



Joana Filipa Cano do Amaral

Licenciada em Conservação-Restauração

**Estudo das condições de exposição da
coleção de ourivesaria portuguesa do
Museu Nacional de Arte Antiga**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Conservação e Restauro

Orientadora: Professora Sara Leite Fragoso (DCR, FCT/UNL)

Co-orientadora: Mestre Luísa Penalva (MNAA)

Co-orientadora: Doutora Susana Marta Almeida (C²TN)

Consultora: Professora Doutora Maria Filomena M. A. de
Macedo Dinis (DCR, FCT/UNL)

Júri:

Presidente: Professora Doutora Maria João Seixas de Melo

Arguente: Professora Doutora Paula Cristina Menino Duarte Homem



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2017

Joana Filipa Cano do Amaral

Licenciada em Conservação-Restauro

**Estudo das condições de exposição da coleção de ourivesaria
portuguesa do Museu Nacional de Arte Antiga**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Conservação e Restauro

Orientadora: Professora Sara Leite Fragoso

Co-orientadora: Mestre Luísa Penalva

Co-orientadora: Doutora Susana Marta Almeida

Consultora: Professora Doutora Maria Filomena M. A. de Macedo Dinis

Setembro, 2017

Estudo das condições de exposição da coleção de ourivesaria portuguesa do Museu Nacional de Arte Antiga

Copyright © 2017 Joana Amaral
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Sara Fragoso, por ter aceite entrar nesta aventura e pelo entusiasmo sempre demonstrado, e por desde cedo ter-me despertado a curiosidade pelos metais.

Agradecer também as minhas co-orientadoras, Mestre Luísa Penalva por ter aceite participar neste trabalho e por me abrir a porta para o estudo desta magnífica coleção; e Doutora Marta Almeida por me ter guiado e ajudado numa área nova e por ter demonstrado uma enorme curiosidade em conhecer também uma nova área. À Professora Doutora Maria Filomena Dinis, por todo o entusiasmo demonstrado desde o início e pela curiosidade em entrar no mundo dos metais.

Um enorme agradecimento ao André Afonso, por toda a ajuda com as informações no MNAA; as Dr^a Lília Esteves e Dr^a Ana Machado, do Laboratório José de Figueiredo, pela identificação das madeiras e dos têxteis; ao Dr. Luís Alves, do C²TN, pela realização das análises de PIXE; à equipa da Dr^a Marta por me ter recebido e ajudado; à Doutora Andreia Lopes, do CENIMAT, pela realização das análises de DRX; à Professora Augusta Lima, DCR FCT/UNL, por me disponibilizar as notas das indicações feitas ao MNAA para o expositor da *Custódia de Belém*.

Aos que desde o início começaram este percurso comigo, e que se tornaram num porto de abrigo para todos os momentos, Soraia Teixeira, Daniela Melo, Susana Pimentel, Mafalda Santiago e Artur Neves, agradeço por todos os momentos que passamos juntos, por todo o apoio, encorajamento, opiniões e ensinamentos. E as meninas com quem partilhei o local de trabalho no último ano, com quem pude discutir e pedir opiniões sobre este trabalho, Rita Ramalhinho, Inês Borges, Sara Louro e Ângela Santos, e à Vera Gomes, mesmo tendo estado longe.

As cinco melhores amigas de sempre, que em todas as ocasiões, me apoiam, aconselham, ensinam, e que nunca não me deixaram ficar mal quando as coisas não estavam fáceis, a cinco anos ganhei cinco irmãs de quem nunca me vou esquecer e de quem não me vou separar!

Aos meus pais, à minha irmã, e a toda a família que permitiram que eu seguisse sempre em frente e por estarem sempre cá para me apoiar, e que muitas vezes tiveram que suportar dias menos bons e ausências constantes, e nunca me deixaram mal. Obrigada a todos!

Aos meus padrinhos, Milton e João, à minha madrinha, Joana, as minhas afilhadas, Joana, Mía, Inês e Vanessa, fizeram-me ganhar outra família neste percurso. Obrigada por me fazerem crescer! E a restante família!

À Catarina por ser uma amiga fantástica e me aturar inúmeras vezes, e à Márcia por fazer com que este percurso tenha sido mais animado.

À Vanessa, à Tatiana e à Paula por toda a ajuda e apoio neste percurso!

À Sara (e ao André), à Beatriz, ao Diogo, ao Afonso, ao Vasco e ao Gonçalo, por fazerem parte da minha vida desde que me lembro, me apoiarem e ajudarem a ser a pessoa que sou hoje! Temos crescido juntos e apesar de tudo, vocês são eternos!

À Catarina Brito e à Joana Santos por estarem sempre prontas para me ouvir e ajudar!

E a todos os que de uma forma ou de outra me ajudaram e apoiaram nesta etapa!

Resumo

A presente dissertação teve como caso de estudo as salas de exposição permanente de *Ourivesaria Portuguesa* do Museu Nacional de Arte Antiga. Os principais objetivos deste trabalho foram conhecer as suas condições de exposição atuais, identificando os riscos específicos para a coleção e perceber o processo de deterioração das peças de prataria, uma vez que é o material mais abundante da exposição. Toda esta informação tem como objetivo final fornecer ao museu novas orientações para a seleção de materiais na futura remodelação destas salas, que está prevista para daqui a um ano.

Para a concretização deste estudo foi necessário conhecer as características do museu, das salas de exposição e expositores, da coleção exposta e também as características ambientais das salas (p.e. temperatura, humidade relativa, iluminação, qualidade do ar). Com a finalidade de se perceber melhor as condições a que estão expostas as peças, foram colocados cupões de prata esterlina nos expositores para caracterização dos produtos de oxidação, que se formassem. As análises realizadas à qualidade do ar, dentro das salas e expositores, permitiram determinar a concentração de poluentes (p.e. compostos orgânicos voláteis e em específico o formaldeído, ozono e de matérias particuladas). Esta determinação é essencial, para saber que influência estes poluentes podem ter na deterioração das peças. A aquisição destes conhecimentos foi essencial para a realização da avaliação de risco da coleção, através da utilização de um modelo de avaliação de risco – “*Cultural Property Risk Analysis Model*”. Foram por fim realizadas propostas de mitigação para riscos com maior magnitude de risco para a coleção.

Conclui-se que, ao fim de cinco meses de exposição dos cupões de prata esterlina, existem alterações que se conseguiram detetar por μ -Raman, como oxigénio adsorvido na superfície, a formação inicial de óxidos e hidróxidos de prata, e eventualmente óxidos de cobre. No entanto, apenas se podem fazer possíveis atribuições, uma vez que os estudos desta liga são escassos. A avaliação de risco mostrou que os agentes mais preocupantes para a coleção são a presença de poluentes e a humidade relativa incorreta.

Palavras chave: MNAA, Ourivesaria, Coleção, Poluentes, Prata esterlina, μ -Raman, Avaliação de risco, CPRAM

Abstract

The present master thesis has as case-study the permanent exhibition rooms of Silver and Gold Portuguese Collection from the Museu Nacional de Arte Antiga (National Museum of Ancient Art). The main objectives of this work were: to know the collection's current exposure conditions, identifying the specific risks to the collection and to perceive the deterioration of the silver pieces, since it is the most abundant material of the exhibition. As a final result, our objective is to provide the museum with new guidelines for the selection of materials for the future remodelling of the storage rooms that will occur next year.

For the concretization of this study it was necessary to know the characterization of the museum, the exhibition rooms, the display cases, the collection exposed, and the environmental conditions (e.g. temperature, relative humidity, illumination, air quality). In order to know the condition of the silverware exhibit, coupons of sterling silver were placed in the exhibitors for the characterization of oxidation products. The analyses of air quality, performed in storage rooms and inside the display cases, consisted in measuring the concentration of pollutants (e.g. volatile organic compounds and specifically the formaldehyde, ozone and particulate matter), to know the possible influence on silverware deterioration. The acquisition of this knowledge was fundamental for the achievement of the collection risk assessment, based on a risk analysis model – “*Cultural Property Risk Analysis Model*”. Mitigation proposals were suggested, for the main risks found for this collection.

It was observed that, after, five months of the sterling silver coupons' exposure, alterations could be detected by μ -Raman analysis, such as chemisorbed molecular oxygen species, and initial formation of silver oxides and hydroxides, and eventually copper oxides. However, only possible attributions of the observed bands can be made, since the studies of this alloy are scarce. The risk analysis results indicate that pollutants and incorrect relative humidity are the generic risks with greatest impact on this collection.

Key words: MNAA, Silver and Gold, Collection, Pollutants, Sterling silver, μ -Raman, Risk assessment, CPRAM

Publicações

Apresentação de um poster na 9th *International Congress on the Application of Raman Spectroscopy in Art and Archaeology*, 24rd – 27rd October 2017, em Évora, Portugal, intitulado *A Study on Silver degradation of Silver and Gold Collection within display cases of the Museu Nacional de Arte Antiga (Lisbon, Portugal)*, Joana Amaral, Maria Filomena Macedo, Susana Marta Almeida, Luísa Penalva, Luís Alves, Andreia Lopes, Sara Leite Fragoso.

Índice de conteúdos

| | |
|--|-----------|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Objetivos | 1 |
| 3. Museu Nacional de Arte Antiga | 2 |
| 3.1. Contexto Histórico..... | 2 |
| 3.1.1. Caraterização da área envolvente | 2 |
| 3.1.2. Caraterização do edifício | 3 |
| 3.2. Coleção de Ourivesaria Portuguesa do Museu Nacional de Arte Antiga..... | 3 |
| 3.2.1. Salas de exposição da coleção de ourivesaria portuguesa: em estudo..... | 4 |
| 4. Materiais e Métodos | 7 |
| 4.1. Mini-revisão da literatura | 7 |
| 4.2. Inventário das peças | 7 |
| 4.3. Caracterização das condições ambientais..... | 7 |
| 4.3.1. Temperatura e Humidade relativa..... | 7 |
| 4.3.2. Radiação ultravioleta e visível..... | 7 |
| 4.3.3. Qualidade do ar das salas em estudo | 8 |
| 4.3.3.1. Métodos Passivos | 8 |
| 4.3.3.1.1. Filtros passivos | 8 |
| 4.3.3.1.2. Teste dos cupões metálicos | 8 |
| 4.3.3.1.2.1. Caracterização dos produtos formados na superfície dos cupões | 9 |
| 4.3.3.1.2.1.1. Micro-Espetroscopia por Fluorescência de Raio-X Dispersiva de Energias (μ -FRX-DE) | 9 |
| 4.3.3.1.2.1.2. Difração de Raios-X (DRX)..... | 9 |
| 4.3.3.1.2.1.3. Micro-Espetroscopia Raman (μ -Raman)..... | 9 |
| 4.3.3.2. Métodos Ativos | 10 |
| 4.3.3.2.1. Bombas <i>SKC</i> | 10 |
| 4.3.3.2.2. Medições de poluentes em contínuo..... | 10 |
| 4.3.3.3. Análise dos filtros: Emissão de Raio-X Induzida por Partículas (PIXE) | 11 |
| 4.4. Avaliação de risco: “ <i>Cultural Property Risk Analysis Model</i> ” | 11 |
| 5. Apresentação e discussão de resultados | 13 |
| 5.1. Mini-revisão da literatura: Poluentes em museus vs. Coleções de prata..... | 13 |
| 5.2. Caracterização das condições ambientais..... | 16 |
| 5.2.1. Temperatura e Humidade relativa..... | 16 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 5.2.2. | Qualidade do ar das salas em estudo | 17 |
| 5.2.2.1. | Resultados da análise dos filtros por PIXE | 19 |
| 5.2.3. | Caracterização dos cupões exposto no museu | 21 |
| 5.2.3.1. | μ -FRX-DE e DRX | 22 |
| 5.2.3.2. | μ -Raman | 23 |
| 5.3. | Avaliação de risco aplicada à coleção de ourivesaria portuguesa exposta no MNAA | 25 |
| 5.3.1 | Forças físicas..... | 25 |
| 5.3.2. | Fogo | 25 |
| 5.3.3. | Água..... | 26 |
| 5.3.4. | Ações criminosas/ Vandalismo..... | 26 |
| 5.3.5. | Temperatura e Humidade relativa incorretas | 26 |
| 5.3.6. | Poluentes e contaminantes | 27 |
| 5.3.7. | Pragas..... | 27 |
| 5.3.8. | Luz | 27 |
| 5.3.9. | Dissociação | 28 |
| 5.3.10. | Propostas de mitigação para os principais riscos..... | 29 |
| 6. | Conclusões | 30 |
| 7. | Referências bibliográficas..... | 31 |
| Anexos | | 35 |
| Anexo I: | Plantas do Museu Nacional de Arte Antiga..... | 35 |
| Anexo II: | Planta das salas | 36 |
| Anexo III: | Tipos de expositores identificados | 37 |
| Anexo IV: | Identificação das fibras têxteis e das madeiras dos expositores | 40 |
| Anexo V: | Inventário das peças expostas | 42 |
| Anexo VI: | Localização dos termo-higrómetros do MNAA | 52 |
| Anexo VII: | Colocação dos filtros passivos..... | 53 |
| Anexo VIII: | Equipamentos de análise da qualidade do ar..... | 54 |
| Anexo IX: | Colocação dos cupões metálicos..... | 55 |
| Anexo X: | Origem dos poluentes que afetam a prata | 56 |
| Anexo XI: | Registos de temperatura e humidade relativa do ano de 2016..... | 57 |
| Anexo XII: | Caraterização dos cupões metálicos | 61 |
| Anexo XII: | Avaliação de risco | 65 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 3.1. Localização do MNAA..... | 2 |
| Figura 3.2. Número de peças da coleção de ourivesaria expostas nas salas 26, 27, 28 e 29, por tipologia..... | 3 |
| Figura 3.3. Composição das peças expostas – Percentagem de matérias constituintes. (Anexo V)..... | 4 |
| Figura 3.4. Planta do piso 2 do MNAA, destaque das salas em estudo – 26, 27, 28 e 29 | 4 |
| Figura 3.5. Planta das salas em estudo com os expositores e respetiva tipologia..... | 5 |
| Figura 4.1. Cupão de prata esterlina colocado dentro de um expositor | 9 |
| Figura 4.2. Esquema de amostragem da recolha de partículas com as bombas <i>SKC</i> | 10 |
| Figura 4.3. Esquema de avaliação da qualidade do ar em contínuo no exterior-sala-expositor-sala-exterior | 11 |
| Figura 5.1. Gráfico da origem dos poluentes que afetam a prata de acordo com a literatura. (Anexo X)..... | 13 |
| Figura 5.2. Percentagem da literatura que menciona o poluente prejudicial para a prata..... | 15 |
| Figura 5.3. Concentrações de poluentes medidos no MNAA. <i>a)</i> e <i>b)</i> Concentração de COVs; <i>c)</i> e <i>d)</i> Concentração de HCHO; <i>e)</i> e <i>f)</i> Concentração de O ₃ . (Ext. - Exterior do museu; Sala - Sala 29; Exp. - Expositor) | 18 |
| Figura 5.4. Concentrações de matérias particuladas (PM) medidas no MNAA (<i>DustTrack</i>) de diversas granulometrias..... | 19 |
| Figura 5.5. Resultados da análise por PIXE, dos filtros de <i>teflon</i> das bombas <i>SCK</i> | 20 |
| Figura 5.6. Resultados das análises por PIXE dos filtros passivos expostos no MNAA. <i>a)</i> Filtros expostos dentro de três expositores da sala 29; <i>b)</i> Filtros expostos na sala 29; <i>c)</i> Filtros expostos no exterior do museu | 21 |
| Figura 5.7. Cupões. <i>a)</i> Cupão não exposto; <i>b) - k)</i> Cupões expostos cerca de cinco meses no MNAA, faces voltadas para cima..... | 22 |
| Figura 5.8. Espectros de μ -FRX-DE dos cupões de Ag-Cu. <i>a)</i> Cupão não exposto; <i>b)</i> Exemplo de um cupão exposto no interior de um expositor | 22 |
| Figura 5.9. Difractogramas dos cupões de Ag-Cu. <i>a)</i> Cupão não exposto; <i>b)</i> Exemplo de um cupão exposto no interior de um expositor (● - Faces da Ag; ● - Faces do Cu) | 23 |
| Figura 5.10. <i>a)</i> e <i>b)</i> Espectros de μ -Raman de cupões expostos no interior dos expositores . | 24 |
| Figura 5.11. Magnitude dos riscos específicos calculados para a coleção em estudo | 28 |
| Figura I.1. Plantas do Museu Nacional de Arte Antiga | 35 |

| | |
|--|----|
| Figura II.1. Planta das salas de exposição de ourivesaria portuguesa do MNAA, com as dimensões | 36 |
| Figura III.1. a) Exemplo de um expositor aberto; b) Pormenor do espaço entre os vidros ... | 37 |
| Figura III.2. a) Exemplo de um expositor estanque com alcatifa; b) Pormenor da união em silicone entre os vidros | 38 |
| Figura III.3. a) Exemplo de um expositor estanque com seda; b) Pormenor da base | 38 |
| Figura III.4. Expositor estanque com seda e com monitorização, destaque para o termo-higrómetro | 39 |
| Figura III.5. Exemplo de um expositor em mesa | 39 |
| Figura IV.1. Bases dos expositores. a) Expositores com alcatifa; b) Expositores com seda; c) Pormenor da seda | 40 |
| Figura IV.2. Amostra de alcatifa. Cortes longitudinais - a), b), c), d). Cortes transversais - e), f), g), h)..... | 40 |
| Figura IV.3. Amostra da madeira intermédia (coloração escura). a) Secção longitudinal; b) Secção transversal | 41 |
| Figura IV.4. Amostra de madeira inferior (coloração clara). a) Secção longitudinal; b) Secção transversal..... | 41 |
| Figura IV.5. Amostra de tecido. a) Corte longitudinal; b) Corte transversal | 41 |
| Figura VI.1. Planta com a localização dos termo-higrómetros nas salas em estudo | 52 |
| Figura VII.1. Locais onde foram colocados os filtros passivos..... | 53 |
| Figura VIII.1. Bomba SKC | 54 |
| Figura VIII.2. WolfSense | 54 |
| Figura VIII.3. DustTrack 8533 | 54 |
| Figura VIII.4. Formaldemether | 54 |
| Figura IX.1. Locais onde foram colocados os cupões metálicos, e respetiva quantidade colocada em cada local..... | 55 |
| Figura XI.1. a) Gráfico de temperaturas da sala 26 no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa na sala 26 no ano de 2016 | 57 |
| Figura XI.2. a) Gráfico de temperaturas da sala 27 no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa na sala 27 no ano de 2016 | 58 |
| Figura XI.3. a) Gráfico de temperaturas da sala 29 no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa na sala 29 no ano de 2016 | 59 |
| Figura XI.4. a) Gráfico de temperaturas do expositor 8, na sala 29, no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa do expositor 8, na sala 29, no ano de 2016..... | 60 |

Índice de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 4.1. Critérios definidos para a perda de valor e respectivos exemplos | 12 |
| Tabela 5.1. Tipo de deterioração causada pelo poluente na prata..... | 16 |
| Tabela 5.2. Valores de temperatura e humidade relativa mínimos (mín.) e máximos (máx.), média e desvio padrão (DP) relativos ao ano de 2016 | 17 |
| Tabela III.1. Medidas dos espaçamentos entre os vidros dos expositores "abertos" | 37 |
| Tabela V.1. Peças expostas na sala 26 | 42 |
| Tabela V.2. Peças expostas na sala 27 | 43 |
| Tabela V.3. Peças expostas na sala 28 | 46 |
| Tabela V.4. Peças expostas na sala 29 | 47 |
| Tabela VIII.1. Nome e imagem dos equipamentos ativos de análise da qualidade do ar utilizados | 54 |
| Tabela X.1. Origem dos poluentes que afetam a prata, segundo a literatura | 56 |
| Tabela XI.1. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, na sala 26, no ano de 2016..... | 57 |
| Tabela XI.2. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, na sala 27, no ano de 2016..... | 58 |
| Tabela XI.3. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, na sala 29, no ano de 2016..... | 59 |
| Tabela XI.4. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, no expositor 8 da sala 29, no ano de 2016..... | 60 |
| Tabela XII.1. Caracterização dos cupões metálicos expostos no MNAA, por μ -FRX-DE e DRX | 61 |
| Tabela XII.2. Caracterização dos cupões expostos no MNAA, por μ -Raman | 62 |
| Tabela XIII.1. Riscos específicos relativos as forças físicas e magnitude dos riscos | 65 |
| Tabela XIII.2. Riscos específicos relativos ao fogo e magnitude dos riscos..... | 65 |
| Tabela XIII.3. Riscos específicos relativos á água e magnitude dos riscos | 65 |
| Tabela XIII.4. Riscos específicos relativos as ações criminosas/ vandalismo e magnitude dos riscos..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Tabela XIII.5. Riscos específicos relativos á temperatura e humidade relativa incorretas e magnitude dos riscos | 65 |
| Tabela XIII.6. Riscos específicos relativos aos poluentes e magnitude dos riscos | 66 |
| Tabela XIII.7. Riscos específicos relativos as pragas e magnitude dos riscos | 66 |

Abreviaturas e Símbolos

DCR – Departamento de Conservação e Restauro

FCT/UNL – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

MNAA – Museu Nacional de Arte Antiga

C²TN – Centro Técnico Nuclear

CENIMAT – Centro de Investigação em Materiais

HR – Humidade relativa

T – Temperatura

μ-FRX-DE – Micro-Espectroscopia por Fluorescência de Raio-X Dispersiva de Energias

DRX – Difração de Raio X

PIXE – Emissão de Raio-X Induzida por Partículas

CPRAM – *Cultural Property Risk Analysis Model*

PM – Matéria particulada

AVAC – Sistema de aquecimento, ventilação e ar-condicionado

DP – Desvio padrão

1. Introdução

Nas coleções museológicas com prata, têm sido ao longo dos anos identificados problemas de escurecimento das peças, contudo a maioria dos estudos foca-se apenas na prata, quando na realidade as peças expostas são na grande maioria ligas de prata-cobre [1], não retratando assim de forma correta estas coleções. Estudos mais recentes começam agora a ser realizados em prata esterlina (92,5% Ag – 7,5% Cu) [2,3]. O escurecimento da prata tem sido relacionado com a exposição desta a atmosferas poluídas, principalmente com enxofre no estado reduzido, contudo existem outros poluentes envolvidos [1]. Por outro lado, os estudos levados a cabo em contextos reais são poucos e não analisam de forma direta a qualidade do ar do local [3].

A coleção de ourivesaria do Museu Nacional de Arte Antiga (MNAA) foi selecionada para este estudo, por ser a mais rica do país, englobando peças de grande valor histórico, e pelo facto deste estudo poder contribuir com informações que auxiliem à renovação das salas de exposição desta coleção, que está prevista decorrer no próximo ano.

2. Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo estudar as condições atuais das salas de exposição permanente de ourivesaria portuguesa do MNAA, indicando quais os riscos específicos mais prejudiciais para a coleção e perceber quais os fenómenos de deterioração das peças de prataria expostas, de forma a permitir implementar procedimentos que mitiguem a deterioração. Este trabalho pretende fornecer à instituição novas orientações quanto à seleção de materiais de construção, definição e tipologia de construção para novos expositores, e assim, contribuir para uma tomada de decisão mais informada que auxilie a remodelação destas salas.

Para atingir este objetivo geral foi necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Conhecer o Museu e a sua área envolvente;
- b) Conhecer a coleção de ourivesaria e o seu estado de preservação;
- c) Conhecer o atual espaço de exposição, materiais de construção das salas e expositores;
- d) Análise de risco aplicada à coleção de ourivesaria portuguesa do MNAA;
- e) Propostas para a mitigação dos principais riscos.

3. Museu Nacional de Arte Antiga

3.1. Contexto Histórico

O edifício que constitui hoje o MNAA foi mandado construir por D. Francisco de Távora (1º conde de Alvor), durante o século XVII, com função residencial. Depois da sua morte, em 1710, mudou sucessivamente de proprietário, até que nos finais do século XVIII foi adquirido pelo primeiro Conde de Oeiras e Marquês de Pombal, sendo propriedade da família durante um século, ficando assim conhecido por Palácio Alvor-Pombal [4].

Nos finais do século XIX, e depois da *Exposição Retrospectiva de Arte Ornamental Portuguesa e Espanhola* (1882), o edifício foi adquirido pelo Estado, com a finalidade de instalar um museu de belas artes [4]. Assim, em 1884, foi criado o Museu Nacional de Belas Artes e Arqueologia, que em 1911, passou a designar-se Museu Nacional de Arte Antiga, com missão de albergar apenas a parte da coleção entre a fundação de Portugal até aos primeiros anos do século XIX [4].

Adjacente ao palácio encontrava-se em tempos um convento feminino, fundado em 1584 – Convento de Santo Alberto –, que após a extinção das ordens religiosas, em 1834, foi desativado; em 1918 o seu elevado estado de deterioração levou à sua demolição, da sua existência hoje apenas resta a capela – Capela das Albertas [5]. No local onde se erguia o convento foi construída, em 1930, a ala mais recente do museu, designada de Anexo, sendo inaugurada em 1940 com a exposição *Primitivos Portugueses, 1450 – 1550* [4].

3.1.1. Caracterização da área envolvente

O MNAA localiza-se no alto da Rua das Janelas Verdes, na Freguesia de Santos-o-Velho, no concelho e distrito de Lisboa, junto ao Rio Tejo e a zona portuária de Alcântara (Fig.3.1), sendo as suas coordenadas 38.704516 de latitude e -9.162278 de longitude. A envolvente do museu é uma área urbana marítima com bastante tráfego automóvel, sendo classificada como de baixa vulnerabilidade sísmica [6].



Figura 3.1. Localização do MNAA [7].

3.1.2. Caracterização do edifício

O edifício que comporta o MNAA é formado pela articulação de três núcleos, como referido atrás – Palácio Alvor-Pombal (planta retangular simples e com cobertura em telhado de dez águas), igreja do Convento de Santo Alberto (planta retangular e cobertura em telhado de duas águas), e o Anexo (planta retangular simples, com três torreões nos ângulos e corpo central posterior elevado, a cobertura é feita com telhados de seis, quatro e duas águas). A articulação destes três núcleos confere-lhe uma planta retangular irregular e escalonada (Anexo I) [5].

A estrutura do Museu é em alvenaria mista de calcário e tijolo, com vigas de betão, sendo as paredes rebocadas e pintadas, e telhado em telha; alguns elementos são em calcário lioz [5]. O pavimento das salas de exposição é em madeira e alcatifa [5]. É considerada uma estrutura autoportante (suporta o seu peso) [5]. O museu possui duas entradas, a principal voltada a oeste e a lateral a norte; a entrada principal possui dois pares de portas em vidro antes do átrio de entrada do museu.

3.2. Coleção de Ourivesaria Portuguesa do Museu Nacional de Arte Antiga

A coleção, em estudo, corresponde à coleção de ourivesaria portuguesa, onde se pode observar um importante conjunto de peças de arte sacra (dos séc. XII–XIX) e outro de prataria civil (Fig.3.2) [8].

A coleção de ourivesaria do MNAA representa o percurso desta arte decorativa ao longo de oito séculos, reunindo peças com importante valor artístico e histórico, permitindo, assim, observar a importância e mérito da ourivesaria em Portugal [8]. Das peças constituintes da coleção podem destacar-se a *Custódia de Belém*, a *Custódia dos Paço da Bemposta*, o *Báculo do Convento Avé Maria*, o *Relicário da Madre de Deus* entre outras. A origem das peças desta coleção deve-se, em grande parte, à apreensão dos bens das ordens religiosas, para a Real Academia das Belas Artes, com a finalidade de as tutelar. Em 1910, foram incorporadas peças provenientes de igrejas e de coleções régias e em 1981 o legado de Barros e Sá completou a coleção de ourivesaria com peças do século XV ao XX [4].

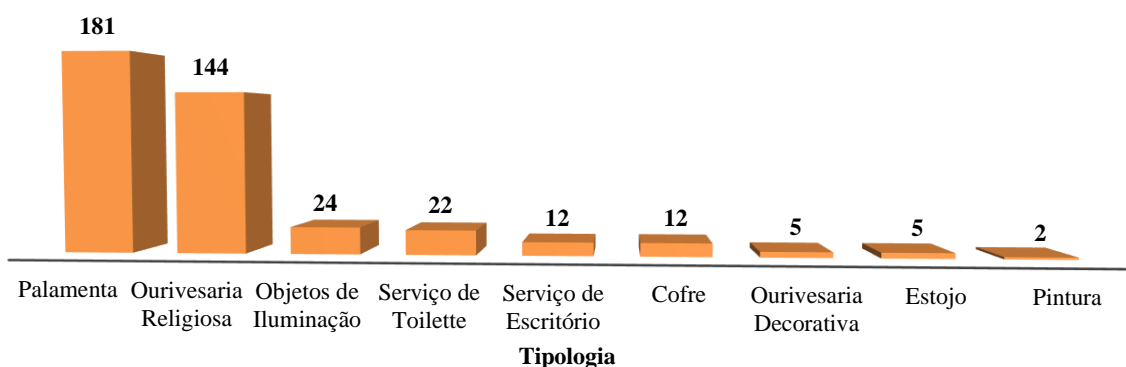


Figura 3.2. Número de peças da coleção de ourivesaria expostas nas salas 26, 27, 28 e 29, por tipologia.

Da coleção de ourivesaria portuguesa do MNAA encontram-se expostos cerca de 400 exemplares. Estas peças são constituídas, na sua maioria, por ligas de prata e prata dourada, encontrando-se ainda peças em ouro, e noutros metais, tais como ligas de cobre; a coleção possui exemplares compósitos, isto é, compostos por mais que um material, entre esses existem madeiras, têxteis, esmaltes, pedras preciosas, tartaruga, madre-peróla, vidros, entre outros (Fig.3.3) (Anexo V).

Em estudos anteriores realizados pelo museu [9,10] caracterizaram-se algumas peças da coleção em prata, tendo sido identificadas ligas de prata-cobre (Ag-Cu). No estudo mais detalhado de algumas peças foram identificadas composições de Ag-Cu com 95%-5%, 98%-2% e 89%-11% [10].

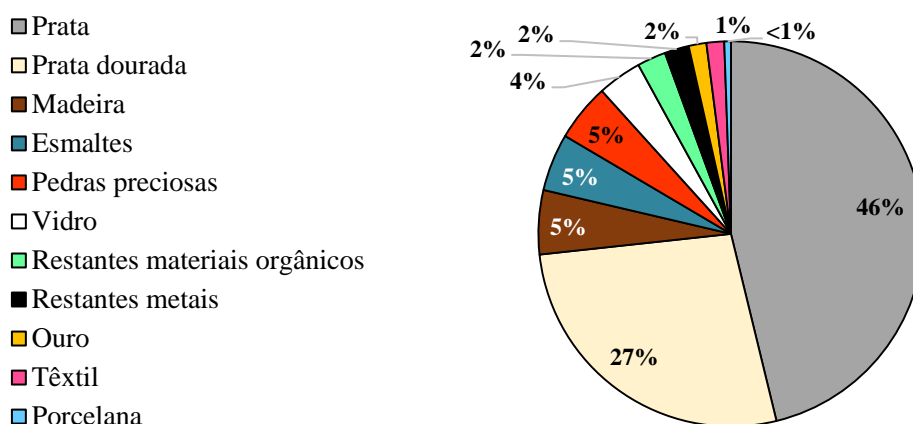


Figura 3.3. Composição das peças expostas – Percentagem de matérias constituintes. (Anexo V)

3.2.1. Salas de exposição da coleção de ourivesaria portuguesa: em estudo

Os exemplares da coleção de ourivesaria portuguesa expostos, encontram-se nas salas 26, 27, 28 e 29 (Fig.3.4) – salas de *Exposição Permanente de Ourivesaria Portuguesa*. No entanto encontram-se expostas mais sete peças, de outras tipologias, nestas salas (Fig.3.2), totalizando 407. Essas sete incluem duas pinturas sobre madeira (expostas nas salas 28 e 29) e cinco estojos de peças. Estas salas localizam-se no edifício do Anexo, no piso 2, ao cimo da escadaria do átrio da entrada do museu pela porta principal, e são antecedidas pela sala 30 (Sala de Joalharia) do lado direito e pela sala 25 (Sala de Cerâmica) do lado esquerdo.

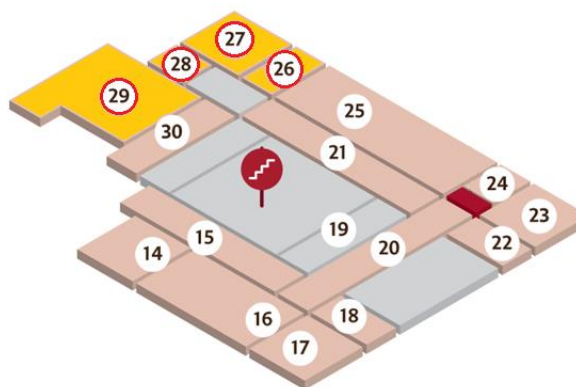


Figura 3.4. Planta do 2º piso do Anexo, destaque das salas em estudo – 26, 27, 28 e 29 [11].

A disposição das salas é em “L”, como se pode observar pela planta (Fig.3.5), a sala de maiores dimensões é a 29 e a de menores dimensões a 28 (Anexo II Fig.II.1); possui duas entradas, uma pela sala 29 e outra pela sala 26, com portas deslizantes que se encontram abertas durante todo o horário de abertura ao público (das 10h às 18h). As paredes das salas são em estuque pintado de *bordeaux* (tinta de água) e o pavimento é em alcatifa de tom acinzentado.

A exposição das peças é feita dentro de expositores, que são identificados por um número – começando sempre em “1” em cada sala – e por letras, “A” e “B” (Fig.3.5). De acordo com as suas características formais e de estanquicidade, foram considerados cinco tipo de expositores:

a) “abertos” (mais identificados – 19) (Anexo III Fig.III.1), os vidros não possuem união entre si, e a base é em alcatifa de fibras artificiais e sintéticas sobre madeira de pinho e mussibi (Anexo IV Fig.IV.2 – 4);

b) “estanques”, com alcatifa (Anexo III Fig.III.2), os vidros têm união entre si em silicone, aplicado na fábrica, marca *Rothstein*, mas do qual não foi possível saber a composição;

c) “estanques”, com seda (Anexo III Fig.III.3), idênticos aos anteriores, mas com a base a seda natural (Anexo IV Fig.IV.5);

d) “estanque”, com seda e com monitorização de temperatura e humidade relativa (expositor da *Custódia de Belém*) (Anexo III Fig.III.4);

e) “mesa” (“A” e “B”) (Anexo III Fig.III.5), a base é em madeira forrada a seda e são fechados (com silicone) com uma caixa de vidro com calhas metálicas.

Todos os expositores, com exceção do expositor 1 da sala 26, do expositor 1 da sala 28 e dos expositores “A”, “B”, 2, 8 e 9 da sala 29, têm as prateleiras em vidro, suportadas por cabos de aço, presos ao topo e a base do expositor, e por travões metálicos colocados por baixo de cada canto da prateleira – na sua maioria – o que ao movimentar as peças provoca oscilação.

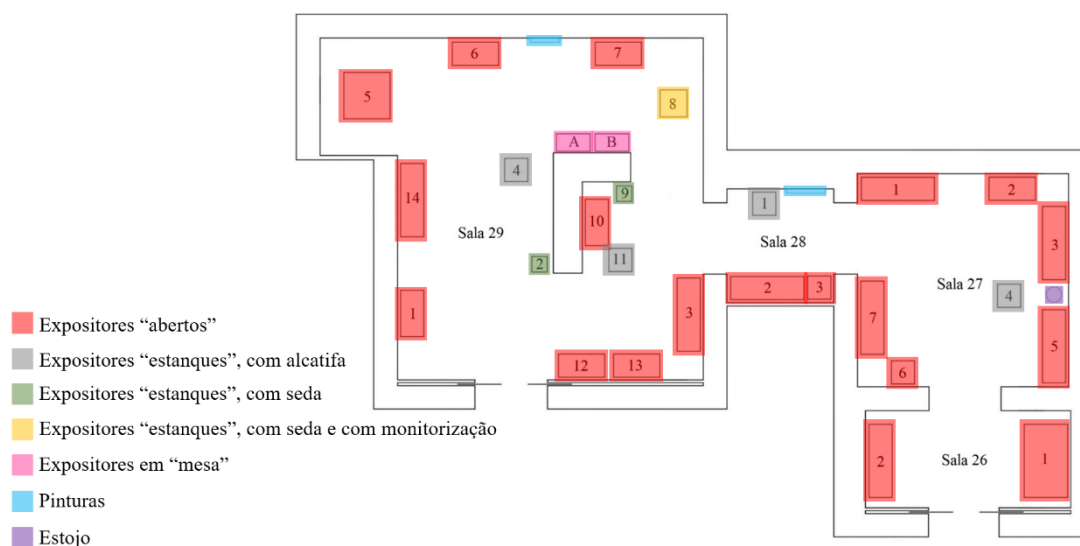


Figura 3.5. Planta das salas em estudo com os expositores e respetiva tipologia.

No que respeita à iluminação todos os expositores, com exceção do “A” e do “B”, possuem iluminação tubular fluorescente no topo sem filtros UV, com incidência através de uma grelha espelhada, são também utilizados focos externos com lâmpadas de halogéneo sem filtros UV, sem incidência direta nas peças. A iluminação do expositor da *Custódia de Belém* é em fibra ótica com fonte de duas lâmpadas de halogénio.

4. Materiais e Métodos

4.1. Revisão da literatura

A revisão da literatura foi realizada utilizando bases de dados, como o *Web of Science* e *JSTOR*, para a procura e consulta de artigos sobre o tema dos poluentes que afetam as coleções de prata em museu.

4.2. Consulta do inventário das peças

Para conhecer a coleção em estudo foi necessário a consulta do inventário das peças (Anexo V), no *software* “Matriz 3.0” – desenvolvido pela Direção-Geral do Património Cultural [12].

4.3. Caracterização das condições ambientais

Com a finalidade de conhecer o ambiente expositivo das salas em estudo, e perceber como se relacionava com a deterioração das peças, foram tidos em consideração os registos de temperatura (T) e humidade relativa (HR), realizaram-se medições de concentrações de poluentes em contínuo, e fez-se uma recolha de partículas para identificação de elementos presentes, recorrendo a técnica de Emissão de Raios-X Induzida por Partículas. Para compreender a interação do ambiente com as peças em ligas de prata, dentro dos expositores, com o micro-ambiente, foram colocados cupões de prata esterlina para caracterização posterior (Micro-Espectroscopia por Fluorescência de Raios-X Dispersiva de Energias; Difração de Raios-X; Microscopia μ -Raman), uma vez que o valor e a importância da coleção não possibilitavam a sua caracterização direta.

4.3.1. Temperatura e Humidade relativa

Os valores de T e HR, relativos ao ano de 2016 (1/1/2016 a 31/12/2016), foram fornecidos pelo museu. Os termo-higrómetros utilizados no museu são da *Hanwell*, modelo *ml4000*. Existem 4 termo-higrómetros, localizados nas salas 26, 27 e 29, e um dentro do expositor 8 da sala 29 (Anexo VI). Os termo-higrómetros registam os valores de 1h em 1h.

4.3.2. Radiação ultravioleta e visível

A radiação ultravioleta (UV) e visível foi determinada, com recurso ao *ELSEC 764 Environmental Monitor*, dentro de três expositores da sala 29 (expositores 4, 5 e 7), junto das peças e do topo dos expositores, mais próximo da zona das lâmpadas. As medições foram realizadas com as luzes ligadas, conforme se encontram durante os dias de abertura ao público.

4.3.3. Qualidade do ar das salas em estudo

Nas análises de qualidade do ar utilizaram-se: metodologias passivas, para perceber a acumulação de partículas num período alargado de tempo e saber qual a sua composição elementar [13], e para perceber qual os processos de deterioração da prata neste ambiente [14]; e metodologias ativas [15], para saber as concentrações diretas dos poluentes em curtos períodos de tempo e discernir qual a diferença da mesma entre a sala e dois expositores.

Todas as datas para a realização destas análises estiveram dependentes da logística de trabalhos do museu e do período de tempo para a realização deste trabalho.

4.3.3.1. Métodos Passivos

O recurso a métodos passivos, teve como finalidade a recolha de informações em períodos alargados de tempo permitindo assim ter um valor *versus* período de tempo, para além de que estes não causam grandes perturbações aos visitantes.

4.3.3.1.1. Filtros passivos

A recolha de partículas foi feita através de filtros de policarbonato – *Nuclepore Track-Each Membrane* da *Whatman*[®] com diâmetro de 47 mm e tamanho de poros de 0.4 µm.

Os filtros estiveram expostos no museu durante cerca de dois meses (de 18/04/2017 a 12/06/2017). Utilizaram-se um total de onze filtros: três filtros no exterior do museu (numa janela da sala 25), três filtros no interior da sala 29 sobre os expositores (4, 5 e 7), e cinco filtros no interior de três expositores da sala 29 (um no expositor 4, um no expositor 5 e três no expositor 7) (Anexo VII). No expositor 7 foram dispostos em três alturas diferentes.

4.3.3.1.2. Teste dos cupões metálicos

A colocação dos cupões metálicos em museus tem como finalidade detetar as suas alterações num determinado período, sendo observadas pela alteração cromática e recorrendo a métodos analíticos [14]. Os resultados podem alertar para a implementação de medidas preventivas, e os produtos de corrosão detetados permitem supor quais os poluentes que lhes deram origem [14].

Assim, foram expostos dez cupões de prata esterlina (92,5% Ag e 7,5% Cu). A seleção desta liga foi feita por forma a poder extrapolar resultados com outros estudos já realizados sobre oxidação da prata [2,16]. Por outro lado, algumas peças da coleção já foram objeto de estudo, e foram identificadas ligas Ag-Cu [9,10]. Os cupões foram expostos em cinco expositores – sala 27 no expositor 6, sala 28 no expositor 3, e sala 29 nos expositores 4, 5 e 7 (Anexo IX) – de acordo com as opções da curadora da coleção. Os cupões tinham 1,6 x 1cm e 0,11mm de espessura. Antes da exposição os cupões foram polidos com uma lixa de granulometria 4000,

limpos com etanol e pressão de ar, para remover os vestígios da lixa. Estes estiveram expostos no museu durante cerca de cinco meses (de 21/01/2017 a 12/06/2017). Os cupões foram expostos sobre uma lamela de vidro, sobre as prateleiras, com uma inclinação de aproximadamente 45° (Fig.4.1).

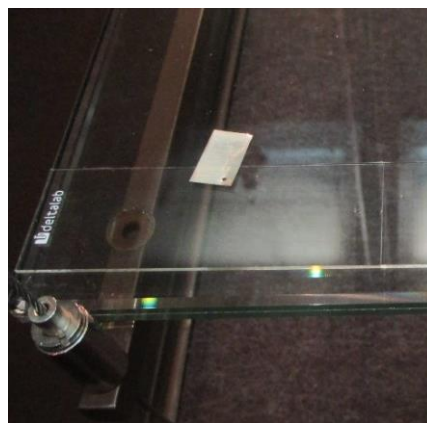


Figura 4.1. Cupão de prata esterlina colocado dentro de um expositor.

4.3.3.1.2.1. Caracterização dos cupões e dos produtos formados na sua superfície

4.3.3.1.2.1.1. Micro-Espetroscopia por Fluorescência de Raios-X Dispersiva de Energias (μ -FRX-DE)

A técnica de μ -FRX-DE foi utilizada com a finalidade de se detetar outros elementos que se possam depositar nas superfícies dos cupões expostos. As análises foram realizadas no espectrómetro *ArtTAX Pro* do Departamento de Conservação e Restauro (DCR – FCT/UNL). O espectrómetro é equipado com uma ampola de molibdénio de baixa potência, uma focagem de lente policapilar e um detetor de silício com uma resolução de 160 eV e 5.9 keV. As análises foram realizadas utilizando uma atmosfera de hélio, para a deteção da prata, o tempo de aquisição foi de 150 s. A análise dos resultados foi feita através do *software ArtTAX Control*.

4.3.3.1.2.1.2. Difração de Raios-X (DRX)

As fases cristalinas presentes nas amostras foram identificadas por DRX, no difractorómetro *DMAX-III – Rigaku Industrial Corporation* (do CENIMAT – FCT/UNL), usando radiação $\text{Cu K}\alpha$ (40 kV, 30 Ma), numa gama angular de 10° a 90° com um intervalo de 0,04° e um tempo de aquisição de 1 s (2 θ). Foram repetidas as análises de três cupões com 0,02° de intervalo, com finalidade de perceber se havia mais bandas. A identificação dos difractogramas foi realizada com o programa *X Pert HighScore Plus* com a utilização da base de dados ICDD (*Internacional Centre for Diffraction Data*).

4.3.3.1.2.1.3. Micro-Espetroscopia Raman (μ -Raman)

Para a identificação dos produtos formados nas superfícies dos cupões expostos recorreu-se ao μ -Raman. As análises foram realizadas no espectrómetro *Labram 300 Jobin Yvon*, equipado com um laser HeNe de 17 mW a 632,8 nm e um laser de estado sólido de 50 mW a 532 nm. As análises foram realizadas com o laser de 532 nm, utilizando a objetiva de ampliação 100x e o filtro D0,6. O tempo de aquisição foi de 5 s, e utilizou-se uma serie de 20 ciclos.

4.3.3.2. Métodos Ativos

As medições dos poluentes, abaixo descritas, tiveram que ser realizadas no dia de fecho ao público, devido à logística da abertura dos expositores.

Selecionaram-se dois expositores diferentes: o expositor 5 e o expositor 7, ambos da sala 29, porque os espaços entre os vidros do expositor 5 são maiores que os do expositor 7, para tentar perceber se a diferença dos espaçamentos entre os vidros influenciava a entrada de poluentes.

4.3.3.2.1. Bombas SKC

Utilizaram-se duas bombas de amostragem de partículas com filtros de *teflon* (PTFE), da *SKC Omega Specialty Division*[®], com diâmetro de 37mm e tamanho de poros de 2.0 µm, para recolher partículas PM₁₀^{*} (Anexo VIII Fig.VIII.1). As bombas foram utilizadas em simultâneo, sendo que uma foi colocada no interior da sala e outra no interior do expositor (Fig.4.2). Este trabalho foi realizado em dois dias (dia 10/04/2017 e dia 17/04/2017), e cada recolha teve duração de cerca de 24h, com um fluxo de 10L/minuto.

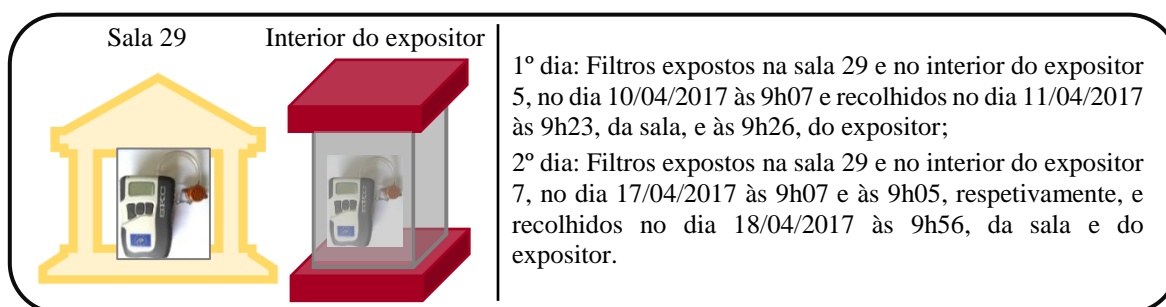


Figura 4.2. Esquema de amostragem da recolha de partículas com as bombas SKC.

4.3.3.2.2. Medições de poluentes em contínuo

Para a medição da concentração dos poluentes em contínuo foram utilizados três equipamentos, de medição direta, em simultâneo de acordo com a Fig.4.3: *Wolfsense (Graywolf Solutions)*, equipamento utilizado para avaliação da qualidade do ar, que faz medições de vários poluentes, nomeadamente, compostos orgânicos voláteis (COVs), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) e ozono (O₃) (Anexo VIII Fig.VIII.2); *DustTrack 8533*, equipamento que faz medições da concentração mássica de partículas (PM₁₀, PM₄, PM_{2.5} e PM₁) (Anexo VIII Fig.VIII.3); e *Formaldemether*, equipamento que faz medições da concentração mássica de formaldeído (HCHO) – da família dos COVs (Anexo VIII Fig.VIII.4).

* Partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm.

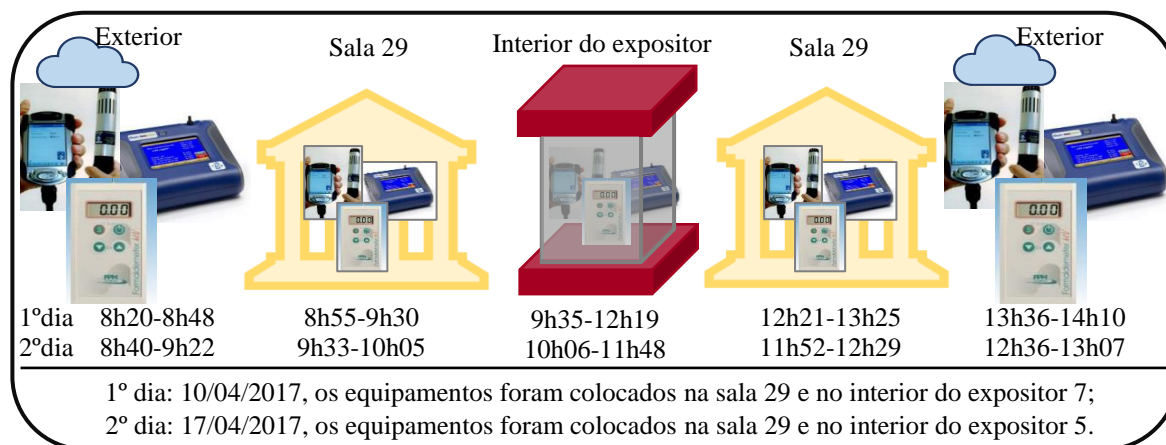


Figura 4.3. Esquema de avaliação da qualidade do ar em contínuo no exterior-sala-expositor-sala-exterior.

4.3.3.3. Análise dos filtros: Emissão de Raios-X Induzida por Partículas (PIXE)

A identificação dos elementos das partículas recolhidas nos filtros – passivos e ativos – foi feita por PIXE [17]. Utilizado um feixe de prótons 1 MeV e um detetor de Si(Li) com 160 eV de resolução posicionado a 110° com a direção do feixe. A análise dos espectros foi realizada com o programa *Aseil* e os resultados quantitativos obtidos com o programa *DATPIXE*.

4.4. Avaliação de risco: “*Cultural Property Risk Analysis Model*”

A avaliação de risco da coleção de ourivesaria portuguesa, exposta ao público, do MNAA foi realizada com base no modelo “*Cultural Property Risk Analysis Model*” (CPRAM), desenvolvido pelo Robert Waller, em 2003 [18]. A sua escolha baseou-se no facto deste modelo já ter sido aplicado com sucesso a diferentes tipos de coleções [18–20] e de permitir calcular a magnitude dos riscos específicos de uma forma semi-quantitativa facilitando a hierarquização desses riscos para a coleção, o que vai permitir a definição de prioridades de atuação, ajudando assim à gestão de risco.

Para calcular a magnitude de risco (MR) utilizando o CPRAM, é necessário conhecer bem o museu e a coleção e ainda identificar os agentes de deterioração, considerando os dez agentes do *Canadian Conservation Institute* [21]. Estes agentes são: forças físicas, fogo, água, ações criminosas/vandalismo, temperatura incorreta, humidade relativa incorreta, poluentes, pragas, luz e outras radiações e dissociação.

É então necessário que se determine para cada agente de deterioração quais os riscos específicos encontrados nesta coleção. Estes são caracterizados de acordo com a sua tipologia (probabilidade/intensidade): Risco tipo 1 (raro/catastrófico); Risco tipo 2 (esporádico/severo); e Risco tipo 3 (constante/moderado) [22].

A MR é calculada multiplicando quatro parâmetros (Equação 1), que variam entre 0 e 1: [18]

$$MR = FS \times PV \times P \times E \quad (\text{Equação 1})$$

- FS é a fração suscetível, definida como sendo a parte da coleção mais vulnerável à perda de valor, quando exposta a determinado risco específico, considerando para o seu cálculo a suscetibilidade dos materiais e a sua localização [18].

- PV é a perda de valor, definida como a redução máxima na utilidade da coleção, considerando para a sua determinação a suscetibilidade dos materiais, a localização física e a intensidade do risco [18]. Para calcular este parâmetro foram definidos os critérios de perda de valor adaptados à coleção, Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Critérios definidos para a perda de valor e respectivos exemplos.

| Critério | Valor | Exemplo |
|---|--------------|--|
| Perda total | 1 | Roubo de uma peça; Consumo por fogo |
| Danos irreversíveis que comprometam a estabilidade física das peças | 0,75 | Corrosão dos metais; Fraturas |
| Danos que comprometam a exposição da peça | 0,50 | Escurecimento de metais; Deformação de madeiras |
| Danos que não comprometem a exposição da peça | 0,25 | Pequenos riscos; Pequenas deformações nos metais |
| Sem danos para a coleção | 0 | - |

- P é a probabilidade, definida como a possibilidade de um determinado risco específico resultar numa perda de valor, no período de 100 anos [18]. Para riscos tipo 2 e 3, P=1, uma vez que é previsto que vai ocorrer num período de 100 anos. No tipo 1 é calculada com recurso a estatísticas de frequência no passado.

- E é a extensão, considerada como a parte da FS que sofrerá uma perda de valor num período de 100 anos [18]. Nos riscos tipo 1, E=1, visto que são riscos catastróficos. Para os tipos 2 e 3, o cálculo pode ser influenciado pela FS ou PV, ou ambas. Neste trabalho a E foi calculada em função da FS de forma a simplificar os cálculos.

5. Apresentação e discussão de resultados

5.1. Revisão da literatura: Poluentes em museus vs. Coleções de prata

As condições ambientais (p.e. HR, T e poluentes) inadequadas em exposições de coleções com peças em metal, é um dos principais fatores que promove a sua deterioração, uma vez que estas sofrem processos de corrosão, transformando-se lentamente em óxidos, sulfuretos, entre outros compostos [23]. A formação destes produtos de corrosão deve-se à elevada HR e à presença de poluentes, como por exemplo, compostos com enxofre no estado reduzido ou partículas/pó [23]. Estes e outros poluentes são gerados tanto no interior como no exterior dos museus [24], e podem ter diversas origens (Fig.5.1) tais como materiais de construção ou exposição – fonte maioritária –, atividades de limpeza, visitantes, sistemas de climatização, materiais de escritório (p.e. impressoras a laser), produtos de combustão (p.e. elevado tráfego automóvel), e atividades de microrganismos (Anexo IX) [24–26].

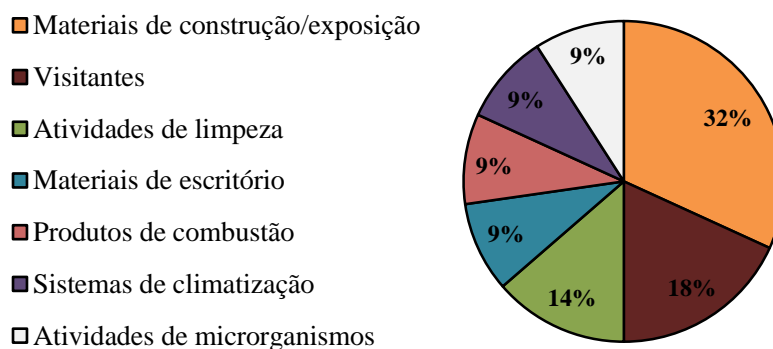


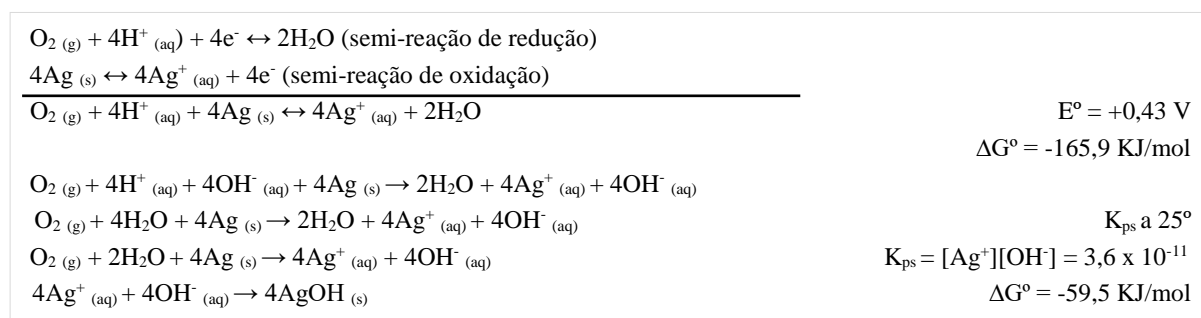
Figura 5.1. Gráfico da origem dos poluentes que afetam a prata de acordo com a literatura. (Anexo X)

A prata (Ag) é um metal branco, com um brilho lustroso, maleável, pertencente à categoria dos metais nobres [27]. A sua utilização pode ser na forma pura, designada por prata fina possuindo um teor de Ag de 999‰. Contudo, a maioria das suas utilizações é em união com outro(s) metal(ais) – designando-se por ligas de prata – para otimizar as suas propriedades metalúrgicas e químicas [3]. As ligas de prata podem ser, por exemplo, uma união de dois metais – com ouro (Au), chumbo (Pb) ou cobre (Cu) – ou uma união de três metais. Os teores de prata nas ligas foram uniformizados em 1886, em Portugal, para 916‰ Ag, 925‰ Ag, 833‰ Ag e 750‰ Ag [3]. Destas a mais utilizada é a de Ag-Cu, com um teor de Ag de 925‰ – denominada por prata esterlina. No entanto, existem tabelados outras ligas teores de Ag de 830‰ e 800‰ [3]. Apesar de ser um metal nobre consegue reagir com o oxigénio, com a HR superior a 60%, e com outros poluentes, como por exemplo, o sulfureto de hidrogénio (H₂S) ou o sulfureto de carbonilo (COS) (reações 1, 2 e 3) [16].

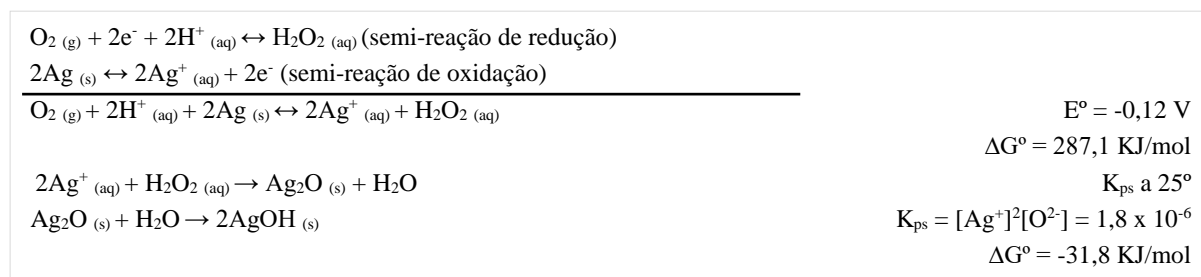
Em exposições de coleções com prata o tipo de deterioração mais relatado é o escurecimento (*tarnishing*) deste material [1–3,23,24,27,28]. Este tipo de deterioração consiste na formação

de um filme negro na superfície das peças, quando expostas em ambientes poluídos, mais concretamente por compostos de enxofre no estado reduzido [1,16,29,30]. Estudos recentes desenvolvidos em dissertação de mestrado na FCT/UNL [16] apresentam as reações de oxidação da prata por fases. A formação de AgOH (Reação 1) e Ag₂O (Reação 2) ocorre sempre primeiro, devido à presença de HR elevada (HR>60%), que faz com que seja criada na superfície uma monocamada de água que vai desencadear as reações de oxidação-redução da prata com o oxigénio, formando um peróxido, que tem uma ligação instável com tendência a sofrer uma clivagem homolítica, formando-se por consequência um óxido (levando assim à formação dos óxidos e hidróxidos de prata) [16]. Depois da formação dos Ag₂O e AgOH, observa-se que na presença de pequenas quantidades de compostos de enxofre no estado reduzido (H₂S ou COS) na atmosfera, há formação/precipitação de Ag₂S (Reação 3) [16]. A formação de Ag₂S é favorecida devido à constante de solubilidade (K_{ps}) do enxofre em água ser muito baixa (K_{ps} = 6,0 x 10⁻⁵¹), o que torna este composto muito estável [16].

○ Reação 1: Formação de AgOH: [16]



○ Reação 2: Formação de óxido de prata (Ag₂O): [16]



○ Reação 3: Formação de Ag₂S:

→ Reação 3.1: Com o H₂S: [16]



→ Reação 3.2: Com o COS: [16]



Porém, como se referiu anteriormente, a prata é muito macia pelo que, habitualmente, se encontra ligada a outro(s) metal(ais), normalmente ao cobre. As ligas de Ag sofrem uma deterioração mais profunda, com a participação do metal menos nobre da liga, que no caso das ligas Ag-Cu, será o Cu [1].

Contudo, tendo em conta que a prata é um metal muito sensível relativamente às reações de oxidação e de precipitação de Ag_2S , optou-se nesta dissertação, por se restringir a pesquisa aos poluentes que afetam mais este material em museus. Durante a pesquisa foram identificados um total de onze poluentes, que afetam as coleções de prata (Fig.5.2). O vapor de água [3,16,26,27,29,31], pode ser considerado um poluente [24], por estar relacionado com HR, promove tanto a deterioração física como química das peças quando os valores de HR não são adequados, e influencia a reação com outros poluentes [24]. O poluente mais referido na literatura é o H_2S , relacionado com o escurecimento da prata, que ao interagir com a Ag forma Ag_2S , reações (2) e (3.1) [1–3,16,23–28,30,32,33]. Os outros poluentes citados na literatura foram: Sulfureto de carbonilo (COS) [16,25,28–30,32]; Ozono (O_3) [25,26,33,34]; Formaldeído (HCHO) [24,26,35]; Dióxido de azoto (NO_2) [26,33,36]; Dióxido de enxofre (SO_2) [26,29]; Ácido fórmico (HCOOH) [24,26]; Sais de amónio [24,37]; Ácido acético (CH_3COOH) [24]; e Aerossóis de Cloro [3].

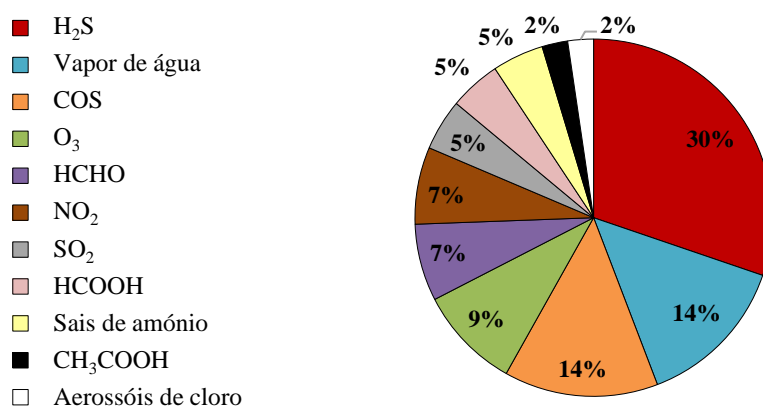


Figura 5.2. Percentagem da literatura que menciona o poluente prejudicial para a prata.

No seguimento da pesquisa sobre os poluentes e quais os seus efeitos nas coleções de prata, foi realizado o levantamento de que tipo de deterioração provoca cada um dos dez poluentes identificados acima, sendo que os tipos de deterioração detetados encontram-se registados na Tabela 5.1.

O escurecimento das pratas é referido como uma camada de oxidação superficial que apresenta no estado final a cor negra (contudo durante a sua formação pode apresentar diferentes colorações que podem variar entre amarelo, castanho esverdeado, vermelha, azul [2,38,39]), de espessura fina [1]. A corrosão envolve processos mais complexos, nomeadamente a alteração da micro-estrutura [1].

Tabela 5.1. Tipo de deterioração causada pelo poluente na prata.

| Poluente | Tipo de deterioração |
|----------------------|-----------------------------|
| Vapor de água | Influencia todas as reações |
| H ₂ S | Escurecimento |
| COS | Escurecimento |
| NO ₂ | Escurecimento |
| HCHO | Escurecimento |
| CH ₃ COOH | Escurecimento |
| O ₃ | Escurecimento e Corrosão |
| SO ₂ | Escurecimento e Corrosão |
| HCOOH | Corrosão |
| Sais de amónio | Corrosão |
| Aerossóis de cloro | Corrosão |

5.2. Caracterização das condições ambientais

5.2.1. Temperatura e Humidade relativa

As salas estão equipadas com sistema AVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado) e os valores de T e HR são controlados por computador, e os limites impostos para a T são de 20-22°C e para a HR de 50-60% [40]. O sistema de climatização caracteriza-se por quatro tubos com baterias de água quente e fria em funcionamento simultâneo [40]. A desumidificação é realizada com baterias quente/fria e humidificação com sistema de ionização de água que a introduz na ventilação [40].

Observando os gráficos de T (Anexo XI Fig.XI.1–4 a)), observa-se que os valores seguem a tendência observada no exterior, sendo os meses mais frios os de Outono/Inverno e os mais quentes os de Primavera/Verão. Conclui-se, assim, que não há um bom isolamento. No caso do expositor 8, da sala 29 (Anexo XI Fig.XI.4.a)), os valores no seu interior são muito semelhantes aos da sala onde se encontra, significando que não existe a capacidade de isolar o micro-ambiente. No interior das salas 26, 27 e 29 detetou-se (Tabela 5.2) que o valor mínimo registado foi de 18,5°C (Sala 29) e o máximo de 27,9°C (Sala 27). Chama-se a atenção para o facto de o valor de T, perto dos 28°C ser considerado demasiado elevado para o interior dos museus, uma vez que a T recomendada [41,42], para os materiais expostos devia rondar aproximadamente os 20°C. As Tabelas XI.1–4 do Anexo XI, mostram que a flutuação de T ao longo de cada mês não ultrapassa os $\pm 3^\circ\text{C}$, valor em concordância com a literatura [41,42], em relação aos valores médios dos meses. Resumindo, os valores de T são geralmente um pouco elevados para a coleção, embora as flutuações ao longo dos meses não sejam significativas (Anexo XI Tabelas XI.1–4).

Os valores de HR das salas (Anexo XI Fig.XI.1–4 b)), apresentam-se mais altos na estação de Inverno, no entanto, estes são na maior parte do ano bastante elevados, sendo que o valor

máximo registado nas salas é de 79,3% (sala 29) e o mais baixo de 32,6% (sala 26) (Tabela 5.2). Em todas as salas os valores apresentam uma grande flutuação ao longo do ano. No caso do expositor 8 (sala 29) os valores variam entre 45% e 62% de HR ao longo do ano (Anexo XI Fig.X.4.b)), sendo os valores mais altos registados na mesma altura em que se verificam também os valores mais elevados na sala (Anexo XI Fig.XI.3.b)). No entanto, os valores dentro do expositor são mais estáveis do que os registados na sala. Segundo a literatura [23,42] os valores de HR para metais devem ser os mais baixos possíveis, no entanto visto existirem outros materiais expostos é necessário fazer um ajuste com as HR dos outros materiais (p.e.: madeiras, têxteis), e assim os níveis recomendados para coleções com diferentes materiais são entre os 35% e os 55% [23,42], não devendo existir flutuações superiores a $\pm 5\%$ HR [41,42]. Observa-se que ao longo das três salas e no expositor os valores de HR máximos chegam aos 79,3% com flutuações de 6,4% ao ano (Tabela 5.2), sendo que a maior parte dos meses as flutuações são superiores a 5% (Tabelas XI.1–4 do Anexo XI), sendo assim registados valores elevados para a coleção podendo levar a uma deterioração acelerada das peças. Dentro do expositor as flutuações são menores, mas os valores de HR continuam a ser elevados para esta coleção.

Tudo isto indica que o funcionamento do sistema AVAC terá que ser revisto, pois não está a ser capaz de manter os valores de HR e T, referido acima, para os quais foi programado.

Tabela 5.2. Valores de temperatura e humidade relativa mínimos (mín.) e máximos (máx.), média e desvio padrão (DP) relativos ao ano de 2016.

| | Sala 26 | Sala 27 | Sala 29 | Expositor 8, sala 29 (Custódia de Belém) |
|---------------------------------------|----------------|----------------|----------------|---|
| T mín. | 19,8 °C | 18,7 °C | 18,5 °C | 18,4 °C |
| T máx. | 26,5 °C | 27,9 °C | 27,1 °C | 27,8 °C |
| T Média \pm DP | 22,5 \pm 1,3 | 22,2 \pm 2,1 | 21,8 \pm 1,9 | 22,1 \pm 2,0 |
| HR % mín. | 32,6 % | 33,6 % | 35,5 % | 45,0 % |
| HR % máx. | 69,3 % | 74,0 % | 79,3 % | 62,0 % |
| HR % Média \pm DP | 52,4 \pm 6,3 | 53,7 \pm 6,3 | 56,1 \pm 6,4 | 51,2 \pm 2,9 |

5.2.2. Qualidade do ar das salas em estudo

Das avaliações de qualidade do ar em contínuo, serão apresentados os resultados dos COVs e especificamente o HCHO (medido individualmente), do O₃, e de PM, por serem os poluentes com maior interesse para a conservação.

Observa-se pela Fig.5.3 que dos três poluentes medidos no museu, o que apresenta concentrações mais elevadas são os COVs (Fig.5.3. a) e b)). Apesar da literatura referir que ainda não foram encontradas relações entre as concentrações de COVs e danos em peças, as suas concentrações têm sido registadas para controlo da qualidade do ar uma vez que estes podem influenciar os outros poluentes que reagem com as peças [26]. São ainda dadas recomendações sobre o seu limite, em 0,357 mg/m³ [26]. Verificou-se que a concentração

medida na sala e nos expositores encontra-se acima do valor recomendado. Como não foi possível realizar uma análise molecular aos COVs medidos, excluindo o HCHO, não se pode dizer qual o(s) COV(s) presente(s) que é(são) nocivo(s) para a coleção sendo que a designação COVs inclui vários compostos e podem ser nocivos para a coleção.

Nas medições de HCHO é visível um aumento da concentração dentro dos expositores (Fig.5.3. *c* e *d*)), o que pode ser indicativo de estar a ser emitido pelas madeiras e/ou alcatifa das bases. Deve-se também ao facto de o expositor ser um espaço confinado onde a diluição da concentração dos poluentes é menor. Comparando os resultados obtidos com os limites propostos pela literatura [26], $<0.000125 - 0.00625 \text{ mg/m}^3$, verifica-se que estes se encontram um pouco acima dos recomendados. Uma vez que a prata é sensível a este poluente, como foi identificado na mini-revisão, o HCHO pode estar a causar alterações nas peças de prata.

O O_3 apresentou concentrações abaixo do limite de deteção na sala e nos expositores (Fig.5.3. *e* e *f*)), sendo apenas detetado no exterior, o que era espetável, uma vez que é um poluente secundário e para a sua formação é necessária radiação solar [24]. No entanto em 2013 foram detetadas concentrações de O_3 de $27.96\text{--}64.93 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ nas salas, de $23.52\text{--}59.55 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ nos expositores “abertos” e de $\approx 13\text{--}21 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ no expositor “estanque”, utilizando um método de amostragem, cartuchos *Radiello*[®], com limite de deteção inferior [43].

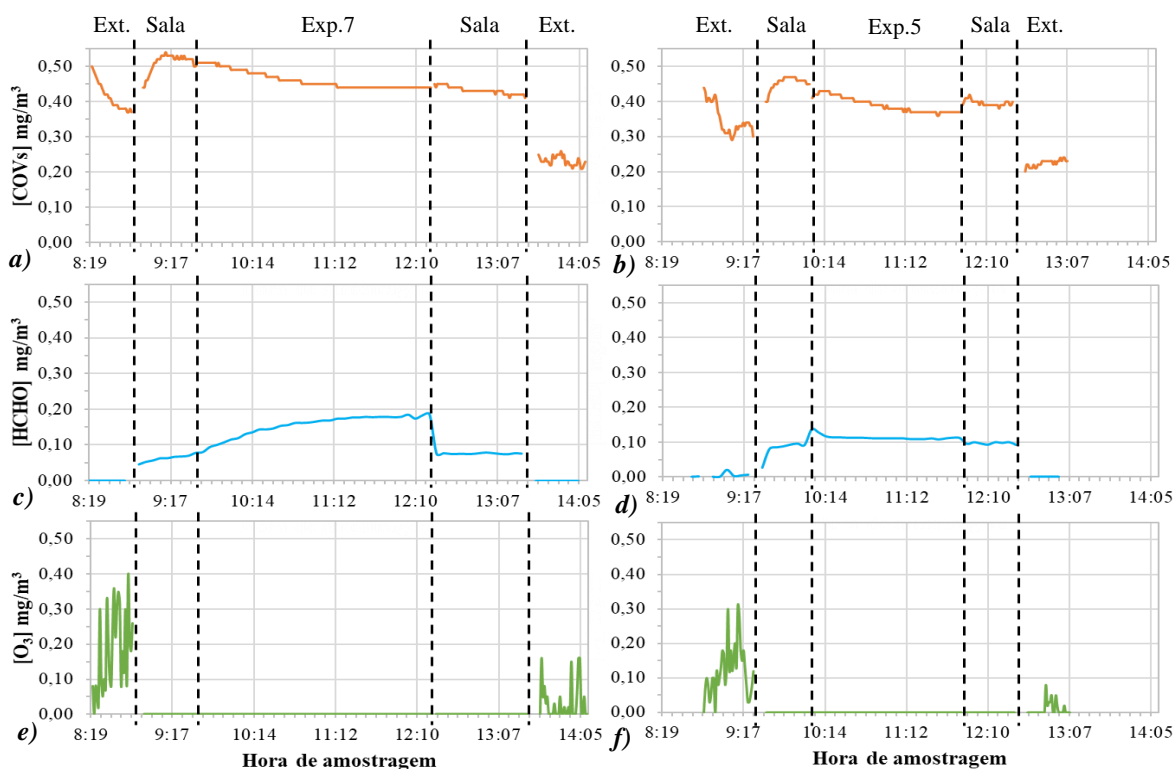


Figura 5.3. Concentrações de poluentes medidos no MNAA. *a*) e *b*) Concentração de COVs; *c*) e *d*) Concentração de HCHO; *e*) e *f*) Concentração de O_3 . (Ext. - Exterior do museu; Sala - Sala 29; Exp. - Expositor).

A análise à concentração de partículas em suspensão realizada no exterior do museu, na sala 29 e nos expositores 5 e 7, da mesma sala, é apresentada na Fig.5.4. Observa-se de forma imediata uma concentração de matéria particulada (PM) superior para a fração de partículas com diâmetro aerodinâmico inferior a 1 μm (PM_1), em todos os locais de amostragem. A fração entre 1 e 2.5 μm ($\text{PM}_{1-2.5}$) apresentou as concentrações mais baixas em todos os locais. O facto de haver um aumento das concentrações de partículas na sala no primeiro dia poderá dever-se a atividade de manutenção e limpeza das salas adjacentes que terá provocado a suspensão novamente de PM de dimensões superiores ($>2.5 \mu\text{m}$). É também observado que em ambos os expositores a concentração de partículas não varia muito, no entanto, em relação à sala onde se encontram, a concentração desce consideravelmente. Verifica-se também que as concentrações de PM mais grosseiras, $\text{PM}_{2.5-4}$, PM_{4-10} e $\text{PM}_{>10}$, são mais elevadas na sala. A acumulação de partículas, principalmente as de granulometria mais fina, nas superfícies das peças e nos seus recortes, não só vai prejudicar a perceção das peças como também cria uma camada higroscópica e que conseqüentemente vai reter a humidade e poluentes na sua superfície [24,44], levando a uma oxidação ou corrosão acelerada dos metais. Contudo, deve-se ter em consideração que a recolha de partículas foi realizada em dias que o museu esteve fechado ao público, podendo dizer-se que em dias em que se encontra aberto, é provável que estes valores sejam mais elevados, devido à movimentação das pessoas que provocam a suspensão de partículas, assim como devido às novas partículas que as pessoas trazem consigo, nas roupas e sapatos.

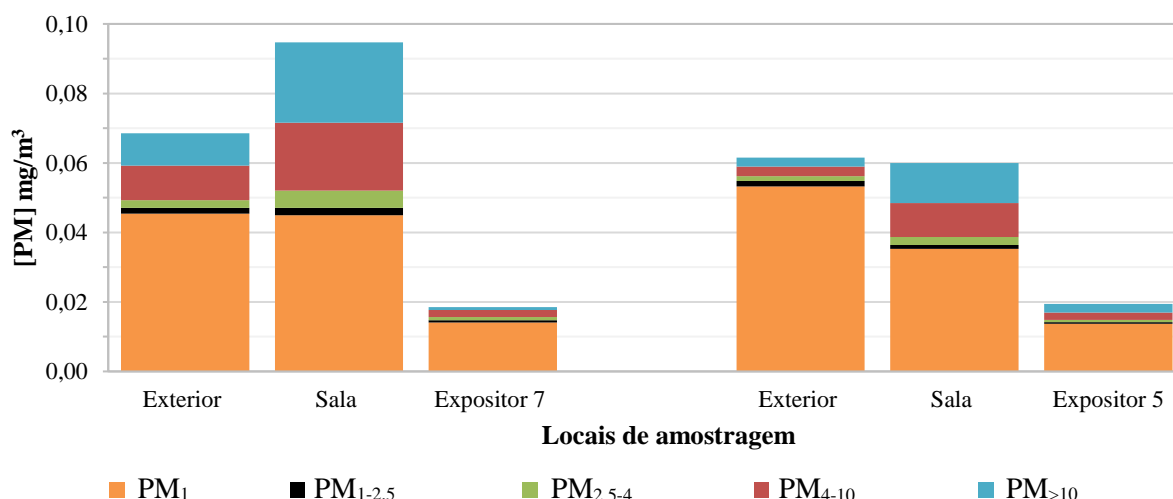


Figura 5.4. Concentrações de matérias particuladas (PM) medidas no MNAA (*DustTrack*) de diversas granulometrias.

5.2.2.1. Resultados da análise dos filtros por PIXE

Na análise de PIXE dos filtros utilizados nas bombas *SKC*, foram identificados como elementos maioritários das partículas o enxofre (S) e o cálcio (Ca) (Fig.5.5), provavelmente

provenientes do tráfego (no caso do S) e de terras (no caso do Ca). A presença do S pode levar a formação de Ag_2S , composto que já foi identificado em peças do museu [10]. As concentrações mais elevadas foram detetadas na sala. Nos expositores as concentrações mais elevadas foram registadas no expositor 5 (sala 29), provavelmente por este possuir espaçamentos entre os vidros maiores, fazendo com que a entrada de partículas seja maior.

Foi ainda identificado silício (Si), provavelmente provenientes de poeiras, cloro (Cl) (que pode levar à formação de cloreto de prata ($AgCl$), também já detetado em peças do museu [10]) e potássio (K), os últimos dois são, provavelmente provenientes de aerossóis marinhos devido à proximidade do MNAA ao rio. Detetaram-se ainda alguns metais, em baixas concentrações, como ferro (Fe) (concentração elevada junto do expositor 7), crómio (Cr), titânio (Ti) e zinco (Zn) (apenas junto do expositor 7) provavelmente provenientes de partículas de origem antropogénica vindas do exterior. O facto de terem sido detetadas concentrações de metais maiores junto do expositor 7 pode estar relacionado com o facto de o local de amostragem ser mais próximo de uma alcatifa. A deposição de partículas metálicas nas superfícies das peças pode acelerar os processos de corrosão, também pela formação de compostos ácidos [24].

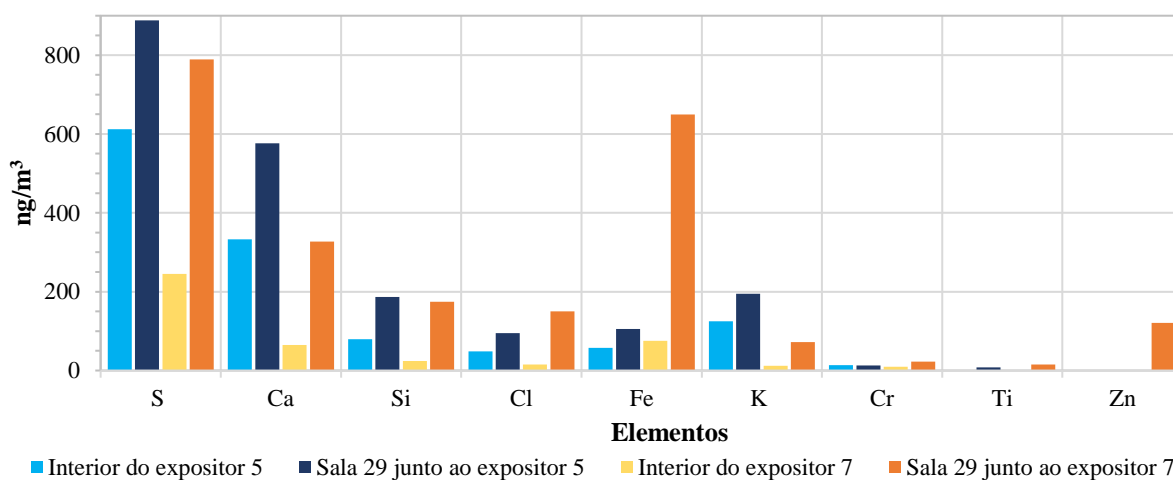


Figura 5.5. Resultados da análise por PIXE, dos filtros de *teflon* das bombas *SCK*.

Os resultados de PIXE dos filtros passivos (Fig.5.6), expostos 55 dias, observa-se que dentro dos expositores (Fig.5.6.a)) foram identificados os mesmos elementos que na Fig.5.6, com exceção do Fe, Ti e Zn. Observa-se que na recolha de partículas por deposição, a concentração elementar das partículas varia conforme as características dos expositores, olhando para o caso do expositor 4 (Fig.5.6.a)), expositor “estanque”, foram identificados apenas dois elementos, Si e S, em baixas concentrações principalmente o S; e para os casos dos expositores 5 e 7, expositores “abertos”, onde o número de elementos identificado é superior, e em maiores concentrações. Ainda assim, os expositores 5 e 7, têm espaçamentos entre os vidros diferentes,

sendo os do expositor 5 maiores, verificando-se assim concentrações maiores. Nos filtros expostos na sala (Fig.5.6.b)), o número de elementos identificados foi praticamente semelhante, no entanto em concentrações mais elevadas. Nos filtros expostos no exterior do museu (Fig.5.6.c)) foram identificados mais elementos na composição das partículas e em maiores concentrações, como era esperado, visto haver contribuição direta de fontes antropogénicas como o tráfego, e naturais, como o rio e o solo.

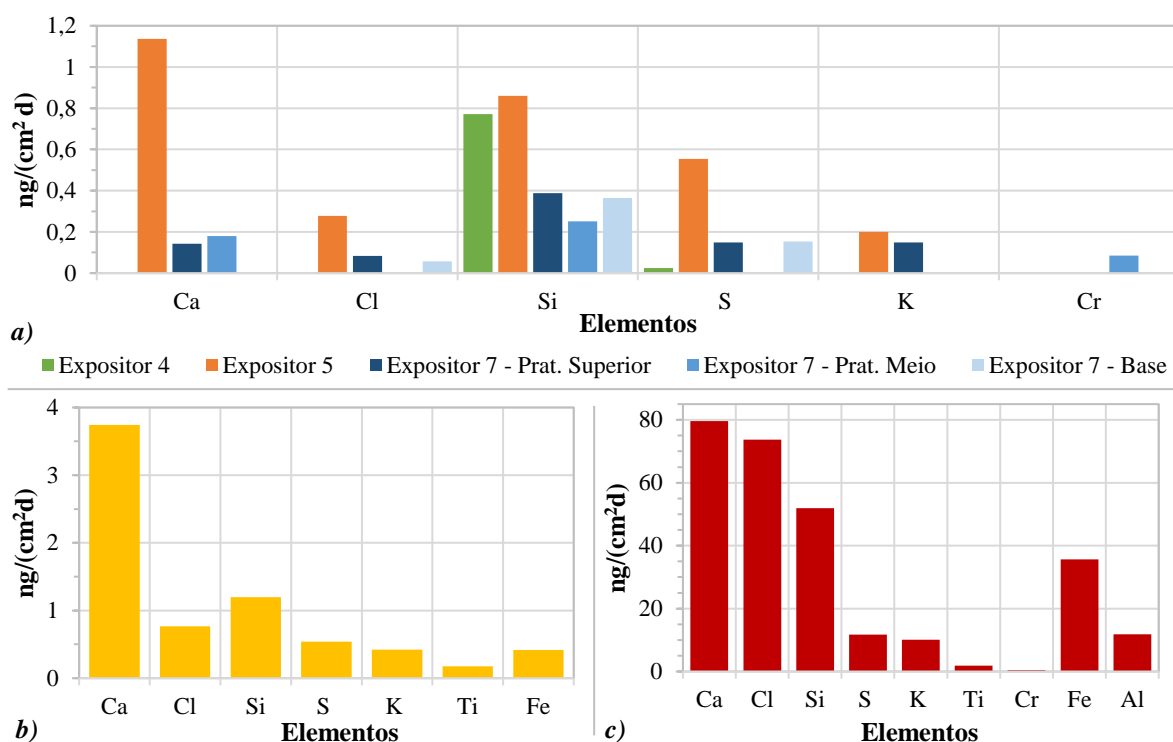


Figura 5.6. Resultados das análises por PIXE dos filtros passivos expostos no MNAA. a) Filtros expostos dentro de três expositores da sala 29; b) Filtros expostos na sala 29; c) Filtros expostos no exterior do museu.

Comparando os resultados de PIXE das Fig.5.5 e 5.6, conclui-se que a quantidade de partículas dentro dos expositores é menor do que nas salas, e menor nos expositores com os espaçamentos entre os vidros menores ou sem eles, o que para a coleção é um aspeto positivo pois esta encontra-se maioritariamente no interior dos expositores.

5.2.3. Caracterização dos cupões exposto no museu

A figura 3.7 permite comparar o cupão que não esteve exposto no museu (Fig.5.7.a)) com os cupões que estiveram expostos no interior dos expositores cerca de cinco meses. Observa-se que estes últimos apresentam um aspeto baço, com falta de brilho quando comparados com o cupão que não esteve exposto ao ambiente do interior dos expositores (Fig.5.7.b)–k)).

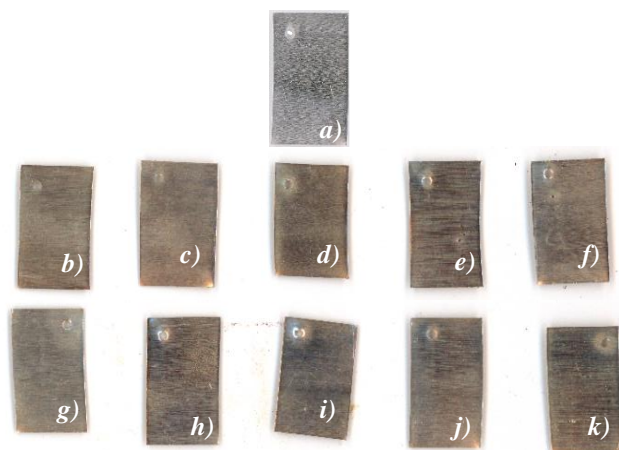


Figura 5.7. Cupões. a) Cupão não exposto; b)–k) Cupões expostos cerca de cinco meses, faces voltadas para cima.

5.2.3.1. μ -FRX-DE e DRX

Nas análises dos cupões por μ -FRX-DE, antes da exposição (Fig.5.8.a)), detetaram-se apenas os elementos da liga metálica Ag-Cu: $L\alpha$ e $L\beta$ da Ag a 2.98 keV e 3.14 keV, respetivamente; $K\alpha$ e $K\beta$ da Ag a 22.03 keV e 24.86 keV, respetivamente e $K\alpha$ e $K\beta$ do Cu a 8.03 keV e 8.89 keV, respetivamente, não sendo detetadas impureza na liga. Nas análises dos cupões após exposição (Fig.5.8.b)), foram detetados os mesmos elementos que antes da exposição. Confrontando estes resultados com os obtidos por PIXE (Fig.5.5 e 5.6) nos filtros de partículas seria de esperar detetar elementos como o S e o Cl na superfície dos cupões, podendo indicar, possivelmente, que o equipamento de μ -FRX-DE não tenha capacidade para detetar estes elementos que podem estar em quantidades reduzidas. Contudo, é de chamar à atenção que os picos $K\alpha$ e $K\beta$ do Cl caem em cima dos picos L-I e L-Eta de Ag, pelo que são de muito difícil identificação por esta técnica.

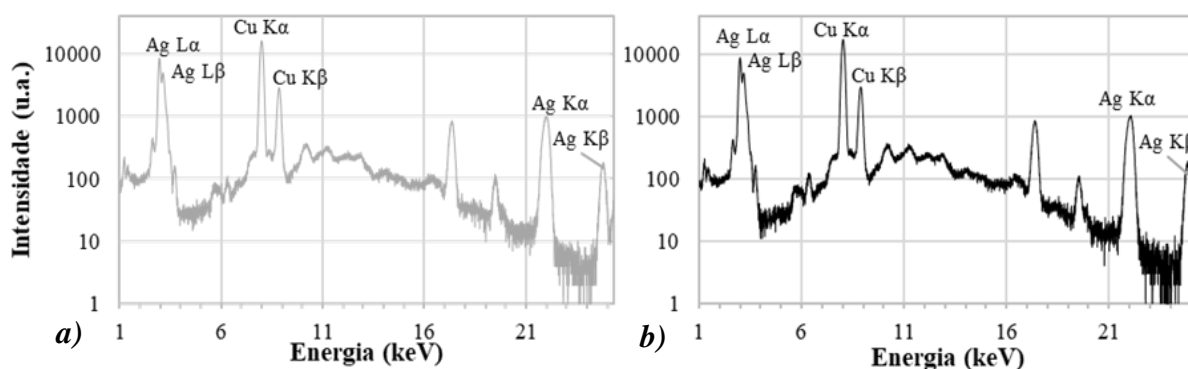


Figura 5.8. Espectros de μ -FRX-DE dos cupões de Ag-Cu. a) Cupão não exposto; b) Exemplo de um cupão exposto no interior de um expositor.

Os resultados das análises de DRX serão apresentados em escala logarítmica uma vez que o pico do cobre aos 73.993° (Cód. Ref. 00-001-1241) fica mais visível. Através das análises por DRX do cupão não exposto e dos cupões expostos, com 0.02° de intervalo (Fig.5.9), apenas são

detetadas as fases da Ag (Cód. Ref. 00-003-0931) (Anexo XII Tabela XII.1), e a fase do cobre aos 73.997° (Anexo XII Tabela XII.1). O facto de só ser detetado uma das fases do cobre, pode estar relacionado com a quantidade de prata na liga (cerca de 92,5%) ser muito elevada e não se conseguir assim ver mais fases de cobre. Uma vez mais não foram detetados outros elementos, que tinham sido identificados por PIXE nos filtros das partículas, o que mais uma vez pode indicar que apesar de visualmente os cupões se encontrarem mais baços do que quando foram expostos (Fig.5.7), estes podem não ter tido tempo para formar compostos perfeitamente cristalinos detetáveis por esta técnica.

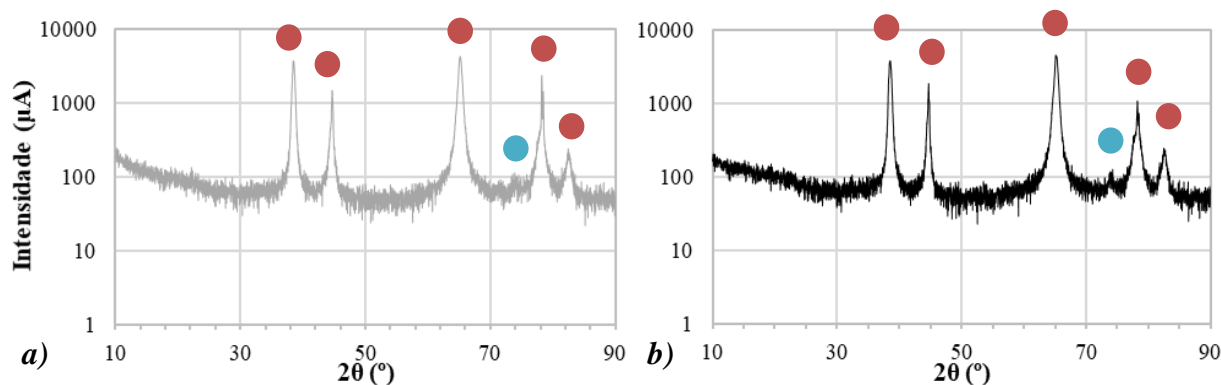


Figura 5.9. Difractogramas dos cupões de Ag-Cu. *a)* Cupão não exposto; *b)* Exemplo de um cupão exposto no interior de um expositor (● - Fases da Ag; ● - Fases do Cu).

5.2.3.2. μ -Raman

Os estudos de prata esterlina por μ -Raman são escassos e recentes [45], assim as possibilidades de atribuições foram realizadas com base em estudos de prata [31,34,44,46,47] e cobre [48,49].

Em todos os espectros realizados foram identificadas as regiões correspondentes aos modos vibracionais da rede de Ag entre os 90–96 cm^{-1} e entre os 140–160 cm^{-1} (Fig.5.10) [31,34,46].

Foi detetada a presença de óxidos de prata II (AgO) através das bandas à volta dos 220, 230, 325, 430, 500–600 cm^{-1} [34,46,47]. A banda identificada aos 220 cm^{-1} encontra-se associada as vibração metal-oxigénio para oxigénio dissociado adsorvido na superfície da Ag [47], e segundo a literatura [44] raramente é observada nas superfícies das ligas de Ag. De acordo com Ingo *et al* [44] as bandas aos 220, 500–650 cm^{-1} , são atribuídas aos modos vibracionais de distensão (ν) e flexão (δ) de Ag–O, sendo as dos 500–650 cm^{-1} aos modos de $\nu(\text{Ag-O})$, e identificadas como sendo Ag_2O . A banda à volta dos 325 cm^{-1} é típica das espécies de oxigénio dissociadas na superfície da Ag [47]. Em alguns dos espectros foram observados ombros à volta dos 230–239 cm^{-1} que podem ser atribuídos as espécies de oxigénio molecular adsorvido

($\nu(\text{Ag-O}_2)$) [31,34] ou aos modos vibracionais de δ e $\nu(\text{Ag-O})$ [46]. No entanto a banda aos 233 cm^{-1} também é atribuída noutros estudos [44,46] às distensões vibracionais de Ag-Cl . A banda à volta dos 430 cm^{-1} é também atribuída aos modos vibracionais de ν e δ de Ag-O [34,46], no entanto, nas análises deste estudo está apresenta-se quase sempre desviada cerca de menos 5 cm^{-1} . Pode assim dizer-se que existe a formação de AgO e Ag_2O nas superfícies. (Fig.5.10.a))

Houve ainda espectros que apresentaram uma banda a cerca dos 575 cm^{-1} , que de acordo com a literatura pode corresponder a $\nu(\text{Ag-OH})$, de espécies hidroxilo incorporadas na subsuperfície da prata [50]. Podendo evidenciar o início da formação de Ag(OH) . A cerca dos 595 cm^{-1} a literatura [46] indica que existem flexões assimétricas *in-plane* O-S-O (*scissoring*).

Aos 1345 cm^{-1} são identificadas distensões simétricas de O-C-O , segundo a literatura [46], noutro estudo [51] as bandas entre os $1328\text{--}1589 \text{ cm}^{-1}$ são atribuídas ao carbono amorfo.

Foram ainda detetadas bandas à volta dos 2877 e 2932 cm^{-1} (Fig.5.10.b)), às quais não foi possível atribuir uma identificação, sendo necessário futuramente realizar mais análises.

As bandas características do cobre caem sobre as bandas identificadas para a prata. Assim sendo que a banda aos 98 cm^{-1} (aprox.) pode também corresponder ao óxido de cobre amorfo (CuO) [48] e as bandas a $105, 147, 219, 298, 348, 410, 535, 636$ e 1122 cm^{-1} são atribuídas aos óxidos de cobre (Cu_2O e CuO) [49], sendo que as bandas aos $105, 147, 219$ e 535 cm^{-1} , caem em bandas identificadas antes de Ag_2O ($147, 219, 535 \text{ cm}^{-1}$).

Todas as bandas identificadas nos espectros realizados encontram-se na Tabela XII.2 do Anexo XII.

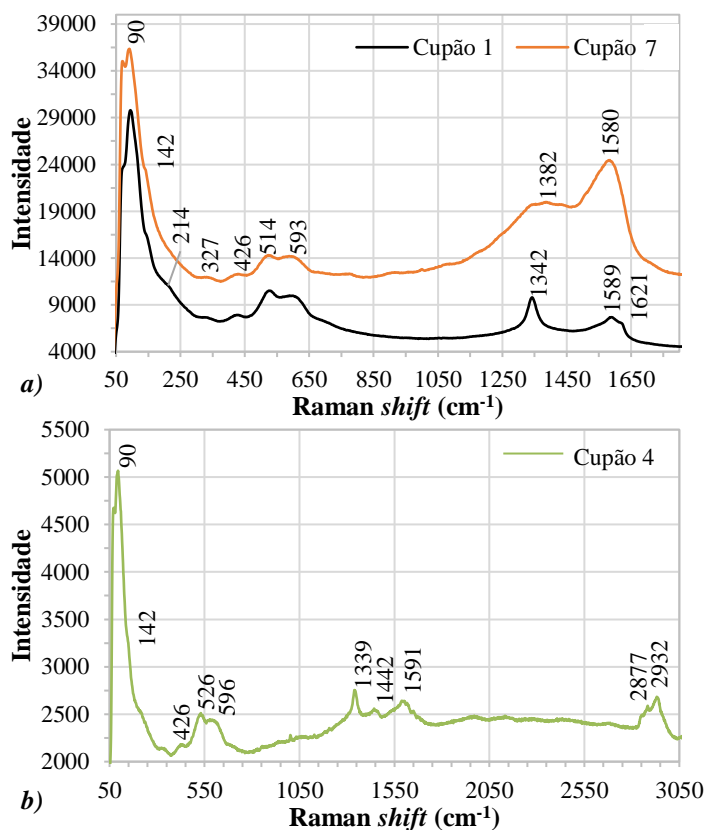


Figura 5.10. a) e b) Espectros de μ -Raman de cupões expostos no interior dos expositores.

5.3. Avaliação de risco aplicada à coleção de ourivesaria portuguesa exposta no MNAA

A magnitude dos riscos foi calculada para toda a coleção exposta dentro dos expositores (total 404 peças), das quatro salas em estudo, tendo em conta os diferentes materiais que a constitui.

5.3.1. Forças físicas

As forças físicas causam danos físicos nas peças, como por exemplo, fissuras, fraturas ou deformações. Estes danos podem ser causados por impacto, choque, vibrações, pressão e abrasão [52].

A MR dos riscos específicos detetados para a coleção são apresentados na Tabela XIII.1 do Anexo XIII, sendo que o risco que apresenta a maior MR é a queda de peças provocada por um sismo de magnitude inferior a 8 na escala de Richter, apesar de ser considerada uma zona de baixa vulnerabilidade sísmica, não se deixa de ter em conta que possa ocorrer um sismo. Estes podem provocar a que haja movimentações das prateleiras de vidro que não são fixas, mas sim suspensas, pelo que a FS foi considerada elevada, uma vez que toda a coleção está em risco. As vibrações das prateleiras causadas por obras de remodelação ou abertura dos expositores ou, mesmo, apenas oscilações das prateleiras por movimentação de peças, apresentam também uma MR elevada uma vez que são acontecimentos mais frequentes que um sismo. No entanto, neste caso, a FS é menor uma vez que existem peças que estão assentes nas bases dos expositores não sendo assim prováveis de cair. Foi ainda considerada a ocorrência de imprevistos nos transportes das peças dentro e fora do museu, mesmo estes sendo realizados por empresas especializadas e acompanhadas por *courier*, não impede que possam ocorrer acidentes que possam provocar movimentações bruscas das caixas, podendo resultar em pequenas deformações nos metais. Contudo, os impactos para as peças são minimizados pela adoção de medidas de acondicionamento durante os transportes. No caso dos suportes inadequados, a MR é baixa uma vez que o número de peças em suportes pouco adequados, que mantêm as peças em posição vertical e tenham um tamanho pequeno para a peça, é reduzido (FS baixa).

5.3.2. Fogo

A ocorrência de um incêndio num museu pode resultar de um curto-circuito, devido as instalações elétricas defeituosas ou antigas, obras de renovação a decorrer no local, ou ainda, já como uma ação criminosa, por um fogo posto.

No cálculo da MR dos riscos específicos considerados para o fogo (Anexo XIII Tabela XIII.2) o risco que apresentou uma MR maior para a coleção foi a ocorrência de um incêndio

de pequenas dimensões ou de um curto-circuito, no entanto, as salas encontram-se equipadas com detetores de fumo, extintores e botões de alarme manuais, vigilância humana, permitindo assim que haja uma resposta rápida em caso de incêndio, evitando que se alastre. A acumulação de depósitos de fuligem, sujidade e compostos químicos provenientes do fumo e dos materiais de combate às chamas, nas superfícies das peças, foi também colocada como hipótese uma vez que existem espaçamentos entre os vidros dos expositores, permitindo assim a entrada destes produtos – os expositores considerados mais vulneráveis foram os que possuem espaçamentos maiores (mais de 1 mm). A P de ocorrência de um incêndio que destrua o edifício foi calculada com base no artigo de Tétreault [53] que tem em conta os meios de prevenção e resposta a incêndios da instituição, assim classificou-se o MNAA com um nível de controlo 2 (CL2), uma vez que possui sistemas de prevenção e combate.

5.3.3. Água

Dada a existência de sistemas de ar condicionado, sobre o teto falso (grelhas metálicas) das salas foi considerado como risco específico a fuga de água destes sistemas (Anexo XIII Tabela XIII.3). Este risco apresenta uma MR baixa uma vez que a coleção se encontra dentro de expositores, criando assim uma barreira a interação de água com as peças.

5.3.4. Ações criminosas/ Vandalismo

Apesar de existir um plano de segurança no museu, que não será referido por questões de segurança, não é possível descartar a ocorrência de ações criminosas ou vandalismos, uma vez que se trata de uma coleção com tanta importância e com grande valor económico.

A MR dos riscos específicos é apresentada na Tabela XIII.4 do Anexo XIII, e o que apresentou uma MR maior foi a ocorrência de fogo posto, sendo que este risco foi considerado tendo em conta que o pavimento das salas é em alcatifa e as bases exteriores aos expositores são em alcatifa e qualquer visitante pode levar um isqueiro no bolso. Contudo, as MR de risco são baixas. No caso do risco da ocorrência de um roubo fora do horário de funcionamento, uma vez que nunca ocorreu nenhum, a MR é baixa pois a P de ocorrência é reduzida.

Foi ainda considerada a ocorrência de *graffitis* nos vidros dos expositores, no entanto uma vez que este comportamento não influencia diretamente as peças não causa PV para a coleção.

5.3.5. Temperatura e Humidade relativa incorretas

Depois de analisar os valores de T e HR das salas e do expositor (subcapítulo 3.2.1.), decidiu-se unir estes dois agentes de deterioração para discutir os cálculos da MR (Anexo XIII Tabela XIII.5). A T apesar de não apresentar uma flutuação significativa ao longo dos meses,

apresenta-se nos meses de Primavera/Verão elevada (máximo de 27,9°C), tornando-se assim alvo de cuidado, principalmente para as madeiras, no entanto, este material não é o maioritário na coleção, as MR são baixas para esses riscos. No caso da HR, a flutuação ao longo dos meses é elevada, chegando a ser de 9,6 (Anexo XI Tabela XI.3), e mesmo os valores registados por vezes são elevados (máximo de 56,1%), promovendo e acelerando a oxidação eletroquímica [54] dos metais, sendo a prata o material maioritário da coleção a MR é mais elevada nesses casos.

5.3.6. Poluentes

Depois de analisar os resultados das avaliações de qualidade do ar, e tendo em conta a literatura consultada sobre as recomendações dos limites dos mesmos, foram considerados os riscos dispostos na Tabela XIII.6 do Anexo XIII. Depois do cálculo da sua MR o que apresenta maior magnitude é a oxidação eletroquímica [54] dos metais, uma vez que estes apresentam uma grande sensibilidade aos poluentes e em certos casos são usados como indicadores para a monitorização da qualidade do ar em museus [1,14,28]. Os outros riscos com alguma magnitude são a acumulação de partículas e os gases imitados pelos produtos de limpeza e pelos materiais de exposição, uma vez que a maioria dos expositores não possui uniões entre os vidros, permitindo a entrada dos gases e das poeiras, causando a longo prazo acumulação de uma camada de partículas com espessura significativa para ser detetada à vista desarmada. Como já referido antes, esta camada é higroscópica fazendo a retenção moléculas de água e de poluentes gasosos nas superfícies das peças [24,44].

5.3.7. Pragas

Uma vez que a coleção é maioritariamente em prata, os riscos específicos devido a pragas são poucos (Anexo XIII Tabela XIII.7). A presença de insetos dentro dos expositores (p.e. moscas), facilitada pela existência de espaços entre os vidros suficientes para que estes consigam entrar (mais de 1mm), da presença de insetos pode resultar na deposição de dejetos nas peças, que ao serem ácidos e difíceis de remover, podendo provocar a corrosão dos metais. O outro risco considerado foi o surgimento de insetos que se alimentam de madeiras, uma vez que estes provocam danos físicos e químicos nas peças levando à que estas possam em casos extremos (que não se verificam no MNAA) impedir a exposições das mesmas. No entanto, são realizadas desinfestações trimestrais no museu como medida preventiva.

5.3.8. Luz

Após realizar as medições de radiação UV e visível nas salas verificou-se que os valores de radiação UV foram iguais a 0 junto as peças (e junto das lâmpadas foi cerca de 65 UV), assim

sendo não se verifica que seja um risco para as peças, e que os valores dos LUX também se encontram abaixo dos limites recomendados para os materiais expostos, 300 LUX para o caso dos metais [42,55], material maioritário da coleção. Uma vez que os valores se encontram em níveis aceitáveis, não apresenta risco para a coleção.

5.3.9. Dissociação

A este agente de deterioração são normalmente associados riscos específicos como, por exemplo, a falta de inventário das peças, falta de marcação de números de inventário nas peças, ou abandono da coleção, em casos extremos. Uma vez que não foi detetada a falta de inventário ou qualquer outro risco que possa ser considerado dissociação, não foram calculadas as MR.

A Fig.5.11 apresenta um gráfico com os valores de MR calculados para os riscos específicos. Note-se que os valores de MR inferiores a 0,003 não serão apresentados neste gráfico, uma vez que o risco é demasiado baixo para ser perceptível.

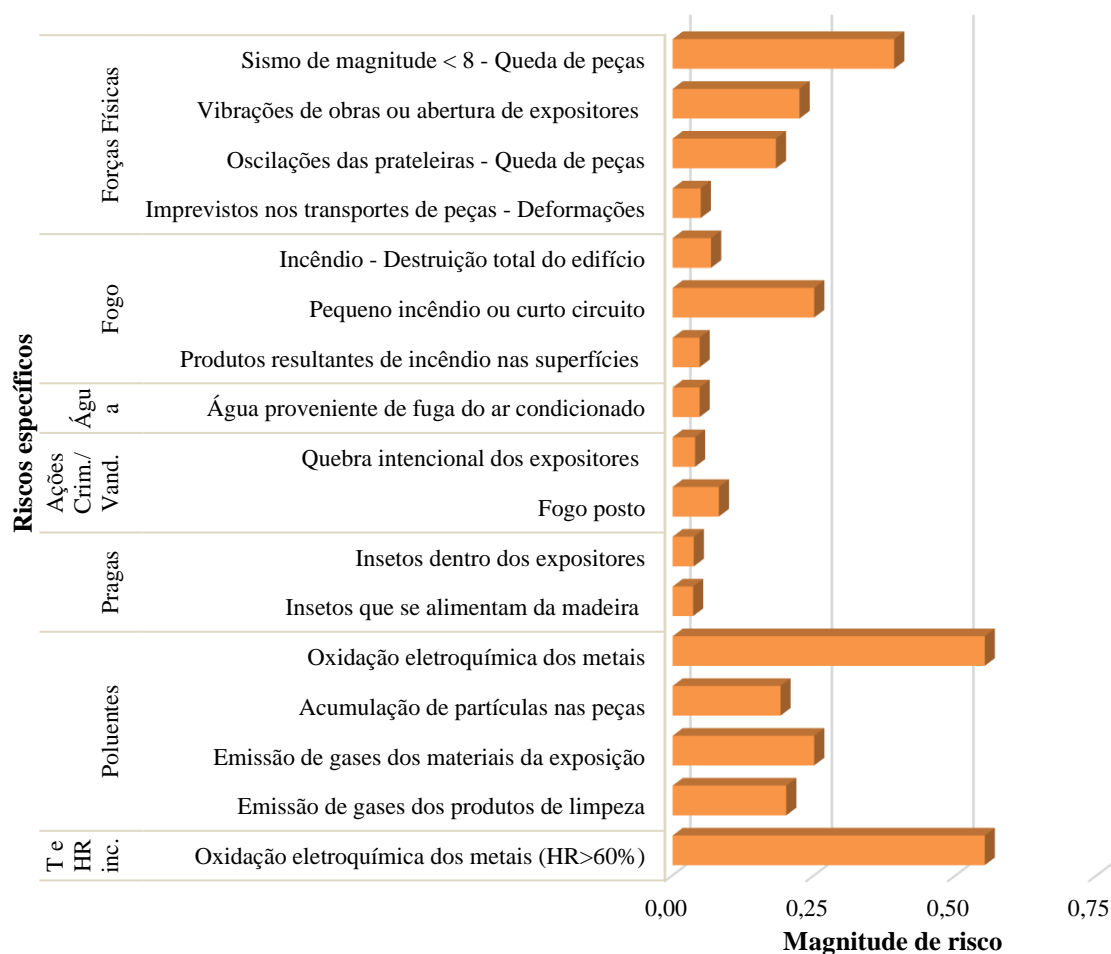


Figura 5.11. Magnitude dos riscos específicos calculados para a coleção em estudo.

5.3.10. Propostas de mitigação para os principais riscos

Os riscos específicos com uma maior magnitude de risco são:

- a) Oxidação eletroquímica dos metais devido a HR elevada, superior a 60%, uma vez que praticamente, ao longo de todos os meses a HR máxima registada é superior a este valor (Anexo XI Tabelas XI.1–4);
- b) Oxidação eletroquímica dos metais devido à presença de poluentes;
- c) E um sismo de magnitude inferior a 8, na escala de Richter, uma vez que pode provocar oscilações nas prateleiras levando conseqüentemente à queda das peças.

Para futuras remodelações, no caso das forças físicas, as prateleiras em vidro poderão ser mantidas, no entanto, para evitar que haja queda de peças das prateleiras por movimentações, propõem-se a fixação das prateleiras tornando-as anti vibratórias. Uma vez que a coleção se encontra dentro de expositores, a influência da água não vai interagir diretamente as peças, mas sim a HR das salas, por isso sugere-se que sejam realizadas monitorizações aos sistemas de ar-condicionado com regularidade para que não sejam registados incidentes. No caso dos poluentes, como se verificou nas medições do HCHO, este pode estar a ser gerado dentro dos expositores, provavelmente devido à existência de madeira e alcatifa, sendo a proposta para a sua eliminação a remoção destes dois materiais; no caso das partículas a solução seria fechar os espaços entre os vidros, uma vez que pela avaliação da sua deposição as quantidades mais baixas foram verificadas dentro do expositor “estanque”, no entanto, fechar os expositores pode ter a desvantagem de aumentar a concentração de HCHO (caso não se elimine a sua fonte), uma vez que vai deixar de haver a sua diluição para o exterior. Para a T e HR, principalmente a HR a proposta é controlar as flutuações utilizando um sistema de desumidificação e criar um ambiente único para as salas de ourivesaria com utilização de portas automáticas de vidro, que só abram com a entrada de visitantes, criando assim um clima mais adequado para a coleção e evitando influências externas. Para fechar os expositores não devem ser utilizados selantes de secagem *in situ*, uma vez que podem libertar ácidos durante esse processo, optando-se por silicones neutros, moldados frio e colocados *in situ* mecanicamente.

6. Conclusões

Através das avaliações de qualidade do ar no museu, percebeu-se que dos poluentes medidos em contínuo e que apresentou os valores mais preocupantes foi o formaldeído, uma vez que foi identificado na mini-revisão como um agente de deterioração das ligas de prata. A outra preocupação emergente deste estudo são os valores de matérias particuladas dentro dos expositores e dos elementos nelas detetados. Uma vez que a deposição destas partículas irá criar retenção de humidade na superfície das peças em liga de prata, estas irão tornar-se mais suscetíveis à oxidação, e a presença de S e Cl nas partículas poderá levar à formação de produtos de corrosão como o Ag_2S e AgCl , respetivamente. É importante e urgente a implementação de medidas para evitar a acumulação de partículas, pelo que se recomenda o fecho dos expositores “abertos”, uma vez que no expositor “estanque” o número de elementos identificados foi menor e em menor concentração. Recomenda-se também a remoção da alcatifa e da madeira para eliminar a emissão de poluentes e a formação de partículas.

Na caracterização dos cupões de Ag-Cu não foi possível detetar alterações por μ -FRX-DE e DRX. Mas por μ -Raman percebeu-se que existem alterações, ao fim de cinco meses de exposição, dentro dos expositores, no entanto em estados iniciais de oxidação, formação de AgO , Ag_2O e $\text{Ag}(\text{OH})$, e eventualmente óxidos de cobre, uma vez que a banda de vibração metal-oxigénio (220 cm^{-1}) é comum aos dois metais. No entanto, esta caracterização por μ -Raman pode dizer-se que é pioneira nesta área, uma vez que não foi encontrado outro estudo semelhante, sendo necessário realizar análises complementares tais como microscopia eletrónica de varrimento acoplada à microanálise por raios-X (SEM-EDS) e espectroscopia de fotoelétrons de raios-X (XPS), por serem técnicas mais sensíveis e com poder de resolução maior, e já existirem trabalhos com estas técnicas em prata esterlina [3].

Na avaliação de risco foi possível perceber que os agentes com maior MR para a coleção são: os poluentes, uma vez que é um dos agentes que maior influencia a deterioração das coleções de prata em museus; a HR uma vez que os seus valores se encontram elevados provocando também a deterioração das pratas, pela sua oxidação; e as forças físicas uma vez que pode ocorrer a queda de peças devido movimentações bruscas nas prateleiras, provocadas por sismos, abertura de expositores ou movimentações de peças. Para minimizar o impacto destes riscos foram colocadas propostas para a sua mitigação. Contudo, existem já medidas preventivas adotadas pelo MNAA.

7. Referências bibliográficas

- [1] V. Costa, The deterioration of silver alloys and some aspects of their conservation, *Stud. Conserv.* 46 (2001) 18–34. doi:10.1179/sic.2001.46.2.18.
- [2] I. Tissot, O.C. Monteiro, M.A. Barreiros, V. Corregidor, J. Correia, M.F. Guerra, Corrosion of silver alloys in sulphide environments: a multianalytical approach for surface characterisation, *RSC Adv.* 6 (2016) 51856–51863. doi:10.1039/C6RA05845K.
- [3] P. Homem, *Corrosão Atmosférica da Prata - Monitorização e Perspectivas de Conservação Preventiva*, Universidade do Porto - Faculdade de Letras, 2013.
- [4] J. Quina, *Museus do Mundo - Museu Nacional de Arte Antiga*, Centro Editor PDA, S.L., Lisboa, 2005. Tese de Doutoramento.
- [5] P. Figueiredo, T. Vale, C. Gomes, P. Noé, *Mosteiro de Santo Alberto / Palácio Alvor / Museu Nacional de Arte Antiga, SIPA - Sist. Informação Para O Património Arquít.* (2008). http://www.monumentos.pt/site/app_pagesuser/SIPA.aspx?id=3153 (accessed March 4, 2017).
- [6] Carta de Vulnerabilidade Sísmica dos Solos, (2008). <http://www.cm-lisboa.pt/viver/seguranca/protecao-civil/riscos-da-cidade> (accessed March 14, 2017).
- [7] Localização do MNAA, Google Maps. (2017). <https://www.google.pt/maps/place/Museu+Nacional+de+Arte+Antiga/@38.703839,-9.161485,880m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0xc932f1ff3fad2b24!8m2!3d38.7048412!4d-9.1614643> (accessed January 24, 2017).
- [8] *Grandes Obras*. Museu Nacional de Arte Antiga. Lisboa: Imprensa-Nacional Casa da Moeda, Museu Nacional de Arte Antiga, Lisboa, n.d.
- [9] A. Candeias, B. Maduro, *O Tesouro da Vidigueira. Estudo e Intervenção de Conservação*, in: *VIAGENS - O Tesouro Da Vidigueira*, Direção Geral do Património Cultural - Museu Nacional de Arte Antiga, Lisboa, 2011.
- [10] B. Maduro, M. Cardoso, A. Candeias, M.J. Oliveira, F.M.G. Guimarães, *A Ourivesaria Religiosa do Mosteiro de Alcobaça no Museu Nacional de Arte Antiga*, in: *Thes. - A Ourivesaria Sacra Da Real Abadia Alcobaça*, Direção Geral do Património Cultural - Museu Nacional de Arte Antiga, Lisboa, 2012.
- [11] Museu Nacional de Arte Antiga, (n.d.). <http://www.museudearteantiga.pt/planta> (accessed February 7, 2017).
- [12] Matriz, Direção-Geral Do Património Cult. (n.d.). <http://www.matriz.dgpc.pt/index.php> (accessed February 8, 2017).
- [13] N. Canha, S.M. Almeida, M.D.C. Freitas, M. Trancoso, A. Sousa, F. Mouro, H.T. Wolterbeek, Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology, *Atmos. Environ.* 83 (2014) 21–34. doi:10.1016/j.atmosenv.2013.10.061.
- [14] P. Homem, *Conservação preventiva em contextos culturais. Recursos tecnológicos para gestão de risco ambiental; poluição*, *Rev. Da Fac. Let. - Ciências E Técnicas Do Património*. XII (2013) 305–317.
- [15] J.L. de Matos, *Qualidade do Ar Interior em Ambiente Hospitalar : Identificação de Poluentes, Fontes e Estratégias para a Otimização dos Serviços de Saúde*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014. Dissertação de Mestrado.
- [16] J.I.C.S. João, *Desenvolvimento de Géis de Líquido Iónico para a Redução do Sulfureto de Prata*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2016. Dissertação de Mestrado.
- [17] S.M. Almeida, M.C. Freitas, M. Reis, T. Pinheiro, P.M. Felix, C.A. Pio, *Fifteen years of nuclear*

- techniques application to suspended particulate matter studies, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 297 (2013) 347–356. doi:10.1007/s10967-012-2354-1.
- [18] R.R. Waller, *Cultural Property Risk Analysis Model: Development and Application to Preventive Conservation at the Canadian Museum of Nature*, Goteborg University Institute of Conservation, 2003.
- [19] A.C. Pinheiro, *Análise de Risco aplicada ao Edifício do Arquivo Histórico Ultramarino*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006. Dissertação de Mestrado.
- [20] M.I.E. Fernandes, *Análise de risco aplicada à coleção de pintura a óleo da “ Casa dos Patudos ,”* Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015. Dissertação de Mestrado.
- [21] Agents of deterioration, *Can. Conserv. Inst.* (n.d.). <http://canada.pch.gc.ca/eng/1444330943476> (accessed October 30, 2016).
- [22] R. Waller, Conservation risk assessment: a strategy for managing resources for preventive conservation, *Stud. Conserv.* 39 (1994) 12–16.
- [23] J. Logan, Storage of Metals, *Can. Conserv. Inst.* (2007) 1–6. <http://canada.pch.gc.ca/eng/1439925170350> (accessed February 10, 2017).
- [24] J. Tétreault, *Airborne Pollutants in Museums, Galleries, and Archives: Risk Assessment, Control Strategies, and Preservation Management*, Canadian Conservation Institute, Ottawa - Canada, 2003.
- [25] P.B. Hatchfield, *Pollutants in the Museum Environment: Practical Strategies for Problem Solving in Design, Exhibition and Storage*, Archetype Publication Ltd., London, 2002.
- [26] C.M. Grzywacz, *Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2006.
- [27] S.L. Fragoso, *Atmosferas de museus e patologias em peças de prata: diagnose de patologias; controlo de nanoclimas; metodologias preventivas*, Lisboa, 2000.
- [28] H.A. Ankersmit, G. Noble, L. Ridge, D. Stirling, N.H. Tennent, S. Watts, The protection of silver collections from tarnishing, *Tradit. Innov. Adv. Conserv. Contrib. to Melb. Congr.* 10-14 Oct. 2000. (2000) 7–13.
- [29] J.P. Franey, G.W. Kammlott, T.E. Graedel, The corrosion of silver by atmospheric sulfurous gases, *Corros. Sci.* 25 (1985) 133–143. doi:10.1016/0010-938X(85)90104-0.
- [30] T.E. Graedel, J.P. Franey, G.J. Gualtieri, G.W. Kammlott, D.L. Malm, On the mechanism of silver and copper sulfidation by atmospheric H₂S and OCS, *Corros. Sci.* 25 (1985) 1163–1180. doi:10.1016/0010-938X(85)90060-5.
- [31] I. Martina, R. Wiesinger, M. Schreiner, Micro-Raman investigations of early stage silver corrosion products occurring in sulfur containing atmospheres, *J. Raman Spectrosc.* 44 (2013) 770–775. doi:10.1002/jrs.4276.
- [32] H.A. Ankersmit, N.H. Tennent, S.F. Watts, Hydrogen sulfide and carbonyl sulfide in the museum environment - Part 1, *Atmos. Environ.* 39 (2005) 695–707. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.10.013.
- [33] H. Lin, G.S. Frankel, W.H. Abbott, Analysis of Ag corrosion products, *J. Electrochem. Soc.* 160 (2013) C345–C355. doi:10.1149/2.055308jes.
- [34] R. Wiesinger, I. Martina, C. Kleber, M. Schreiner, Influence of relative humidity and ozone on atmospheric silver corrosion, *Corros. Sci.* 77 (2013) 69–76. doi:10.1016/j.corosci.2013.07.028.
- [35] M.F. Striegel, The effects of gas phase formaldehyde on selected inorganic materials found in museums, in: P.B. Hatchfield (Ed.), *Objects Spec. Gr. Postprints*, Vol. One, 1991, American Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, Washington DC, 1991: pp. 1–12.
- [36] L. Volpe, P.J. Peterson, The atmospheric sulfidation of silver in a tubular corrosion reactor,

- Corros. Sci. 29 (1989) 1179–1196. doi:10.1016/0010-938X(89)90065-6.
- [37] D.W. Rice, P. Peterson, E.B. Rigby, P.B.P. Phipps, R.J. Cappell, R. Tremoureux, Atmospheric Corrosion of Copper and Silver, *J. Electrochem. Soc.* 128 (1981) 275–284. doi:10.1149/1.2127403.
- [38] P. Homem, I. Fonseca, J. Cavalheiro, O escurecimento do altar de prata da Sé do Porto: um caso de corrosão atmosférica, *Corros. Prot. Mater.* 27 (2008) 82–86.
- [39] L. Selwyn, *Metals and Corrosion: A Handbook for the Conservation Professional*, 1st ed., Canadian Conservation Institute, Ottawa - Canada, 2004.
- [40] T.A.S. Henriques, *Avaliação do Clima Interior no Museu Nacional de Arte Antiga*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015. Dissertação de Mestrado.
- [41] M. Pereira, *Temas de Museologia: Circulação de Bens Culturais Móveis*, 1^a edição, Instituto Português de Museus, Lisboa, 2004.
- [42] G. Thomson, *The Museum Environment*, 2nd ed., Butterworths, 1986. doi:10.1016/B978-0-7506-1266-1.50010-X.
- [43] L.C.R. Dias, *Qualidade do ar interior e influência na conservação de objetos de prata – as salas de ourivesaria do Museu Nacional de Arte Antiga*, Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia, 2013. Dissertação de Mestrado.
- [44] G.M. Ingo, E. Angelini, C. Riccucci, T. De Caro, A. Mezzi, F. Faraldi, D. Caschera, C. Giuliani, G. Di Carlo, Indoor environmental corrosion of Ag-based alloys in the Egyptian Museum (Cairo, Egypt), *Appl. Surf. Sci.* 326 (2015) 222–225. doi:10.1016/j.apsusc.2014.11.135.
- [45] T. Palomar, M. Oujja, I. Llorente, B. Ramírez Barat, M. V. Cañamares, E. Cano, M. Castillejo, Evaluation of laser cleaning for the restoration of tarnished silver artifacts, *Appl. Surf. Sci.* 387 (2016) 118–127. doi:10.1016/j.apsusc.2016.06.017.
- [46] I. Martina, R. Wiesinger, M. Schreiner, Micro-Raman Characterisation of Silver Corrosion Products : Instrumental Set Up and Reference, *E-Preservation Sci.* 9 (2012) 1–8.
- [47] G.J. Millar, J.B. Metson, G.A. Bowmaker, R.P. Cooney, In situ Raman studies of the selective oxidation of methanol to formaldehyde and ethene to ethylene oxide on a polycrystalline silver catalyst, *J. Chem. Soc. Faraday Trans.* 91 (1995) 4149–4159. doi:10.1039/ft9959104149.
- [48] J. Trajića, R. Rudolf, I. Anžel, M. Romčević, N. Lazarević, M. Mirić, Z. Lazarević, B. Hadžić, N. Romčević, Optical Properties of Plastically Deformed Copper, *ACTA Phys. Pol. A.* 117 (2010) 791–793. doi:10.1103/PhysRev.99.1245.
- [49] A. Sahai, N. Goswami, S.D. Kaushik, S. Tripathi, Cu/Cu₂O/CuO nanoparticles: Novel synthesis by exploding wire technique and extensive characterization, *Appl. Surf. Sci.* 390 (2016) 974–983. doi:10.1016/j.apsusc.2016.09.005.
- [50] G.I.N. Waterhouse, G.A. Bowmaker, J.B. Metson, Mechanism and active sites for the partial oxidation of methanol to formaldehyde over an electrolytic silver catalyst, *Appl. Catal. A Gen.* 265 (2004) 85–101. doi:10.1016/j.apcata.2004.01.016.
- [51] A.C. Municchia, F. Bellatreccia, G. D’Ercoli, S. Lo Mastro, I. Reho, M.A. Ricci, A. Sodo, Characterisation of artificial patinas on bronze sculptures of the Carlo Bilotti Museum (Rome), *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* 122 (2016) 1–8. doi:10.1007/s00339-016-0551-4.
- [52] P. Marcon, Agent of Deterioration: Physical Forces, *Can. Conserv. Inst.* (2016). <http://canada.pch.gc.ca/eng/1444924113472> (accessed August 22, 2017).
- [53] J. Tétreault, Fire Risk Assessment for Collections in Museums, *J. Can. Assoc. Conserv.* 33 (2008) 3–21. http://www.kb.nl/kvce/tetreault_fire_risk_assessment_cac.pdf.
- [54] A.H. Cottrell, *Introdução à Metalurgia*, 2^o Edição, Fundação Caluste Gulbenkian, 1975.
- [55] S. Michalski, Agent of Deterioration: Light, Ultraviolet and Infrared, *Can. Conserv. Inst.* (2017). <http://canada.pch.gc.ca/eng/1444925073140> (accessed September 6, 2017).

Anexos

Anexo I: Plantas do Museu Nacional de Arte Antiga

0

PISO

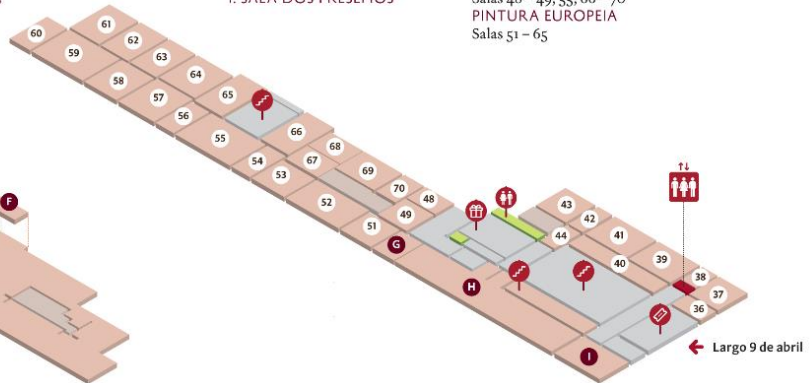
- A. GALERIA DE EXPOSIÇÕES TEMPORÁRIAS
 - B. GALERIA DE EXPOSIÇÕES TEMPORÁRIAS
 - C. BIBLIOTECA
 - D. AUDITÓRIO
 - E. GABINETE DE DESENHOS E GRAVURAS
 - F. SALA DO MEZANINO
- Exposições temporárias



1

PISO

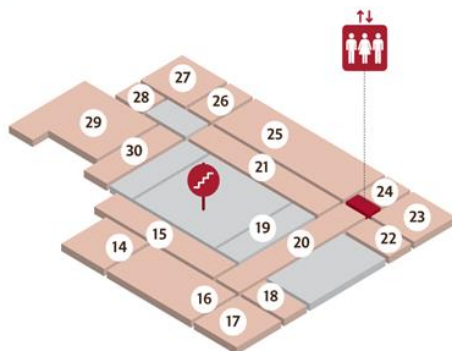
- G. SALA DO TECTO PINTADO
 - H. CAPELA DAS ALBERTAS
 - I. SALA DOS PRESÉPIOS
- Exposições temporárias
Temporariamente encerrada
- MOBILIÁRIO PORTUGUÊS
Salas 36 – 44
ARTES DECORATIVAS
EUROPEIAS
Salas 48 – 49, 55, 66 – 70
PINTURA EUROPEIA
Salas 51 – 65



2

PISO

- ARTE DA EXPANSÃO
- Salas 14 – 18
- CERÂMICA
- Salas 19 – 25
- OURIVESARIA
- Salas 26 – 29
- JOALHARIA
- Sala 30



3

PISO

- PINTURA E ESCULTURA PORTUGUESAS
- Salas 1 – 13

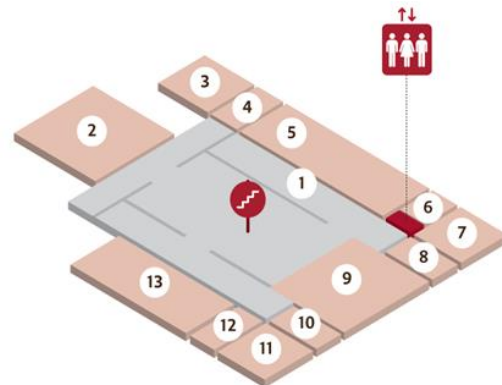


Figura I.1. Plantas do Museu Nacional de Arte Antiga. [11]

Anexo II: Planta das salas

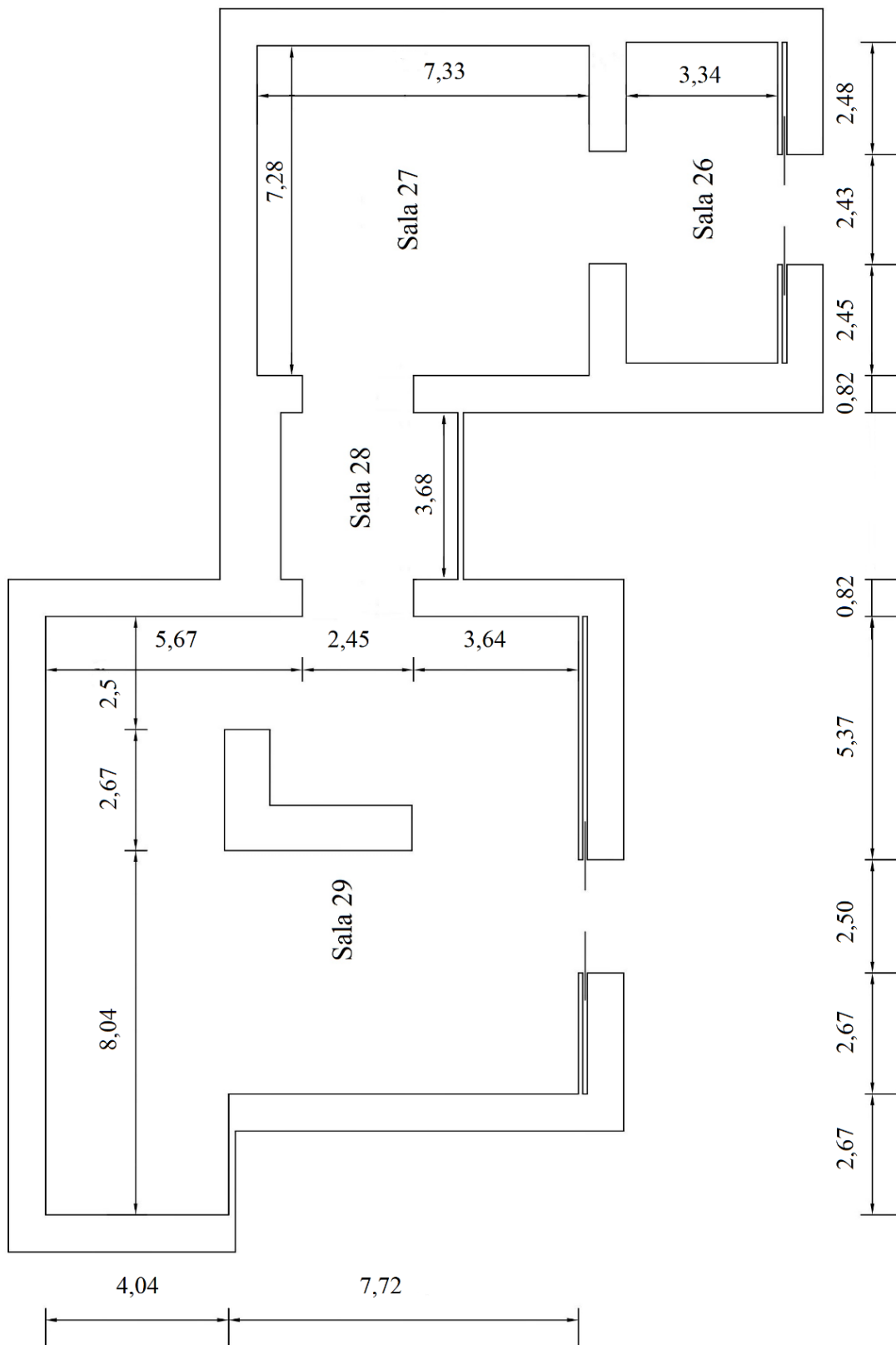


Figura II.1. Planta das salas de exposição de ourivesaria portuguesa do MNAA, com as dimensões.

Anexo III: Tipos de expositores identificados

Expositores “abertos”:

A designação de expositores “abertos” deriva do facto de estes não possuírem união entre os vidros (Fig.III.1), o que provoca um espaçamento entre os mesmos, a base dos expositores é em madeira e alcatifa (Anexo IV Fig.IV.1.a)). Esse espaçamento varia de expositor para expositor, essas medidas são apresentadas na Tabela III.1, no entanto, não foi possível medir todas elas devido à organização dos expositores.

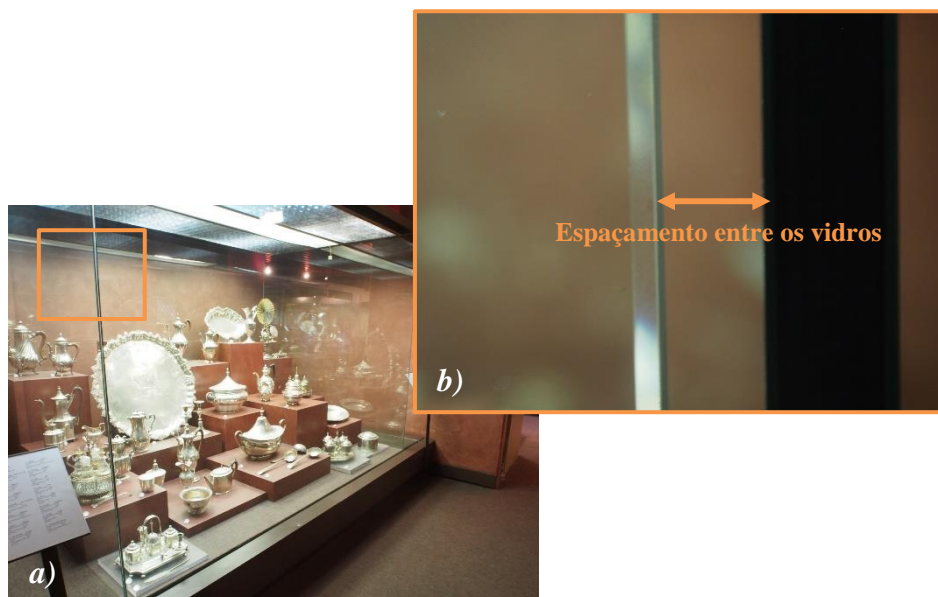


Figura III.1. a) Exemplo de um expositor aberto; b) Pormenor do espaço entre os vidros.

Tabela III.1. Medidas dos espaçamentos entre os vidros dos expositores "abertos".

| Sala | Expositor | Espaçamento entre os vidros (mm) | | | | Sala | Expositor | Espaçamento entre os vidros (mm) | | | |
|------|-----------|----------------------------------|------|------|------|------|-----------|----------------------------------|------|------|------|
| | | Arestas | | | | | | Arestas | | | |
| | | Frente | | Trás | | | | Frente | | Trás | |
| A | B | C | D | A | B | C | D | | | | |
| 26 | 1 | 8,00 | 5,00 | - | - | 28 | 2 | 0,65 | 1,50 | - | - |
| | 2 | 0,40 | 0,40 | - | - | | 3 | 2,00 | 3,00 | - | - |
| | 1 | 0,65 | 2,50 | - | - | | 1 | 0,20 | 0,40 | - | 0,65 |
| 27 | 2 | 0,80 | 0,15 | - | - | 3 | | | | | |
| | 3 | 6,00 | 5,00 | - | - | 5 | 0,25 | 0,55 | 6,00 | 5,00 | |
| | 5 | 2,50 | 2,50 | - | - | 6 | 0,40 | 0,20 | - | 4,00 | |
| | 6 | 1,50 | 2,00 | - | 1,20 | 29 | 7 | 3,00 | 4,00 | 1,30 | - |
| 7 | 0,40 | 0,03 | 0,65 | - | 10 | | 1,00 | 1,40 | - | - | |
| | | | | | 12 | | 1,50 | 0,09 | - | 0,60 | |
| | | | | | 13 | | 1,40 | 1,40 | - | - | |
| | | | | | 14 | | 2,00 | 0,30 | 4,00 | 4,00 | |

Expositores “estanques”, com alcatifa:

A designação de expositores “estanques” com alcatifa foi atribuída com base no facto de estes possuírem união em silicone entre os vidros, o que não acontece no caso anterior, no entanto a base é igual à dos expositores anteriores (Fig.III.2).

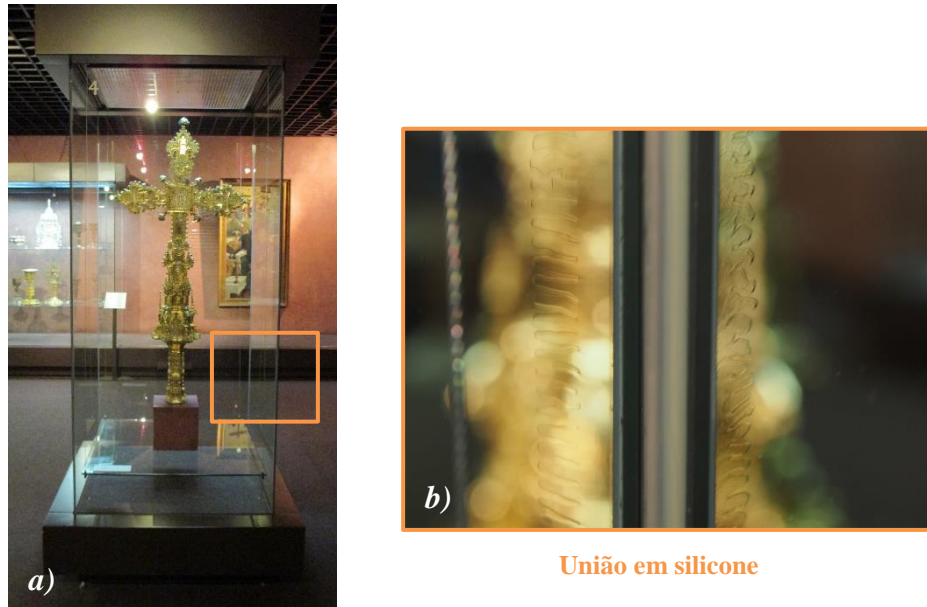


Figura III.2. *a)* Exemplo de um expositor “estanque”, com alcatifa; *b)* Pormenor da união em silicone entre os vidros.

Expositores “estanques”, com seda:

A atribuição de expositores estanques com seda foi dada de forma idêntica ao caso anterior, mas neste caso a base do expositor em vez de ser em alcatifa é em seda natural (Fig.III.3).



Figura III.3. *a)* Exemplo de um expositor “estanque”, com seda; *b)* Pormenor da base em seda.

Expositor “estanque”, com seda e com monitorização:

A diferença deste expositor para o anterior é que neste caso existe um termo-higrómetro no seu interior que faz a monitorização da temperatura e da humidade relativa no seu interior (Fig.III.4).



Figura III.4. Expositor “estanque”, com seda e com monitorização, destaque para o termo-higrómetro.

Expositores em “mesa”:

Os expositores em mesa, foram assim designados, por serem expositores em que as peças se encontram expostas numa base em seda com uma proteção de vidro e calhas metálicas, onde se observam as peças de cima (Fig.III.5).



Figura III.5. Exemplo de um expositor em “mesa”.

Anexo IV: Identificação das fibras têxteis e das madeiras dos expositores

A identificação da composição de duas amostras de madeiras (uma escura e outra clara) e de duas amostras de fibras têxteis (alcatifa e tecido), recolhidas das bases dos expositores (Fig.IV.1), foram realizadas no Laboratório José de Figueiredo, pela Doutora Lília Esteves e pela Doutora Ana Machado, respetivamente.



Figura IV.1. Bases dos expositores. a) Expositores com alcatifa; b) Expositores com seda; c) Pormenor da seda.

Informações retiradas do relatório enviado pelo Laboratório José de Figueiredo:

As amostras foram identificadas através da observação dos cortes longitudinal e transversal à Lupa Binocular (Lupa binocular *Carl Zeiss/ Jena*), por Microscopia Ótica (Microscópio *Leitz Wetzlar Orthoplan* sob luz polarizada e empregando lentes de diferentes ampliações acoplado a uma câmara digital *Leica DC500* e Microscópio *Leitz Dialux 20*) e fotografia (Câmara fotográfica *Canon Powershot A 560*, 7.1 Megapixéis).

A identificação da amostra de alcatifa foi realizada com base na observação dos seus cortes longitudinais e transversais ao microscópio ótico (Fig.IV.2). A conjugação das imagens permite-lhes concluir que a amostra de alcatifa é composta por vários tipos de fibras artificiais, viscose (Fig.IV.2.f) corte transversal com secções entalhadas), e sintéticas, nomeadamente nylon (Fig.IV.2.e) e g) corte transversal com secções circular, circular bipartida e trilobal) e acrílicas (Fig.IV.2.h) corte transversal com secções circulares ponteadas).

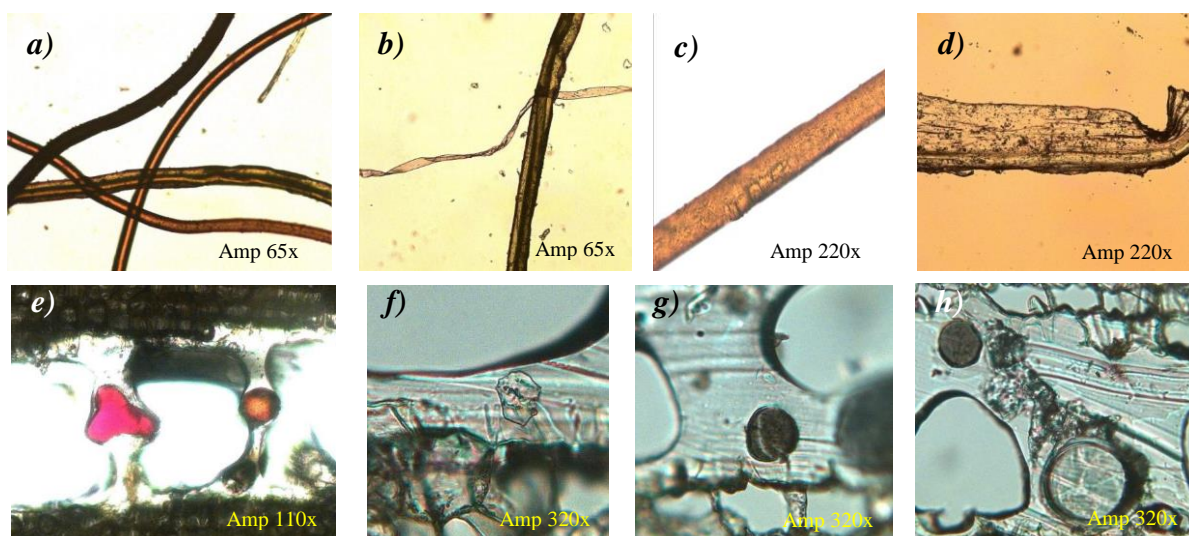


Figura IV.2. Amostra de alcatifa. Cortes longitudinais - a), b), c), d). Cortes transversais - e), f), g), h).

A amostra da madeira intermédia (Fig.IV.3), de coloração escura, foi identificada como sendo proveniente de uma madeira de angiospérmica exótica, avermelhada escura, com porosidade difusa, raios mono e plurisseriados amarelados avermelhados e muito parênquima amarelado. Ao compararem a amostra com as madeiras da xiloteca, pareceu-lhes muito semelhante a *Guibourtia coleosperma* (Benth.) cujo nome vulgar é mussibi.

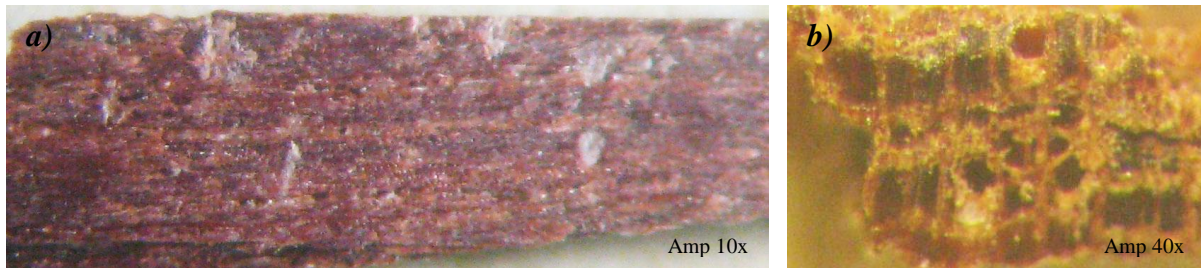


Figura IV.3. Amostra da madeira intermédia (coloração escura). *a)* Secção longitudinal; *b)* Secção transversal.

A amostra de madeira inferior (Fig.IV.4), de coloração clara, foi identificada como sendo proveniente de uma madeira gimnospérmica, com canais de resina. Através da observação microscópica das pontuações, tipo pinóide (PP) (Fig.IV.4.*b*)), dos campos de cruzamento, concluíram que se tratava de uma madeira do género *Pinus* sp., cujo a designação comum é pinho, não sendo possível identificar a espécie só com a análise morfológica.

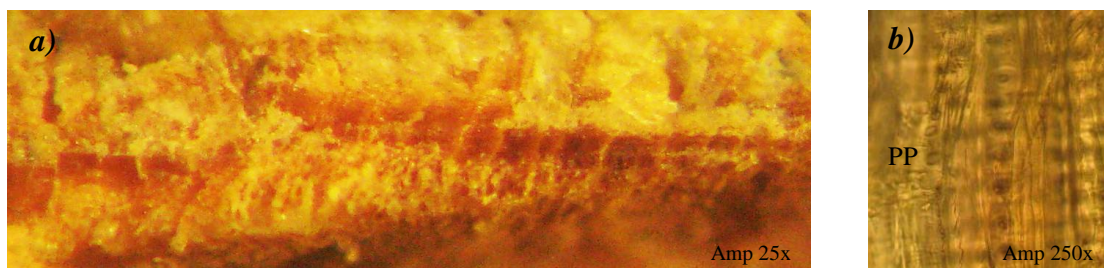


Figura IV.4. Amostra de madeira inferior (coloração clara). *a)* Secção longitudinal; *b)* Secção transversal.

A amostra de tecido foi identificada com base na observação dos seus cortes longitudinal e transversal ao microscópio ótico (Fig.IV.5), e a conjugação das imagens permitiu-lhes concluir se tratam de fibras naturais proteicas, seda (corte transversal com secções triangulares (Fig.IV.5.*b*))).

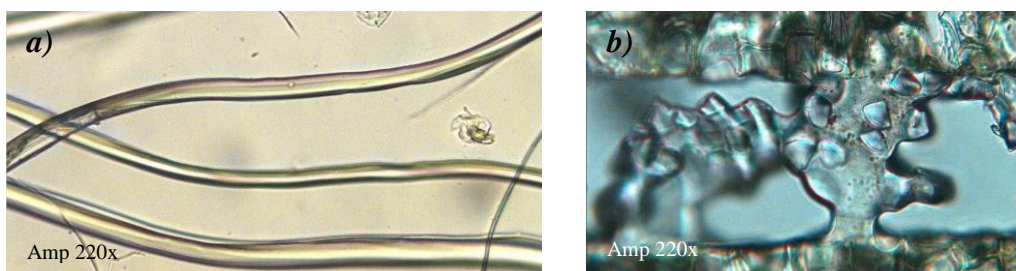


Figura IV.5. Amostra de tecido. *a)* Corte longitudinal; *b)* Corte transversal.

Anexo V: Inventário das peças expostas

Tabela V.1. Peças expostas na sala 26.

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|----------|--------------|------------------|-------------------------|-----------------|
| 26 | 1 | 367 our | Cafeteira | Prata e Ébano |
| | | 1091 our | Cafeteira | Prata e Ébano |
| | | 378 our | Cafeteira | Prata e madeira |
| | | 1090 our | Cafeteira | Prata e Ébano |
| | | 1074 our | Bacia | Prata |
| | | 1075 our | Gomil | Prata |
| | | 1966 a our | Candeia | Prata |
| | | 530 our | Candeeiro de duas velas | Prata e tecido |
| | | 1221 our | Bandeja | Prata |
| | | 1222 our | Tesoura de morrões | Prata |
| | | 1121 our | Caixa de chá | Prata |
| | | 912 our | Cafeteira | Prata e madeira |
| | | 1101 our | Leiteira | Prata |
| | | 1094 our | Jarro | Prata |
| | | 653 our | Salva | Prata |
| | | 1178 our | Castiçal | Prata |
| | | 1179 our | Castiçal | Prata |
| | | 1985 our | Terrina | Prata |
| | | 913 our | Cafeteira | Prata e madeira |
| | | 914 our | Leiteira | Prata |
| | | 915 our | Açucareiro | Prata |
| | | 916 our | Taça dos pingos | Prata |
| | | 325 our | Escrivaninha | Prata |
| | | 874 our | Bacia | Prata |
| | | 1307 our | Galheteiro | Prata e vidro |
| | | 1093 our | Jarro | Prata |
| | | 1260 our | Copo com tampa | Prata |
| | | 746 our | Escrivaninha | Prata |
| | | 1227 our | Escrivaninha | Prata |
| | | 1711 our | Bule | Prata |
| | | 1712 our | Cafeteira | Prata |
| | | 1713 our | Leiteira | Prata |
| | | 1714 our | Açucareiro | Prata |
| | | 1715 our | Taça de pingo | Prata |
| | | 1131 our | Terrina | Prata |
| | | 3 our | Concha | Prata |
| | | 4 our | Concha | Prata |
| | | 1382 our | Concha | Prata |
| | | 321 our | Escrivaninha | Prata |
| | | 873 our | Caixa | Prata |
| | | 1088 our | Chaleira | Prata |
| | | 1245 our | Caixa | Prata |
| 1041 our | Salva | Prata | | |
| 1047 our | Travessa | Prata | | |
| 1103 our | Vaca | Prata | | |
| 1104 our | Vaca | Prata | | |
| 1120 our | Caixa | Prata | | |
| 923 our | Cafeteira | Prata e ébano | | |
| 924 our | Trempe | Prata | | |
| 1089 our | Chocolateira | Prata e ébano | | |

Tabela V.1. Peças expostas na sala 26 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|------|-----------|------------------|--|--|
| 26 | 2 | 1286 our | Caneca | Prata |
| | | 1301 our | Molheira | Prata |
| | | 1287 our | Caneca | Prata |
| | | 1289 our | Jarra | Prata |
| | | 1112 our | Açucareiro | Prata |
| | | 1569 our | Caixa de musica | Prata dourada |
| | | 526 our | Bandeja | Prata |
| | | 839 our | Caixa | Prata |
| | | 2002 our | Galheteiro | Prata e vidro |
| | | 1218 our | Bandeja | Prata |
| | | 1219 our | Bandeja | Prata |
| | | 1220 our | Tesoura de morrões | Prata |
| | | 1302 our | Molheira | Prata |
| | | 1238 our | Caixa | Prata |
| | | 1174 our | Castiçal | Prata |
| | | 1175 our | Castiçal | Prata |
| | | 1299 our | Saleiro | Prata |
| | | 1300 our | Saleiro | Prata |
| | | 1237 our | Caixa | Prata |
| | | 1282 our | Taça com tampa | Prata |
| | | 1283 our | Taça com tampa | Prata dourada |
| | | 1128 our | Confeiteira | Prata dourada e esmaltes |
| | | 1293 our | Saleiro | Prata dourada e damasquiada |
| | | 1294 our | Saleiro | Prata |
| | | 652 our | Jarro | Prata dourada e esmaltes |
| | | 1129 our | Taça | Prata dourada |
| | | 1583-93 our | 1. Bule; 2. Marmitta; 3. Copo; 4. Funil; 5. Colher; 6. Garfo; 7. Colher de sobremesa; 8. Faca de sobremesa; 9. Saca-rolhas; 10. Chavena; 11. Espelho | 1. Mogno, marroquianaria, prata, cristal, porcelana e cabedal; 2. Prata; 3. Prata; 4. Prata; 5. Prata; 6. Prata; 7. Prata; 8. Prata e madeira; 9. Aço, cabedas (no tabuleiro); 10. Porcelana (chavena e pires), cabedal (separador), cristal e prata (frasco); 11. Prata e espelho |
| | | 1389-91 our | 89 - Concha de crivo; 90 - Colher de crivo; 91 - Talher de peixe | 89 - Prata; 90 - Prata; 91 - Prata |

Tabela V.2. Peças expostas na sala 27.

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|------|-----------|------------------|-------------|----------------------------------|
| 27 | 1 | 185 our | Custódia | Prata dourada e Vidros coloridos |
| | | 102 our | Custódia | Prata dourada e Esmaltes |
| | | 254 our | Píxide | Prata dourada e Esmaltes |
| | | 171 our | Custódia | Prata dourada |
| | | 537 our | Custódia | Prata dourada |
| | | 34 our | Cofre | Prata |
| | | 604 our | Campainha | Prata |
| | | 677 our | Sacra | Prata, madeira |
| | | 42 our | Cofre | Prata e bronze |
| | | 696 our | Cálice | Prata dourada e Esmaltes |

Tabela V.2. Peças expostas na sala 27 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais | |
|----------|--------------|-------------------|--------------------------------------|--|---|
| 27 | 2 | 259 our | Castiçal | Prata | |
| | | 260 our | Castiçal | Prata | |
| | | 973 joa | Selo de Armas de D. Tomás de Almeida | Prata | |
| | | 605 our | Estante de missal | Folha de prata sobre madeira | |
| | | 362 our | Turíbulo | Prata | |
| | | 961 our | Naveta | Prata | |
| | | 574 our | Mitra | Prata e pedras | |
| | | 3 | 843 our | Custódia | Prata dourada e Vidros coloridos |
| | | | 336 our | Cálice | Prata dourada |
| | | | 350 our | Píxide | Prata dourada; Diamantes-brilhantes, Rubis, Esmeraldas e Vidros incolores |
| | 346 our | | Cálice | Prata dourada; Ouro; Rubis, Diamantes, Esmeraldas e Vidros | |
| | 517 our | | Custódia | Prata dourada | |
| | 947 our | | Custódia | Prata dourada | |
| | 691 our | | Cálice | Prata dourada | |
| | 333 our | | Cálice | Prata dourada | |
| | 56 our | | Píxide | Prata dourada | |
| | 637 our | | Cálice | Prata dourada | |
| | 4 | 553 our | Bandeja | Prata dourada | |
| | | 554, 555, 556 our | Copo, 2 galhetas | Prata dourada | |
| | | 615 our | Bacia | Prata dourada | |
| | | 616 our | Jarro | Prata dourada | |
| | | 617 our | Caixa de hóstias | Prata dourada | |
| | | 388 our | Custódia | Prata dourada, Esmeraldas, Rubis, Diamantes, Topázios, Granadas, Safiras | |
| | | 1 our | Custódia da <i>Bemposta</i> | Prata dourada, Brilhantes, Jacintos, Esmeraldas, Rubis, Ametistas e Topázios | |
| | | 5 | 309 our | Salva | Prata |
| | 796 our | | Bandeja de tesoura de morrões | Prata | |
| | 797 our | | Tesoura de morrões | Prata | |
| | 1290 our | | Jarra | Prata | |
| | 33 our | | Perfumador | Prata | |
| | 910 our | | Gomil | Prata | |
| | 911 our | | Bacia | Prata | |
| | 1225 our | | Escrivaninha | Prata | |
| 1239 our | Caixa | | Prata | | |
| 1108 our | Polvilhador | | Prata | | |
| 1224 our | Escrivaninha | | Prata | | |
| 69 our | Tembladeira | | Prata | | |
| 1303 our | Galheta | | Prata | | |
| 1304 our | Galheta | | Prata | | |
| 1305 our | Saleiro | Prata | | | |

Tabela V.2. Peças expostas na sala 27 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|----------|----------------------------|------------------|------------------------|---|
| 27 | 5 | 1306 our | Base de galheteiro | Prata |
| | | 6 our | Lavanda | Prata |
| | | 5 our | Gomil | Prata |
| | | 622 our | Candeia | Prata |
| | | 1244 our | Saboneteira | Prata |
| | | 1030 our | Salva | Prata |
| | | 23 our | Castiçal | Prata |
| | | 24 our | Castiçal | Prata |
| | | 786 our | Bule | Prata e Ébano |
| | | 829 our | Bule | Prata e Ébano |
| | | 1214 our | Perfumador | Prata |
| | | 1388 our | Concha | Prata |
| | | 1051 our | Salva | Prata |
| | | 1125 our | Taça | Prata |
| | | 1475-92 our | Faqueiro | Prata |
| | | 115 cx | Estojo de faqueiro | Madeira de casquinha, lixa, latão, veludo e galão em seda |
| | | 1421 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1433 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1445 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1525 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1537 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1547 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1493 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1499 our | Faqueiro | Prata |
| | | 1500 our | Faqueiro | Prata |
| | | 112 our | Resguardo de ampulheta | Prata |
| | | 6 | 959 our | Naveta |
| 998 our | Caldeirinha | | Prata | |
| 999 our | Hissope | | Prata | |
| 982 our | Bilha para os Santos Óleos | | Prata | |
| 871 our | Escalfador | | Prata | |
| 558 our | Prato | | Prata | |
| 1002 our | Bacia | | Prata | |
| 198 our | Castiçal | | Prata | |
| 7 | 199 our | Castiçal | Prata | |
| | 851 our | Cofre | Prata | |
| | 785 our | Bandeja | Prata | |
| | 208 our | Copo | Prata | |
| | 1251 our | Copo | Prata | |
| | 1134 our | Tembladeira | Prata e prata dourada | |
| | 391 our | Galeão | Prata | |
| | 1166 our | Castiçal | Prata | |

Tabela V.2. Peças expostas na sala 27 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|----------|-----------|------------------|--------------|---------------|
| 27 | 7 | 1167 our | Castiçal | Prata |
| | | 223 our | Taça | Prata |
| | | 1135 our | Taça | Prata |
| | | 1143 our | Taça | Prata |
| | | 1139 our | Taça | Prata |
| | | 1142 our | Tembladeira | Prata |
| | | 1137 our | Tembladeira | Prata |
| | | 1136 our | Tembladeira | Prata |
| | | 1037 our | Salva com pé | Prata |
| | | 1026 our | Salva | Prata |
| | | 319 our | Escrivaninha | Prata |
| | | 57 our | Salva | Prata |
| | | 624 our | Tinteiro | Prata |
| | | 1252 our | Copo | Prata |
| | | 1038 our | Salva | Prata |
| | | 113 our | Cofre | Prata |
| | | 61 our | Salva com pé | Prata dourada |
| | | 619 our | Salva | Prata |
| 361 our | Candeia | Prata | | |
| 1029 our | Salva | Prata | | |

Tabela V.3. Peças expostas na sala 28.

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|---------|-----------|------------------|-------------------------|---|
| 28 | 1 | 535 our | Báculo | Prata dourada, Cristais de rocha e Vidros coloridos |
| | | 79 our | Cruz relicário | Prata, vidro, reliquias, miniaturas |
| | | 111 our | Imagem de Santo António | Prata e Prata dourada |
| | | 201 our | Custódia | Prata dourada, Cristais de rocha e Vidros |
| | | 597 our | Cruz relicário | Prata dourada e gravada |
| | | 84 our | Virgem com o Menino | Prata branca, dourada e Vidros, Madeira |
| | 2 | 635 our | Cálice | Prata dourada e pedras |
| | | 658 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 946 our | Porta viático | Prata |
| | | 166 our | Caldeirinha | Prata |
| | | 167 our | Colher | Prata |
| | | 984 our | Caixa de Santos Óleos | Prata |
| | | 985 our | Caixa de Santos Óleos | Prata |
| | | 967 our | Coroa aberta | Prata |
| | | 958 our | Naveta | Prata |
| 120 our | Naveta | Prata | | |

Tabela V.3. Peças expostas na sala 28 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|
| 28 | 2 | 121 our | Colher | Prata |
| | | 632 our | Cofre | Tartaruga e prata |
| | | 703 our | Naveta | Prata |
| | | 1208 our | Quebra-luz | Prata e papel |
| | | 964 our | Turíbulo | Prata |
| | | 965 our | Turíbulo | Prata |
| | | 207 our | Cruz-relicário | Prata dourada |
| | | 385 our | Cofre | Prata dourada |
| | 3 | 714 our | Custódia - cálice | Prata dourada |
| | | 1984 our | Custódia - cálice | Prata dourada |
| | | 644 our | Cálice | Prata |
| | | 697 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 497 e 498 our | Galheta | Prata |
| | | 499 our | Bandeja | Prata |
| | | 903 our | Píxide | Prata |
| | | 503 our | Estante de missal | Prata e madeira |

Tabela V.4. Peças expostas na sala 29.

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais | |
|---------|-----------|------------------|-----------------|--|---|
| 29 | 1 | 89 our | Cálice | Prata dourada, Vidros | |
| | | 90 our | Cálice | Prata dourada | |
| | | 91 our | Cálice | Prata dourada | |
| | | 67 joa | Anel abacial | Latão dourado, Cornalina, Esmalte | |
| | | 8 esm | Crosa de báculo | Cobre, esmaltes | |
| | | 533 tec | Mitra | Fio de seda branca, verde e carmim; Fio metálico dourado | |
| | | 72 met | Cristo | Cobre, esmaltes | |
| | | 493 met | Crucifixo | Cobre, esmaltes | |
| | 14 | 2 | 540 our | Cruz processional | Ouro, safiras, granadas, pérolas, aljôfares |
| | | 2 | 191 our | Cruz processional | Cristal de rocha, Prata dourada, Pergaminho, Têmpera, Aljofares |
| | | | 168 our | Cruz processional | Prata, Cristal de rocha, Madeira, Pergaminho |
| | | | 192 our | Cruz de assento | Prata dourada, Cristal de rocha, Vidros |
| | | 14 | 935 our | Cálice | Prata parcialmente dourada, Bronze dourado, Vidros coloridos |
| | | | 685 our | Cálice | Prata dourada |
| | | | 1015 our | Salva | Prata |
| | | | 949 our | Naveta | Prata |
| 940 our | Píxide | | Prata | | |
| 25 our | Cálice | Prata dourada | | | |

Tabela V.4. Peças expostas na sala 29 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|----------|-----------|------------------|---|---|
| 29 | 14 | 92 our | Porta-paz | Prata e Prata dourada |
| | | 110 our | Cálice | Prata dourada, Esmaltes |
| | | 598 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 522 our | Cálice | Prata dourada, Esmaltes policromos |
| | | 108 our | Arqueta | Prata dourada, Corais |
| | | 151 our | Cruz de assento com relicário de Santo Lenho | Prata dourada, Ouro, Granadas, Diamantes, Esmeraldas, Esmaltes, Madeira |
| | | 4 | 87 our | Cruz processional |
| | 5 | 611 our | Cruz processional / Cruz de Loures | Prata dourada |
| | | 180 our | Cruz processional / Cruz Processional do Convento do Paraíso de Évora | Prata dourada |
| | | 82 our | Cruz processional / Cruz processional de S. Domingos de Elvas | Prata dourada; Latão pintado |
| | | 481 our | Relicário | Prata dourada, Esmaltes policromos |
| | | 88 our | Custódia | Prata dourada, Granadas, Cristais de rocha, Vidros |
| | | 934 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 521 our | Custódia - cálice | Prata dourada |
| | | 2031 our | Caldeirinha | Prata |
| | | 93 our | Porta-paz | Prata |
| | | 719 our | Cálice | Prata dourada, vestígios de esmaltes |
| | 6 | 720 our | Patena | Prata dourada |
| | | 948 our | Arqueta com pé | Prata dourada |
| | | 815 our | Cálice | Prata dourada, Safiras, Granadas, Esmaltes policromos |
| | | 105 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 83 our | Custódia | Prata dourada |
| | | 353 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 110 our | Cálice | Prata dourada, Esmaltes |
| | 7 | 1986 our | Taça com tampa | Prata dourada |
| | | 806 our | Salva | Prata dourada, Esmaltes policromos |
| | | 1162 our | Castiçal | Prata dourada |
| 1163 our | | Castiçal | Prata dourada | |
| 1016 our | | Salva | Prata | |
| 1017 our | | Salva | Prata dourada | |
| 800 our | | Salva | Prata dourada | |
| 1292 our | | Saleiro | Prata | |
| 827 our | | Saleiro | Prata | |
| 390 our | | Cálice | Cristal de rocha e Prata dourada | |
| 837 our | Salva | Prata dourada | | |

Tabela V.4. Peças expostas na sala 29 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|----------|-----------|--------------------|--------------------------------|---|
| 29 | 7 | 63 our | Salva | Prata dourada |
| | | 109 our | Ampulheta | Prata dourada, vidro, fio de seda e de ouro |
| | | 1021 our | Salva | Prata |
| | | 1020 our | Salva | Prata |
| | 8 | 740 our | Custódia de <i>Belém</i> | Ouro, Esmaltes policromos e Vidro |
| | 9 | 106 our | Relicário | Ouro e Esmaltes policromos, Esmeraldas, Rubis, Pérola, e Diamante |
| | 10 | 96 our | Porta-paz | Prata dourada |
| | | 95 our | Porta-paz | Prata dourada |
| | | 94 our | Porta-paz | Prata dourada |
| | | 941 our | Píxide | Prata e Esmaltes |
| | | 482 our | Custódia | Prata dourada |
| | | 85 our | Coroa fechada | Ouro, Diamantes, Pérolas e Esmaltes |
| | | 203 our | Resplendor | Prata dourada e Vidros coloridos |
| | | 54 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 104 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 351 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 954 our | Naveta | Prata |
| | | 952 our | Naveta | Prata branca |
| | | 953 our | Colher | Prata |
| | | 950 our | Naveta | Prata |
| | | 1164 our | Castiçal | Prata |
| | | 1165 our | Castiçal | Prata |
| | 865 our | Coroa fechada | Prata dourada | |
| | 942 our | Píxide | Prata dourada | |
| | 170 our | Coroa aberta | Prata | |
| | 11 | 78 our | Cruz | Prata e Prata dourada |
| | 3 | 98 our | Porta-paz | Prata |
| | | 114 our | Cofre | Prata e Ametista |
| 795 our | | Sacrário | Prata e Madeira | |
| 37 our | | Cofre | Tartaruga e Prata | |
| 539 our | | Cofre | Madre pérola e Prata | |
| 99 our | | Oratório relicário | Madeira e Prata, Osso e Veludo | |
| 195 our | | Sacra | Prata e Madeira | |
| 2030 our | | Custódia | Prata dourada | |
| 258 our | Cofre | Tartaruga e Prata | | |
| 12 | 955 our | Naveta | Prata | |
| | 972 our | Galheta | Prata dourada | |
| | 974 our | Bandeja | Prata dourada | |
| | 1018 our | Salva | Prata dourada | |

Tabela V.4. Peças expostas na sala 29 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|--------|-----------|------------------|-------------------------|--|
| 29 | 12 | 77 our | Cofre | Prata dourada e bronze |
| | | 9 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 552 our | Bacia | Prata |
| | | 565 our | Cofre | Prata dourada e Espelhos, Madeira |
| | | 1019 our | Salva | Prata dourada |
| | | 355 our | Píxide | Prata dourada |
| | | 1280 our | Taça de Côco | Prata e noz de côco |
| | | 1281 our | Copo de Côco | Prata e noz de côco |
| | | 97 our | Píxide | Prata dourada |
| | | 983 our | Âmbula dos Santos Óleos | Prata |
| | | 936 our | Cálice | Prata |
| | | 564 our | Custódia - cálice | Prata dourada |
| | 13 | 817 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 596 our | Custódia | Prata dourada |
| | | 101 our | Custódia - cálice | Prata dourada, Quartzos e Vidros coloridos |
| | | 810 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 819 our | Cofre eucarístico | Prata dourada |
| | | 813 our | Cálice | Prata dourada |
| | | 187 our | Custódia - cálice | Prata dourada |
| | A | 1573 me | Colher | Prata |
| | | 2027 our | Colher | Prata |
| | | 2028 our | Garfo | Prata |
| | | 951 | Colher | Prata |
| | | 704 | Colher | Prata |
| | | 1343 | Colher | Prata |
| | | 640 | Colher | Prata |
| | | 1342 | Colher | Prata |
| | | 1329 | Colher | Prata |
| | | 1328 | Colher | Prata |
| 1327 | | Colher | Prata | |
| 743 | | Colher | Prata | |
| 742 | | Colher | Prata | |
| 881 | | Colher | Prata | |
| 1346 | | Colher | Prata dourada | |
| 1346 a | | Garfo | Prata dourada | |
| 745 | | Colher | Prata e Ferro dourado | |
| 741 | | Colher | Prata | |
| 1330 | Colher | Prata | | |
| 209 | Colher | Prata | | |
| 1332 | Colher | Prata | | |
| 210 | Colher | Prata | | |

Tabela V.4. Peças expostas na sala 29 (continuação).

| Sala | Expositor | Nº de inventário | Denominação | Materiais |
|-------------|------------------|-------------------------|--------------------|---|
| 29 | A | 1333 | Colher | Prata |
| | | 1339 | Colher | Prata |
| | | 1335 | Colher | Prata |
| | | 1341 | Colher | Prata |
| | | 744 | Colher | Prata |
| | | 1677 me | Garfo | Prata |
| | | 1337 | Colher | Prata |
| | | 1345 | Garfo | Prata |
| | B | 888 joa | Cristo crucificado | Ouro esmaltado |
| | | 2029 our | Resplendor | Prata dourada, Esmaltes e Pérolas |
| | | 138 our | Resplendor | Prata, Esmaltes policromos, Pérolas, Rubis e Esmeraldas |
| | | 200 our | Resplendor | Prata dourada, Esmaltes policromos, Vidros |

Anexo VI: Localização dos termo-higrómetros do MNA

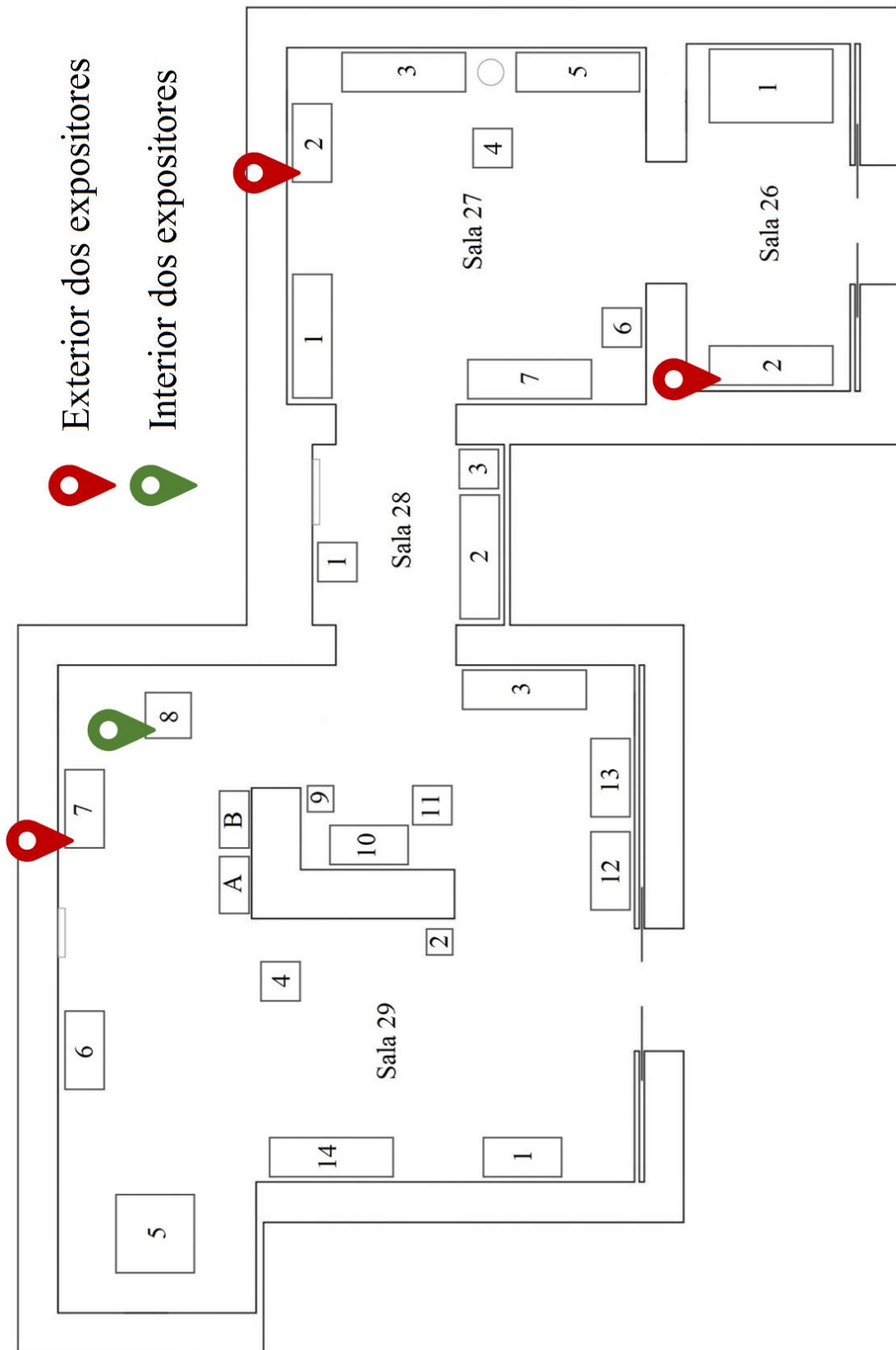


Figura VI.1. Planta com a localização dos termo-higrómetros nas salas em estudo.

Anexo VII: Colocação dos filtros Passivos

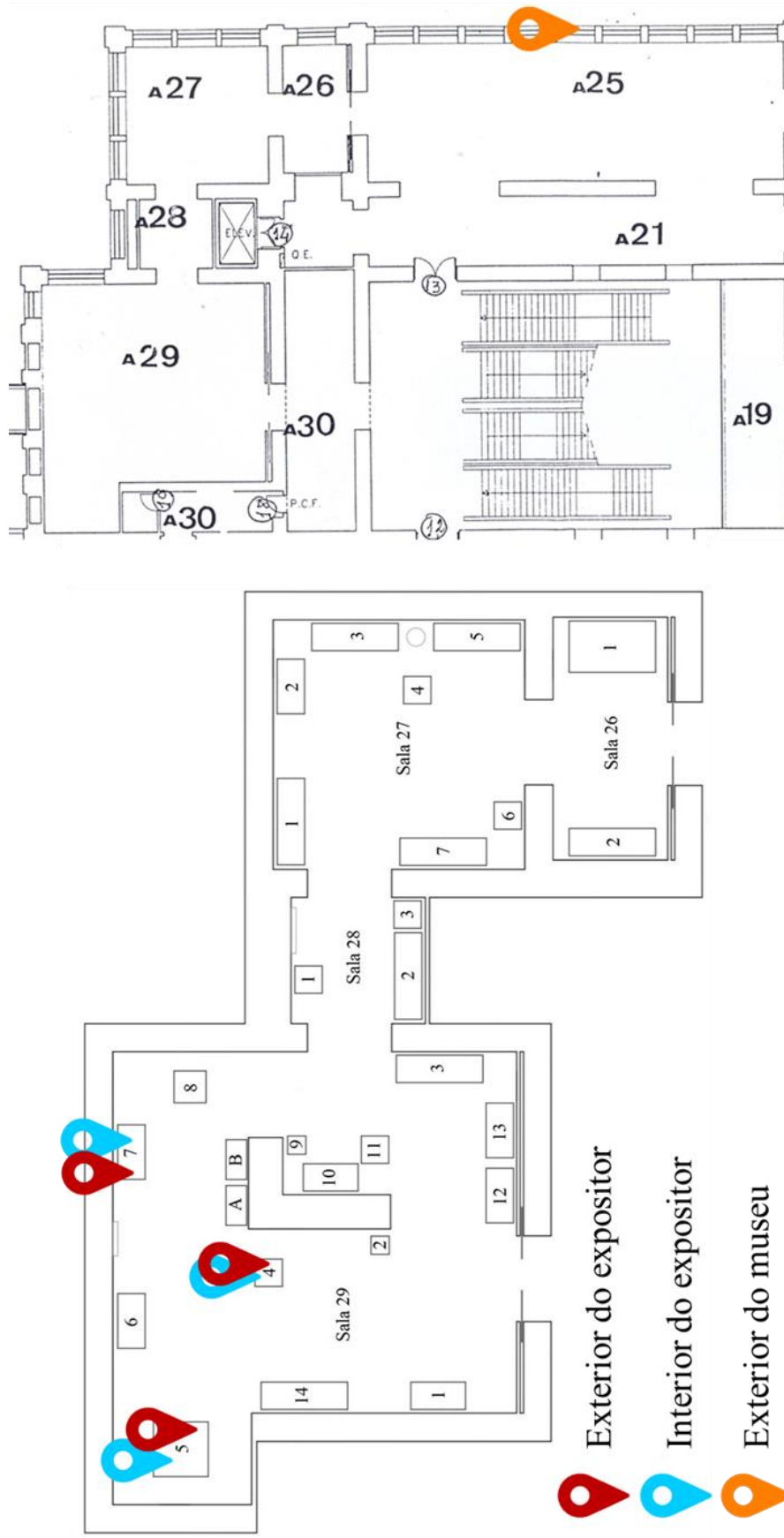


Figura VII.1. Locais onde foram colocados os filtros passivos.

Anexo VIII: Equipamentos de análise da qualidade do ar

Tabela VIII.1. Nome e imagem dos equipamentos ativos de análise da qualidade do ar utilizados.

Nome do equipamento

Imagem do equipamento

Bombas SKC



Figura VIII.1. Bomba SKC

*WolfSense
(Graywolf Solutions)*



Figura VIII.2. WolfSense

DustTrack 8533



Figura VIII.3. DustTrack 8533

Formaldemether



Figura VIII.4. Formaldemether

Anexo IX: Colocação dos cupões metálicos

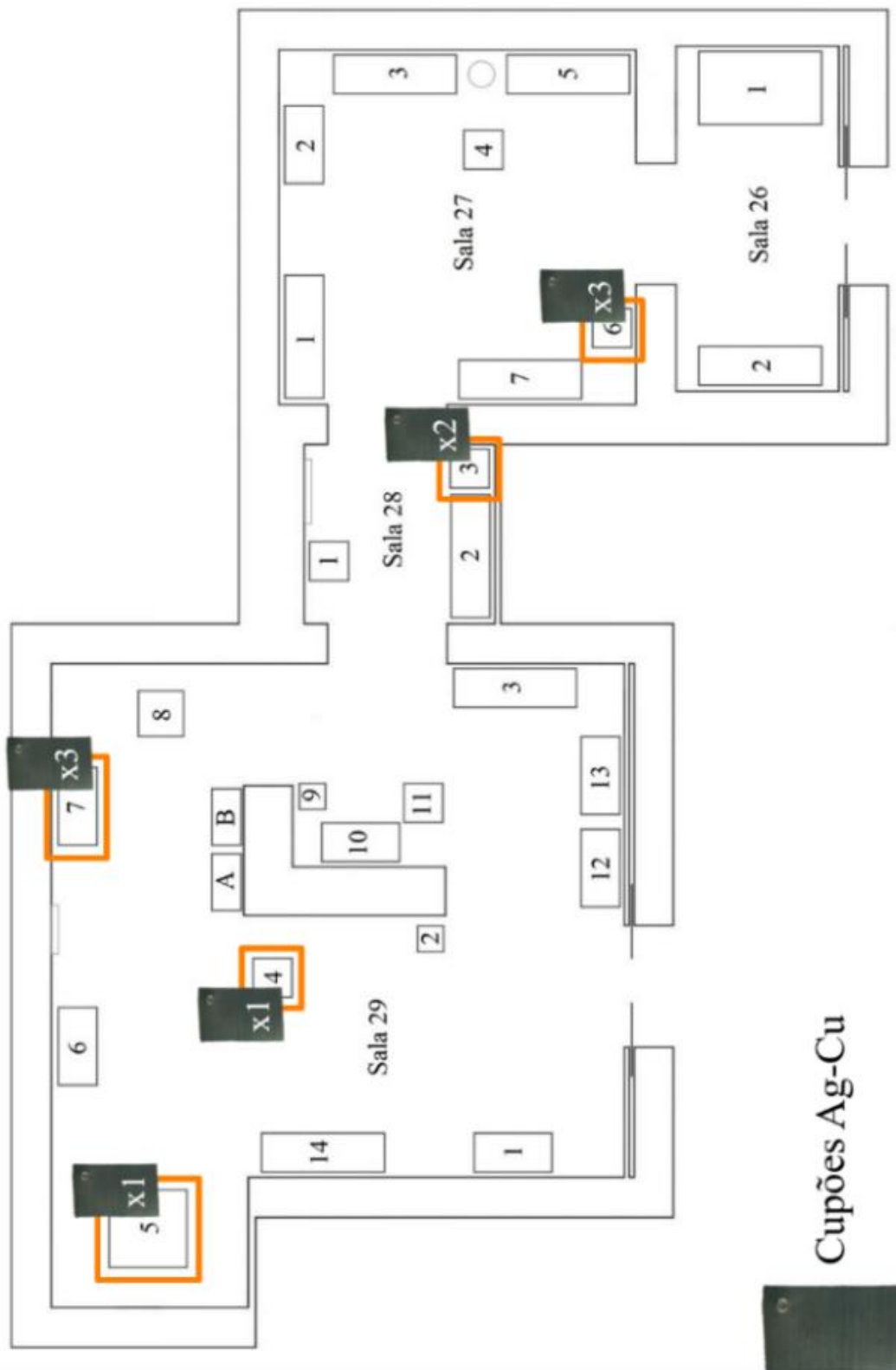


Figura IX.1. Locais onde foram colocados os cupões metálicos, e respectiva quantidade colocada em cada local.

Anexo X: Origem dos poluentes que afetam a prata

Tabela X.1. Origem dos poluentes que afetam a prata, segundo a literatura. [24–26]

| Poluente | Origem |
|---|--|
| Vapor de água (Humidade relativa) | Visitantes; Tintas e adesivos a base de água; Actividades de limpeza. |
| Ozono (O ₃) | Sistemas de ar condicionado; Sistemas de filtros electrostáticos; Electrocutor de insectos; Sistemas de limpeza de ar electrostático; Iluminação; Impressoras a laser; Fotocopiadoras; Exterior. |
| Sulfureto de hidrogénio (H ₂ S) | Materiais de construção, lã e outros têxteis, corantes; Degradação de borracha vulcanizada; Tintas; Materiais orgânicos de locais pantanosos; Visitantes. |
| Sulfureto de carbono (COS) | Deterioração de lã; Materiais de revestimento. |
| Dióxido de enxofre (SO ₂) | Degradação de materiais e objectos com enxofre, por exemplo, fibras proteicas; Degradação de borrachas; Degradação de Pirite; Combustíveis com enxofre. |
| Formaldeído (HCHO) | Componentes de acabamentos de tapetes e alcatifas; Fungicidas em tintas de emulsão; Fumo de tabaco; Produtos de combustão libertados por veículos ou indústria; Fotocopiadoras; Produtos de madeira; Espuma de isolamento. |
| Ácido fórmico (HCOOH) | Degradação de material orgânico; Tintas à base de óleo; Produtos de madeira; Oxidação de produtos a partir da reacção do formaldeído com a luz. |
| Dióxido de azoto (NO ₂) | Degradação de nitrato de celulose; Aquecedores a gás; Oxidação de óxido de azoto (NO) na atmosfera. |
| Sais de amónio | Sulfatos e nitratos de amónio: reacção de amoníaco com SO ₂ e NO ₂ ; Pode resultar da presença elevada de visitantes; Produtos de limpeza amoniacais. |
| Ácido acético (CH ₃ COOH) | Silicones para selagem à base de ácido; Degradação de materiais orgânicos, degradação de objectos em acetato de celulose e madeira; Diversas tintas de emulsão; Metabolismo humano; Adesivos para soalhos; Contaminação microbiológica através de filtros de ar condicionado; Tintas à base de óleo; Alguns produtos de limpeza. |

Anexo XI: Registos de temperatura e humidade relativa do ano de 2016

Sala 26:

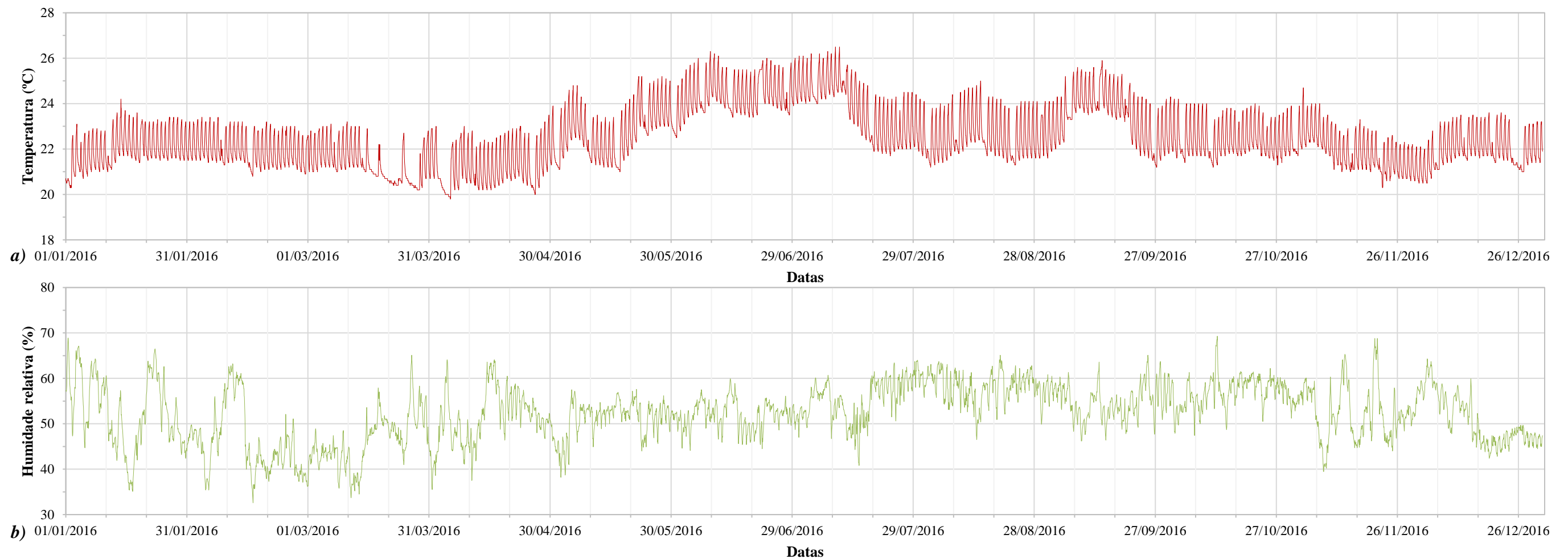


Figura XI.1. a) Gráfico de temperaturas da sala 26 no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa na sala 26 no ano de 2016.

Tabela XI.1. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, na sala 26, no ano de 2016.

| Sala 26 (Ano 2016) | | | | | | |
|--------------------|--------------|-------------------|-------------|-----------------|-------------------|-------------|
| Mês | T Média ± DP | T mín. | T máx. | HR % Média ± DP | HR % mín. | HR % máx. |
| Janeiro | 22,0 ± 0,8 | 20,3 | 24,2 | 52,6 ± 7,8 | 35,1 | 68,9 |
| Fevereiro | 22,0 ± 0,7 | 20,8 | 23,4 | 45,9 ± 7,4 | 32,6 | 63,2 |
| Março | 21,4 ± 0,8 | 20,2 | 23,3 | 46,1 ± 5,7 | 33,7 | 65,1 |
| Abril | 21,3 ± 0,9 | 19,8 | 23,9 | 51,6 ± 5,6 | 37,5 | 64,1 |
| Maió | 22,8 ± 1,0 | 21,0 | 25,2 | 51,1 ± 3,8 | 38,2 | 57,6 |
| Junho | 24,5 ± 0,8 | 22,8 | 26,3 | 51,8 ± 3,0 | 44,1 | 59,9 |
| Julho | 23,8 ± 1,2 | 21,7 | 26,5 | 55,6 ± 4,5 | 40,8 | 64,0 |
| Agosto | 22,6 ± 0,9 | 21,2 | 25,0 | 58,1 ± 3,2 | 46,5 | 65,1 |
| Setembro | 23,5 ± 1,1 | 21,2 | 25,9 | 54,8 ± 3,7 | 46,2 | 65,1 |
| Outubro | 22,4 ± 0,7 | 21,2 | 24,2 | 56,9 ± 3,3 | 47,4 | 69,3 |
| Novembro | 21,9 ± 0,8 | 20,3 | 24,7 | 52,4 ± 5,8 | 39,5 | 68,8 |
| Dezembro | 22,0 ± 0,7 | 20,5 | 23,6 | 50,7 ± 5,4 | 42,4 | 64,3 |
| Média ± DP | | 22,5 ± 1,3 | | | 52,4 ± 6,3 | |

Sala 27:

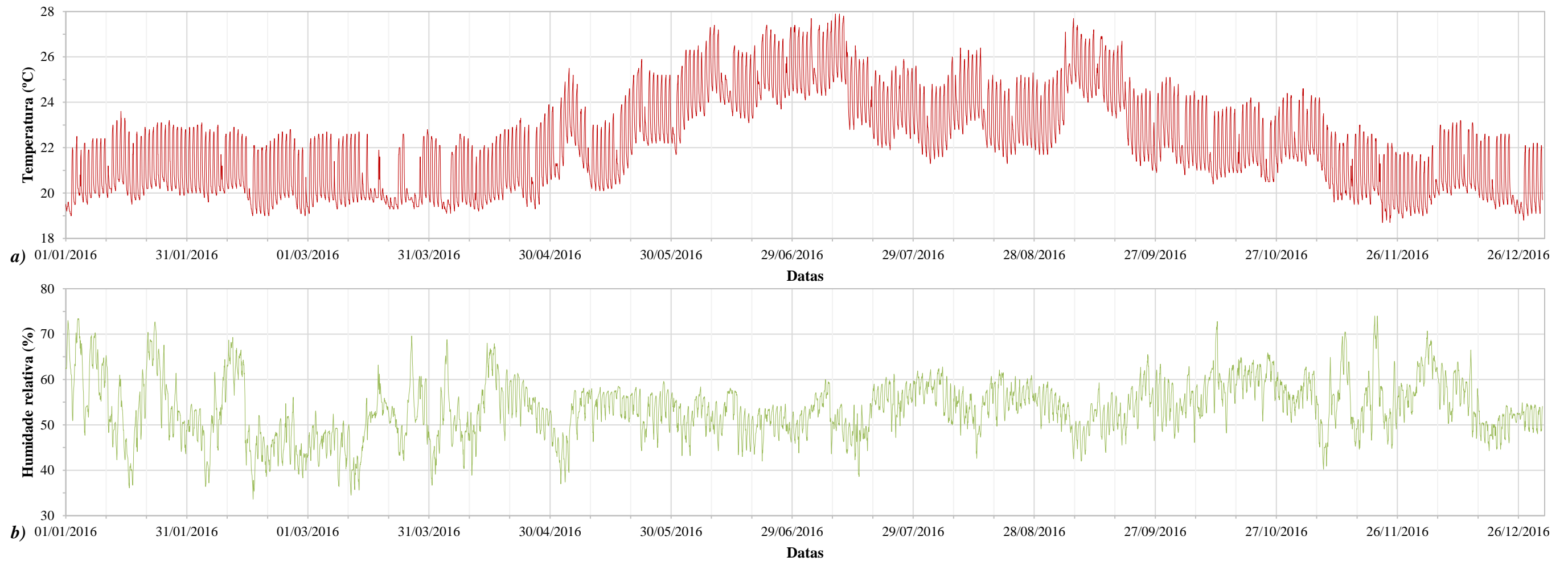


Figura XI.2. a) Gráfico de temperaturas da sala 27 no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa na sala 27 no ano de 2016.

Tabela XI.2. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, na sala 27, no ano de 2016.

| Sala 27 (Ano 2016) | | | | | | |
|--------------------|--------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| Mês | T Média ± DP | T mín. | T máx. | HR % Média ± DP | HR % mín. | HR % máx. |
| Janeiro | 21,0 ± 1,1 | 19,0 | 23,6 | 56,6 ± 8,7 | 36,1 | 73,4 |
| Fevereiro | 20,7 ± 1,2 | 19,0 | 23,1 | 49,4 ± 8,0 | 33,6 | 69,3 |
| Março | 20,4 ± 1,1 | 19,1 | 22,8 | 49,0 ± 6,2 | 34,5 | 69,6 |
| Abril | 20,8 ± 1,2 | 19,1 | 23,9 | 53,8 ± 6,2 | 38,9 | 68,8 |
| Mai | 22,5 ± 1,4 | 20,1 | 25,9 | 52,9 ± 4,6 | 37,0 | 59,6 |
| Junho | 25,0 ± 1,2 | 22,2 | 27,4 | 51,1 ± 3,4 | 42,0 | 58,4 |
| Julho | 24,6 ± 1,5 | 21,7 | 27,9 | 53,4 ± 4,5 | 38,6 | 61,9 |
| Agosto | 23,4 ± 1,2 | 21,3 | 26,4 | 55,7 ± 3,5 | 42,6 | 62,8 |
| Setembro | 24,2 ± 1,6 | 20,9 | 27,7 | 52,9 ± 4,4 | 42,0 | 65,5 |
| Outubro | 22,1 ± 1,1 | 20,4 | 24,8 | 58,1 ± 4,3 | 46,1 | 72,8 |
| Novembro | 21,1 ± 1,3 | 18,7 | 24,6 | 55,6 ± 6,3 | 40,2 | 74,0 |
| Dezembro | 20,6 ± 1,1 | 18,8 | 23,2 | 54,8 ± 5,9 | 44,3 | 70,7 |
| Média ± DP | | 22,2 ± 2,1 | | | 53,7 ± 6,3 | |

Sala 29:

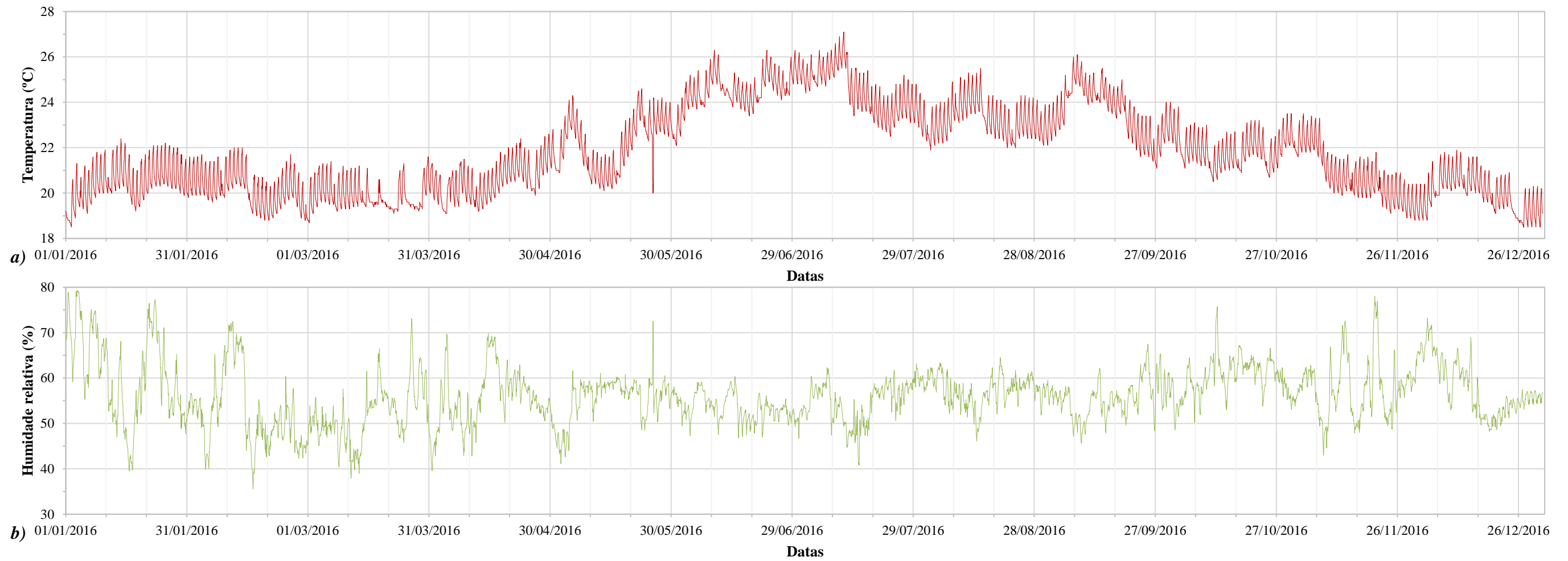


Figura XI.3. a) Gráfico de temperaturas da sala 29 no ano de 2016; b) Gráfico de umidade relativa na sala 29 no ano de 2016.

Tabela XI.3. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e umidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, na sala 29, no ano de 2016.

| Sala 29 (Ano 2016) | | | | | | |
|--------------------|--------------|------------|--------|-----------------|------------|-----------|
| Mês | T Média ± DP | T mín. | T máx. | HR % Média ± DP | HR % mín. | HR % máx. |
| Janeiro | 20,5 ± 0,8 | 18,5 | 22,4 | 61,0 ± 9,6 | 39,5 | 79,3 |
| Fevereiro | 20,2 ± 0,8 | 18,8 | 22,0 | 52,5 ± 8,4 | 35,5 | 72,5 |
| Março | 19,9 ± 0,6 | 18,7 | 21,6 | 51,6 ± 6,2 | 37,9 | 73,1 |
| Abril | 20,6 ± 0,8 | 19,1 | 22,8 | 55,7 ± 6,0 | 42,8 | 69,8 |
| Mai | 22,2 ± 1,1 | 20,0 | 24,6 | 55,4 ± 4,5 | 41,1 | 72,5 |
| Junho | 24,6 ± 0,7 | 22,5 | 26,3 | 53,3 ± 2,8 | 46,7 | 60,3 |
| Julho | 24,5 ± 1,0 | 22,5 | 27,1 | 54,9 ± 4,3 | 40,8 | 63,2 |
| Agosto | 23,3 ± 0,7 | 21,9 | 25,5 | 57,2 ± 3,1 | 46,1 | 64,5 |
| Setembro | 23,6 ± 1,1 | 21,1 | 26,1 | 55,5 ± 4,0 | 45,6 | 67,5 |
| Outubro | 21,9 ± 0,7 | 20,5 | 23,8 | 60,0 ± 4,2 | 48,6 | 75,7 |
| Novembro | 20,8 ± 1,1 | 18,8 | 23,5 | 57,9 ± 6,4 | 43,0 | 78,0 |
| Dezembro | 20,0 ± 0,8 | 18,5 | 21,9 | 57,8 ± 5,9 | 48,2 | 73,2 |
| Média ± DP | | 21,8 ± 1,9 | | | 56,1 ± 6,4 | |

Expositor 8, da sala 29:

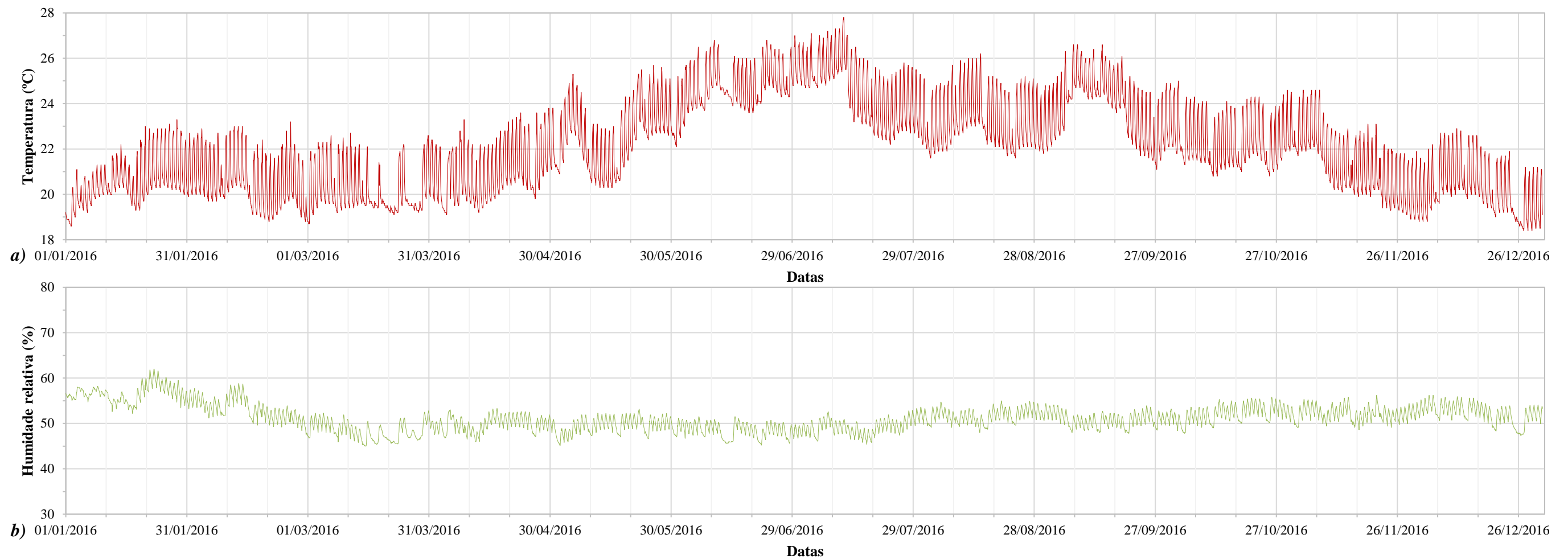


Figura XI.4. a) Gráfico de temperaturas do expositor 8, na sala 29, no ano de 2016; b) Gráfico de humidade relativa do expositor 8, na sala 29, no ano de 2016.

Tabela XI.4. Valores de temperatura, mínimos (mín.) e máximos (máx.), e humidade relativa, mínimos (mín.) e máximos (máx.), médias e desvios padrão de cada mês, médias e desvios padrão do ano, no expositor 8 da sala 29, no ano de 2016.

| Expositor 8 (Custódia de Belém) - Sala 29 (Ano 2016) | | | | | | |
|--|--------------|-------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|
| Mês | T Média ± DP | T mín. | T máx. | HR % Média ± DP | HR % mín. | HR % máx. |
| Janeiro | 20,6 ± 1,0 | 18,6 | 23,1 | 56,6 ± 1,9 | 52,2 | 62,0 |
| Fevereiro | 20,6 ± 1,1 | 18,8 | 23,2 | 53,1 ± 2,4 | 47,3 | 58,8 |
| Março | 20,2 ± 1,0 | 18,7 | 22,7 | 48,3 ± 1,9 | 45,0 | 52,8 |
| Abril | 21,0 ± 1,2 | 19,1 | 23,8 | 49,8 ± 1,6 | 46,0 | 53,3 |
| Mai | 22,6 ± 1,3 | 20,3 | 25,7 | 49,4 ± 1,7 | 45,1 | 53,2 |
| Junho | 24,9 ± 0,9 | 22,5 | 27,0 | 48,5 ± 1,5 | 45,2 | 51,5 |
| Julho | 24,6 ± 1,4 | 22,2 | 27,8 | 49,3 ± 1,7 | 45,4 | 53,6 |
| Agosto | 23,3 ± 1,1 | 21,6 | 26,2 | 51,7 ± 1,4 | 48,0 | 55,0 |
| Setembro | 24,0 ± 1,3 | 21,1 | 26,6 | 50,7 ± 1,4 | 47,8 | 54,1 |
| Outubro | 22,4 ± 1,0 | 20,8 | 25,0 | 52,1 ± 1,8 | 47,8 | 55,8 |
| Novembro | 21,3 ± 1,3 | 18,9 | 24,6 | 52,2 ± 1,5 | 48,6 | 56,2 |
| Dezembro | 20,2 ± 1,1 | 18,4 | 22,9 | 52,3 ± 2,0 | 47,3 | 56,2 |
| Média ± DP | | 22,1 ± 2,0 | | | 51,2 ± 2,9 | |

Anexo XII: Caracterização dos cupões metálicos por μ -FRX-DE e DRX

Tabela XII.1. Caracterização dos cupões metálicos expostos no MNAA, por μ -FRX-DE e DRX.

| N° do cupão | Sala / N° Expositor | Métodos de exame e análise (MEA) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------------|----------------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------------------|-------|-------|--------|--|
| | | μ -FRX-DE | | | | | | DRX | | | | | | | | | |
| | | Ag L α | Ag L β | Cu K α | Cu K β | Ag K α | Ag K β | Ag (Código de referência 00-003-0931) | | | | | Cu (Código de referência 00-001-1241) | | | | |
| 2.98 keV | 3.14 keV | 8.03 keV | 8.89 keV | 22.03 keV | 24.86 keV | 38.7° | 44.1° | 64.6° | 78.3° | 81.5° | 43.4° | 50.3° | 73.9° | 89.9° | 95.5° | 115.6° | |
| Referência | Não exposto | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 1 | 27 / n°6 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 2 | 27 / n°6 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 3 | 27 / n°6 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 4 | 28 / n°3 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 5 | 28 / n°3 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 6 | 29 / n°4 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 7 | 29 / n°5 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 8 | 29 / n°7 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 9 | 29 / n°7 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |
| 10 | 29 / n°7 | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | |

A gama angular utilizada não foi até estes ângulos

Tabela XII.2. Caracterização dos cupões expostos no MNAA, por μ -Raman.

| Cupão | | | | | | | | | | | Modo vibracionais/ Ligaço molecular | Raman shift (cm^{-1}) Lit. | Ref. | | |
|--------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|---|---|
| 1 (Raman shift (cm^{-1})) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 70sh | 69sh | 69sh | 70sh | 70sh | 70sh | 70sh | 70vs | 69sh | 69vs | 69vs | 70s | Óxido de cobre amorfo | 98 | [31,34,43,45,46] | |
| 95vs | 96vs | 94vs | 95vs | 94vs | 94vs | 93vs | 86sh | 94vs | 88vs | 87vs | 103sh | | Modos vibracionais da rede de Ag | | 93–106 140–160 |
| 146sh | 146s | 144s | 147sh | 144sh | 144sh | 141sh | 143sh | 147sh | 145sh | 141sh | | Cu ₂ O e CuO | 105 | | |
| | | 209sh | | | | | | | | | | | | | |
| 211sh | 214w | | 215sh | 214sh | 214sh | 214sh | | 215sh | 216sh | 216w | | Vibração metal-oxigénio para oxigénio dissociado adsorvido na superfície Cu ₂ O e CuO | 220 219 | [47,49] | |
| | | | | | | | 236w | | | 239w | | | $\nu(\text{Ag-O}_2)$ $\nu(\text{Ag-O})$ $\nu(\text{Ag-Cl})$ | 230–248 233 | [31,34,41,43] |
| | | | | | | | | | 258sh | | | Espécies de oxigénio dissociadas na superfície | 325 | [47] | |
| | | 327vw | 332vw | 327vw | 327vw | 337vw | | 332vw | 329sh | 333sh | 331sh | | | | |
| | 422w | 422 w | | | | 423w | | | | | 422vw | ν e δ (Ag-O) | 430 | [31,34,46] | |
| 426w | | 425 w | 426w | 426w | | | 435vw | 425vw | 427w | 425vw | 497vw | | | | |
| | | | | | | | | | | 517vw | | ν e δ (Ag-O) Cu ₂ O e CuO | 500–650 535 | [44,46,49,50] | |
| 525s | 528s | 529s | 528s | 525s | 525s | 524s | 524 | 528s | 526s | | 584vw | | 587vw | | $\nu(\text{Ag-OH})$ Flexões assimétricas <i>in-plane</i> O-S-O (<i>scissoring</i>) |
| 601s | 612s | 602s | 605s | 597s | 597s | 590s | 592 | 604s | 597s | | | | | | |
| | | | 691sh | | | | 686 | | | 681vw | 687vw | | | | |
| | | | | | | | 1001 | | 1001vw | 1000w | | | | | |
| | | | | | | | | | | 1029w | | | | | |
| 1342s | 1343s | 1340s | 1343w | 1342s | 1342s | 1341s | 1337w | 1343vs | 1344s | 1335s | | | Distensões simétricas de O-C-O Carbono amorfo | 1345 1328–1589 | [46,51] |
| | | 1480vw | | | | | | | | | 1352s | | | | |
| | | | | | | | | | 1549sh | | | | | | |
| 1589vw | 1591w | 1589w | 1589w | 1589s | 1589s | 1585s | 1594w | 1592w | 1596s | 1597s | 1577vs | | | | |
| 1620sh | 1622w | 1620w | | 1621sh | 1621sh | 1616sh | | 1617w | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 1898vw | | | | | |
| | | | 2683w | 2683w | 2676vw | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 2853sh | | 2854w | | | | | | |
| 2 (Raman shift (cm^{-1})) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 73sh | 70sh | 71sh | 70s | 67vs | 69vs | 69s | 74sh | 70sh | 70s | | | | Modos vibracionais da rede de Ag | 93–106 140–160 | [31,34,46,48,49] |
| 91s | 94vs | 91vs | 94vs | 91sh | 89vs | 93vs | 94vs | 94vs | 91vs | | | | | | |
| 107 w | | | | | | | | | | | | | Cu ₂ O e CuO | 105 | |
| 149w | 144sh | 140sh | 148sh | | 143sh | 145sh | 146sh | 145sh | 142sh | | | | | | |
| 215w | 217sh | 215sh | | | | | 214sh | 213sh | 224sh | | | | Vibração metal-oxigénio para oxigénio dissociado adsorvido na superfície Cu ₂ O e CuO | 220 219 | [47,49] |
| | | | 230sh | 234s | | 227sh | | | | | | | | $\nu(\text{Ag-O}_2)$ $\nu(\text{Ag-O})$ $\nu(\text{Ag-Cl})$ | 230–248 233 |
| | 320 | 329 | 332 | 330 | 330 | 329 | 330 | 334 | 330 | | | | Espécies de oxigénio dissociadas na superfície | 325 | [47] |
| | | 418 | 424 | | | 417w | | | 423w | | | | | | |
| | 426w | | | 419 | | | 426 | 426w | | | | | ν e δ (Ag-O) | 430 | [31,34,46] |
| | | 508w | | | | | | | | | | | ν e δ (Ag-O) Cu ₂ O e CuO | 500–650 535 | [44,46,49,50] |
| | | 519s | | 515 | | | | | 521s | | | | | | |
| | 525s | | 526s | | 529s | 535s | 528s | 528s | | | | | Flexões assimétricas <i>in-plane</i> O-S-O (<i>scissoring</i>) | 595–602 | |
| | 601s | 596s | 598s | | 594s | 597s | 601s | 605s | 594s | | | | | | |
| | | | | 587 | | | | | | 689sh | | | | | |
| | | | | 683 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 724w | | | | | | | | |
| | | | 1342s | | 1349w | 1344w | 1342s | 1342s | | | | | Distensões simétricas de O-C-O Carbono amorfo | 1345 1328–1589 | [46,51] |
| | | | 1342s | | 1360s | | | | | 1360s | | | | | |
| | | | | | | | | | | 1438w | | | | | |
| | | | 1579vs | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | 1545sh | | | | | |
| | | | 1586s | 1589s | 1589w | 1593vw | 1589w | 1586w | 1573s | | | | | | |
| | | | | | | | 1620w | 1622w | | | | | | | |
| | | | | | | | 1746w | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 2677vw | | | | | | | |
| | | | | | 2849vw | 2847vw | | 2851vw | | | | | | | |
| | | | | | 2888 | 2878vw | | | | | | | | | |
| 3 (Raman shift (cm^{-1})) | | | | | | | | | | | | | | | |
| 68s | 70s | 69vs | 70sh | 68vs | | | | | | | | | Modos vibracionais da rede de Ag | 93–106 140–160 | [31,34,46,48,49] |
| 92vs | 93vs | 90vs | 94vs | | | | | | | | | | | | |
| | | | | 104sh | | | | | | | | | Cu ₂ O e CuO | 105 | |
| 147sh | 146sh | 145sh | 143sh | 145sh | | | | | | | | | | | |
| 220sh | 217sh | 220sh | 214sh | | | | | | | | | | Vibração metal-oxigénio para oxigénio dissociado adsorvido na superfície Cu ₂ O e CuO | 220 219 | [47,49] |
| | | | 280w | | | | | | | | | | | | |
| | 327vw | 324sh | 327vw | 236s | | | | | | | | | Espécies de oxigénio dissociadas na superfície | 325 | [47] |
| 424w | | 423vw | | | | | | | | | | | | | |
| | 426w | | 426w | | | | | | | | | | ν e δ (Ag-O) | 430 | [31,34,46] |
| | | 474w | | | | | | | | | | | ν e δ (Ag-O) Cu ₂ O e CuO | 500–650 535 | [44,46,49,50] |
| 526s | 528s | 525s | 529s | | | | | | | | | | | | |
| 601s | 600s | 598s | 602s | | | | | | | | | | Flexões assimétricas <i>in-plane</i> O-S-O (<i>scissoring</i>) | 595–602 | |
| | 1343w | 1343s | 1342w | 1349s | | | | | | | | | | | |
| 1379vw | | | | | | | | | | | | | Distensões simétricas de O-C-O Carbono amorfo | 1345 1328–1589 | [46,51] |
| | 1585w | 1585w | 1593w | 1579s | | | | | | | | | | | |

Anexo XIII: Avaliação de risco

Tabela XIII.1. Riscos específicos relativos as forças físicas e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|--|--|
| Sismo de magnitude inferior a 8 na escala de Richter provocando queda de peças | FS=1; PV=0,75; P=1; E=0,5217 0,3912 |
| Vibrações causadas por obras ou abertura dos expositores provocando queda de peças | FS=0,6955; PV=0,75; P=1; E=0,4297 0,2242 |
| Oscilações das prateleiras devido a movimentação de peças provocando queda de peças | FS=0,6460; PV=0,75; P=1; E=0,3764 0,1824 |
| Ocorrência de imprevistos nos transportes de peças dentro e fora do museu – Deformações dos metais | FS=1; PV=0,25; P=1; E=0,1986 0,0497 |
| Utilização de suportes inadequados, que podem deformar ou causar abrasão | FS=0,0866; PV=0,25; P=1; E=0,0167 < 0,001 |

Tabela XIII.2. Riscos específicos relativos ao fogo e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|---|---|
| Ocorrência de um incêndio - Destruição total do edifício | FS=1; PV=1; P=0,0679; E=1 0,0679 |
| Ocorrência de um incêndio de pequena dimensão dentro do edifício ou de um curto-circuito nas instalações elétricas | FS=1; PV=0,50; P=1; E=0,50 0,2500 |
| Acumulação de depósitos de fuligem, sujidade e compostos químicos provenientes do fumo e dos materiais utilizados no combate às chamas, nas superfícies | FS=0,8960; PV=0,25; P=1; E=0,2127 0,0476 |

Tabela XIII.3. Riscos específicos relativos á água e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|---|---|
| Água proveniente de fuga do ar-condicionado | FS=0,8960; PV=0,25; P=1; E=0,2127 0,0476 |

Tabela XIII.4. Riscos específicos relativos as ações criminosas/ vandalismo e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|--|-------------------------------------|
| Ocorrência de roubo fora do horário de funcionamento ao público | < 0,001 |
| Quebra intencional dos expositores para roubo de peças – Horário de funcionamento ao público | FS=1; PV=1; P=1; E=0,0396 0,0396 |
| Fogo posto | FS=1; PV=1; P=1; E=0,0817 0,0817 |
| Graffitis nos vidros dos expositores | FS=1; PV=0; P=1; E=0 0 |

Tabela XIII.5. Riscos específicos relativos á temperatura e humidade relativa incorretas e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|--|--|
| Faturas de madeiras devido a T elevadas | FS=0,0644; PV=0,75; P=1; E=0,0483 0,0023 |
| Deformação nas madeiras devido a flutuações de T | FS=0,0644; PV=0,50; P=1; E=0,0322 < 0,001 |
| Oxidação eletroquímica dos metais devido a HR superior a 60% | FS=0,9901; PV=0,75; P=1; E=0,7426 0,5514 |
| Danos nas madeiras e têxteis causados por flutuações de HR | FS=0,0817; PV=0,50; P=1; E=0,0408 0,0017 |
| Fissuração dos esmaltes provocado por HR elevada | FS=0,0644; PV=0,50; P=1; E=0,0322 < 0,001 |

Tabela XIII.6. Riscos específicos relativos aos poluentes e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|---|--|
| Oxidação eletroquímica dos metais | FS=0,9901; PV=0,75; P=1; E=0,7426 0,5514 |
| Descoloração dos corantes dos têxteis | FS=0,0173; PV=0,50; P=1; E=0,0087 < 0,001 |
| Perda de resistência dos têxteis | FS=0,0173; PV=0,50; P=1; E=0,0087 < 0,001 |
| Acumulação de partículas nas peças - Aumenta o teor de água nas superfícies | FS=0,8960; PV=0,50; P=1; E=0,4254 0,1906 |
| Emissão de gases dos materiais de exposição | FS=1; PV=0,50; P=1; E=0,50 0,2500 |
| Emissão de gases dos produtos de limpeza inadequados - Danos nas peças | FS=0,8960; PV=0,50; P=1; E=0,4480 0,2007 |

Tabela XIII.7. Riscos específicos relativos as pragas e magnitude dos riscos.

| Riscos específicos | MR |
|--|---|
| Insetos dentro dos expositores deixando dejetos sobre as superfícies das peças levando à corrosão dos metais (p.e. moscas) | FS=0,8960; PV=0,25; P=1; E=0,1667 0,0373 |
| Surgimento de insetos que se alimentam da madeira (p.e. xilófagos, carunchos) | FS=0,0644; PV=0,75; P=1; E=0,75 0,0362 |