,12
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	14,4
o-xileno	95-47-6	1	4,65
α-pineno	80-56-8	1	10,1
3-etiltolueno	620-14-4	3*	3,78
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	5,96
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	1,84
texanol	25265-77-4	1	9,08
benzeno	71-43-2	1	1,78
ácido acético	64-19-7	1	9,60
COVsT	---	---	175

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa. Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*4-etiltolueno).

Tabela 4. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "4". Tubo 638677. Data de análise: 2021/11/29.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
n-hexano	110-54-3	1	3,54
acetato de etilo	141-78-6	1	4,43
heptano	142-82-5	1	6,38
tolueno	108-88-3	1	36,5
hexanal	66-25-1	1	7,42
etilbenzeno	100-41-4	1	5,77
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	18,3
o-xileno	95-47-6	1	3,79
α-pineno	80-56-8	1	6,59
3-etiltolueno	620-14-4	3*	4,84
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-6	1	4,72
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	1,65
álcool benzílico	100-51-6	1	4,16
undecano	1120-21-4	1	2,36
nonanal	124-19-6	1	1,72
Texanol	25265-77-4	1	5,81
benzeno	71-43-2	1	1,15
ácido acético	64-19-7	1	17,2
COVsT	---	---	196

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 3 = Identificação por comparação do espetro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*4-etiltolueno).

Tabela 5. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "5". Tubo 638380. Data de análise: 2021/11/30.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.§	Concentração (µg/m³)
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	16,8
heptano	142-82-5	1	7,57
tolueno	108-88-3	1	40,9
2,4-dimetil-3-pentanona	565-80-0	3**	3,26
hexanal	66-25-1	1	8,68
etilbenzeno	100-41-4	1	6,81
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	21,4
o-xileno	95-47-6	1	6,09
α-pineno	80-56-8	1	62,7
3-etiltolueno	620-14-4	3***	4,07
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-7	1	6,51
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	2,34
limoneno	138-86-3	1	4,00
álcool benzílico	100-51-6	1	1,63
Texanol	25265-77-4	1	9,21
benzeno	71-43-2	1	2.15
ácido acético	64-19-7	1	4.81
COVsT	---	---	288

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa. Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **4-metil-2-pentanona; ***4-etiltolueno).

Tabela 6. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "6". Tubo 638690. Data de análise: 2021/11/30.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
acetato de etilo	141-78-6	1	4,43
1-butanol	71-36-3	1	38,5
metacrilato de metilo	80-62-6	1	3,96
propilenoglicol	57-55-6	1	288
ácido isobutírico	79-31-2	3*	16,5
tolueno	108-88-3	1	3,94
acetato de butilo	123-86-4	1	17,2
acetato de 1-metoxi-2-propilo	108-65-6	1	4,24
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	3,55
n-butil éter	142-96-1	1	15,9
decano	124-18-5	1	10,8
2-(2-etoxietoxi)etanol	111-90-0	1	37,0
undecano	1120-21-4	1	5,36
nonanal	124-19-6	1	1,90
2,2,4-trimetil-1,3-pentanediol	144-19-4	2	8,09
2-(2-butoxietoxi)etanol	112-34-5	1	39,2
dodecano	112-40-3	1	2,52
texanol	25265-77-4	1	639
TXIB	6846-50-0	1	4,94
benzeno	71-43-2	1	0,99
ácido acético	64-19-7	1	32,4
COVsT	---	---	1306

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*ácido isovalérico).

Determinação da Concentração de Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.017
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

Tabela 7. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "7". Tubo 753065. Data de análise: 2021/12/02.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
acetato de etilo	141-78-6	1	3,78
butanol	71-36-3	1	7,08
tolueno	108-88-3	1	4,08
2-butoxietanol	111-76-2	1	9,09
limoneno	138-86-3	1	6,23
Texanol	25265-77-4	1	4,60
benzeno	71-43-2	1	0,94
ácido acético	64-19-7	1	19,1
COVsT	---	---	135

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa.

Tabela 8. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "8". Tubo 753074. Data de análise: 2021/12/02.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
acetato de etilo	141-78-6	1	3,39
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	2,66
butanol	71-36-3	1	6,97
heptano	142-82-5	1	5,30
tolueno	108-88-3	1	18,9
etilbenzeno	100-41-4	1	3,62
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	12,4
α-pineno	80-56-8	1	5,08
3-etiltolueno	620-14-4	3**	8,46
1,2,4-trimetilbenzeno	95-63-7	1	10,1
álcool benzílico	100-51-6	1	6,63
Texanol	25265-77-4	1	19,0
benzeno	71-43-2	1	1,08
ácido acético	64-19-7	1	10,6
COVsT	---	---	207

§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*1-butanol; ** 4-etiltolueno).

Tabela 9. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "9". Tubo 753080. Data de análise: 2021/12/02.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant. §	Concentração (µg/m³)
acetato de etilo	141-78-6	1	6,87
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	4,71
1-butanol	71-36-3	1	20,8
1-metoxi-2-propanol	107-98-2	1	18,3
pentanal	110-62-3	3**	38,6
propilenoglicol	57-55-6	1	5,01
ácido isobutírico	79-31-2	3***	4,58
1-pentanol	71-41-0	2	5,23
tolueno	108-88-3	1	40,0
ácido butanóico	107-92-6	3***	3,45
isobutenil metil cetona	141-79-7	3*	46,7
hexanal	66-25-1	1	111
acetato de butilo	123-86-4	1	13,6
furfural	98-01-1	1	11,1
álcool diacetónico	123-42-2	3*	18,1
2-n-butilacroleína	1070-66-2	3**	6,22
etilbenzeno	100-41-4	1	2,14
acetato de 1-metoxi-2-propilo	108-65-6	1	25,8
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	8,12
ácido pentanóico	109-52-4	3***	3,23
2-heptanona	110-43-0	3*	3,55
o-xileno	95-47-6	1	5,55
heptanal	111-71-7	3**	11,1
2-butoxietanol	111-76-2	1	65,7
α-pineno	80-56-8	1	8,09

Determinação da Concentração Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.017
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

Tabela 9. Níveis dos compostos identificados na amostra referente ao local "9". Tubo 753080. Data de análise: 2021/12/02.

Composto	CAS	Categoria Ident./Quant.º	Concentração (µg/m³)
acetato de etilo	141-78-6	1	6,87
2-metil-1-propanol	78-83-1	3*	4,71
1-butanol	71-36-3	1	20,8
1-metoxi-2-propanol	107-98-2	1	18,3
pentanal	110-62-3	3**	38,6
propilenoglicol	57-55-6	1	5,01
ácido isobutírico	79-31-2	3***	4,58
1-pentanol	71-41-0	2	5,23
tolueno	108-88-3	1	40,0
ácido butanóico	107-92-6	3***	3,45
isobutenil metil cetona	141-79-7	3*	46,7
hexanal	66-25-1	1	111
acetato de butilo	123-86-4	1	13,6
furfural	98-01-1	1	11,1
álcool diacetónico	123-42-2	3*	18,1
2-n-butilacroleína	1070-66-2	3**	6,22
etilbenzeno	100-41-4	1	2,14
acetato de 1-metoxi-2-propilo	108-65-6	1	25,8
m/p-xileno	108-38-3/106-42-3	1	8,12
ácido pentanóico	109-52-4	3***	3,23
2-heptanona	110-43-0	3*	3,55
o-xileno	95-47-6	1	5,55
heptanal	111-71-7	3**	11,1
2-butoxietanol	111-76-2	1	65,7
α-pineno	80-56-8	1	8,09

Determinação da Concentração Compostos Orgânicos Voláteis
Relatório Nr. ISA.2021.017
Universidade Católica Portuguesa

© INEGI todos os direitos reservados

benzaldeído	100-52-7	1	7,24
1-heptanol	111-70-6	2	5,00
ácido hexanóico	142-62-1	1	15,8
2-pentilfurano	3777-69-3	2	5,17
octanal	124-13-0	1	8,43
2-etil-1-hexanol	104-76-7	1	3,12
nonanal	124-19-6	1	6,74
cânfora	76-22-2	2	9,80
α -cubebeno	17699-14-8	2	29,0
copaeno	3856-25-5	2	4,45
γ -muuroloeno	30021-74-0	2	4,60
α -muuroloeno	10208-80-7	2	27,9
(-)- β -cadineno	523-47-7	2	16,2
(-)-calameneno	483-77-2	2	39,7
α -calacoreno	21391-99-1	2	6,05
benzeno	71-43-2	1	0,91
ácido acético	64-19-7	1	770
COVsT	---	---	1496


§ Categoria de Identificação e Quantificação:

1 = Identificação inequívoca, usando calibração específica do composto e confirmada pelo recurso à biblioteca de espectros de massa. 2 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, sendo esta identificação também suportada por informação complementar. Níveis calculados usando o fator de resposta do tolueno. 3 = Identificação por comparação do espectro de massa obtido com o existente numa biblioteca de espectros de massa, Níveis calculados usando o fator de resposta de um composto similar (*butanol; **hexanal; ***ácido isovalérico; ^ciclohexanona; ^^octanal).

5. REFERÊNCIAS

- 1) ISO 16000-6:2011, Indoor air – Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID.
- 2) ISO 16017-2 (2003). Indoor, ambient and workplace air - Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography - Part 2: Diffusive sampling.

Porto, 16 de dezembro 2021



(Investigadora)

[Assinatura
Qualificada] Gabriela
Ventura Alves da Silva

Digitally signed by [Assinatura
Qualificada] Gabriela Ventura
Alves da Silva
Date: 2021.12.16 17:22:45 Z

Lista de comunicações e publicações

PUBLICAÇÕES

Barbosa, K., Moreira, P., & Vieira, E. (2019). *The showcases of the paintings of the Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand, MASP-Brazil. The Lina Bo Bardi museum project and the evolution in conservation | As vitrines das pinturas do Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand, MASP-Brasil*. *Ge-Conservacion*, 15, 18–26.

Barbosa, K., Ferreira, T., Moreira, P., & Vieira, E. (2021). *Monitorização de gases poluentes em microclimas de museus: estratégia relevante para a conservação preventiva*. *Conservar Património*, 38, 22–34. <https://doi.org/10.14568/2020069>.

Barbosa, K., Moreira, P., Ferreira, T., & Vieira, E. (2023). *Estudo comparativo dos poluentes gasosos detectados no interior de uma vitrine e na galeria expositiva do Museu Coleção Berardo, Lisboa*. *Periódico Permanente*, v. 11, n. 10 (no prelo).

COMUNICAÇÕES

Barbosa, K.; Moreira, P.; Ferreira, T.; Vieira, E. *Prática de monitoramento de gases poluentes em microclimas de museus: relevante estratégia na conservação preventiva*. V Encontro Luso-Brasileiro de Conservação e Restauro - Universidade Católica Portuguesa, Porto - 9 e 10 de dezembro de 2019.

Vieira, E. e Barbosa, K. *Sustentabilidade na Investigação da área foco de Património, Conservação e Restauro do CITAR*. Simpósio "Conservação do Património Cultural e Sustentabilidade: desafios e experiências". Auditório do Museu Benfica - Cosme e Damião. Lisboa, 14 de outubro de 2019.

Barbosa, K. *Poluentes em museus, bibliotecas e arquivos: O conhecimento como ferramenta fundamental para uma melhor gestão de riscos*. MAST Colloquia 2022. Museu de Astronomia e Ciências Afins. Rio de Janeiro, 22 de setembro de 2022.

Posters em encontros científicos internacionais

Barbosa, K.; Ferreira, T.; Moreira, P.; Vieira. *Berardo Museum: a preliminary investigation of VOCs in the museum environment inside vitrine with contemporary painting*. 14th International Conference on Indoor Air Quality in Heritage and Historic Environments – IAQ 2020. University of Antwerp – October 12 to October 16, 2020 (poster + pitch talk).

Barbosa, K.; Ferreira, T.; Moreira, P.; Vieira. *Gas pollutants (VOCs) in museum environment: the invisible risk. A case study in the Berardo Museum*. Encontro com a Ciência e a Tecnologia em Portugal. Ciência 2020. 3 a 4 de novembro 2020. Centro de Congressos de Lisboa.