

CONTROLO DA HUMIDADE RELATIVA EM MUSEUS

Influência dos Materiais Higroscópicos de Revestimento

Cláudia Ferreira¹
cmiranda@fe.up.pt

Vasco Peixoto de Freitas²
vpfreita@fe.up.pt

ÁREA: 3.2 RESTAURAÇÃO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO

Resumo

A preservação dos acervos museológicos é um dos principais objetivos dos museus de todo mundo, no entanto, as flutuações da temperatura e, sobretudo, da humidade relativa interior podem afetar a conservação dos objetos que compõem os acervos museológicos, causando danos, muitas vezes irreversíveis. A classificação do clima interior dos museus, com base na flutuação horária da humidade relativa é crucial na avaliação do seu desempenho face às exigências do nível de conservação das coleções expostas. O clima exterior, o processo de ventilação, a ocupação, a natureza da envolvente e os revestimentos interiores higroscópicos são fatores a ter em consideração na estabilização da humidade relativa interior e a sua otimização permite minimizar, ou mesmo, dispensar a utilização de complexos equipamentos mecânicos de controlo das condições higrotérmicas interiores. Este artigo tem como objetivo apresentar a classificação do clima interior de museus, segundo a ASHRAE e a EN 15757, bem como quantificar a importância dos materiais de revestimento na flutuação da humidade relativa interior, mostrando os resultados de estudos experimentais realizados num protótipo, à escala reduzida, bem como os resultados de simulação numérica avançada utilizando o programa WUFI Plus.

Palavras-chave: Clima Interior
Museus
Materiais de Revestimento

¹ CONSTRUCT-LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

² Prof. Catedrático da FEUP. Diretor do Laboratório de Física das Construções

CONTROL DE LA HUMEDAD RELATIVA EN MUSEOS INFLUENCIA DE LOS MATERIALES HIGROSCÓPICOS DE REVESTIMIENTO

Cláudia Ferreira³

cmiranda@fe.up.pt

Vasco Peixoto de Freitas⁴

vpfreita@fe.up.pt

ÁREA: 3.2 RESTAURAÇÃO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO

Resumo

La preservación de los acervos museológicos es uno de los principales objetivos de los museos de todo el mundo, sin embargo, las fluctuaciones de la temperatura y sobre todo de la humedad relativa interior pueden afectar la conservación de los objetos que componen los acervos museológicos, causando daños, muchas veces irreversibles. La clasificación del clima interior de los museos, basada en la fluctuación horaria de la humedad relativa, es crucial en la evaluación de su desempeño frente a las exigencias en la conservación de las colecciones expuestas. El clima exterior, el proceso de ventilación, la ocupación, la naturaleza del entorno y los revestimientos interiores higroscópicos son factores a tener en cuenta en la estabilización de la humedad relativa interior y su optimización permite minimizar, o incluso, dispensar la utilización de complejos equipos mecánicos de control de las condiciones higrotéticas interiores. Este artículo tiene como objetivo presentar la clasificación del clima interior de museos, según la ASHRAE y la EN 15757, así como cuantificar la importancia de los materiales de revestimiento en la flotación de la humedad relativa interior, mostrando los resultados de estudios experimentales realizados en un prototipo a escala reducida, así como los resultados de simulación numérica avanzada utilizando el programa WUFI Plus.

Palavras-chave: Clima Interior

Museos

Materiales de recubrimiento

³ CONSTRUCT-LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)

⁴ Prof. Catedrático da FEUP. Diretor do Laboratório de Física das Construções

Introdução

O controlo das condições climáticas no interior de museus é fundamental. Durante o século XX, foram vários os autores (1), (2) e (3) a concluir que as flutuações da temperatura e sobretudo da humidade relativa interior influenciam profundamente a preservação dos acervos museológicos.

As exigências higrotérmicas em museus foram evoluindo ao longo da história (4), no entanto, os avanços mais importantes nesta área foram dados por: *Garry Thomson*, em 1978 com a publicação do livro “*The Museum Environment*” onde o autor dá prioridade às coleções em detrimento dos visitantes (3) e por *Stefan Michalski*, que no congresso de Otava de 1993/1994 contribuiu para alterar a forma de pensar, ao referir que em museus não há um valor ideal de humidade relativa mas valores mínimos, máximos e flutuações aceitáveis que minimizam os vários tipos de deteriorações (5). Antes destas contribuições, os valores de referência de temperatura e humidade relativa eram definidos de forma mais ou menos arbitrária e eram válidos para qualquer museu, em qualquer parte do mundo, fosse qual fosse o clima exterior e o passado das coleções e dos edifícios.

As metodologias de avaliação de risco que permitem classificar o clima interior de museus começam a surgir em 1999, com a ASHRAE a publicar pela primeira vez no seu manual um capítulo dedicado aos museus, bibliotecas e arquivos, onde apresenta uma metodologia para controlo das condições climáticas interiores baseadas em valores de referência, flutuações máximas admissíveis e nos riscos e benefícios para as coleções, associados a cada uma das opções (6). Mais tarde, em 2010 surge uma norma europeia, a EN 15757, que preconiza especificações de humidade relativa que limitam os danos físicos nos materiais orgânicos (7).

Na reabilitação do património é fundamental assegurar que os materiais interiores de revestimento contribuam para a estabilização natural da humidade relativa interior.

Metodologias de Classificação do Clima Interior de Museus

Um dos objetivos deste artigo é apresentar a classificação do clima interior de museus segundo a ASHRAE e segundo a norma EN 15757. Assim sendo, nesta seção sintetizam-se essas duas metodologias de classificação do clima interior de museus.

Metodologia ASHRAE

A metodologia prescrita pela ASHRAE, aplica-se a museus em geral, galerias de arte, bibliotecas e arquivos e baseia-se em pequenas flutuações e ajustes sazonais dos valores de referência de temperatura e de humidade relativa, bem como nos riscos e benefícios associados a essas especificações para várias classes de controlo (Tabela 1) (6). Esta metodologia pode ser utilizada em projeto, quando se pretendem definir as condições do clima interior (valores de referência e flutuações máximas admissíveis) ou em museus em serviço, instalados em edifícios do património existente, quando se pretende classificar o seu clima interior e/ou avaliar os riscos e benefícios associados às presentes condições climáticas.

De acordo com a interpretação dada por Marco Martens na sua tese de doutoramento “*Climate Risk Assessment in Museums*” (8), a avaliação de cada classe climática é realizada individualmente, tendo como ponto de partida o conjunto de dados climáticos horários: temperatura e humidade relativa, registados no interior de um determinado compartimento ou museu ao longo de um ano.

Tabela 1: Especificações de umidade relativa e temperatura para museus, galerias, bibliotecas e arquivos de acordo com a ASHRAE (6).

Tipo	Valores de Referência ou Média Anual	Flutuações Máximas e Gradientes em Espaços Controlados			Riscos e Benefícios para as Coleções
		Classe de Controle	Pequenas Flutuações	Ajustes sazonais dos valores de referência	
Museus em geral, Galerias de Arte, Bibliotecas e Arquivos Salas de consulta e leitura, salas para armazenamento de coleções quimicamente estáveis em particular se forem mecanicamente vulneráveis	50 % HR (ou a média anual histórica para as coleções permanentes) Temperatura: um valor entre 15 e 25 °C Nota: Nas salas destinadas a exposições temporárias deve ser possível o valor solicitado pela entidade que empresta, tipicamente 50 %, 21 °C mas por vezes 55 ou 60 %.	AA Controle de precisão, sem correção sazonal	±5 % HR, ±2 °C	HR sem alteração. T 5 °C acima do valor de referência e 5 °C abaixo	Nenhum risco de degradação mecânica para a maior parte dos artefactos e da pintura. Alguns metais e minerais poderão degradar-se se um valor da HR de 50 % exceder um valor crítico. Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
		A Controle de precisão, alguns fatores ou alterações sazonais mas não os dois	As ±5 % HR, ±2 °C	Aumentar ou reduzir a HR 10 %, aumentar a T 5 °C ou reduzi-la 10 °C	Risco reduzido de degradação mecânica para artefactos muito sensíveis, nenhum risco para a maior parte dos artefactos, pintura, fotografias e livros. Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
		B Controle de precisão de alguns fatores mais um ajuste da temperatura de inverno	A ±10 % HR, ±2 °C	HR sem alteração; aumentar a T 5 °C ou reduzi-la 10 °C	Objetos quimicamente instáveis estarão inutilizáveis dentro de décadas.
		B Controle de precisão de alguns fatores mais um ajuste da temperatura de inverno	±10 % HR, ±5 °C	Mais 10 %, menos 10 % HR; mais 10 °C mas não acima de 30 °C	Risco moderado de degradação mecânica em objetos muito sensíveis, risco muito pequeno para a maior parte da pintura e da fotografia, alguns livros e artefactos e risco praticamente nulo para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objetos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30 °C, mas os períodos frios do inverno duplicam a sua vida.
		C Evitar os extremos mais perigosos	HR mantida entre 25 % e 75 % durante todo o ano, temperatura raramente acima dos 30 °C, normalmente inferior a 25 °C		Risco elevado de degradação mecânica para artefactos muito vulneráveis, risco moderado para a maior parte da pintura e da fotografia e alguns artefactos e alguns livros e um pequeno risco para muitos artefactos e a maior parte dos livros. Os objetos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30 °C, mas os períodos frios do inverno duplicam a sua vida.
D Evitar a humidade	HR mantida de forma segura a um valor inferior a 75 %		Risco elevado de deterioração mecânica brusca ou acumulada para os objetos de arte e pinturas devido á fratura por humidade relativa demasiado baixa, mas são evitadas as deformações provocadas por humidade elevada especialmente nos embutidos, pintura, papel e fotografias. Os objetos quimicamente instáveis ficarão inutilizados dentro de décadas, menos se estiverem regularmente a 30 °C, mas os períodos frios do inverno duplicam a sua vida.		

O procedimento para se determinar a classe de clima interior do museu em estudo é o seguinte:

1 – Cálculo das médias anuais, bem como das médias dinâmicas sazonais a 90 dias da temperatura e humidade relativa interior. A média dinâmica sazonal a 90 dias é calculada para cada hora e consiste na média dos valores horários dos 45 dias ou das 1080 horas antes, dessa hora e dos 45 dias ou das 1080 horas depois;

2 – Determinação das curvas da média dinâmica sazonal ajustada, da temperatura e da humidade relativa, impondo os ajustes sazonais (relativamente às médias anuais) definidos para classe a avaliar. A curva da média dinâmica sazonal ajustada obtém-se substituindo os valores da média dinâmica sazonal que se encontram abaixo e acima dos valores mínimos e máximos permitidos pelos ajustes sazonais da classe por esses valores;

3 – Obtenção da banda que limita a classe de controlo, somando as pequenas flutuações permitidas pela classe em avaliação às curvas ajustadas da média dinâmica sazonal da temperatura e da humidade relativa;

4 – Cálculo da percentagem de valores que para os dois parâmetros se encontram dentro da respetiva banda.

Metodologia EN 15757

A metodologia proposta pela norma europeia, EN 15757:2010 - *Conservation of Cultural Property – Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials*, conduz às especificações de humidade relativa que limitam os danos físicos nos materiais orgânicos higroscópicos, quando estes estão expostos ou armazenados durante um longo período de tempo (mais do que um ano) em ambientes interiores de museus (7).

Esta metodologia centra-se na variação da humidade relativa e consiste na definição de uma banda de valores, calculada com base na média dinâmica sazonal a 30 dias e nas diferenças entre as médias horárias e as médias dinâmicas sazonais. Assim sendo, partindo das médias horárias da humidade relativa registada no interior de um museu efetuam-se os seguintes cálculos:

1 – Cálculo das médias anuais, bem como das médias dinâmicas sazonais a 30 dias da humidade relativa interior. A média dinâmica sazonal a 30 dias é calculada para cada hora e consiste na média dos valores horários dos 15 dias ou das 360 horas antes, dessa hora e dos 15 dias ou das 360 horas depois;

2 – Determinação das pequenas flutuações que consistem no 7º e no 93º percentil das diferenças entre os valores médios horários e os respetivos valores da média dinâmica sazonal calculada para essa hora ao longo do ano;

3 – Obtenção da banda que limita os danos físicos nos materiais orgânicos higroscópicos, somando as pequenas flutuações obtidas no ponto anterior à curva da média dinâmica sazonal da humidade relativa;

4 – Cálculo da percentagem de valores que se encontram dentro da banda que limita os danos físicos nos materiais orgânicos higroscópicos.

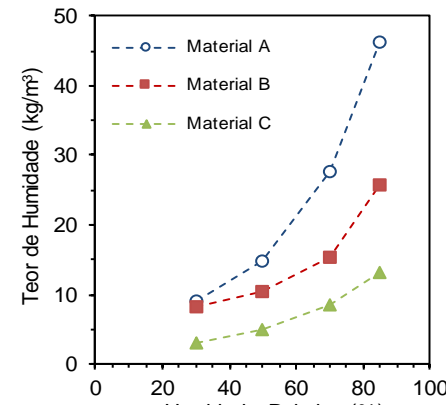
Materiais Higroscópicos de Revestimento

Os materiais de revestimento higroscópicos são aqueles que são capazes de adsorver e restituir ao ar uma quantidade importante de humidade, quando no ar esta se encontra em excesso ou em défice. Assim sendo, as propriedades dos materiais que melhor caracterizam o seu domínio higroscópico e que a sua avaliação é fundamental são: a curva higroscópica,

a permeabilidade ao vapor de água, a espessura da camada de ar de difusão equivalente de pinturas e o *Moisture Buffer Value* – MBV.

Foram selecionados três materiais de revestimento, utilizados em reabilitação do patrimônio histórico, com o objetivo de avaliar o seu comportamento higroscópico, bem como o seu contributo para o controlo da humidade relativa interior. Os materiais selecionados foram: os painéis de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais – Material A, os painéis à base de fibras de madeira aglomeradas com cimento branco – Material B e o reboco projetado de celulose – Material C (9). Estas propriedades foram determinadas no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e encontram-se sintetizadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades higroscópicas dos materiais de revestimento selecionados.

	Material A	Material B	Material C
Permeabilidade ao Vapor de Água (δ_p)	5,90E-11 (TS) 1,73E-10 (TH)	4,13E-11 (TS) 1,37E-10 (TH)	3,44E-11 (TS) 0,87E-10 (TH)
Fator de Resistência à Difusão de Vapor de Água (μ)	3,25 (TS) 1,11 (TH)	4,63 (TS) 1,40 (TH)	5,70 (TS) 2,21 (TH)
Moisture Buffer Value	2,21 g/m ² .%HR (Excelente)	2,25 g/m ² .%HR (Excelente)	1,81 g/m ² .%HR (Bom)
Curva Higroscópica (w, ϕ)			

Esta campanha experimental permitiu concluir que: o Material A é o material com melhor capacidade higroscópica – 0,19 kg/m², para uma variação de humidade relativa entre 50 e 70%, seguindo-se o Material B com 0,07 kg/m² e o Material C com 0,05 kg/m² para a mesma variação de humidade relativa; o Material A também é o mais permeável ao vapor de água ($\delta_p = 5,90E-11$ kg/(m.s.Pa)) e o Material C o menos permeável ao vapor de água ($\delta_p = 3,44E-11$ kg/(m.s.Pa)); e o material que, para a variação de humidade relativa de 33 a 75 %, apresenta uma maior quantidade de vapor de água adsorvida é o Material B com 94,6 g/m², seguindo-se o Material A com 92,7 g/m² e o Material C com 76,0 g/m².

Influência dos Materiais Higroscópicos de Revestimento na Flutuação da Humidade Relativa Interior

A influência dos materiais higroscópicos de revestimento na flutuação da humidade relativa interior foi avaliada através de estudos experimentais realizados num protótipo, à escala reduzida, bem como através de estudos de simulação avançada utilizando o programa WUFI Plus.

Estudos Experimentais

Os estudos experimentais foram realizados no Laboratório de Física das Construções da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com o recurso a um protótipo à escala reduzida desenvolvido no âmbito do doutoramento do Prof. Nuno Ramos (9). A infraestrutura consiste numa câmara de fluxo instalada no interior de uma câmara climática e que procura reproduzir uma sala de museu sujeita a determinadas solicitações climáticas, neste caso impostas pela câmara climática envolvente.

A câmara de fluxo consiste numa caixa de acrílico que tem 1500 mm de comprimento, 524 mm de largura e 584 mm de altura, dotada de um sistema de monitorização, constituído por um conjunto de cinco sondas de temperatura e humidade relativa, de um sistema de produção de vapor, preparado para produzir vapor continuamente numa gama de 1 a 20 g/h, de um sistema de ventilação, que permite a adoção de valores entre 0,26 h⁻¹ e 17 h⁻¹ e de três aberturas que permitem aceder ao seu interior e introduzir materiais higroscópicos de revestimento. Aplicando um fator de escala do volume de aproximadamente 1/70 existe uma relação numérica entre as dimensões desta câmara e de uma sala de um museu com dimensões aproximada de 3 x 4 x 2,7 m³.

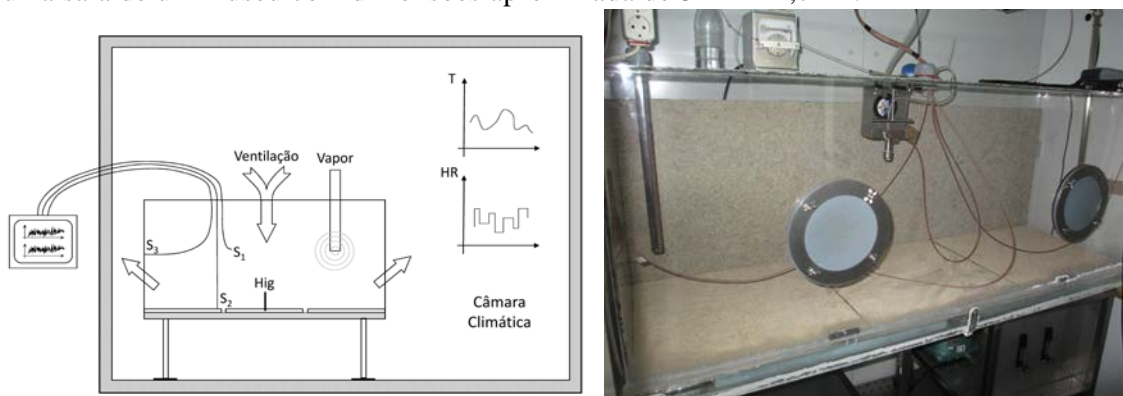


Figura 1: Representação esquemática da infraestrutura de ensaio e Câmara de Fluxo do LFC.

Esta infraestrutura permitiu realizar um conjunto de ensaios, cujo objetivo foi a avaliação da influência dos materiais higroscópicos na flutuação da humidade relativa no interior da câmara de fluxo. A câmara de fluxo, sujeita a um determinado clima exterior gerado pela câmara climática envolvente, foi ensaiada com uma taxa de renovação horária de 0,26 h⁻¹ e com uma área de 0,75 m² do material de revestimento higroscópico – Material B.

O clima exterior à câmara de fluxo foi definido com base nas condições climáticas médias no interior dos museus portugueses e consistiu na definição de um ciclo de verão e outro de inverno (Figura 2).

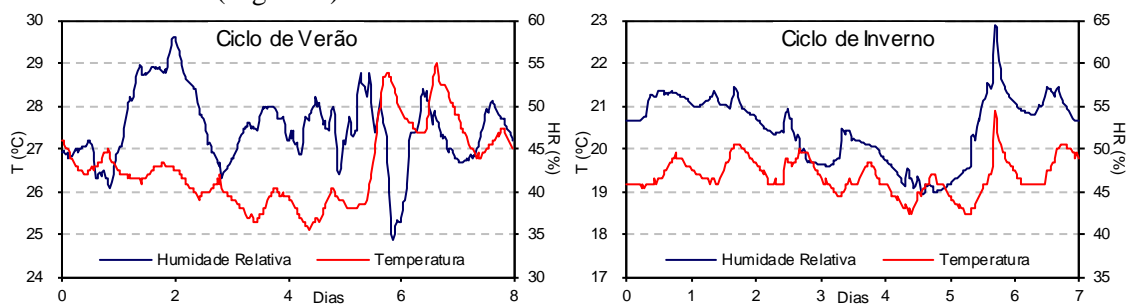


Figura 2: Clima exterior à câmara de fluxo – Ciclo de Verão e Ciclo de Inverno.

As configurações dos ensaios realizados na câmara de fluxo encontram-se descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Configurações dos ensaios realizados na câmara de fluxos.

Ref. ^a	Câmara Climática	Câmara de Fluxo	
	Ciclo	Rph (h ⁻¹)	Materiais Higroscópicos
CF1.V	Verão	0,26	-
CF1.I	Inverno	0,26	-
CF2.V	Verão	0,26	0,75 m ² do Material B
CF2.I	Inverno	0,26	0,75 m ² do Material B

Na Figura 3, na Figura 4 e na Tabela 4 são apresentados os resultados da temperatura e humidade relativa obtidas nos ensaios CF1 e CF2 realizados na câmara de fluxo para o Ciclo de Verão e para o Ciclo de Inverno.

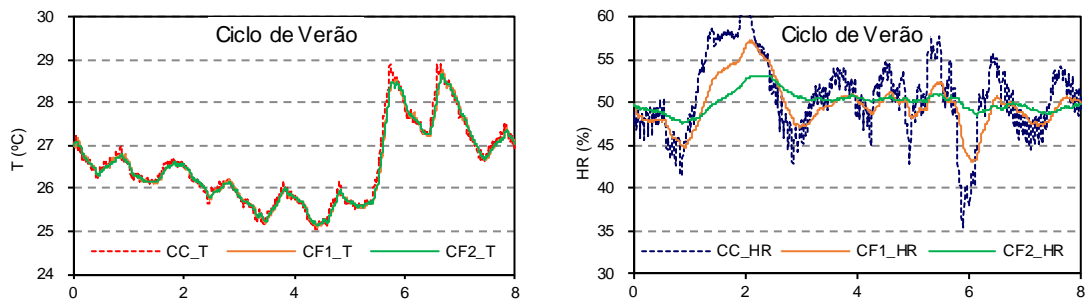


Figura 3: Variações da temperatura e da humidade relativa obtidas no Ciclo de Verão dos ensaios realizados na câmara de fluxo – Configurações CF1.V e CF2.V.

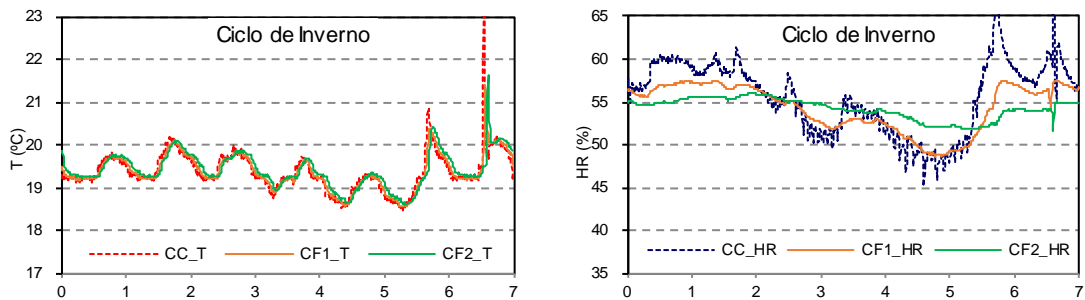


Figura 4: Variações da temperatura e da humidade relativa obtidas no Ciclo de Inverno dos ensaios realizados na câmara de fluxo – Configurações CF1.I e CF2.I.

Tabela 4: Valores máximos, médios e mínimos da humidade relativa obtida nos ensaios CF1 e CF2, realizados na câmara de fluxo.

Humidade Relativa	Ciclo de Verão			Ciclo de Inverno		
	CExt.V	CF1.V	CF2.V	CExt.I	CF1.I	CF2.I
Máximo	62,34	57,16	53,16	69,93	57,51	56,05
Média	50,76	49,70	50,08	55,66	54,37	54,24
Desvio Padrão	4,60	2,816	1,21	4,253	2,765	1,209
Mínimo	35,48	43,17	47,47	45,06	48,71	51,58
Δ HR = Máx.-Mín.	26,86	13,99	5,69	24,87	8,79	4,47

Observando os gráficos relativos à temperatura, verifica-se que praticamente não existem diferenças entre a variação desta na câmara climática e as variações obtidas no interior da câmara de fluxos nas diferentes configurações ensaiadas.

Quanto à humidade relativa, os resultados dos ensaios realizados na câmara de fluxos demonstram que a introdução do material de revestimento higroscópico – Material B influencia a flutuação da humidade relativa no interior da câmara de fluxo. Essa influência é visível ao compararmos a variação entre a humidade relativa máxima e mínima – ΔHR dos ensaios CF1 e CF2, quer no Ciclo de Verão, quer no Ciclo de Inverno.

Simulação Numérica

O estudo de simulação numérica avançada foi realizado com recurso ao modelo de simulação do comportamento higrotérmico em regime dinâmico, WUFI Plus, que se trata de um programa comercial desenvolvido pelo Fraunhofer Institut für Bauphysik com o intuito de proporcionar aos utilizadores um modelo capaz de simular o desempenho higrotérmico e avaliar a transferência de calor e humidade, em todo o edifício ou em determinados compartimentos (9) e (10). Assim sendo, foram dadas a conhecer ao programa as condições fronteira associadas ao clima exterior, às condições interiores e à constituição da envolvente.

Na Figura 5 apresenta-se o clima exterior introduzido no programa que consiste no clima de uma sala de exposição de um museu, bem como a representação da geometria da sala, que tem como dimensões 2,0 x 1,0 x 0,5 m³ e à semelhança da câmara de fluxo, a composição da sua envolvente que é em acrílico.

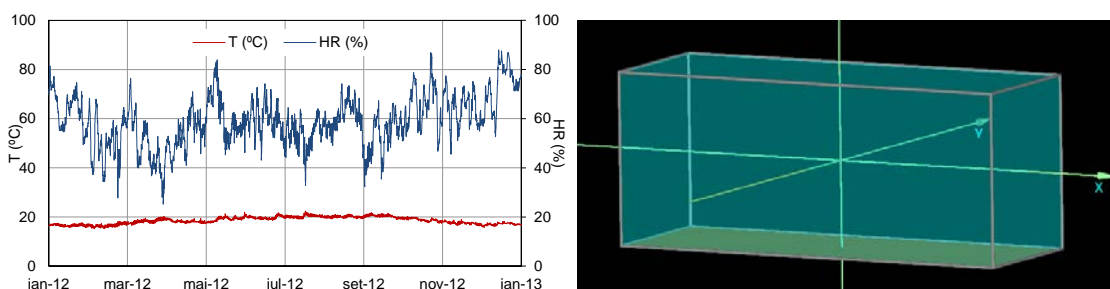


Figura 5: Variação da temperatura e da humidade relativa do clima exterior à sala e geometria da sala de museu em estudo.

As configurações das simulações numéricas efetuadas encontram-se definidas na Tabela 5 e de forma análoga aos estudos experimentais efetuados para uma taxa de renovação horária em 0,20 h⁻¹, avaliaram-se diferentes áreas do material de revestimento higroscópico. O material higroscópico de revestimento utilizado neste estudo foi o painel de fibras de lã de madeira de abeto revestidos por ligantes minerais – Material A.

Tabela 5: Configurações das simulações numéricas efetuadas.

Ref. ^a	Geometria	Rph (h ⁻¹)	Materiais Higroscópicos
M.CH1	2,0 x 1,0 x 0,5 m ³	0,20	-
M.CH2		0,20	0,10 m ² do Material A
M.CH3		0,20	0,25 m ² do Material A
M.CH4		0,20	1,00 m ² do Material A
M.CH5		0,20	2,00 m ² do Material A

Na Figura 6 e na Tabela 6 apresenta-se as variações da temperatura e da humidade relativa obtidas nas simulações numéricas efetuadas, bem como os valores máximos, médios e mínimos correspondentes.

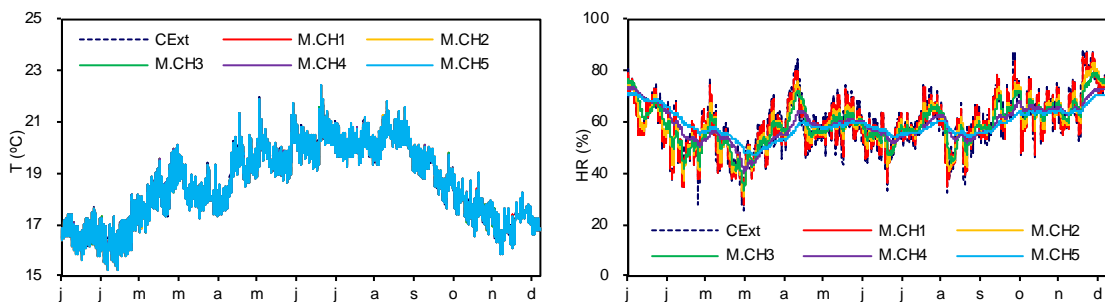


Figura 6: Variação da temperatura e da humidade relativa das simulações numéricas efetuadas.

Tabela 6: Valores máximos, médios e mínimos da humidade relativa obtida nas simulações numéricas efetuadas.

Humidade Relativa	CExt	M.CH1	M.CH2	M.CH3	M.CH4	M.CH5
Máximo	88,03	86,88	82,50	79,06	73,36	71,09
Média	59,07	59,07	59,08	59,09	59,14	59,15
Desvio Padrão	10,352	10,153	9,031	8,262	6,638	5,420
Mínimo	25,24	28,13	30,63	33,13	40,16	47,03
$\Delta HR = \text{Máx.} - \text{Mín.}$	62,79	58,75	51,88	45,94	33,20	24,06

Analisando agora os resultados do estudo de simulação numérica avançada, verificou-se que no que se refere à temperatura todas as simulações efetuadas apresentam praticamente a mesma variação da temperatura, que é a variação da temperatura do clima exterior ao compartimento em estudo. No que se refere à humidade relativa, quer o gráfico apresentado, quer os valores máximos, médios e mínimos que constam da tabela comprovam que, para o mesmo caudal de ventilação, a flutuação da humidade relativa interior diminui com o aumento da área de material higroscópico no seu interior. Neste caso, a influência dos materiais higroscópicos de revestimento na flutuação da humidade relativa interior pode ser avaliada com base na diferença entre a humidade relativa máxima e mínima – ΔHR em cada uma das configurações simuladas.

Refira-se que, apesar de existirem diferenças entre o modelo utilizado no estudo experimental e o modelo utilizado no estudo de simulação numérica, nomeadamente nas geometrias dos compartimentos, nas taxas de renovação de ar consideradas, bem como no tipo e quantidade de material higroscópico de revestimento utilizado, os resultados são qualitativamente semelhantes.

A influência dos materiais higroscópicos de revestimento na flutuação da humidade relativa interior pode ainda ser avaliada através da classificação do clima interior de museus segundo a ASHRAE ou segundo a norma EN 15757, sendo para isso necessário possuir os registos médios horários, ao longo de um ano, da temperatura e humidade relativa no interior da sala do museu em estudo.

Conclusões

As principais conclusões deste estudo são as seguintes:

— Em museus, o controlo da humidade relativa interior é um contributo essencial para a preservação dos acervos museológicos, pelo que também deve ser considerado quando se reabilitam museus instalados em edifícios do património histórico;

— As metodologias prescritas pela ASHRAE e pela EN 15757 são dois exemplos de metodologias de avaliação de risco que permitem classificar o clima interior de museus e definir as condições do clima interior (valores de referência e flutuações máximas admissíveis) que se pretendem obter após a reabilitação;

— Existem materiais de revestimento, os quais designamos de higroscópicos, que contribuem favoravelmente para o controlo da humidade relativa interior. Esta contribuição pode ser quantificada avaliando as propriedades higroscópicas desses materiais. A título de exemplo há materiais que para a variação de humidade relativa de 33 a 75 %, adsorvem 94,6 g de vapor de água por m² de área de material;

— A influência dos materiais higroscópicos de revestimento na flutuação da humidade relativa interior pode ser avaliada e comprovada, quer através de estudos experimentais desenvolvidos em laboratório, quer através de estudos de simulação numérica avançada recorrendo ao programa WUFI Plus;

— A classificação de clima interior de museus segundo a ASHRAE e a EN 15757 também permite avaliar a influência dos materiais higroscópicos de revestimento na flutuação da humidade relativa interior.

Bibliografia

- (1) MACINTYRE, J.; STILLWELL, S. T.; KNIGHT, R. A. G.; WILSDON, R. H.; CONSTABLE, W. G. and CURSITER, S. **Some notes on atmospheric humidity in relation to works of art**. Courtauld Institute of Art. London, 1934. p. 7-16.
- (2) RAWLINS, F. I. G. **The control of temperature and humidity in relation to works of art**. Museum Journal. 1942. Vol. 41: p. 279-283.
- (3) THOMSON, GARRY. **The museum environment**. Second edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann 1986. ISBN 0-7506-2041-2.
- (4) CASANOVAS, LUÍS. **Conservação preventiva e preservação das obras de arte. Condições-ambiente e espaços museológicos em Portugal**. Tese de Doutoramento em História da Arte. Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Lisboa, 2006.
- (5) MICHALSKI, STEFAN. **Relative humidity and temperature guidelines: what's happening?** Publicação de 09/01/1994. Consultado em Junho de 2011: http://www.cci-icc.gc.ca/crc/cidb/document-eng.aspx?Document_ID=118
- (6) ASHRAE. **Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications. ASHRAE Handbook**. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.2007.
- (7) CEN. **EN 15757:2010. Conservation of cultural property – Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials**.
- (8) MARTENS, M. H. J. **Climate Risk Assessment in Museums: Degradation risks determined from temperature and relative humidity data**. PhD thesis. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2012.
- (9) FERREIRA, CLÁUDIA. **Inércia higroscópica em museus instalados em edifícios antigos – Utilização de técnicas passivas no control da humidade relativa interior**.



Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2015.

- (10) FERREIRA, C.; FREITAS, V. F.; RAMOS, N. M. M. Influence of Hygroscopic Materials in the Stabilization of Relative Humidity Inside Museum Display Cases. Energy Procedia. Volume 78, 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, Edited by Marco Perino and Vincenzo Corrado, Novembro de 2015, pp. 1275–1280.