

## **POTENCIAL DE USO DE VENTILAÇÃO NATURAL OU FORÇADA NA CONSERVAÇÃO PREVENTIVA DE BENS CULTURAIS MÓVEIS – ESTUDO DE CASO**

**Willi de Barros Gonçalves (1) Luiz Antônio Cruz Souza (2)**

(1) Arquiteto, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Artes - Conservação Preventiva, Professor Assistente - [willidebarros@ufmg.br](mailto:willidebarros@ufmg.br)

(2) Cientista da Conservação, Professor Associado - [luiz-souza@ufmg.br](mailto:luiz-souza@ufmg.br)

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Artes Plásticas, Laboratório de Ciência da Conservação, Escola de Belas Artes, Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte - MG, 30270-901, Tel.: (31) 3409-5378.

### **RESUMO**

Este artigo discute o potencial de uso de ventilação natural ou forçada na melhoria das condições de conservação das coleções de bens culturais móveis. Seu objetivo principal é determinar, para o estudo de caso investigado, o percentual de horas do ano em que a ventilação natural ou forçada é aplicável com vistas à conservação de esculturas policromadas em madeira. O estudo de caso escolhido é a Capela da Santa Ceia, em Congonhas – MG, pequeno edifício tombado como patrimônio histórico da humanidade, que abriga esculturas do principal escultor barroco brasileiro, o Aleijadinho. A metodologia envolveu a obtenção e processamento de dados climáticos junto ao INMET, monitoramento *in situ* de temperatura e umidade relativa durante quinze meses e o posterior processamento estatístico dos dados. O principal resultado apresentado é a determinação do potencial de desumidificação da ventilação natural ou forçada, no caso em estudo. O artigo conclui pela viabilidade da estratégia de desumidificação através de ventilação natural ou forçada como estratégia bioclimática aplicável à melhoria das condições de conservação das coleções, no caso em estudo.

Palavras-chave: conservação de bens culturais, Conservação preventiva, ventilação natural ou forçada.

### **ABSTRACT**

This paper discusses the potential use of natural or forced ventilation to improve conservation conditions of movable cultural assets collections. Its main objective is to determinate, for the investigated case study, the percentage of hours throughout the year when natural or forced ventilation applies to conservation of polychrome wood sculptures. The chosen case study is the Chapel of Last Supper in Congonhas, Minas Gerais, a small building listed as world heritage, that houses wood sculptures by the main Brazilian baroque sculptor, Aleijadinho. Methodology involved obtaining and processing of climatic data from INMET, *in situ* monitoring of temperature and relative humidity during fifteen months and the subsequent data processing. The main presented result is determination of dehumidification potential of natural or forced ventilation, for the case study. The article concludes by considering viable the dehumidification through natural or forced ventilation as a bioclimatic strategy applicable to improving the conservation of collections, in the case study.

Keywords: conservation of cultural assets, preventive conservation, natural or forced ventilation.

## **1. INTRODUÇÃO**

### **1.1. Conservação preventiva**

A Conservação Preventiva é um dos principais temas da preservação do patrimônio cultural. Ela abrange todas as atividades e/ou atitudes que visam evitar, retardar e/ou minimizar a deterioração dos bens culturais. Envolve medidas indiretas, abrangendo questões relativas a: capacitação e gestão de recursos humanos, políticas institucionais de preservação, acondicionamento, exposição, manuseio; transporte, segurança,

gerenciamento ambiental (monitoramento e controle das condições climáticas como temperatura, umidade e pureza do ar), controle de pragas, entre outros.

Na literatura específica da área de Conservação-Restauração, os processos, mecanismos, fatores ou agentes de deterioração são classificados de maneira extremamente diversificada. Os sistemas de classificação utilizados pelos autores variam em função da origem ou da natureza desses elementos. Como referências clássicas sobre os agentes de deterioração de bens culturais e seus mecanismos de atuação, podemos destacar PLENDERLEITH (1956), THOMSON (1986) e GUICHEN (1983). Esses autores contribuíram para que o enfoque principal da Conservação Preventiva recaísse sobre os fatores ambientais e climáticos, estabelecendo padrões e especificações. Posteriormente, outros autores (CASSAR, 1995; ERHARDT e MECKLENBURG, 1994; MECKLENBURG e TUMOSA, 1999; MICHALSKI, 1993, 1994, 2007; PADFIELD, s.d.) aprofundaram a investigação dos pioneiros, demonstrando a incompletude dos padrões estabelecidos na década anterior, diante da complexidade dos problemas de gerenciamento ambiental. Tais padrões, além de resultarem em maiores custos de operação, também não consideravam adequadamente a diversidade dos edifícios que abrigam coleções, ampliada pela heterogeneidade de climas onde se situam.

## **1.2. Gerenciamento ambiental de coleções**

No âmbito do gerenciamento ambiental de coleções incluem-se as operações, etapas, serviços, equipamentos e instalações relacionados com o monitoramento e controle ambiental, compreendendo-se aí também os recursos arquitetônicos, materiais e componentes construtivos de que são dotados os edifícios que abrigam as coleções. O gerenciamento ambiental visando à preservação em longo prazo das coleções deve ser objeto de um planejamento estratégico. Os aspectos desse planejamento compõem no cotidiano dos conservadores-restauradores e outros profissionais envolvidos na preservação do patrimônio cultural, que realizam diagnósticos de conservação, que envolvem de maneira abrangente: (i) materiais presentes nas coleções e sua vulnerabilidade; (ii) infraestrutura (fatores relativos ao edifício) e (iii) recursos humanos e políticas organizacionais e institucionais.

Na visão de DARDES e DRUZIK (2000), a gestão ambiental de coleções abrange estratégias técnicas e organizacionais, envolvendo todo o corpo institucional responsável pela guarda das coleções, e não somente os aspectos relativos ao edifício. O gerenciamento ambiental estratégico constitui uma postura mais abrangente do que o monitoramento e controle do microclima interno. Seu conceito ultrapassa a visão – hoje considerada obsoleta – de que o conservador / restaurador é o principal (senão o único) guardião de tesouros do passado. Impõe-se uma nova perspectiva, que privilegia o trabalho em equipe e redes de colaboração entre profissionais e instituições. (PUTT e SLADE, 2004).

Na definição de critérios e padrões para o funcionamento dos sistemas de climatização há um conflito em potencial entre as necessidades das coleções, dos edifícios e dos usuários, as quais são difíceis de conciliar simultaneamente. Os edifícios e seus sistemas apresentam-se como a dimensão física onde diversos problemas decorrentes desse conflito potencial se manifestam, impondo riscos variados à preservação das coleções. A arquitetura bioclimática como interface entre o conforto ambiental para pessoas e para coleções ocupa um papel central nesta problemática.

## **1.3. O edifício como um filtro protetor para as coleções**

Os edifícios atuam como um filtro protetor sobre as coleções, operando como uma envolvente em vários níveis, que incluem: o entorno, o próprio edifício, o nível das salas, do mobiliário, do suporte ou embalagem e do próprio objeto. No planejamento do gerenciamento ambiental, é necessário considerar o grau de proteção possível em cada nível. No caso das coleções abrigadas em edifícios vernaculares ou construídos antes do advento dos sistemas ativos de climatização, o próprio edifício consegue moderar razoavelmente o clima interno de forma passiva, por meio de sistemas construtivos apropriados, e do efetivo controle manual de aberturas e outros componentes, exercido pelos usuários. Nesses casos, o gerenciamento ambiental deve atentar também para os problemas de preservação do edifício como bem cultural imóvel.

Um edifício bem concebido não só abriga o seu conteúdo da chuva, vento e radiação solar, mas também reduz internamente a amplitude das flutuações climáticas externas. Um prédio projetado especificamente para um gerenciamento ambiental passivo irá mais longe: com um bom planejamento e escolha de materiais apropriados e, especialmente, adequação do sistema de ventilação, dependendo da região climática, pode-se conseguir a desumidificação e resfriamento do ar interno (recursos adequados aos climas quente-úmidos) ou o aquecimento passivo (recurso adequado aos climas frios). TOMBAZIS et al. (2004) apresentam diversos exemplos de aplicação de estratégias bioclimáticas ao projeto de museus,

arquivos e bibliotecas. Entre elas podem-se elencar: (i) ventilação natural ou forçada; (ii) redução da carga térmica; (iii) adequação da posição, tamanho e tipo de aberturas; (iv) uso de pilotis; (v) áticos ventilados; (vi) dispositivos de sombreamento (para-sóis, galerias, varandas); (vii) isolamento e inércia térmicos. Este artigo foca na discussão de aspectos relativos à primeira.

#### **1.4. O papel da ventilação na conservação das coleções**

A ventilação natural dos edifícios é tradicionalmente vista como um recurso arquitetônico passivo para propiciar condições de conforto ambiental e também de eficiência energética, na medida em que pode reduzir o consumo de energia em relação à utilização de sistemas de condicionamento ativos.

Nos edifícios que abrigam coleções expostas à ventilação natural, o regime e características desta podem ser determinantes de riscos de deterioração do acervo, como por exemplo: grandes flutuações ambientais, contaminantes atmosféricos e infestações biológicas por insetos. O ambiente interno dos edifícios ventilados naturalmente tende a acompanhar mais de perto as flutuações ambientais externas, o que pode ser prejudicial para materiais sensíveis a essas flutuações.

Na literatura sobre uso de ventilação na arquitetura bioclimática é comum a recomendação de aproveitamento da vegetação do paisagismo, como auxiliar no resfriamento por umidificação. Porém, no caso da arquitetura de museus, arquivos e bibliotecas, deve-se evitar a presença de vegetação próxima das aberturas de ventilação, principalmente de espécies frutíferas, por aumentarem os riscos de ataque biológico. Esse risco pode ser diminuído com o uso de telas, que por sua vez aumentam a perda de carga nas aberturas, diminuindo o fluxo de ar.

Por outro lado, a aplicabilidade da ventilação natural é habitualmente relacionada a uma redução nos fatores de risco relacionados a ataque de agentes biológicos, como mofo, fungos e bactérias, especialmente em climas úmidos, que favorecem a sua proliferação. O risco de deterioração de uma coleção devido a uma infestação biológica é bem maior que os riscos oferecidos pelo envelhecimento químico ou danos físico-mecânicos devidos a flutuações ambientais. A contaminação biológica fúngica pode ser reduzida por taxas de renovação de ar adequadas (VALENTIN, 2007). A minimização desse tipo de risco está relacionada principalmente com as condições de umidade relativa do ar.

Quando pensamos em possíveis aplicações de ventilação no gerenciamento ambiental das coleções, o tipo de ventilação a ser adotada vai variar em função da tipologia climática, sendo a umidade do ar o parâmetro condicionante. Para que a função de desumidificação seja cumprida pela ventilação natural ou forçada, é essencial que a umidade absoluta do ar externo que está sendo admitido seja menor que a do ar interno. O processo envolve ainda a difusão de umidade no interior e as trocas térmicas úmidas (evaporação e condensação) na superfície das envoltórias internas.

As reservas técnicas e arquivos localizados em edifícios com envoltórias de grande inércia térmica podem ainda ser gerenciados ambientalmente por meio de métodos passivos, utilizando ventilação forçada (insuflação e eventual exaustão) combinada com o efeito de tamponamento (*buffering*) de umidade relativa de envoltórias maciças e porosas internamente e do próprio acervo. (CAMUFFO, 1998; JANSSEN e CHRISTENSEN, 2013; PADFIELD, 1998).

CORREA (2003) trata dos aspectos técnicos relacionados à atividade de conservação de museus, enfocando a interação entre os edifícios e os fatores climáticos / ambientais a que eles estão expostos. A autora apresenta em sua metodologia procedimentos que permitem avaliar o potencial de aplicação da ventilação natural ou forçada visando à regulação da umidade relativa no interior dos ambientes, o que coincide com o objetivo deste artigo. Ela também apresenta métodos para avaliar o potencial de desumidificação e resfriamento do ar interno, frente às condições do ar externo, através de índices de desempenho, em que avalia a porcentagem do tempo de medição em que os parâmetros de temperatura e umidade relativa permanecem dentro de uma faixa predeterminada. Correa avalia ainda as estratégias arquitetônicas empregadas nos museus estudados, em termos do conforto humano.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é determinar o potencial de uso, ao longo do ano, de estratégias de ventilação natural ou forçada, com vistas à melhoria das condições de conservação de esculturas policromadas em madeira, abrigadas na Capela da Ceia, localizada no Santuário de Bom Jesus de Matosinhos, na cidade de Congonhas, Minas Gerais, a partir do processamento de dados climáticos cedidos pelo INMET e de dados obtidos por meio de monitoramento contínuo por quinze meses, no interior do edifício.

### 3. MÉTODO

O método utilizado consistiu em três etapas principais:

1. Aferição dos sensores a serem utilizados, a fim de verificar possíveis erros de indicação nos mesmos (INMETRO, 2003, p. 10);
2. Monitoramento contínuo pelo período de quinze meses, no interior da Capela, por meio de medições de temperatura e umidade relativa do ar;
3. Processamento de dados climáticos cedidos pelo INMET e dos dados obtidos por meio do monitoramento no interior do edifício.
4. Determinação de critérios-limite de temperatura e umidade para conservação das esculturas;
5. Determinação do potencial de uso de estratégias de ventilação natural ou forçada visando à melhoria das condições de conservação das esculturas.

#### 3.1. Procedimentos de aferição dos sensores utilizados

Para o monitoramento contínuo no interior do edifício, foram utilizados dois registradores marca ONSET, modelo HOBO UI-003. Os valores armazenados foram transferidos para computador através do programa *HOBOWare* © versão 3.1.2, para Windows.

O procedimento de aferição foi realizado no Laboratório de Ciência da Conservação da Escola de Belas Artes da UFMG. Para o procedimento de aferição foram utilizadas soluções saturadas de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgNO}_3$  e  $\text{MgCl}_2$ . Uma segunda etapa de aferição foi realizada no 5º Distrito do Instituto Nacional de Meteorologia, com colocação, por cerca de um mês, dos sensores no interior do abrigo meteorológico da estação do 5º. DISME/INMET e posterior comparação das medições com os pares psicrométricos da estação.

#### 3.2. Monitoramento contínuo *in situ*

Período de medições na Capela da Ceia: 18/07/2011 a 21/10/2012.

Ao se distribuir os equipamentos nos locais de medição, foram avaliados: características dos sensores em termos do espaço ocupado, acesso, autonomia energética e de operação e o cronograma das visitas de campo. Na instalação dos equipamentos procurou-se seguir os princípios recomendados na literatura (BARBOSA et al., 2008; CAMUFFO, 1998). Buscou-se colocar os sensores o mais próximo possível do centro das salas. Além desse critério, buscou-se também evitar interferência do sensor na montagem expográfica. Os registradores de temperatura e umidade relativa foram programados para registrar as variáveis em intervalos de 15 em 15min.

Visando completar os levantamentos fotográfico e arquitetônico feitos inicialmente, e a documentação arquitetônica fornecida pelo Escritório Técnico do IPHAN em Congonhas assim como gerar dados úteis em futuras pesquisas foi realizado o escaneamento tridimensional da Capela da Ceia, mediante parceria firmada com as empresas CPE Tecnologia e PEEEX Engenharia, de Belo Horizonte. O escaneamento foi feito utilizando um escâner Z+F modelo 5006i. As Figuras 1 e 2 mostram uma planta esquemática da capela e vistas internas, indicando o posicionamento dos sensores no interior da mesma.

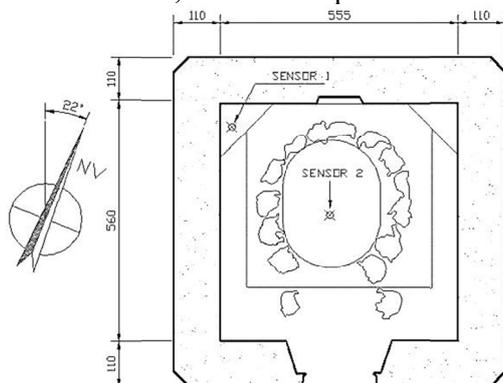


Figura 1 – Capela da Ceia – croqui da planta baixa, indicando posição dos sensores.

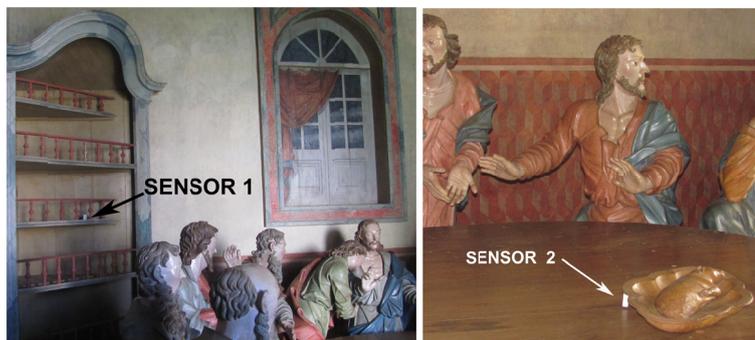


Figura 2 – Capela da Ceia – vistas internas, indicando posição dos sensores.

Congonhas não possui estação meteorológica da rede do INMET. A mais próxima fica na cidade de Ouro Branco, a cerca de 10Km da Capela. A instalação de uma estação meteorológica no Santuário ou de um computador ligado à estação receptora de dados no interior da Capela mostraram-se inviáveis, pois interfeririam excessiva e inaceitavelmente na leitura estética do conjunto dos monumentos e esculturas. Foi

então instalada no escritório técnico do IPHAN em Congonhas, uma estação receptora marca Oregon modelo WMR 968, com um pluviômetro a 1,5m de altura e o anemômetro/biruta a 6m de altura. Foi também instalado externamente um sensor termo-higrômetro modelo THGR122NX, em uma parede externa, protegido pelo beiral do telhado.

### **3.3. Procedimentos adotados no processamento dos dados climáticos**

Para caracterizar o clima externo foram solicitados ao INMET os dados climáticos da estação meteorológica de Ouro Branco. Como essa estação iniciou o seu funcionamento em 2006, ela não foi incluída na última publicação das normais climatológicas brasileiras (BRASIL, 1992). O INMET forneceu dados climáticos para o período 01/08/2006 a 31/07/2012. Os dados foram fornecidos em três planilhas contendo os dados horários obtidos na estação automática, sem qualquer tratamento estatístico. Devido a dificuldades operacionais que inviabilizaram um monitoramento remoto, a amostra de dados coletados na estação meteorológica instalada no escritório técnico do IPHAN em Congonhas não foi suficiente para a caracterização do clima local e foi utilizada para comparação e validação dos dados do INMET.

Em primeiro lugar foi necessário escrever uma rotina no programa *Microsoft Excel* © para reorganizar os dados, pois no formato original os dados horários estavam separados por colunas, sendo mais conveniente organizá-los por data e hora, em linhas. Em seguida foram calculados os valores médios horários, diários e mensais, compilados em tabelas e climogramas, incluindo médias (normais, máximas e mínimas), valores máximos e mínimos absolutos, amplitudes médias e absolutas e somatórios (precipitação). Foram também obtidos e analisados histogramas de frequências relativas e cumulativas, em base horária, diária, semanal e mensal. Procedimentos similares aos adotados no processamento dos dados externos foram adotados para o tratamento dos dados obtidos no monitoramento interno à Capela, iniciando com a obtenção de médias horárias, a partir dos dados que foram monitorados na frequência de 15/15min, e que foram então comparadas graficamente com as médias dos dados externos.

### **3.4. Procedimentos adotados para determinação do potencial de uso da ventilação**

Para determinar critérios-limite seguros de flutuação de temperatura e umidade relativa, foram seguidas as indicações da ASHRAE (2007, p. 21.13) e da norma técnica UNI EN15157 (UNI, 2010). O potencial de aplicabilidade de diferentes estratégias de ventilação natural, com destaque para as estratégias de desumidificação, foi determinado verificando o percentual de horas do ano em que critérios-limite acima são atendidos e superpondo-os a diagramas de dispersão da umidade relativa externa e interna, comparando-se também as respectivas razões de umidade. O potencial de aplicação foi verificado ao longo das horas e meses do ano, bem como ao longo das horas do dia.

## **4. RESULTADOS E ANÁLISE**

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através dos procedimentos descritos no item anterior

### **4.1. Climogramas externo e interno**

As figuras 3 e 4 abaixo apresentam os climogramas referentes aos dados processados, externos e internos, respectivamente.

O clima de Ouro Branco é caracterizado por temperaturas moderadas e pequenas amplitudes térmicas mensais. O regime pluviométrico determina uma estação seca (inverno) e outra chuvosa (verão) bem definidas. A umidade relativa se mantém relativamente alta, entre 60 e 80% ao longo de todo o ano e sua variação acompanha a variação da pluviosidade. A distribuição das temperaturas e umidades relativas internas sofre influência do clima externo, bem como da capacidade de armazenamento térmico e hídrico das envoltórias do edifício.

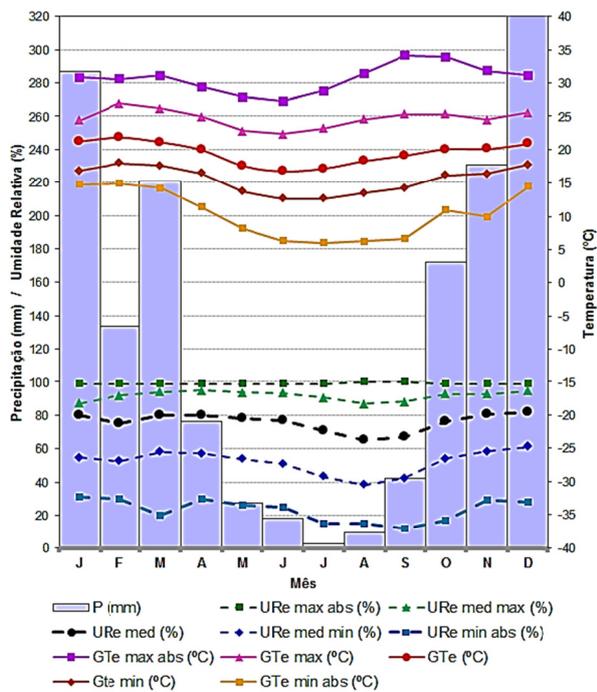


Figura 3 – Ouro Branco – Climograma período 2006-2012.

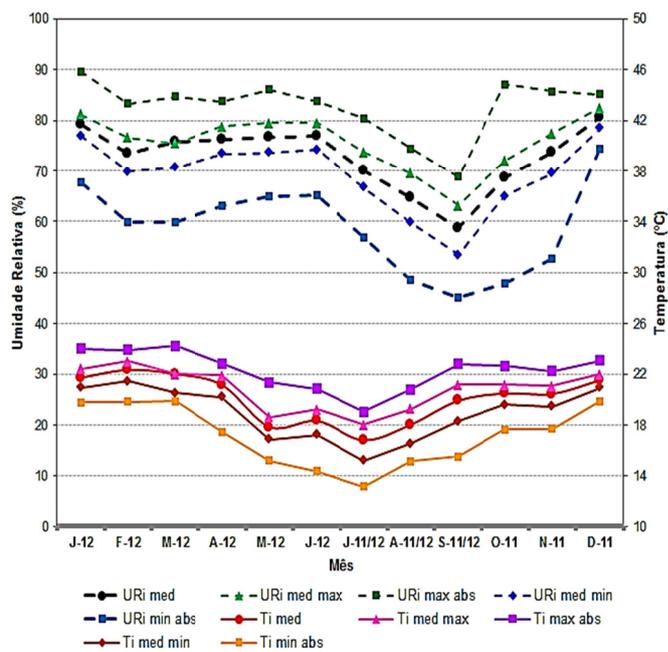


Figura 4 – Capela da Ceia – Climograma interno. Período 18/07/2011 a 21/10/2012.

## 4.2. Determinação de critérios-limite de temperatura e umidade relativa para conservação das esculturas

A norma UNI EN15157 considera seguras as umidades relativas contidas entre o 7º. e o 93º. percentis de umidades provadas pelos materiais (UNI, 2010, p. 15). De acordo com essa norma, esses percentis também podem ser usados para determinar os limites de temperatura, quando tratada com igual prioridade. A ASHRAE (2007, p. 21.13) propõe, para ambientes de museus enquadrados na classe C, um limite máximo de temperatura de 25°C, e eventualmente, até 30°C. Encontra-se com frequência na literatura específica da área (BROWN, 2002; KERSCHNER, 1992; UNI, 1999), a proposição de um limite máximo de 24°C para coleções diversas e/ou com artefatos de madeira.

A Figura 5 mostra o histograma de frequências da temperatura monitorada na Capela da Ceia. Nela foram destacados o 7º. e o 93º. percentis, respectivamente 16,6 e 22,6°C. Para o caso em estudo adotou-se o limite máximo de 25°C para a temperatura, o qual não foi ultrapassado internamente durante o período de monitoramento. Com relação aos dados externos, esse limite corresponde aproximadamente ao 95º. percentil, sendo ultrapassado em somente 5,40% das médias horárias de temperatura. O limite mínimo adotado para a temperatura foi 16°C, por estar próximo do 7º percentil (16,6°C) e por ser recorrente na literatura específica sobre conservação de coleções com artefatos de madeira (BSI, 2000, 2011).

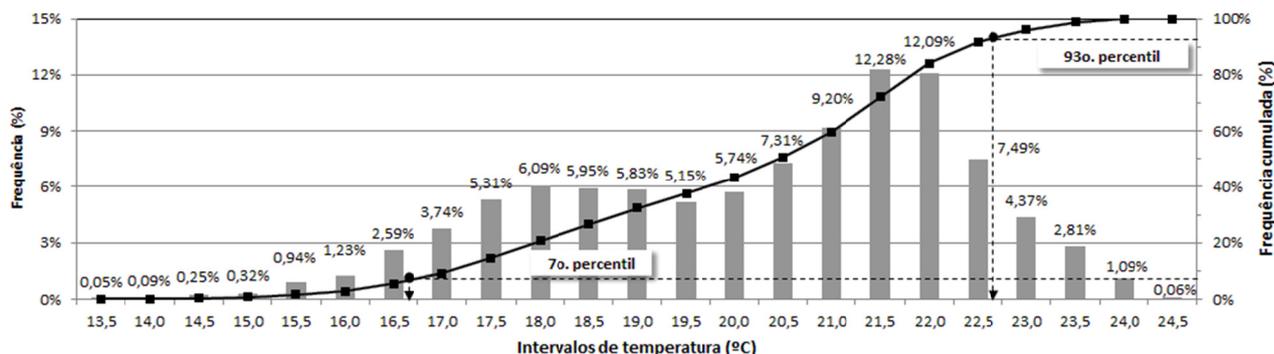


Figura 5 – Capela da Ceia – histograma de frequências de temperaturas.

A Figura 6 apresenta o histograma de frequências da umidade relativa monitoradas na Capela da Ceia. Cabe destacar a frequência significativa (46,7%) de valores superiores a 75% (colunas em negrito). As modas correspondem à faixa de UR entre 74 e 78%. Essa circunstância pode contribuir para aumentar riscos

de contaminação por mofo. A Figura 6 destaca ainda os valores que são considerados seguros, de acordo com a norma EN15157 (UNI, 2010): 7°. percentil (UR=59,5%) e 93°. percentil (UR=82,9%).

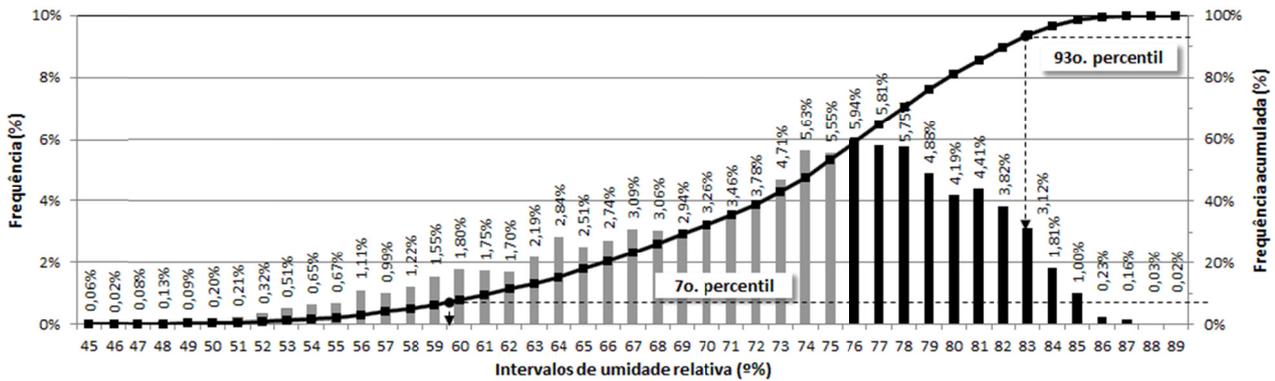


Figura 6 – Capela da Ceia – histograma de frequências de umidade relativa.

A umidade relativa crítica para crescimento de mofo é função de diversos fatores, como por exemplo, a temperatura e o tipo de substrato. O seu limite mínimo, em geral, varia entre 70 e 80%. A ASHRAE (2007, p. 21.13) considera como limite seguro de umidade relativa o valor de 75%, nas classes C e D. Com base nessas considerações, adotou-se no caso em estudo, a faixa de 60 a 75%, sendo o limite mínimo determinado pelo 7°. Percentil indicado na norma EN15157 (UNI, 2010) e o limite máximo para prevenção de mofo.

#### 4.2. Potencial de desumidificação através da ventilação natural ou forçada

A Figura 7 mostra os valores de umidade relativa monitorados internamente à Capela da Ceia, plotados contra as respectivas médias horárias históricas externas. Foram incluídos somente os dados externos com temperatura abaixo de 25°C, o que corresponde a 94,5% das temperaturas externas médias horárias, no período 2006-2012. Os pontos destacados em verde correspondem às ocorrências com razão de umidade externa menor que a razão de umidade interna.

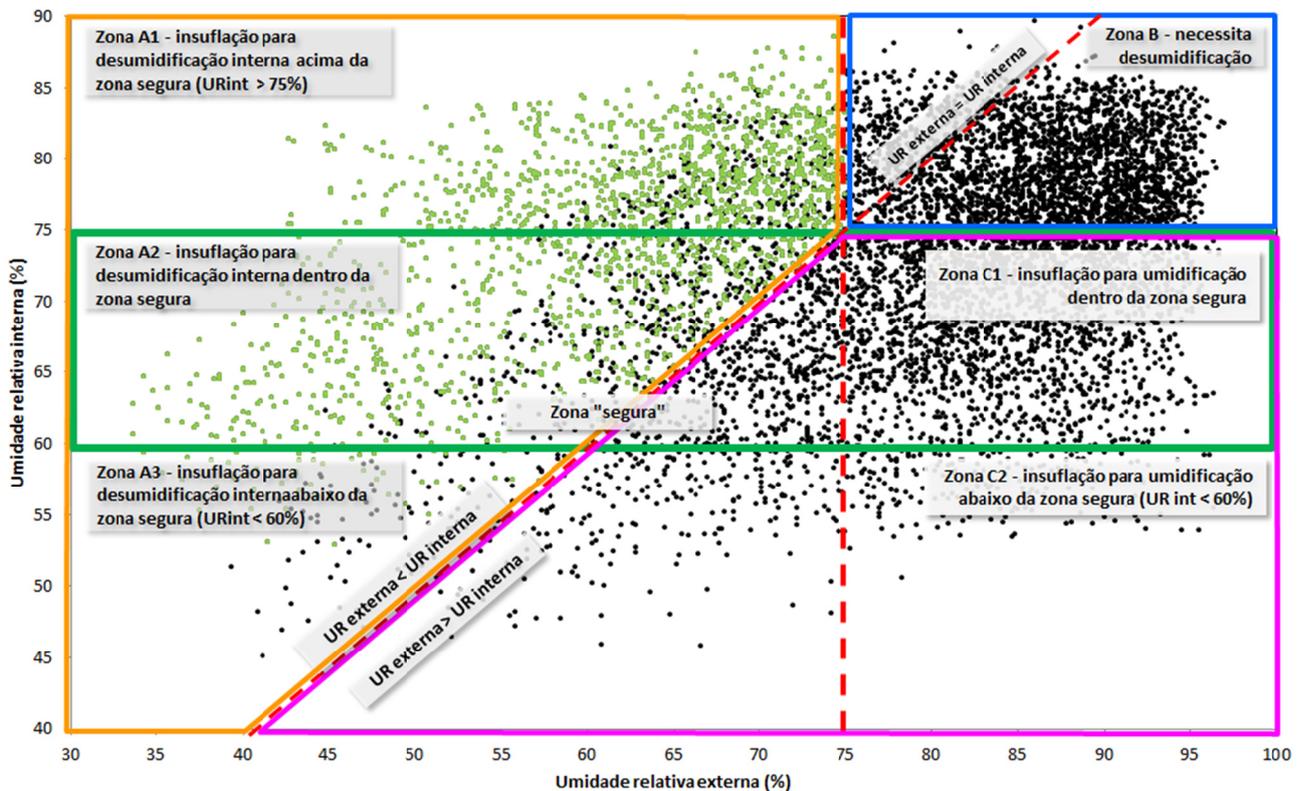


Figura 7 – Capela da Ceia – umidade relativa externa (médias horárias 2006-2012) versus umidade relativa interna (médias horárias 2011-2012). Ocorrências  $c/ T_e < 25^\circ\text{C}$ , correspondendo a 94,5% das ocorrências. Em verde, pontos com  $W_e < W_i$ .

A Tabela 1 compila os critérios, modo e potencial de utilização de estratégias de ventilação natural ou forçada (tomado como frequência de ocorrência entre os dados monitorados), visando desumidificação ou umidificação internamente à Capela da Ceia. Esses parâmetros poderiam ser utilizados para determinar limites de controle em um sistema automatizado de insuflação/exaustão de ar no ambiente em estudo. A tese de doutorado do primeiro autor, ora em fase final, investiga, através de simulações no programa *Energy Plus* ©, regimes de ventilação que atendem a essa hipótese. Das três estratégias descritas na Tabela 1, a estratégia “A” seria a mais recomendável, por implicar em menor custo energético e menor risco de danos físico-mecânicos para as esculturas.

Tabela 1 - Capela da Ceia - Potencial de utilização de estratégias de ventilação natural ou forçada, com base na correlação  $UR_e$  versus  $UR_i$ , e  $T_e$  menor que  $25^\circ\text{C}$ . As cores indicadas referem-se à Figura 7.

Zona	Descrição	Crítérios	Pot. Utiliz. (%)
Segura (verde)		$60\% \leq UR_i \leq 75\%$	42,7
A1	Desumidificação interna acima da zona segura	$UR_e \leq 75\% \text{ E } UR_i > 75\%$	13,4
A2	Desumidificação interna dentro da zona segura	$60\% \leq UR_i \leq 75\% \text{ E } UR_e \leq 75\%$	12,4
A3	Desumidificação interna abaixo da zona segura	$UR_i < UR_e < 60\%$	1,7
<b>Subtotal A (amarelo)</b>	<b>Desumidificação interna (A1+A2+A3)</b>	<b><math>UR_e &lt; UR_i \text{ E } UR_e \leq 75\%</math></b>	<b>27,5</b>
A*	Desumidificação interna com critério adicional de razão de umidade	$UR_e < UR_i, UR_e \leq 75\% \text{ E } W_e < W_i$	19,7
<b>B (azul)</b>	<b>Desumidificação interna mediante desumidificação do ar externo previamente à insuflação</b>	<b><math>UR_e &gt; 75\% \text{ E } UR_i &gt; 75\%</math></b>	<b>31,2</b>
C1	Umidificação interna dentro da zona segura	$60\% \leq UR_i \leq 75\% \text{ E } UR_e > UR_i$	30,3
C2	Umidificação interna abaixo da zona segura	$UR_e > UR_i \text{ E } UR_i < 60\%$	5,5
<b>Subtotal C (rosa)</b>	<b>Umidificação interna (C1+C2)</b>	<b><math>UR_e &gt; UR_i \text{ E } UR_i \leq 75\%</math></b>	<b>35,8</b>
<b>Subtotal</b>	<b>A + B + C</b>	<b><math>T_e &lt; 25^\circ\text{C}</math></b>	<b>94,5</b>

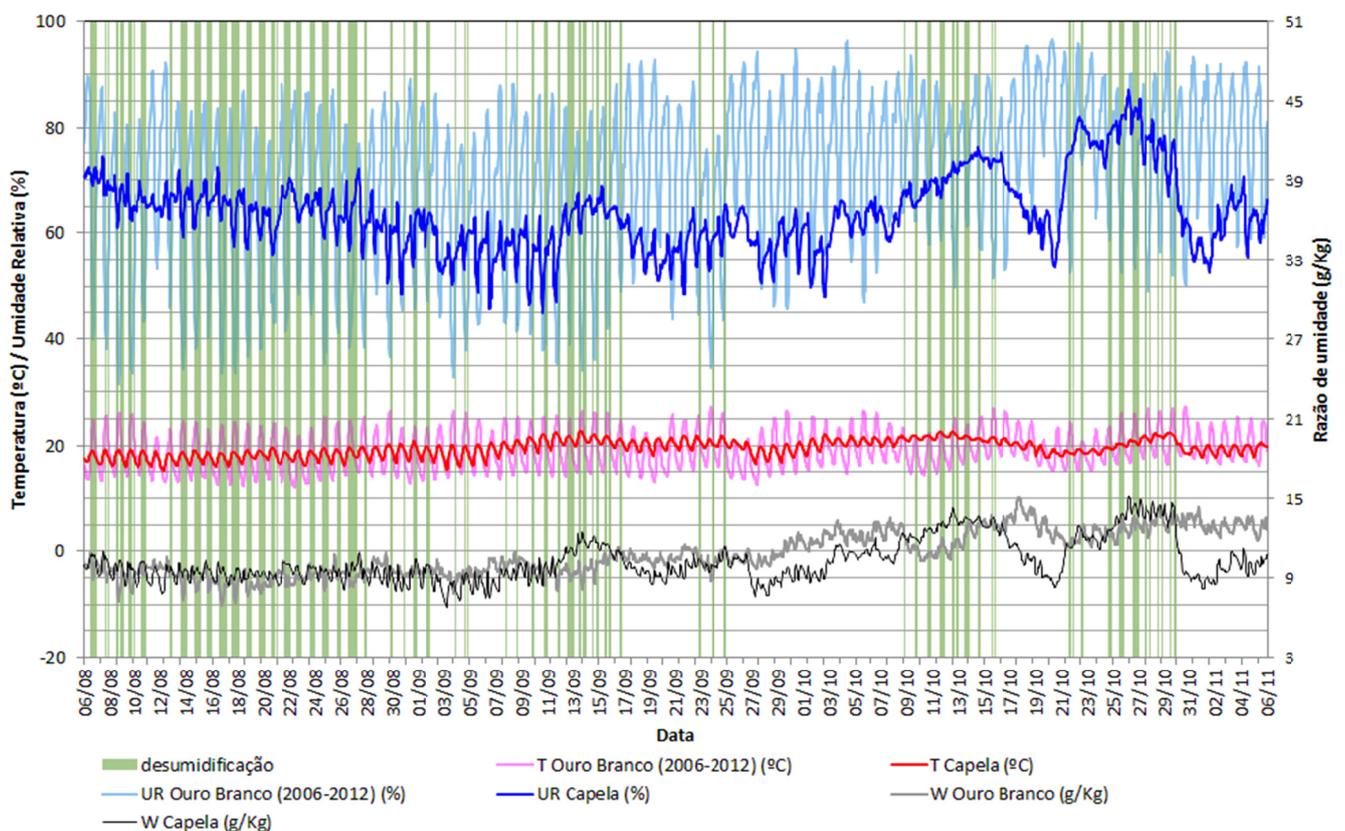


Figura 8 – Capela da Ceia – horários com desumidificação aplicável. Período: 06/08/12 a 05/11/12 (primavera). Dados internos, médias horárias, período 2011-2012 versus dados externos, médias históricas, período 2006-2012.

CARVALHO (2005, p. 87) afirma que a utilização exclusiva de critérios baseados na comparação entre as umidades relativas externas e internas é insuficiente para o estabelecimento de parâmetros de controle para sistemas de ventilação visando à conservação de coleções. Devem-se considerar também as razões de umidade. Acrescendo-se aos critérios adotados para a estratégia de desumidificação (zona A na Tabela 1) a exigência de que a razão de umidade do ar externo seja menor que a do ar interno ( $We < Wi$ ), o potencial de utilização da ventilação encontrado é de 19,7% das horas do ano (zona A\* na Tabela 1). As ocorrências correspondentes a esta zona são destacadas em verde nas figuras 7 e 8 acima. A figura 8 acima apresenta um extrato dos dados monitorados na Capela, no período de primavera, que representa tipicamente o conjunto dos dados monitorados.

Verifica-se que os horários em que a estratégia de desumidificação é aplicável, correspondem aos picos máximos de temperatura diários, os quais ocorrem simultaneamente aos picos mínimos de umidade relativa. Cabe enfatizar que, embora a insuflação de ar externo mais quente que o ar interno possa contribuir para acelerar processos de deterioração química, no caso em estudo, o controle da umidade relativa é prioritário em relação ao controle da temperatura. A Figura 9 mostra a distribuição do potencial de aplicabilidade da estratégia de desumidificação ao longo do ano:

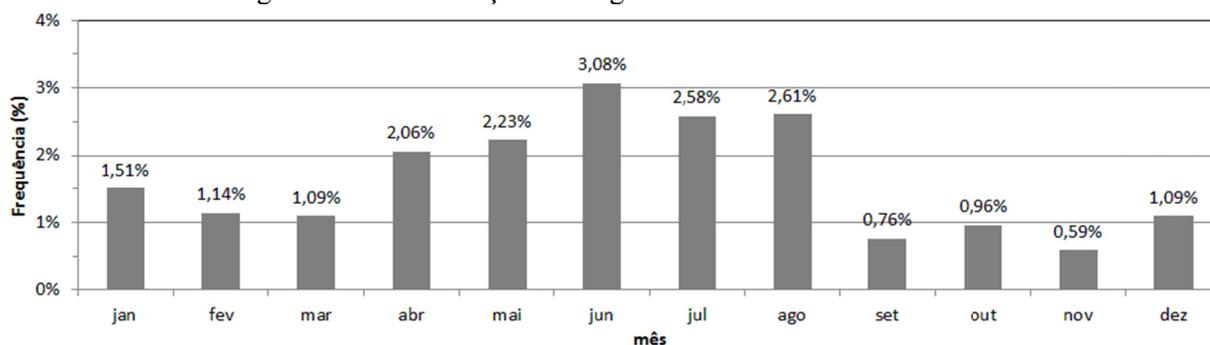


Figura 9 – Capela da Ceia – Distribuição da aplicabilidade da estratégia de desumidificação ao longo do ano.

Constata-se que durante os meses de verão, os horários em que estratégia de desumidificação é aplicável são menos frequentes que no inverno, o que se explica pelas altas umidades externas da estação mais quente. A Figura 10 mostra a distribuição dos horários em que a estratégia de desumidificação é aplicável ao longo do dia:

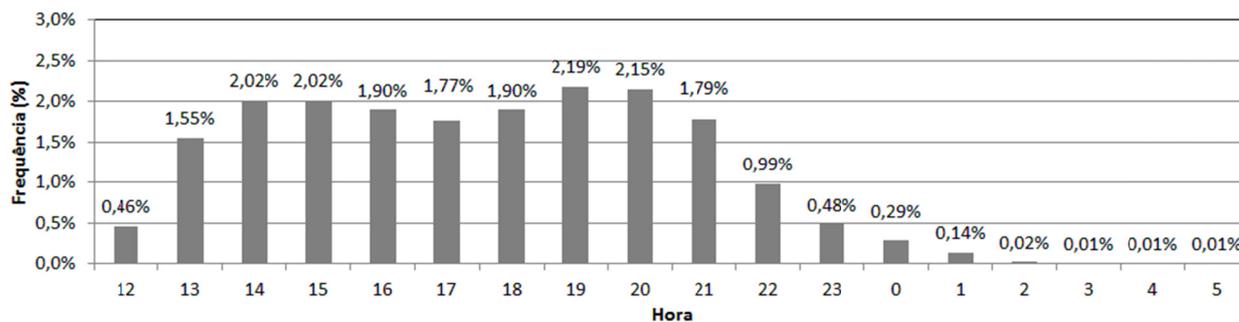


Figura 10 – Capela da Ceia – Distribuição do potencial de aplicabilidade da estratégia de desumidificação ao longo do dia.

Averigua-se que os horários de maior aplicabilidade se concentram entre 14 e 20 horas, quando ocorrem os picos diários máximos de temperatura e mínimos de umidade relativa, conforme apontado anteriormente. A distribuição bimodal da Figura 10 pode estar associada às variações da radiação solar incidente nas envoltórias da Capela ao longo do ano. Cabe destacar que nos dois histogramas acima, o somatório das frequências corresponde ao potencial anual de aplicação da desumidificação, de 19,7%.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados indicam um significativo potencial de aplicação da ventilação natural ou forçada para desumidificação, no caso em estudo, em torno de 20% das horas do ano. No caso em estudo, os horários em que essa estratégia se mostrou aplicável se mostraram mais frequentes durante o período de inverno, entre as 14 e 20h. Cabe enfatizar o aspecto sustentável desta estratégia, que pode ser incorporada a edifícios que abrigam coleções por meio de sistemas eficientes do ponto de vista energético.

## REFERÊNCIAS

- ASHRAE - AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2007 ASHRAE handbook: HVAC applications – SI edition**. Atlanta: ASHRAE, 2007.
- BARBOSA, M.J. et al. **Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações**. Ambiente Construído, v. 7, n. 3, p. 89-108, 2008.
- BROWN, S. et al. **Guidelines for environmental control in cultural institutions**. Canberra: Heritage Collections Council, 2002.
- BSI – BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 5454-2000: Recommendations for the storage and exhibition of archival documents**. Londres: BSI, 2000.
- BSI – BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **PAS 198-2011: specifications for managing environmental conditions for cultural collections**. (Draft version 2.0 for public comments 05/31/2011). Londres: BSI Standards, 2011.
- CAMUFFO, D. **Microclimate for cultural heritage**. Nova Iorque: Elsevier, 1998, 415 p. ISBN 0444829253.
- CARVALHO, S.K.P. **Conservação preventiva: análise de condições ambientais em espaços museológicos por meio de um método de previsão**. (Dissertação de mestrado). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Depto. de tecnologia, 2005.
- CASSAR, M. **Environmental management**. Londres: Routledge, 1995. ISBN 0415105595.
- CORRÊA, M. C. L. **Avaliação dos parâmetros de controle ambiental em museus: um estudo de caso sobre o uso de insuflamento de ar na reserva técnica do Museu Universitário Professor Oswaldo Rodrigues Cabral**. (Dissertação de mestrado). Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003, 148p.
- DARDES, K. e DRUZIK, J. **Managing the environment: an update on preventive conservation**. Conservation: the Getty Conservation Institute Newsletter, v. 15, n. 2, 2000, p. 4-9.
- ERHARDT, D. e MECKLENBURG, M. **Relative humidity re-examined**. Preventive conservation practice, theory and research, IIC Preprints of the contributions to the Ottawa congress, 12-16 Setembro de 1994, p. 32-38.
- GUICHEN, G. D. **Conservazione preventiva nei musei : il controllo dell'illuminazione, il controllo del clima**. Roma: ICCROM : Istituto centrale del restauro, 1983. 43 p.
- HENRY, M.C. **The heritage building envelope as a passive and active climate moderator: Opportunities and issues in reducing dependency on air-conditioning**. Experts Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies. Tenerife: Getty Conservation Institute, 2007b. Disponível em: <[http://www.getty.edu/conservation/our\\_projects/science/climate/paper\\_henry.pdf](http://www.getty.edu/conservation/our_projects/science/climate/paper_henry.pdf)> (Acesso em 05/09/2012).
- INMETRO. Vocabulário de metrologia legal. Rio de Janeiro, INMETRO, 2003, 3ª ed.. 27p. ISBN 85-87090-88-7
- JANSSEN, H.; CHRISTENSEN, J. E. **Hygrothermal optimisation of museum storage spaces**. Energy and Buildings, v. 56, n. 0, p. 169-178, 2013.
- KERSCHNER, R. **A practical approach to environmental requirements for collections in historic buildings**. Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 31, No. 1, 1992, p. 65-76.
- MECKLENBURG, M. F. e TUMOSA, C. S. **Temperature and relative humidity effects on the mechanical and chemical stability of collections**. ASHRAE Journal 41(4): 69-74, 1999.
- MICHALSKI, S. **Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values**. In: Proceedings of ICOM-CC 10th Triennial Conference, Washington, DC, 22-27 agosto de 1993. ICOM-CC, 1993.
- MICHALSKI, S. **Relative Humidity and Temperature Guidelines: What's Happening?**, CCI Newsletter, No. 14, p.6-8, 1994.
- MICHALSKI, S. **The ideal climate, risk management, the ASHRAE chapter, Proofed fluctuations and toward a full risk analysis model**. Experts Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, Abril de 2007, Tenerife: Getty Conservation Institute, 2007.
- PLENDERLEITH, H. J. **The conservation of antiquities and works of art: treatment, repair and restoration**. Londres: Oxford University Press, 1956.
- PADFIELD, T. **The role of standards and guidelines: Are they a substitute for understanding a problem or a protection against the consequences of ignorance?** (s.d.) Disponível em: <<http://www.padfield.org/tim/cfys/ppubs/dahlem.pdf>> (Acesso em 03/09/2012).
- PADFIELD, T. **The role of absorbent materials in moderating changes of relative humidity**. (Tese de doutorado). The Technical University of Denmark, Department of Structural Engineering and Materials, Series R n. 54, 1998, ISBN 87-7740-256-1.
- PUTT, N. e SLADE, S. **Teamwork for preventive conservation**. Roma: ICCROM: vii, 50 p. p. 2004.
- THOMSON, G. **The Museum Environment**, Londres: Butterworth-Heinemann, 1986.
- TOMBAZIS, A. et al. **Museums - energy efficiency and sustainability in retrofitted and new museum buildings handbook**. Dublin: University College, 2004.
- UNI – ENTE NAZIONALE ITALIANO DE UNIFICAZIONI. **UNI 10829 - Works of art of historical importance – ambient conditions for the conservation – measurements and analysis**. Milão: UNI, 1999.
- UNI – ENTE NAZIONALE ITALIANO DE UNIFICAZIONI. **UNI EN 15757 - Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate - induced mechanical damage in organic hygroscopic materials**. Milão: UNI, 2010.
- VALENTIN, N. **Microbial contamination in museums and archives—health hazards: preventive strategies using air ventilation systems**. Experts Roundtable on Sustainable Climate Management Strategies, Abril de 2007, Tenerife: Getty Conservation Institute, 2007.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelos recursos financeiros aplicados no financiamento da pesquisa; ao IPHAN e ao Pe. Rocha pela colaboração e permissão do acesso ao edifício do estudo de caso.