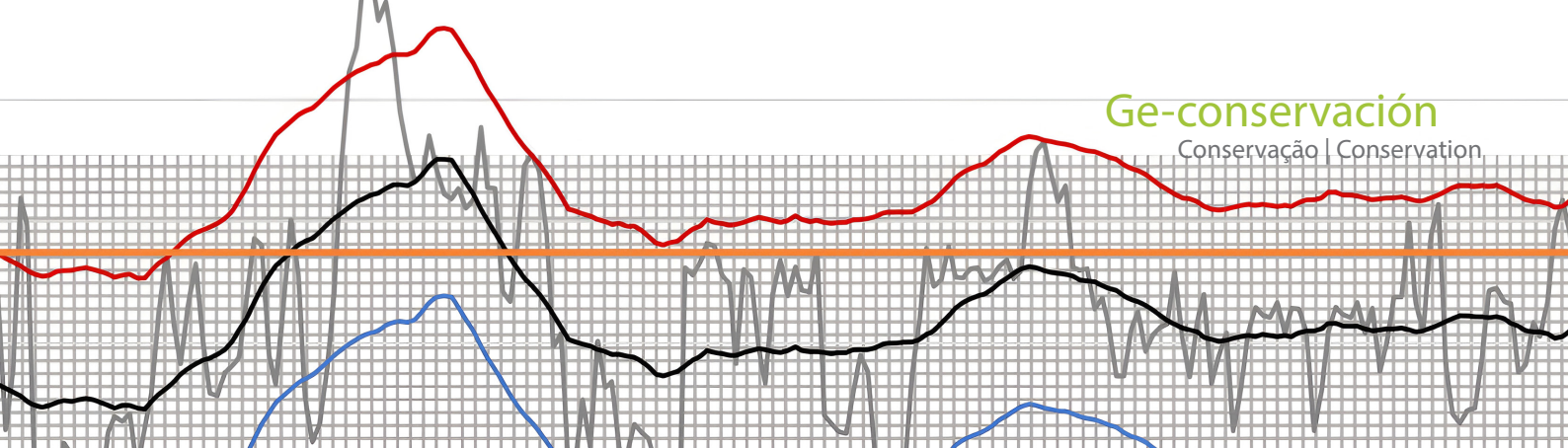




Análise das condições higrotérmicas de espaços expositivos para a exibição de bens arqueológicos de contextos encharcados e intersticiais. O caso da Sala Polivalente do Centro Nacional de Arqueologia Náutica e Subaquática

João Henrique Marrocano

Resumo: Neste artigo são analisadas as condições higrotérmicas da sala polivalente (SP) do Centro Nacional de Arqueologia Náutica e Subaquática (CNANS), em Lisboa. As instalações do CNANS situam-se nos edifícios dos armazéns da antiga Fábrica de Tabacos, na freguesia do Beato, na zona oriental da cidade (junto ao rio Tejo). O estudo ambiental deste espaço foi realizado em duas campanhas de monitorização, com uma distância de dois meses. Os dados foram tratados pela norma europeia EN 15757:2010 e à luz dos limites ao dano climático dos artefactos provenientes de contextos arqueológicos encharcados e intersticiais, tema inédito em Portugal. Os resultados destes períodos de monitorização são apresentados e discutidos. As conclusões mostram a importância da monitorização das condições ambientais dos espaços com funções museológicas considerando o risco de deterioração e as medidas curativas desta cultura material, no sentido de adaptar e melhorar as condições ambientais da sua exibição.

Palavras-chave: monitorização ambiental, avaliações higrotérmicas, conservação preventiva, arqueologia náutica e subaquática, CNANS

Análisis de las condiciones higrotérmicas de espacios expositivos para la exhibición de bienes arqueológicos procedentes de contextos anegados e intersticiales. El caso de la Sala Polivalente del Centro Nacional de Arqueología Náutica y Subacuática

Resumen: Este artículo analiza las condiciones higrotérmicas de la sala polivalente (SP) del Centro Nacional de Arqueología Náutica y Subacuática (CNANS) de Lisboa. Las instalaciones del CNANS se encuentran en los edificios del depósito de la antigua Fábrica de Tabacos, en la localidad de Beato, en la zona este de la ciudad (junto al río Tago). El estudio ambiental de este espacio se llevó a cabo en dos campañas de monitoreo, con dos meses de intervalo. Los datos se procesaron de acuerdo con la norma europea EN 15757:2010 y a la luz del riesgo de deterioro por condiciones ambientales inadecuadas de los objetos de contextos arqueológicos anegados e intersticiales, un tema sin precedentes en Portugal. Se presentan y discuten los resultados de estos periodos de seguimiento. Las conclusiones muestran la importancia de la monitorización de las condiciones ambientales de los espacios con funciones museísticas considerando el riesgo de deterioro y las medidas curativas de este patrimonio, con el fin de adaptar y mejorar la calidad ambiental de su exposición.

Palabras clave: monitoreo ambiental, evaluaciones higrotérmicas, conservación preventiva, arqueología náutica y subacuática, CNANS

Analysis of the hygrothermal conditions of exhibition spaces for the display of archaeological assets from waterlogged and interstitial contexts. The case of the Multipurpose Room of the Portuguese National Centre for Nautical and Underwater Archaeology

Abstract: This paper analyzes the hygrothermal conditions of the multipurpose room (SP) of the Portuguese National Centre for Nautical and Underwater Archaeology (CNANS), in Lisbon. The CNANS facilities are located in the warehouse buildings of the former Fábrica de Tabacos, Beato area, in the eastern part of the city (next to the Tagus River). The environmental study was carried out in two monitoring campaigns, two months apart. The data was processed by the European standard EN 15757: 2010 and by the limits to climatic damage for artifacts from waterlogged and interstitial archaeological contexts, an unprecedented topic in Portugal. The results of the monitoring periods are presented and discussed. The conclusions show the importance of monitoring the environmental conditions of spaces with museological functions, considering the deteriorative and remedial characteristics of this material culture, in order to adapt and improve the environmental conditions of its exhibition.

Keywords: environmental monitoring, hygrothermal assessments, preventive conservation, nautical and underwater archaeology, CNANS

Introdução

Com transferência do CNANS das anteriores acomodações provisórias no Mercado Abastecedor da Região de Lisboa (MARL), para as atuais instalações no Beato, zona oriental de Lisboa, em 2021, a recapitação ocorrida no reforço de equipamentos e na melhoria de infraestruturas, permitiu dotar o centro de diferentes áreas programáticas de carácter técnico e de investigação, e também de uma SP, traçada com características quer de auditório, quer de espaço expositivo temporário.

O edifício sede do CNANS resulta da reabilitação dos antigos armazéns da Fábrica de Tabaco de Xabregas, construídos nos inícios do século XX. O projeto de remodelação passou pela preservação das características das preexistências formais, nomeadamente, a estrutura original mista de alvenaria em pedra ordinária (de aparelho à vista), madeira e cobertura de cerâmica. A intervenção foi marcada pelo revestimento do pavimento em betão (pintado a tinta epóxi) e pela construção de um novo volume, constituído por uma estrutura metálica revestida a placas de compósito de partículas de madeira e cimento (*Viroc*), o que permitiu a criação de um mezanino que ampliou a área utilizável. Entre as áreas programáticas específicas concebidas no projeto, encontra-se o laboratório de conservação e restauro, espaços de reserva, um centro de documentação e, como referido, um equipamento cultural multifuncional, dedicado tanto a exposições de bens culturais, como de conferências e/ou comunicações (Gonçalves e Melâneo 2018).

No planeamento estratégico da criação da nova sede do CNANS, este novo espaço cultural visou dotar o centro de um ambiente com características pedagógicas e museográficas que simplifique, na sua dimensão social, quer o contacto das comunidades com a relevância cultural dos bens arqueológicos provenientes de meio subaquático e intersticial conservados no laboratório do CNANS, quer a acessibilidade de académicos e investigadores às problemáticas ainda não apreendidas e/ou pouco sistematizadas, sobre estas ocorrências patrimoniais. Paralelamente, este equipamento é também uma melhoria substancial nas condições para a comunicação e disseminação do serviço público prestado pelo centro, nomeadamente, as ações de formação, de salvaguarda patrimonial e de gestão da arqueologia náutica e subaquática nacional.

Atendendo à importância museal que a criação deste novo espaço cultural vem carrear na apresentação, valorização e conservação das coleções arqueológicas à guarda do centro (essencialmente materiais lenhosos e metálicos, uma grande maioria de dimensões consideráveis); o entendimento do comportamento climático intrínseco do edifício da SP revelava-se, por um lado, como uma ferramenta capital à clarificação dos intervalos ambientais, intrínsecos da sala, sustentáveis para a conservação preventiva deste tipo de artefactos e, por outro lado, como um instrumento vantajoso na identificação das necessidades (e dos encargos) de ações diretas a alocar à exibição das coleções, com vista à redução

do risco de deterioração por condições ambientais, de uma forma global.

De forma a dar resposta a estas questões inaugurais, o laboratório do CNANS iniciou, em outubro de 2022, um programa de estudo e de monitorização da dimensão ambiental do espaço com os objetivos de: i) conhecer com detalhe o seu comportamento higrotérmico sazonal, ii) analisar a distribuição sazonal (e percentual) dos fatores de risco ambiental identificados no padrão climático apurado, iii) distinguir a conveniência dos registos medidos com os requisitos de preservação das coleções à guarda do centro e, iv) propor ações e/ou suportes museográficos de minimização dos fatores de risco climático aferidos.

Enquadramento

Se para a generalidade dos bens culturais o reconhecimento destes aspetos é fundamental no seu tratamento museográfico (Sciurpi *et al* 2015), no caso da exibição de artefactos provenientes de contextos arqueológicos encharcados e intersticiais, a singularidade dos efeitos da sua deterioração e a especificidade das suas metodologias de conservação (Hamilton 1999), aporta a esta realidade patrimonial características (físicas e materiais) mais suscetíveis a danos por causas ambientais, que as esperadas nos materiais arqueológicos procedentes de meios secos (Jenssen e Pearson 1987).

Por exemplo, os fenómenos de retração derivados da secagem descontrolada de materiais lenhosos, são responsáveis pela exposição interna da madeira a fatores de risco ambiental -como variações elevadas de humidade relativa (HR)-, que alteram a estabilidade dos coeficientes de dissecação interiores, estimulando novas tensões de tração suscetíveis de rutura material (Glass e Zelinka 2010: 4-5-4-7). Por outro lado, as propriedades deliquescentes dos produtos de consolidação, à base de polietilenoglicol (PEG), utilizados no tratamento de madeiras encharcadas, podem aumentar, exponencialmente, a humidade de equilíbrio (HE) desses materiais se a HR do ar for elevada (>80%), o que não beneficia nem a estabilidade física, nem a resistência das suas superfícies (Broda e Hill 2021: 21). A fluidez do PEG de baixo peso molecular (400 e 600) à temperatura ambiente, favorece, por seu lado, a ocorrência de processos de alteração cromática, retração e/ou de variação da dureza, devido a fenómenos de migração celular do consolidante nos materiais, se os valores atmosféricos de temperatura (T) forem constantes >20 °C (Grattan e Clarke 1987:196). No caso dos materiais inorgânicos (em particular nos metais), níveis de HR >50% aceleram o incremento das reações de corrosão por sais nos materiais ferrosos, podendo provocar novos danos (fissuras e escamação), que irão comprometer o valor arqueológico desses bens (Watkinson e Lewis 2005: 243). Nas ligas de cobre, apenas com valores de HR <42%, existe segurança de não ocorrerem anomalias materiais pela corrosão (Rimmer *et al.* 2013: 11).

Nas últimas décadas os níveis médios ambientais padronizados de HR e T (55%, 20 °C), definidos para a conservação preventiva da globalidade dos bens culturais (Thomson 1986), têm vindo a ser substituídas por novos normativos, menos rígidos, onde os intervalos de tolerância que evitam a degradação dos objetos, são determinados tanto em função do tipo de coleções (e do seu enquadramento climático), como do historial da flutuação ambiental apurada ao longo do tempo (ASHRAE 2011; EN 15757: 2010). Este entendimento baseia-se na ideia de aclimatização, que é o processo pelo qual os materiais expostos por períodos prolongados a um determinado ambiente, adquirem propriedades reológicas (dureza, porosidade, estabilidade, fluência, reação viscoelástica etc.) conformes à dissipação das tensões internas, derivadas dos efeitos das oscilações climáticas, sem comprometimento do seu vínculo material e patrimonial (Harvey e Freedland 1989: 405). No fundo, é fazer a gestão ambiental em contextos de fatores de risco, em vez de tentativas de a subordinar a um conjunto prescritivo de critérios genéricos, centrados em parâmetros de controlo climatéricos rigorosos.

Esta mudança de paradigma decorre, essencialmente, dos modelos de conservação preventiva, baseada em parâmetros normalizados, apresentarem elevados consumos de recursos (materiais e humanos) e de energia para a manutenção dos padrões climatéricos ideais. Um dos maiores desafios dos espaços com a finalidades museográficas e/ou expositivas, é alcançar um equilíbrio entre os requisitos de conservação e a economia de energia, onde os objetivos preservativos das coleções são definidos de acordo com as necessidades, sem nunca colocar em causa uma conservação adequada dos objetos e da sua realidade preservativa (Janssen e Christensen 2013: 169-170).

No estudo que se apresenta, propõe-se discutir a análise higrotérmica de longo prazo -flutuações sazonais e de curto prazo-, realizadas a partir da recolha dos dados ambientais da SP do CNANS, em duas campanhas de monitorização -realizadas entre 21 de outubro de 2022 e 19 de novembro de 2023; e entre 5 de fevereiro de 2024 e 5 de março de 2025-, de acordo com a norma europeia EN 15757: 2010. Sendo este estudo o primeiro realizado em Portugal, dedicado exclusivamente aos aspetos da especificidade da conservação preventiva de coleções arqueológicas, provenientes de contextos encharcados e intersticiais, pretende-se que este trabalho seja um espaço de recolha de informação real das questões preservativas inerentes a esta categoria da conservação patrimonial, e também de partilha de modelos museográficos tendentes à gestão equilibrada e sustentável dos encargos e dos expedientes de minimização de danos por causas ambientais, na exibição deste tipo de bens arqueológicos. Por outro lado, e tendo a tutela como missão no domínio da salvaguarda, investigação, conservação e restauro, valorização e divulgação do património, o atributo de definir e difundir metodologias e procedimentos de atuação (Decreto-Lei n.º 78/2023), considera-se que este trabalho se vem evidenciar no estabelecimento de um corpus de literatura técnica atinente à musealização de artefactos arqueológicos de cariz náutico

e subaquático em Portugal. Por fim, a investigação realizada neste equipamento cultural, situado num edifício reabilitado (diferente de um edificado histórico) e com uma gestão que vai além de finalidades expositivas e/ou museográficas, não deixa de ser uma oportunidade de carrear conhecimento sobre os efeitos das opções de reabilitação moderna, no comportamento climático dos ambientes interiores concebidos para valências públicas de foro cultural.

Materiais e Métodos

A SP é uma fração anexa à edificação principal da sede do CNANS, de planta poligonal irregular, sem compartimentação e encimada por um telhado de quatro águas. Tem uma área útil de 145 m² e um pé-direito máximo de 9 m, a que corresponde uma volumetria total de cerca de 1200 m³. À semelhança do restante edifício, a opção de reabilitação seguida passou igualmente pela manutenção do paramento original de alvenaria em pedra ordinária (de aparelho à vista), do madeiramento da cobertura -armada com asnas, madres e varas forradas com guarda-pó-, e do revestimento em telha cerâmica. Do mesmo modo que o restante imóvel, o pavimento é em betão pintado a tinta epóxi branca. A área utilizável da sala encontra-se ainda apainelada por um revestimento de placas de Viroc, que comporta pelo interior as instalações técnicas específicas (eletricidade, telecomunicações, luz e som), e contribui para regularização da geometria do espaço.

As frentes do edifício estão orientadas no sentido Sul/Norte. Na frente Sul, virada para o Rio Tejo, encontra-se a entrada [Figura 1]. Na frente Norte, existe uma abertura exterior de iluminação com portada de Viroc, que se funde com o restante revestimento parietal interior do mesmo material. A iluminação é realizada com luminárias industriais (6) e quatro focos móveis de luz LED. A sala encontra-se ainda equipada com sistema de climatização HVAC, de gestão autónoma do restante edifício, uma tela, um projetor vídeo e um sistema de sonorização áudio.

Desde 2021 que a SP tem sido palco de várias comunicações, formações e eventos culturais, com ampla participação e afluência de públicos variados, das quais destacamos: os workshops "Registo 3D em Arqueologia Náutica e Subaquática" (novembro de 2021), "Frozen in Time, Liofilização de Madeiras Encharcadas" (fevereiro 2022) e "Salvaguarda do Património Arqueológico Costeiro em Risco" (fevereiro 2025); os seminários "Alterações Climáticas: Património e Artes" (outubro 2022); o Open House Arqueologia (setembro 2023); e as conferências "A Arqueologia Subaquática em Moçambique" (junho 2024), e "Fahrenheit 1759 -das falsas cores da arqueografia submarina à geofísica do fim de uma verdadeira batalha naval" (dezembro 2024)-. À parte destes eventos, e porque as visitas ao centro são definidas por marcação prévia, a SP não está afeta a um regime de horários regulares e/ou de visitas, permanecendo, por esse motivo, com a iluminação e o sistema de climatização desligados na maioria do ano.

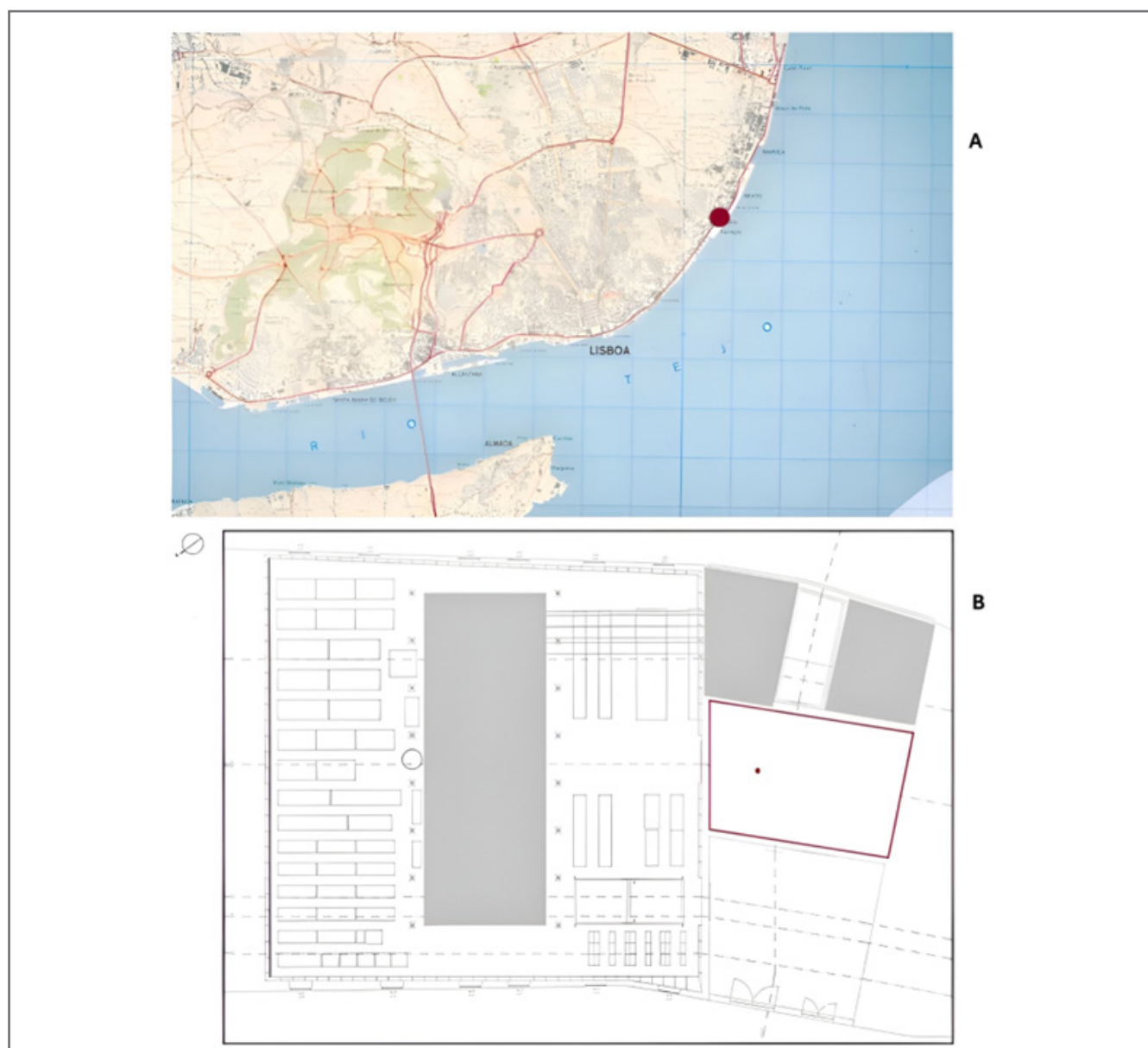


Figura 1. - A – Localização do CNANS na área urbana de Lisboa (Carta Militar de Portugal Série M888- Folha 431 – Lisboa); B - Planta do edifício sede do CNANS, da SP e a localização do datalogger na sala.

A metodologia do tratamento de dados envolvida neste estudo, combina a monitorização de longo-prazo e o exame estatístico, na caracterização climática SP do CNANS e na avaliação dos seus fatores de risco sazonais. A análise da resposta higrotérmica da sala nas duas campanhas de monitorização, seguiu de perto as orientações da norma europeia EN 15757:2010. Este método de tratamento de dados é centrado na variação da T e HR (características de cada clima), e na definição de bandas de valores de segurança definidos com base nas diferenças entre os dados registados e a média móvel sazonal. De forma a sistematizar relações (qualitativas e quantitativas), da conformidade do padrão climático aferido na SP com os parâmetros de risco ambiental estabelecidos para as coleções à guarda do CNANS, os dados da resposta higrotérmica da sala foram confrontados com os requisitos dos limites de segurança a danos por fatores climáticos, fixados para os objetos arqueológicos

(essencialmente lenhosos e metálicos) provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais estabilizados a seco (Thomson 1986; Grattan e Clarke 1987; Jenssen e Pearson: 1987; Watkinson e Lewis 2005; Rimmer *et al.* 2013).

Tendo este estudo climático sido também encarado como uma ferramenta na gestão sustentável da eficiência energética da SP, a resposta higrotérmica do espaço aos fatores de risco climático sazonais procedeu apenas do comportamento intrínseco do seu invólucro espacial, sem a presença de fatores disruptores de controlo ambiental ativo (Martens 2012: 20). O que se pretendeu, é que a avaliação de ações diretas a aplicar sobre os fenómenos de deterioração ambiental detetados e/ou os encargos a considerar com expedientes de controlo, não sejam determinados por tentativas de alcançar especificações restritas (e tendencialmente incontroláveis), mas sim em função da qualidade da informação real observada do historial

da flutuação climática inata da SP ao longo do tempo, sem colocar em causa requisitos adequados de preservação (Maekawa *et al.* 2015: 41-49). Neste propósito, as duas campanhas de monitorização foram realizadas sem recorrer à utilização do sistema de climatização instalado no edifício.

Registos climáticos

Os registos climáticos correspondem à recolha diária de dados (a cada 30 minutos), num total de 48 entradas (HR e T) por dia, em mais de um ano de colheita –concretamente, 395 dias (um

ano mais um mês)-. O equipamento utilizado na recolha de dados foi um datalogger portátil da marca Rotronic®, modelo HP32, com capacidade de monitorização de dados de T entre -10 - 60 °C, e HR entre 0-100% (precisão ± 0.3 °C / $\pm 2\%$). O aparelho foi colocado num tripé, a cerca de um metro do chão e sensivelmente a meio da sala. Os dados climáticos exteriores à SP, são os registados pelo Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a que pela proximidade geográfica com a SP, correspondem à estação Lisboa/Geofísico (lat 38.7191°; lon -9.1497°), durante os dois períodos de campanha de monitorização ambiental em análise. A recolha global dos dados é apresentada na Tabela 1 e na Figura 2.

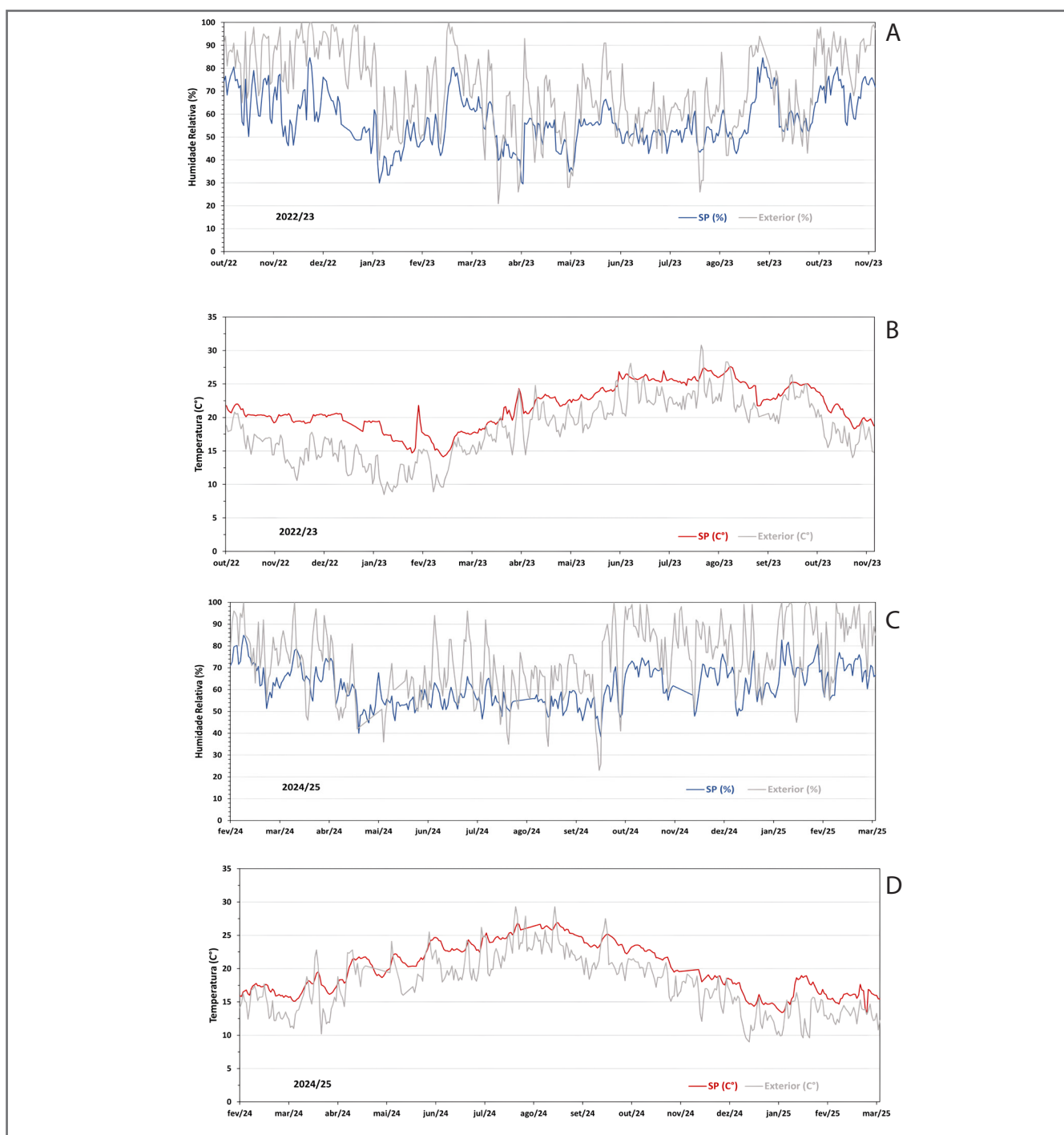


Figura 2.- Parâmetros higrotérmicos interiores e exteriores registados nas campanhas de 2022/23 e 2024/25.

Espaço	Campanha	Parâmetro	Mínimo	Máximo	Desvio Padrão	Amplitude (Δ)
SP	21/10/2022	HR (%)	29,59	84,58	11,30	54,99
	19/11/2023	T (°C)	14,13	27,58	3,22	13,45
	05/02/2024	HR (%)	38,42	84,92	8,95	46,50
	05/03/2025	T (°C)	13,20	26,90	3,70	13,70
Exterior	21/10/2022	HR (%)	21,00	100,00	17,41	79,00
	19/11/2023	T (°C)	8,50	30,80	4,45	22,30
	05/02/2024	HR (%)	23,00	100,00	15,77	77,00
	05/03/2025	T (°C)	9,00	29,30	4,39	20,30

Tabela 1. - Sumário dos valores ambientais exteriores e os registados na SP.

Discussão dos resultados

Os dados da Figura 2 revelam de imediato uma forte relação climática interior-exterior, observando-se nos parâmetros em análise, uma forte simetria (mais rápida ou mais suave) entre a resposta higrotérmica da SP com as variações exteriores. Além desta inferência, outras podem ser referidas a partir da observação dos dados:

- As condições atmosféricas exteriores influenciam inquestionavelmente as condições ambientais da SP, patenteando o espaço, nas duas campanhas de monitorização, uma evolução dos parâmetros higrotérmicos interiores conformes às características climáticas de Portugal Continental, ou seja, T baixas e HR elevadas nos períodos Outono/Inverno, e HR baixas e T elevadas, nos de Primavera/Verão.

- Os registos de HR exterior são, na generalidade, mais elevados que os assinalados na SP, sucedendo o contrário com a T.

- A influência da inércia térmica do edifício claramente retarda a transferência de calor (interior/exterior), refletindo a estrutura capacidade em manter estável e confortável o ambiente interior, tal como mostra a amplitude da T das duas campanhas [Tabela 1].

- Os dados também evidenciam que o efeito da inércia térmica apresenta resiliência aos eventos meteorológicos relevantes – ondas de frio e de calor. Por exemplo, no ano de 2023, na onda de frio de janeiro (entre os dias 22 e 31), apesar da T exterior diária se situar, em média, abaixo dos 10°C, a T média do ar na SP (19.04°C) apenas registou um desvio de -1.34°C entre os dias 22 e 24, mantendo-se até ao final do mês com valores diários da ordem dos 17°C (IPMA: janeiro 2023).

- Na onda de calor de abril (ocorrida essencialmente na segunda quinzena), apesar da primeira anomalia extrema, registada no dia 17 (24.2 °C), corresponder ao maior pico médio diário de T na sala nesse mês (24,32 °C), verifica-se que a T interior volta a normalizar (a partir do dia 20), próxima do valor médio mensal, 21.12 °C. Até ao final do mês a T mantém-se estável em torno desse valor (desvio interior máximo de +1.85°C) - ainda que no dia 27 se registasse o dia de abril mais quente dos últimos 16 anos em Portugal continental, com um extremo máximo de 36.9 °C (IPMA: abril 2023).

- Nas duas campanhas a T mínima do ar não desceu abaixo dos 13°C. A T mínima da campanha de 2022/23 (14.13°C), registou-

se a 2 de março (T exterior 9.6°C); na campanha de 2024/25, a T mínima (13.20°C), ocorreu a 23 de fevereiro (T exterior 13.10°C).

- Na campanha de 2022/23, os valores médios diários de HR situaram-se, no geral, no intervalo entre 40 e 60%. Na campanha de 2024/25 situam-se entre 45 e 70%.

- Nas duas campanhas foram registados valores de HR extremos acima de 80% e mínimos abaixo de 30%. Os extremos superiores (>80%) registaram-se no período Outono/Inverno – essencialmente nos meses de dezembro e janeiro.

- Na campanha de 2022/23, os mínimos extremos de HR (<30%) ocorreram, sobretudo, durante os eventos meteorológicos de janeiro (29,97% no dia 23, HR exterior 40%) e abril (29.59% no dia 20, HR exterior 43%). Na campanha de 2024/25 os mínimos extremos de HR (<40%), verificaram-se a 23 de abril (39,98%, HR exterior 20,60%) e a 17 de setembro (38.42%, HR exterior 26%).

- Apesar de os dados evidenciarem o efeito da inércia térmica na resiliência da T média do ar da SP – inclusive perante eventos meteorológicos relevantes -, o mesmo não sucede com a HR, verificando-se sobre este parâmetro o impacto das condições atmosféricas exteriores no interior do edifício, como mostram os maiores valores de amplitude da HR, relativamente à T [Tabela 1].

Flutuações de curta duração

Sendo a definição de valores higrotérmicos uma tarefa nem sempre consensual na atribuição de parâmetros atmosféricos ideais para a exibição de bens culturais, o significado das flutuações diárias de curta duração da T e HR a que os objetos são submetidos, adquirem uma importância maior quer na compreensão do contexto ambiental circundante, quer na definição das medidas a adotar de minimização à exposição ao risco climático. Na verdade, os efeitos da deterioração por causas ambientais, dependem não só dos valores absolutos de cada um desses indicadores, mas também das características da sua variação ao longo do tempo.

De forma genérica, os objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e intersticiais, não devem ser mantidos em limites de HR >65%, devido à possibilidade de variação volumétrica dos produtos usados de consolidação de materiais lenhosos (à base de PEG), e também por potenciarem os riscos da ocorrência de fenómenos de corrosão nos metais. Os limites de HR considerados “aceitáveis” para a exibição da generalidade dos elementos orgânicos desta cultura material (em particular os lenhosos), situam-se entre o intervalo de 40-65%. Idealmente este requisito deve permanecer imutável, variando no máximo $\pm 5\%$. Se tal não for viável, uma variação gradual de HR de 10 ou mesmo 15%, ao longo de um ano, pode ser considerada admissível, se tal não causar danos para os artefactos. No que respeita à T, os intervalos toleráveis de exposição devem situar-se entre 15-25 °C, com uma variação de +5°C. Sobre os efeitos que a T pode ter na preservação deste tipo de bens arqueológicos, é preciso ponderar os fenómenos (e os efeitos) da migração

celular do PEG de baixo peso molecular (400 e 600) nos materiais, devendo-se, portanto, evitar na exibição de peças a $T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, mas também acautelar aproximações da T ambiente do ponto de orvalho e da formação de condensação (Thomson 1986: 43; Jenssen e Pearson: 1987: 269).

Na Tabela 2 encontra-se identificadas as amplitudes diárias (ΔHR e ΔT) máxima e mínima, registadas nas duas campanhas de monitorização da SP, a amplitude média anual, assim como a percentagem de conformidade estatística das amplitudes diárias, com os requisitos das variações de tolerância referidas para a categoria de conservação em estudo. Atendendo que ΔHR

se pode situar entre 5 e 15%, a referência de ΔHR neste estudo foi estabelecida pela média dos dois limites, 10%. Relativamente a ΔT , o valor adotado foi o recomendado na especificidade, 5%.

Espaço	Campanha	Parâmetro	Δ (24h)		% Conformidade (24H)	Δ média (anual)
			Máximo	Mínimo		
SP	2022/23	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	9,75	0,41	99%	1,40
		ΔRH (%)	37,63	1,07	72%	7,56
	2024/25	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	9,18	0,13	99%	1,16
		ΔRH (%)	32,45	0,78	83%	6,21

Tabela 2.- Sumário das variações diárias dos parâmetros higtotérmicos monitorizados nas duas campanhas.

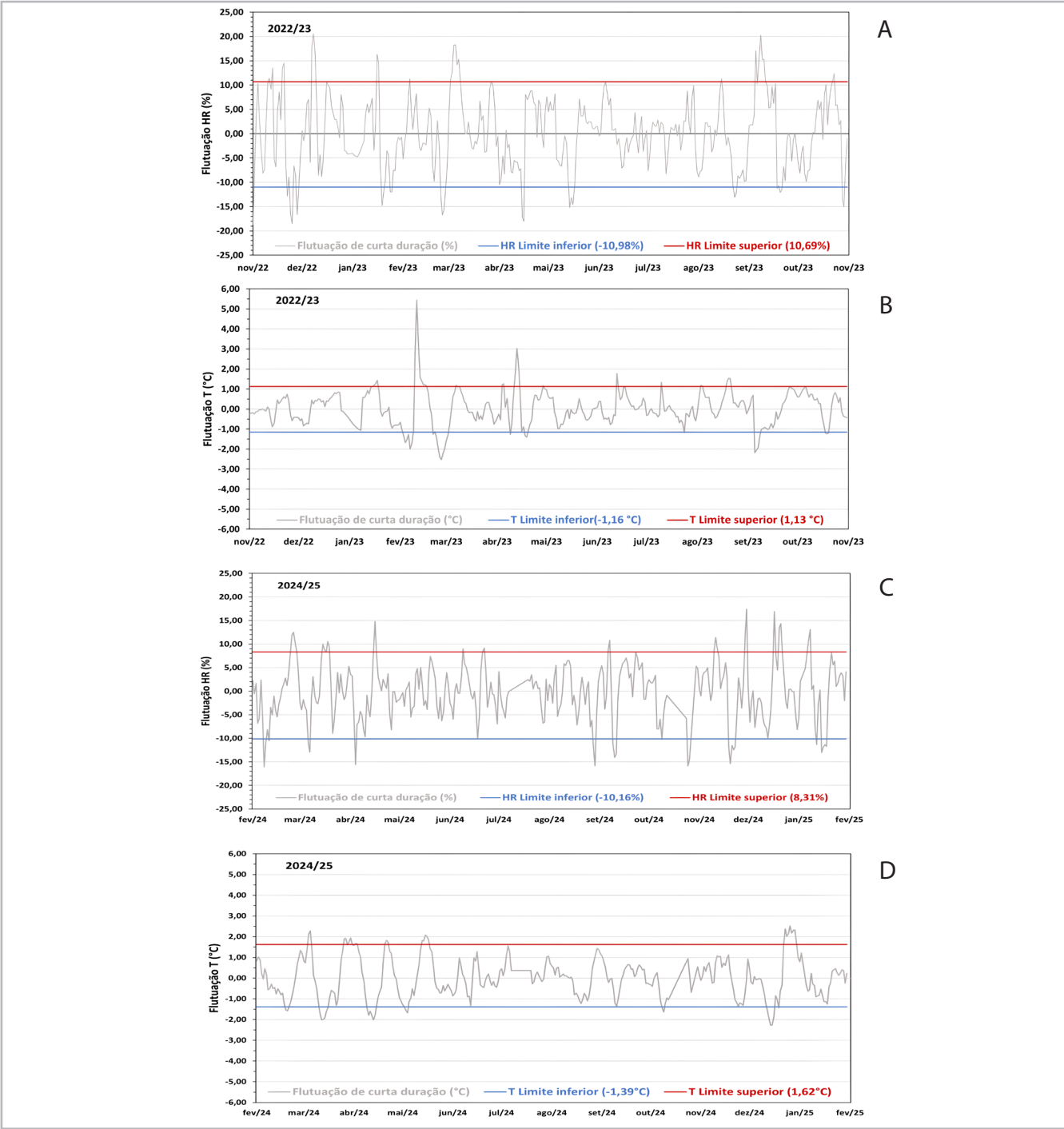


Figura 3.- Flutuações de curta duração (T e HR) na SP e respetivos limites aferidos.

Discussão dos resultados

Como se observa nos dados, o comportamento da SP nos dois períodos de monitorização é bastante semelhante. Na campanha de 2024/25, existe uma maior percentagem de conformidade diária de ΔHR com a variação de referência (10%), do que na campanha de 2022/23. Como se observou nos registos climáticos, o ano de 2023 foi marcado por eventos meteorológicos relevantes (e que influenciaram o comportamento higrotérmico da SP), não podendo este fator deixado de ser considerado na ocorrência de uma ligeira diferença percentual da conformidade de ΔHR nas duas campanhas. Quanto a ΔT , verifica-se que a percentagem de conformidade diária com os requisitos das variações de tolerância é igual (99%) nas duas campanhas, considerando-se que a massa térmica do edifício ajudou positivamente a evitar flutuações bruscas de curto prazo. Da análise das médias anuais de ΔHR e ΔT , verifica-se também que os valores obtidos se enquadram dentro dos limites de variação adotados.

De acordo com a norma EN 15757:2010, não existem valores fixos de flutuações diárias, sendo a aferição dos ciclos sazonais obtida através do cálculo da média móvel, que é a média aritmética dos 15 registos médios, anteriores e posteriores, a cada registo médio diário. As flutuações de curta duração, correspondem à diferença entre o valor médio diário registado e o valor da média móvel. Os limites, inferior e superior, de T e HR, são determinados do cálculo do 7º e 93º percentis das variações registadas durante um período de monitorização – de mais de um ano. A norma também define que, se as flutuações de HR de curta duração não se afastarem mais de 10%, estas podem ser ignoradas. Os intervalos de segurança calculados da SP com esta metodologia encontram-se na Figura 3. Dos dados obtidos podem ser tiradas as seguintes ilações:

- Analisando os limites superior e inferior de segurança calculados dos parâmetros higrotérmicos, verifica-se que eles variam em ambas as campanhas.
- Na campanha de 2024/25 as flutuações diárias são menores, assim como os intervalos de segurança apurados.
- Apesar de em ambas as campanhas, os limites de HR obtidos se afastarem ligeiramente do estabelecido pela norma EN 15757: 2010 (+ 10%), estes, por outro lado, encontram-se enquadrado nos requisitos de variação de HR atribuídos na literatura para a exibição de objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados.

Este tipo de análise demonstra a importância que os trabalhos de monitorização ambiental de longo prazo (mais de um ano), têm na compreensão das respostas higrotérmicas de espaços museológicos e/ou expositivos, e também na clarificação dos fatores de risco climático inerentes ao respetivo edificado. Esta evidência deve ainda ser reforçada por análises comparativas com outros trabalhos da mesma natureza, realizados a partir do estudo das condições históricas do clima interior e da história dos próprios edifícios, de forma às medidas a adotar na preservação de coleções e bens culturais, sigam orientações

melhor fundamentadas e objetivamente mais realistas. Nesse propósito, a tentativa de estabelecer paralelos entre os resultados da SP com outros trabalhos semelhantes não se revela uma tarefa simples. Desde logo, pelo facto de a estrutura do edificado resultar da reabilitação de um edifício de armazém do início do século XX, construído com alvenaria de pedra ordinária (de aparelho à vista), madeira e cobertura de cerâmica, o que não se enquadra com os habituais estudos deste género, realizados em universos museológicos inseridos em construções de importância histórica, edificadas com alvenaria de pedra aparelhada e revestidos, pelo interior, com rebocos de argamassas pintada e/ou paramentos em madeira (Camuffo 2014; Silva e Henriques 2015; Pereira *et al.* 2019). Depois, por os valores higrotérmicos analisados serem recolhidos diretamente do invólucro espacial da sala (e sem a interferência de fatores de controlo ambiental ativo), e não do interior de suportes museográficos de controlo ambiental, como vitrines (Sciurpi *et al.* 2015). Por fim, porque a especificidade dos efeitos de deterioração e das metodologias de conservação da cultura material em estudo, se mostrar como uma realidade preservativa ainda pouco individualizada e sistematizada (Cabello-Briones 2011), à luz de estudos de monitorização ambiental (de longo prazo) de coleções e bens culturais.

Determinação dos limites higrotérmicos

Nesta secção será efetuada a análise das variações sazonais dos registos climáticos obtidos das duas campanhas de monitorização da SP, seguindo os procedimentos da norma EN 15757:2010 (i.e., o cálculo da média móvel e a determinação dos limites de segurança através dos valores do 7º e 93º percentis das variações registadas durante os períodos de monitorização). Apesar da norma EN 15757:2010 estar principalmente direcionada para a HR, a sua metodologia foi também aplicada à T. A Figura 4 mostra a representação gráfica da aplicação da metodologia, definindo os limites, superior e inferior, de flutuações aceitáveis (i.e., o 7º e 93º percentis). Na Tabela 3 estão os resultados sumarizados. Baseado nesses dados, podem ser estabelecidas as seguintes considerações:

Espaço	Campanha	Parâmetro	Média	Limites	
				Inferior	Superior
SP	2022/23	HR (%)	57,41	33,30	80,93
		T (°C)	21,77	14,74	27,68
	2024/25	HR (%)	61,75	42,20	78,54
		T (°C)	19,97	13,33	27,89

Tabela 3.- Sumário dos limites dos parâmetros higrotermais de acordo com a norma EN 15757:2010.

- Genericamente, a T é o parâmetro que menos oscila nas campanhas de monitorização.
- A média anual da HR em 2024/25 é superior que a média anual da HR 2022/23. O limite superior de segurança deste último é mais elevado que o do ano 2024/25. O inverso sucede com os limites inferiores.

• Embora se tenham registado flutuações relevantes nas das campanhas, as médias anuais da T e HR enquadram-se nos intervalos de oscilação ambiental, admitidos para a conservação dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e intersticiais. De notar que as médias anuais da T são as adequadas para a o conforto humano.

• Na campanha de 2022/23 é onde se observa os limites de segurança mais extremos de HR. A campanha de 2024/25 é a que apresenta o menor limite de segurança de T.

• A HR e os respetivos limites de segurança, mantêm-se mais estáveis no período Primavera/Verão que no período Outono/Inverno, nas duas campanhas. É também no período Primavera/Verão que os limites da HR são mais consentâneos com os limites de segurança ao dano climático das coleções à guarda do CNANS.

• Os limites superiores da T são registados no período Primavera/Verão, mais concretamente nos meses de julho e agosto. É também nestes meses a única altura em que os limites de segurança se afastam dos requisitos da T, admitido neste estudo.

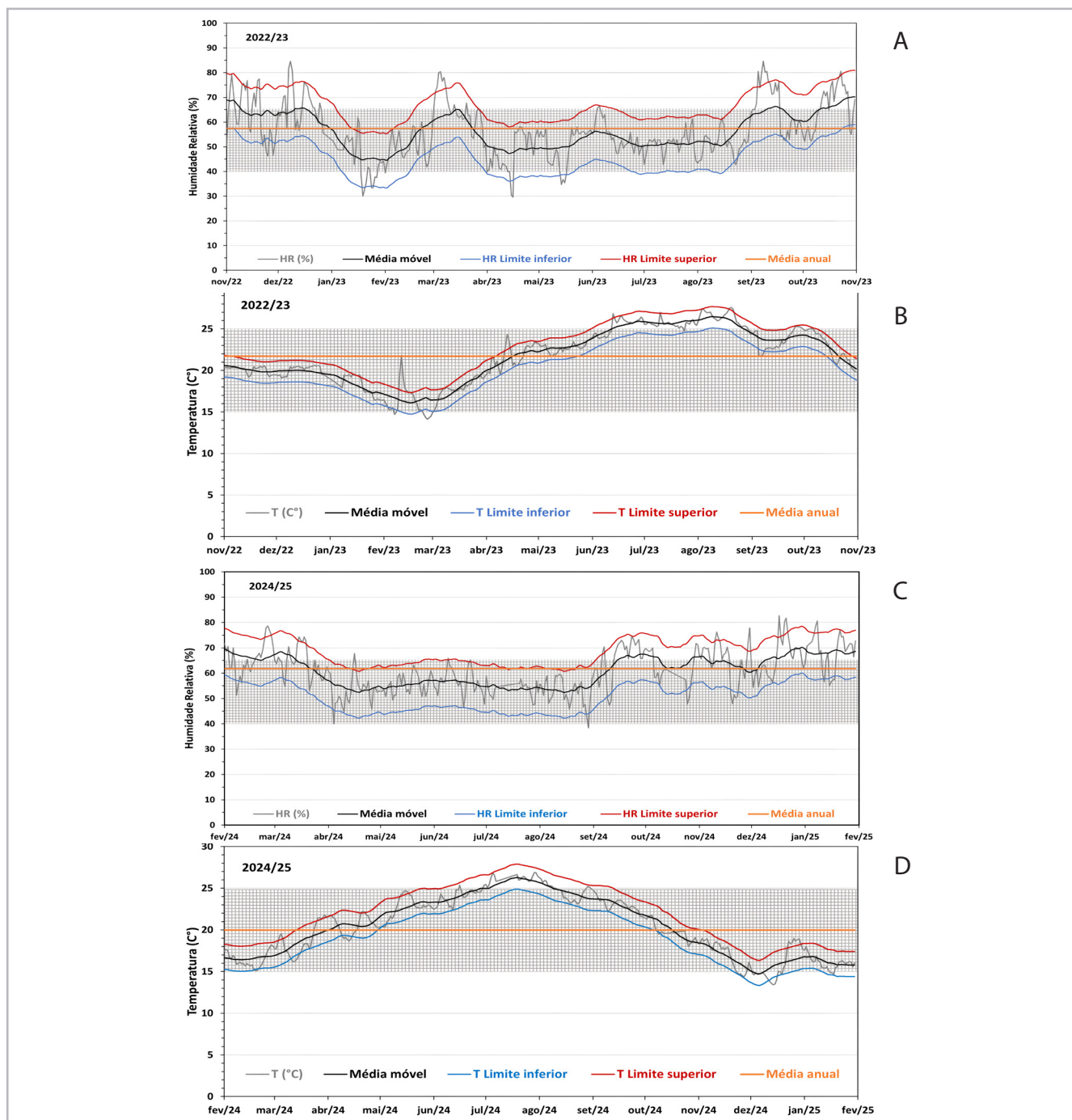


Figura 4.- Limites de segurança (de acordo com a EN 15757: 2010) comparados com os dados ambientais monitorizados na SP. As áreas sombreadas correspondem aos limites definidos na literatura para a generalidade dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais.

Discussão dos resultados

Para sistematizar a distribuição do padrão climático identificado com os parâmetros de risco ambiental das coleções à guarda do CNANS, os dados foram ainda relacionados com os requisitos de segurança ao dano por condições climáticas, estabelecidos para os objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais [Figura 5]. Como vimos anteriormente, os intervalos ideais para a preservação destes artefactos são: 40-65% HR e 15-25 °C. De acordo com estas condições: i) verifica-se nas duas campanhas que a SP mostra um comportamento ambiental intrínseco satisfatório; ii) contrariamente ao esperado (devido à ocorrência de eventos meteorológicos relevantes), a sala apresentou um melhor desempenho global na campanha 2022/23 do que na de 2024/25; iii) na transição de 2022/23 para 2024/25, a percentagem de HR no intervalo 40-65%, baixou 13.4%. Por outro lado, a $T > 25^{\circ}\text{C}$ reduziu 12.7% e aumentou 12.2% abaixo de 15°C .

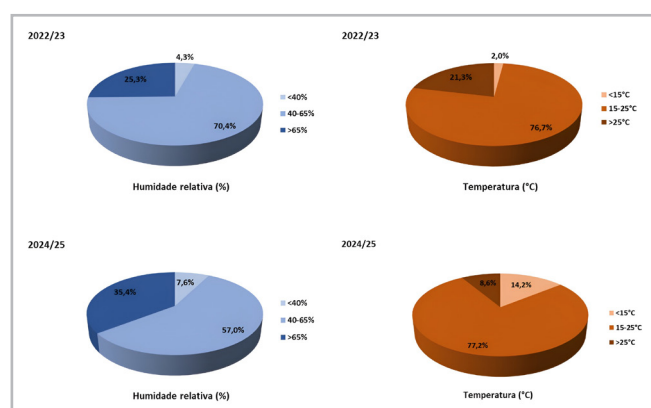


Figura 5.- Distribuição percentual dos dados das duas campanhas de acordo com os limites ambientais definidos para a generalidade dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais

Apesar de os dados revelarem um desempenho ambiental satisfatório da SP à luz dos preceitos genéricos da categoria de conservação em estudo, os sub-requisitos inerentes à especificidade da sua preservação e à diversidade material desta realidade patrimonial, foram também matéria de análise. Assim, foi também investigada a ocorrência percentual dos valores diários de T que evitam a migração celular do PEG (400 e 600) no interior celular da madeira ($< 20^{\circ}\text{C}$), bem como a proporção de valores de HR que mitigam a exposição das ligas ferrosas ($< 50\%$) e de cobre ($< 42\%$), a danos por condições climáticas.

Pelos dados da Figura 6 percebe-se que no universo dos sub-requisitos de conservação enunciados, o comportamento ambiental da SP, ao longo das duas campanhas, não mostra um desempenho intrínseco tão razoável, quando comparado com os resultados da Figura 5. De facto, nesta nova relação de parâmetros de controlo, apenas a condição $T < 20^{\circ}\text{C}$, essencial para evitar fenómenos de migração celular dos produtos PEG de baixo peso molecular nos materiais, apresenta valores percentuais significativos (48%) na campanha 2022/23,

ocorrendo mesmo um aumento (11,5%), na transição para a campanha de 2024/25 (59.5%). Todos os restantes sub-requisitos, não exibem registos que se possam considerar toleráveis para a conservação preventiva da especificidade material em análise, nos dois períodos de monitorização.

Desta situação se realça a importância da realização de uma análise cuidadosa e detalhada da monitorização de dados higrotérmicos, no sentido de um melhor entendimento dos fatores de risco ambiental para as coleções e bens culturais, e na definição de medidas da sua gestão sustentável, fundamentadas em evidências climáticas.

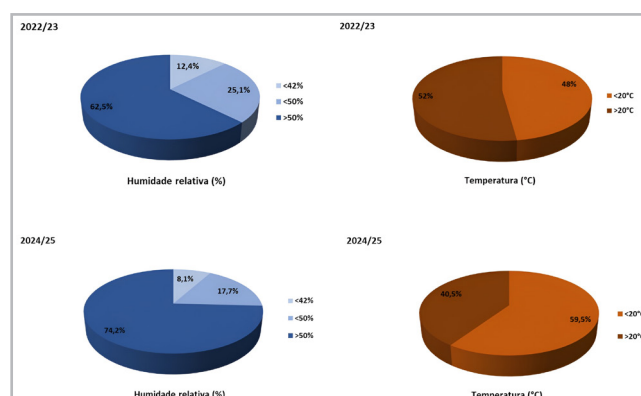


Figura 6.- Distribuição percentual dos dados das duas campanhas de acordo com os subcritérios de segurança dos objetos arqueológicos provenientes de ambientes encharcados e/ou intersticiais.

Considerações finais

Como se observa do padrão climático aferido nas duas campanhas de monitorização da SP, a T é o parâmetro que apresenta dados mais estáveis ao longo do ano, apenas existindo desvios extremos sistemáticos ($> 25^{\circ}\text{C}$) ao intervalo estabelecido ($15-25^{\circ}\text{C}$), essencialmente nos meses de julho e agosto. Por seu lado, os dados da HR apenas exibem um comportamento adequado (i.e., no intervalo 40-65%), nos períodos Primavera/Verão. Nos períodos Outono/Inverno, a HR apresenta uma forte relação climática interior-exterior, sendo também nessas alturas que se registam os valores mais extremos ($> 80\%$) nomeadamente em dezembro e janeiro. Quanto aos sub-requisitos de conservação considerados, apenas a condição $T < 20^{\circ}\text{C}$ apresenta uma quantificação aceitável, no balanço das duas campanhas. Os restantes preceitos, HR $< 50\%$ para as ligas ferrosas e $< 42\%$ para as ligas de cobre, não foram obtidos registos que se possam considerar seguros para evitar danos causados pelas condições climáticas nesses materiais.

Da informação recolhida é manifesta a necessidade de introduzir algumas medidas de controlo ambiental na SP, de modo a minimizar o impacto dos registos higrométricos identificados. Atendendo que o espaço possui um sistema de climatização HVAC, a sua utilização no aquecimento do ar, quando a HR é elevada, ou no arrefecimento, para reduzir a T nos meses de Verão, parece ser a medida (ativa) mais evidente a implementar.

Na verdade, o critério real que este estudo aporta ao emprego parcimonioso do sistema de climatização, é uma ferramenta de mais valia no equilíbrio sustentável da sua utilização e também na melhoria das condições ambientais da sala em evitar o dano patrimonial. Apesar disso, é importante observar que o volume considerável da SP (cerca de 1200 m³), poderá não oferecer as melhores garantias de circulação de ar condicionado, suficiente para manter uma uniformidade de inércia higrotérmica diária e/ou sazonal do espaço (Maekawa *et al.* 2015: 35). Por outro lado, e tendo em conta a diferente natureza dos materiais (lenhosa e metálica) analisados neste estudo, os seus fatores de deterioração, de conservação e os limites distintos de segurança à degradação por causas climáticas que apresentam, fica também evidente que na coordenação das várias decisões de preservação ambiental a determinar na SP, estas poderão opor-se ou interferir entre si, o que condiciona as opções das programações museológicas a destinar ao espaço.

Perante este cenário, a opção de conjugar a utilização do sistema de climatização HVAC - nos meses mais críticos identificados (julho, agosto, dezembro e janeiro) -, com a criação de microclimas específicos para a exibição de artefactos - através do recurso a suporte museográfico passivos, como vitrines -, evidencia-se como um modelo de controlo ambiental misto que, além de dar garantias de uma melhor eficiência energética na climatização da SP, assegura ambientes expositivos para os bens culturais à guarda do CNANS minimizadores do risco de danos por fenómenos climáticos, mais conformes às suas necessidades de preservação (nomeadamente para os metais) e menos dependentes de equipamentos tecnológicos de controlo ambiental. Concomitantemente, esta solução confere também uma maior liberdade dos materiais a exibir e autonomia das programações culturais.

A sustentabilidade ambiental de espaços com características museológicas e/ou expositivas é, na atualidade, reconhecida como um aspeto fundamental na abordagem às questões conservativas a empregar na exibição de coleções e bem culturais, como também no planeamento dos recursos e na sustentabilidade do dispêndio de energia, essenciais à gestão destes equipamentos culturais. Por conseguinte, as prioridades estratégicas da gestão climática devem ser encaradas de forma holística, concorrendo na definição dos modelos hodiernos de conservação preventiva, além de uma boa avaliação do comportamento ambiental dos espaços e da climatologia regional, a implementação de soluções que não passem pela dependência excessiva de equipamentos e/ou de sistemas de climatização, tendencialmente dispendiosos e tecnologicamente frágeis. Assim, a definição correta do intervalo dos parâmetros climáticos e o controlo das flutuações higrotérmicas (rápidas e/ou extremas, é um passo fundamental na persecução deste tipo de estratégias.

Agradecimentos

O autor gostaria de agradecer ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), a cedência dos dados climáticos

exteriores (correspondentes à estação Lisboa/Geofísico) nos dois períodos de monitorização ambiental da SP do CNANS.

Referências

- ASHRAE (2011). Chapter 23. *Museums, galleries, archives, and libraries. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ASHRAE Handbook HVAC Applications* (SI Edition). 1-22. ISBN 978-1-936504-07-7.
- BRODA, M., HILL, C. A. S. (2021). "Conservation of Waterlogged Wood—Past, Present and Future Perspectives." *Forests*, 12, 1193: 25 -79 <https://doi.org/10.3390/f12091193>
- CABELLO-BRIONES, C. (2011). "A reflection on the preventive conservation of archaeological wood and the effects of mass tourism - The Case Study of the Vasa Warship". *e-conservationline*, 18, 44-52, ISSN: 646-9283 (PDF) Reflection on the Preventive conservation of Archaeological Wood and the Effects of Mass Tourism [Consulta: 20/04/2025]
- CAMUFFO, D., BERTOLINA, C., BONAZZIB, A., CAMPANAC, F., MERLOD, C. (2014). "Past, present and future effects of climate change on a wooden inlay bookcase cabinet: A new methodology inspired by the novel European Standard EN 15757:2010." *Journal of Cultural Heritage*, 15: 26-35 <http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.005>
- Carta Militar de Portugal Série M888- Folha 431 – Lisboa. ISBN:972-765-332-4
- Decreto-Lei n.º 78/2023, 4 de setembro Decreto-Lei n.º 78/2023 | DR [Consulta: 20/04/2025]
- EN 15757: 2010 (2010). Conservation of Cultural Property – Specifications for Temperature and Relative Humidity to Limit Climate-induced Mechanical Damage in Organic Hygroscopic Materials, BSI Standards Publication.
- GLASS, S. V., ZELINKA, S. V. (2010). "Moisture Relations and Physical Properties of Wood." *Wood handbook—Wood as an engineering material*, Risbrudt, C. D. (Dir). Madison, Forest Products Laboratory: 4-1, 4-19
- GONÇALVES, C., MELÂNEO, P. (2018). "Lisboa Oriental – Mapeamento". *Jornal Arquitectos*, 257. <http://www.jornalarquitectos.pt/pt/jornal/epicentros-pos-industriais/lisboa-oriental-2>. [Consulta: 14/03/2025]
- GRATTAN, D. W., CLARKE, R. W. (1987). "Conservation of waterlogged wood". *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Pearson C. (Ed.), Camberra: 164 – 206 <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10668-9.50015-0>
- HAMILTON, D. L. (1999). *Methods for Conserving Archaeological Material from Underwater Sites*, Conservation Research Laboratory, Center for Maritime Archaeology and Conservation, Texas, A&M University. UA-116 <https://nautarch.tamu.edu/wp-content/uploads/2025/04/ConservationManual.pdf> [Consulta: 26/03/2025]

HARVEY, R., FREEDLAND, C. (1989) "Exhibition and Storage of Archaeological Wood" *Archaeological Wood: Properties, chemistry, and Preservation*, Rowell R.; Barbour R. (Eds). Washington DC: 399 – 417 <https://doi.org/10.1021/ba-1990-0225.ch015>

IPMA (janeiro 2023). *Boletim Climático, Portugal Continental*. PDF, 1ª Versão, Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [cli_20230101_20230131_pcl_mm_co_pt.pdf](https://doi.org/10.22301/20230131_pcl_mm_co_pt.pdf) [Consulta: 27/03/2025]

IPMA (abril 2023). *Boletim Climático, Portugal Continental*. PDF, 1ª Versão, Lisboa: Instituto Português do Mar e da Atmosfera. [cli_20230401_20230430_pcl_mm_co_pt.pdf](https://doi.org/10.22301/20230401_20230430_pcl_mm_co_pt.pdf) [Consulta: 26/03/2025]

JANSSEN, H., CHRISTENSEN, J. E. (2013). "Hygrothermal optimisation of museum storage spaces", *Energy and Buildings*. 56: 169–178 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.043>

JENSSEN, V., PEARSON C. (1987). "Environmental considerations for storage and display of marine finds". *Conservation of Marine Archaeological Objects*, Pearson C. (Ed.), Camberra: 268-270 <https://doi.org/10.1016/B978-0-408-10668-9.50018-6> [Get rights and content](#)

MAEKAWA, S., BELTRAN, V. L., HENRY, M. C. (2015). *Environmental Management for Collections. Alternative Preservation Strategies for Hot and Humid Climates*. Los Angeles, The Getty Conservation Institute.

MARTENS, M. H. J. (2012). "Climate risk assessment in museums: degradation risks determined from temperature and relative humidity data." *Doctor of Philosophy, Built Environment, Eindhoven*. <https://doi.org/10.6100/IR729797>

PEREIRA, D. L., GASPAR, A. R., COSTA, J. J., PEREIRA, G. (2019). "The importance of long-term hygrothermal assessment of museum spaces: method and application in a permanent exhibition in a historical building." *Conservar Património*, 30, 91–105. <https://doi.org/10.14568/cp2018005>

RIMMER, M., THICKETT, D., WATKINSON, D., GANIARIS, H. (2013). *Guidelines for the storage and display of archaeological metalwork*. [Technical Report]. Guidelines, London: English Heritage. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/61283> [Consulta: 14/03/2025]

SCIURPI, F., CARLETTI, C., CELLAI, G., PIERANGIOLI, L. (2015). "Environmental monitoring and microclimatic control strategies in «La Specola» museum of Florence". *Energy and Buildings* 95: 190–201 <https://doi.org/10.1504/IJMRE.2015.129554>

SILVA, H. E., HENRIQUES, F. M. A. (2015). "Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process". *Energy and Buildings*, [http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.067](https://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.067)

THOMSON, G. (1986). *The museum environment*. Butterworths, in association with the International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works.

WATKINSON, D., LEWIS, M. T. (2005). "Desiccated Storage of Chloride-Contaminated Archaeological Iron Objects". *Studies in Conservation*, 50(4), 241–252. <https://doi.org/10.1179/sic.2005.50.4.241>

Autor/es



João Henrique Marrocano

macedo.marrocano@marinha.pt

Museu de Marinha

<https://orcid.org/0000-0003-2677-527X>

Bacharel em Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar, 2006. Licenciado em Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar em 2008, Pós Graduação em Mercado da Arte e Colecionismo, Universidade Nova de Lisboa, 2018. Conservador restaurador de Património Cultural e Artes Decorativas tem desenvolvido a sua atividade no âmbito da preservação de materiais orgânicos e dos seus revestimentos, para diversas instituições nacionais (públicas e privadas), de cariz patrimonial. Complementarmente tem produzido artigos e apresentações de investigação técnica, histórica e científica sobre bens culturais, artes decorativas portuguesas e conservação e restauro de bens arqueológicos subaquáticos. Principais interesses: tratados técnicos antigos relacionados com a produção e revestimento de Património Cultural, Artes Decorativas da Expansão e construção naval; história da conservação e restauro de materiais orgânicos e revestimentos; peritagem e avaliação de Artes Decorativas e Antiguidades.

Artículo enviado 12/07/2025
Artículo aceptado el 17/09/2025



<https://doi.org/10.37558/gec.v28i1.1414>