

Conservar Património

30

ARP • Associação Profissional de
Conservadores-Restauradores de Portugal

Janeiro | *January* 2019

Fotografia da capa | Cover photograph

La Virgen con el Niño Jesús Dormido:
estudio de dos imágenes superpuestas,
pp. 73-90



Licenciado sob uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.
Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.

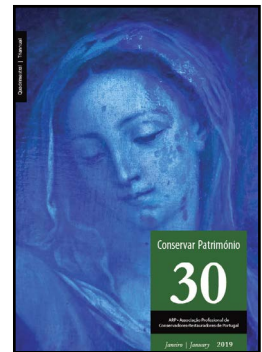
This work is licensed under the Creative Commons
Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Conservar Património

ARP • Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal

Número | Issue 30

Janeiro | January 2019



ISSN 2182-9942

Artigos | Articles

- 9 Ahmed Abdrabou, Medhat Abdallah, Eman Nabil, Yasunari Matsuda, Hussein M. Kamal**
Preliminary investigation of the materials and techniques used in a decorated wooden stick of king Tutankhamun
Investigação preliminar de materiais e técnicas usadas num bastão de madeira decorado do rei Tutankhamon
- 21 Sara Sá, Isabel Pombo Cardoso, Leslie Carlyle, Raquel Marques**
Moldura microclimática para pinturas sobre tela expostas a flutuações intensas de humidade relativa
Microclimate frame for paintings on canvas exposed to extreme fluctuations in relative humidity
- 35 Alberto Atanasio Guisado, Juan Francisco Molina Rozalem**
Towards the incorporation of a raised walkway at the Royal Alcázar of Seville: status and execution of the works
Estudo da incorporação de um passeio elevado no Real Alcázar de Sevilha: estado e execução do projecto
- 47 Hayet Kadi, Karima Anouche**
Approche paramétrique pour la reconstitution 3D basée sur la connaissance préalable
Abordagem paramétrica para a reconstituição 3D baseada no conhecimento prévio
Parametric approach for prior knowledge-base 3D reconstruction
- 59 Óscar Hernández-Muñoz, Alicia Sánchez-Ortiz**
Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII
Digitalização e impressão 3D para a reconstrução das perdas volumétricas num modelo anatómico de cera do século XVIII
Digitization and 3D printing for the reconstruction of volumetric losses in an anatomical wax model of the 18th century
- 73 Ana Calvo, Ruth Chércoles, Alicia Sánchez, Margarita San Andrés**
La Virgen con el Niño Jesús Dormido: estudio de dos imágenes superpuestas
A Virgem com o Menino Jesus Adormecido: estudo de duas imagens sobrepostas
The Virgin with the Sleeping Child Jesus: study of two overlapping images

91 Luísa Dias Pereira, Adélio Rodrigues Gaspar, José Joaquim Costa, Gilberto Pereira

The importance of long-term hygrothermal assessment of museum spaces: method and application in a permanent exhibition in a historical building

Da importância da avaliação higrotérmica de longo prazo de espaços museológicos: método e aplicação numa exposição permanente num edifício histórico

107 Rachel Myrrha Neves, Vânia Myrrha de Paula e Silva

Patrimônio artístico do Palácio das Artes: um estudo do processo de preservação do figurino dos espetáculos produzidos pela Fundação Clóvis Salgado

Artistic Heritage of Palácio das Artes: a study of the costume's preservation process of the shows produced by the Clóvis Salgado Foundation

117 Arienne Vanrell Velloso

Propuestas de organización y la visualización de datos para mejorar la gestión y comprensión de obras complejas

Propostas de organização e visualização de dados para melhorar a gestão e a compreensão de obras complexas

Proposals for data organization and visualization to improve the management and the understanding of complex works

131 Ignacio Suay-Matallana

A cultura material do laboratório da Alfândega de Lisboa

The material culture of the customs laboratory of Lisbon

As opiniões manifestadas na revista são da exclusiva responsabilidade dos seus autores e não traduzem necessariamente a opinião da ARP, da Direcção da revista ou do Conselho Editorial.

The opinions published in this journal are those of the authors alone and do not necessarily translate the views or opinions of ARP, the Editors of the journal or of its Editorial Board.

Conservar Património

Revista académica com avaliação por pares
Academic peer-reviewed journal

Periodicidade | Frequency

Quadrimestral | Triannual

Director | Editor

António João Cruz

Professor Adjunto

Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar, Portugal

ajcruz@ipt.pt

Directores adjuntos | Associate editors

Francisca Figueira

Conservadora-restauradora | Conservator-restorer

Laboratório José de Figueiredo, Direcção-Geral do Património Cultural, Lisboa, Portugal

Elin Figueiredo

Investigadora Integrada

Centro de Investigação de Materiais, CENIMAT/i3N, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal

Tiago Miguel Ferreira

Investigador

Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), Universidade do Minho, Portugal

Paginação | Layout

António João Cruz

Edição, propriedade e redacção | Publisher and editorial office

ARP – Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal

Junta de Freguesia de Santa Isabel

Rua Saraiva de Carvalho, n.º 8, 2.º andar, 1250-234 Lisboa, Portugal

mail@arp.org.pt

Internet

<http://revista.arp.org.pt>

<https://doi.org/10.14568/cp>

<https://publons.com/journal/36407>

<https://www.facebook.com/conservarpatrimonio>

Alice Nogueira Alves

Professora Auxiliar Convidada

Faculdade de Belas-Artes, Universidade de Lisboa, Portugal

António João Cruz

Professor Adjunto

Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar, Portugal

Cláudia Falcão

Conservadora-restauradora independente | Freelancer conservator-restorer

Macao, China

Elin Figueiredo

Investigadora Integrada

Centro de Investigação de Materiais, CENIMAT/i3N, Universidade Nova de Lisboa, Caparica, Portugal

Guilherme Pinheiro Pozzer

Investigador

Centro Interdisciplinar de Ciências Sociais (CICS.NOVA.UMinho), Universidade do Minho, Portugal

João Luís Antunes

Químico

Portugal

Maria João Revez

Conservadora-restauradora | Conservator-restorer

Nova Conservação, Lda., Lisboa, Portugal

Rui Maio

Investigador

Riscos e Sustentabilidade na CONstrução (RISCO), Universidade de Aveiro, Portugal

Teresa Desterro

Professora Adjunta

Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar, Portugal

Thiago Sevilhano Puglieri

Professor Auxiliar

Departamento de Museologia, Conservação e Restauro, Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Tiago Miguel Ferreira

Investigador

Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), Universidade do Minho, Portugal

Agnès Le Gac

Professora Auxiliar

Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Ana Calvo

Professora Titular

Universidad Complutense, Madrid, España

Ana Martins

Associate Research Scientist

Conservation Department, Museum of Modern Art, New York, USA

António Candeias

Professor Auxiliar

Universidade de Évora, Portugal

Christian Degryny

Conservation Scientist

Haute École de Conservation-Restauration Arc, La Chaux-de-Fonds, Suisse

Edson Motta

Professor

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Ester Ferreira

Professor

TH Köln - University of Applied Sciences, Cologne, Germany

João Coroado

Professor Coordenador

Escola Superior de Tecnologia de Tomar, Instituto Politécnico de Tomar, Portugal

María José González López

Professora Titular

Departamento de Pintura, Facultad de Bellas Artes, Universidad de Sevilla, España

Mário Mendonça de Oliveira

Professor

Universidade Federal da Bahia, Brasil

René Larsen

Professor

The Royal Danish Academy of Fine Arts, Copenhagen, Denmark

Rosário Veiga

Investigadora Principal com Habilitação para Coordenação Científica

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

Salvador Muñoz Viñas

Professor

Universitat Politècnica de València, España

Vítor Serrão

Professor Catedrático

Instituto de História da Arte, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Portugal

AATA – Art and Archaeology Technical Abstracts, Getty Conservation Institute

<http://aata.getty.edu>

BCIN – The Bibliographic Database of the Conservation Information Network, Canadian Heritage Information Network

<http://www.bcin.ca>

Chemical Abstracts, American Chemical Society

<http://www.cas.org>

Crossref

<https://www.crossref.org>

DOAJ – Directory of Open Access Journals

<http://www.doaj.org>

EBSCO Art Source

<https://www.ebscohost.com>

ERIH PLUS – European Reference Index for the Humanities and the Social Sciences, Norwegian Social Science Data Services

<https://dbh.nsd.uib.no/publiseringskanaler/erihplus/>

Google Académico / Google Scholar

<http://scholar.google.com>

Index Copernicus Journals Master List

<http://journals.indexcopernicus.com>

Ingenta Connect

<http://www.ingentaconnect.com>

Latindex – Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

<http://www.latindex.unam.mx>

Microsoft Academic

<https://academic.microsoft.com>

Portal de Periódicos da CAPES

<http://www.periodicos.capes.gov.br>

REDALYC - Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

<http://www.redalyc.org>

REDIB – Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico

<http://www.redib.org>


Scopus

<https://www.scopus.com>

Web of Science – Emerging Sources Citation Index (ESCI)

<https://webofknowledge.com>

Preliminary investigation of the materials and techniques used in a decorated wooden stick of king Tutankhamun

Ahmed Abdrabou^{1,*} , Medhat Abdallah¹, Eman Nabil², Yasunari Matsuda³, Hussein M. Kamal¹

¹ Grand Egyptian Museum- Conservation Centre, Remaya square, Giza, Egypt

² Khufu Boat Museum, Archaeological Pyramids Area, Giza, Egypt

³ Toyo institute of Art and Design, 2-6 Tomihisa-cho, Shinjuku, Tokyo, Japan

*ahmed_abdrabou87@yahoo.com

Abstract

The focus of this work is to shed more light on materials and decorating techniques used on a decorated wooden stick of king Tutankhamun. Moreover, the authors were interested in using a developed methodology to unfold the cylindrical decorations of the stick. The botanical species of the wood and bark samples were identified by observing thin sections under an optical transmission light microscope; the decorating materials layered on the wood surface were analyzed by scientific and analytical techniques including optical microscopy (OM), environmental scanning electron microscopy (ESEM), X-ray fluorescence spectroscopy (XRF), X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The analyses provided new information concerning the materials and decorating techniques that varied from top to bottom of the same stick. The characterization of this stick represents a first step in determining the materials and decorating techniques used to produce this particular kind of sticks during king's Tutankhamun period.

Keywords

Tutankhamun
Decorated wooden stick
Gilded bark
Wood identification
X-ray fluorescence
Fourier transform infrared spectroscopy

Investigação preliminar de materiais e técnicas usadas num bastão de madeira decorado do rei Tutankhamon

Resumo

Este trabalho teve como objectivo aprofundar o conhecimento sobre materiais e técnicas decorativas empregues num bastão de madeira decorado do rei Tutankhamon. Além disso, os autores estiveram interessados em usar uma metodologia desenvolvida para visualizar as decorações cilíndricas do bastão. As espécies botânicas de amostras da madeira e da casca foram identificadas pela observação de lâminas delgadas num microscópio óptico de luz transmitida; os materiais de decoração dispostos em camadas sobre a superfície de madeira foram analisados por técnicas analíticas e científicas incluindo microscopia óptica (OM), microscopia electrónica de varrimento ambiental (ESEM), espectroscopia de fluorescência de raios X (XRF), difracção de raios X (XRD) e espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). As análises forneceram novas informações sobre os materiais e técnicas de decoração que variaram ao longo do bastão. Este estudo é o primeiro passo na determinação dos materiais e técnicas de decoração usados para produzir este particular tipo de bastão durante o período do rei Tutankhamon.

Palavras-chave

Tutankhamon
Bastão de madeira decorado
Casca dourada
Identificação de madeira
Fluorescência de raios X
Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier

ISSN 2182-9942



Introduction

The tomb of Tutankhamun (KV62), which was discovered intact in 1922 by Howard Carter, was embellished with an incredible set of finely crafted furniture [1]. More than 130 complete or fragmented specimens of sticks were found in the antechamber, in the burial chamber and in the annex of the king's tomb. Many of these sticks served obviously for ritual purposes, others, however, showed signs of different use. There were different types: long sticks with knobbed and forked tops and ferruled bottoms, and crooked and curved sticks used to kill snakes. Some of them were mounted with gold and silver and others were decorated with marquetry of barks, or with polished and flat wood [2-3]. The diversity of materials and techniques used in these sticks shows highly professional skills and a sophisticated sense of beauty, however these sticks have never been scientifically

investigated since the discovery of the tomb. For proper conservation procedures, it is important to understand how these techniques were performed and how composite materials were prepared to decorate them, as well as to allow the understanding of the entire method, meaning how different layers were adhered to each other.

In this work we demonstrate the ability of combined scientific and analytical measurements, including optical microscopy (OM), environmental scanning electron microscopy (ESEM), X-ray fluorescence (XRF), X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), to answer some questions related to this topic: What type of wood and bark were used? Was pure gold or gold alloy employed for gilding? Was the same type of gold leaf used in the different parts of the object? How were the gilded layers applied? What type of varnish and black resinous layers was used? What is the chemical composition of the white ground (gesso) layer? Moreover,

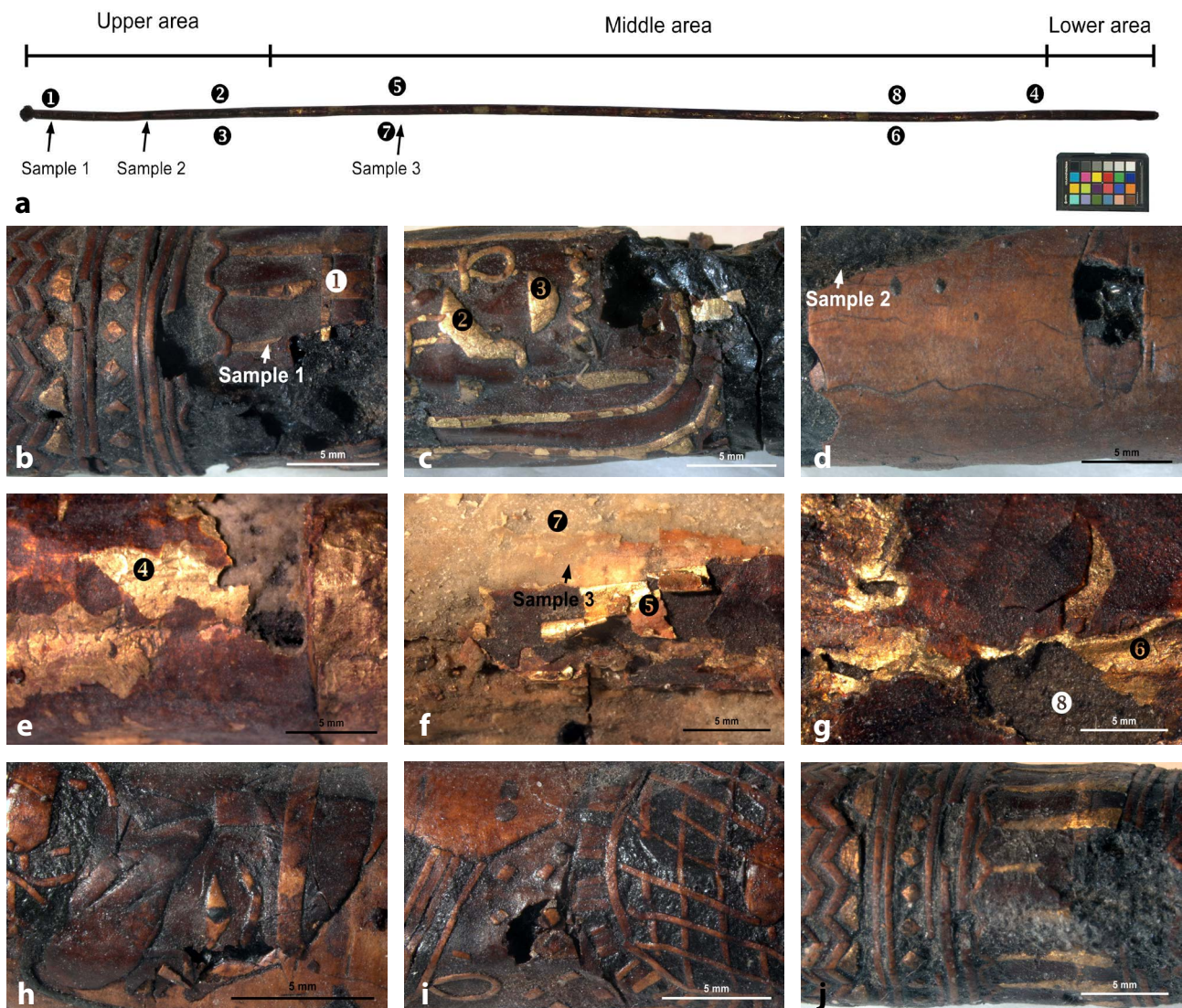


Figure 1. The stick and detailed images for different areas of the decorated layers showing spots, locations and the deterioration aspects under stereo microscope: *a*) general image for the stick showing locations from which the spots and samples were taken for analysis (XRF spots indicated by circles, samples by arrows); *b-d*) deterioration aspects of the upper area of the stick; *e-g*) deterioration aspects of the middle area; *h-j*) deterioration aspects of the lower area.

the authors were significantly interested in unfolding the cylindrical decorations by using a combination of IR imaging and an axial rotating device along with adobe Photoshop and 2D software.

Historical background of the stick

The studied stick (Figure 1a) is at about 152 cm in length and 2.1 cm in maximum diameter, and it was found among a group of sticks stacked carelessly against a wall on the left side of the entrance of the king's tomb, inside the antechamber, registered under Carter number 135e. According to Carter's handwritten notes, the object was previously consolidated by paraffin wax [4], prior to be transferred to the Egyptian Museum in Cairo, where it was kept in the storage 55 under the number JE 60696. After long-term storage, the stick was transported to the Wood Conservation Laboratory of the Grand Egyptian Museum-Conservation Center (GEM-CC) in 2012, where this study was conducted. As shown in Figure 1a, the stick is made of wood and is coated with colored and gilded bark decorations, consisting of geometrical patterns and cartouches containing the names of the king Tutankhamun in the upper area and representation of captive figures and geometrical patterns in the lower area. The middle area is covered by varnished gilded white ground layer without any decoration.

Materials and methods

Sampling

The spots analyzed by XRF and all the sampling areas are shown in Figure 1a, and details are shown in Figure 1b-g. XRF analyses were performed directly on different areas of the object. As the decorated layers of the object are detaching and flaking, three fallen samples (1, 2, 3) representing the different layers were carefully chosen for the analyses. From the fallen samples, cross-sections were prepared using epoxy resin (Epofix, Struers). Also, a sample from the previous consolidating material was carefully scraped off with a metallic scalpel for the analysis.

Identification of wood and bark

In order to identify the botanical species, thin sections of wood and bark samples were examined under transmitted light using Optika Microscopy (Italy) equipped with Optika B9 Digital Camera. The observation and description of anatomical features allowed the identification of the taxon of the wood and bark samples through comparison with the description available in wood anatomy textbooks, atlases and database [5-8].

Optical microscopy (OM)

The investigation of the texture of the decorated surface using OM allowed a detailed evaluation of the

stick's condition. Moreover, this technique is essential to provide a documentation of the areas examined by spectroscopic techniques. OM images were acquired using a portable microscope a Zeiss Stereo DV 20 equipped with an Axio Cam MRC5.

Environmental scanning electron microscopy (ESEM)

Stratigraphic investigations were performed by environmental scanning electron microscopy. ESEM images, by backscattered electrons (BSE), were taken with a Quanta 3D 200i scanning electron microscope produced by FEI.

X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)

The measurements were conducted with a Niton XL3t GOLDD hand held XRF spectrophotometer using the NITON XL3t X-ray tube based analyzer with Ag anode, 50 kV and 0-200 μ A max. The instrument head was placed in contact with the selected areas, irradiating an area of at about 3 mm radius. All points were exposed for tens of seconds. XRF spectra were produced using Niton Data Transfer (NDT) software.

Fourier transformed infrared spectroscopy (FTIR)

Fourier transform infrared spectroscopy measurements were performed using FTIR spectrometer (Vertex 70, Bruker) equipped with an attenuated total reflection (ATR) accessory, in the 400-4000 cm^{-1} range, with spectral resolution of 8 cm^{-1} . The organic materials were identified by comparison of the obtained spectra with data from literature [9], and reference spectra obtained in the laboratory.

X-ray diffraction (XRD)

The gesso layer was analyzed in a nondestructive way without any sample preparation by X-ray diffraction, using an X-ray diffractometer system (PW3040 – Analytical Equipment – PANalytical pro model) with a Cu anode, working at 30 mA and 40 kV (an approximately flat surfaced sample was attached into the sample holder inside the XRD apparatus). X'Pert High score data acquisition and interpretation software was used to determine the components of the gesso layer.

Documentation of the stick condition

The IR photographic documentation was made with a Nikon D90 DSLR digital camera modified for *full spectrum* fitted with a Nikon Nikkor 105 mm lens. The excitation was provided by two LED IR radiation sources (900 nm) and the camera lens was fitted with a Fuji 850 cut-on filter. The camera was positioned on a tripod and the object was put on an axial rotating device; this is an innova-

tive technique designed specifically for photographing the cylindrical sticks. It facilitates the rotation of the sticks, provides eight images for each 45° rotation and facilitates the unfolding of the images by Adobe Photoshop [10]. In our case study, the object has been rotated in steps of 45° till reaching the full rotation providing 8 images, which were then photomerged by adobe Photoshop software. The final unfolding picture was then elaborated by a computer aided drawing program (2D).

Results and discussion

The stick condition

In our close observation under stereomicroscope, the stick showed to be produced by complex layers and intricate methods that caused detachments, cracking, and missing of parts (Figures 1b-1d). Friable gesso layer was noted and the gilded layers were confirmed to be in an unstable condition, and many of them are poorly attached. Their edges were curled away from the gesso surface, which indicated to be brittle by touching (Figures 1e-1f). Cracks and brittleness were observed on the varnish layer, which lost its transparency obscuring the gilded layer beneath on it (Figure 1g). Figures 1h-1j show the negative impacts of the previous consolidating material, which attracted dust and obscured details of some decorated surfaces. In this study, no hidden details were revealed by infrared technique, as shown in Figure 2, but the contrast between the black layer and the bark was enhanced, making the decorations more evident (which did not clearly appear in the visible light due to the negative impacts of the previous treatments). This is because the black layer absorbs infrared radiation nearly

as strongly as it absorbs visible light, while the bark (even in the areas where it is stained and discolored) absorbs infrared radiation less strongly than in the visible region.

Identification of wood

The microphotographs of wood thin sections showed that the wood type is almond tree (*Prunus dulcis*). The anatomical characteristics of the transversal section shows growth ring boundaries distinct by the difference in vessel size between latewood and early wood, semi-ring porous to ring-porous wood, vessels solitary and in radial multiples of 4 or more, as well as axial parenchyma diffuse and scanty paratracheal (Figure 3a). Simple perforation plates, body ray cells procumbent with mostly 2-4 rows of square marginal cells and crystal druses in ray parenchyma cells were observed as seen in the radial longitudinal section (RLS) (Figure 3b). Two distinct sizes of rays: uniseriate and 2 to 4 seriate were observed in the tangential longitudinal section (TLS) (Figure 3c), as well as inter-vessel pits alternated and helical thickenings presented on vessel walls (Figure 3d). This kind of wood was recorded to be imported and used for making walking sticks in the ancient Egypt [11-13]. It is characterized by a high percentage of fibers and narrow wood vessels [14], which give these woods properties of hardness, strength, density and durability, as well as long frequent dimensions of branches found on these trees [13], which made *Prunus dulcis* a considerably suitable wood for manufacturing the sticks.

Identification of bark

Bark was used from as early as the Neolithic period; however, it is clear that objects covered with bark as a

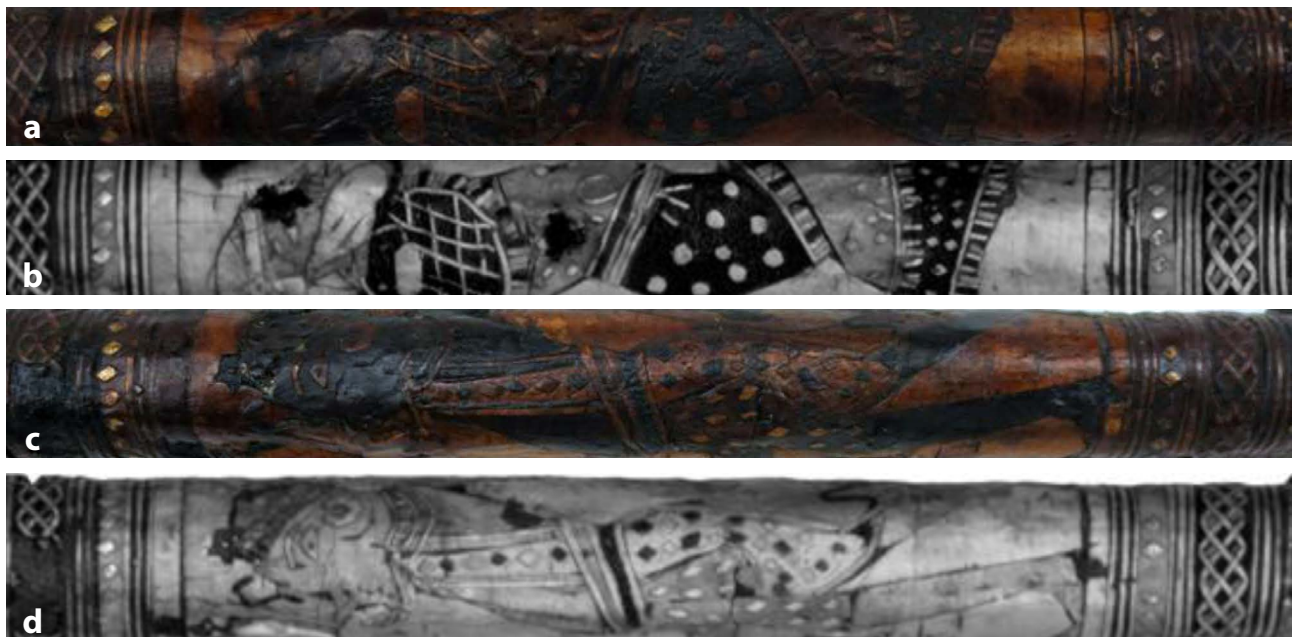


Figure 2. Technical images for the lower area of the stick (the enemy's figures) made by visible (VIS) imaging (a, c) and infrared (IR) imaging (b, d).

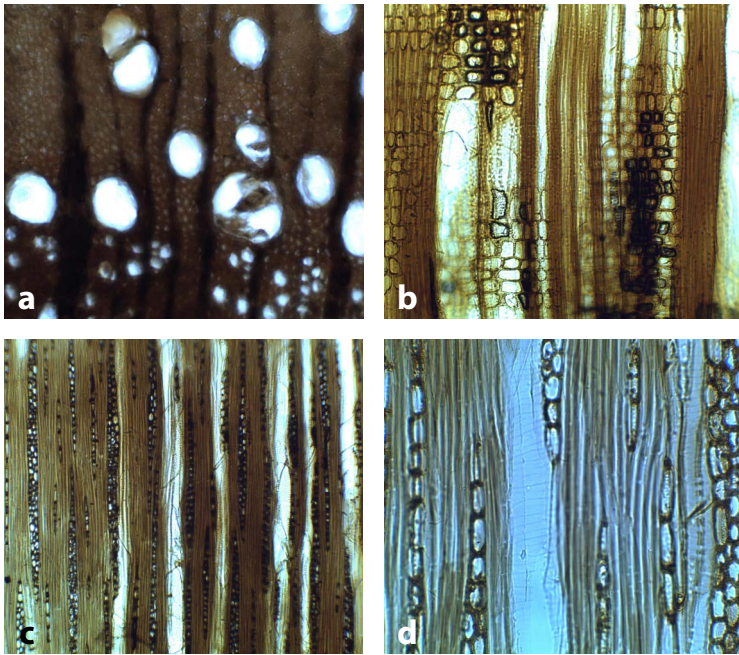


Figure 3. Microphotographs of wood thin sections under optical microscope in transmitted light showing the anatomical characteristics of *Prunus dulcis*: a) transverse section (TS); b) radial longitudinal section (RLS); c) tangential longitudinal section (TLS); d) detail of tangential longitudinal section (TLS). Magnifications: a, b 200 \times ; c 100 \times ; d 400 \times .

decorative finish to timber held special significance to ancient Egyptians in later periods, in particularly during the Eighteenth Dynasty [12]. No previous identification was performed on the ancient Egyptian objects. However, Lucas and Harris suggested that a number of objects in the tomb of Tutankhamun such as bows, a bow box, sticks, a fan handle and a chariot axle were covered with bark probably obtained from birch (*Betula* sp), which was mentioned to be imported from Armenia [15]. Same authors stated that cherry bark might sometimes be used. In our case study, the microscopic observation of the bark radial cross section showed that the bark was probably obtained from birch tree of the genus *Betula*. In Figure 4a the radial cross section showed presence of numerous cork layers, which consisted of two distinctive cell types in alternate rows. The first type of cells has a very broad radial dimension with thin cell walls, while the second type has a very narrow radial dimension with thick cell walls (Figure 4b). These barks of the genus *Betula* are characterized by high amounts of a waxy hydrophobic substance called suberin, which give them barks properties of density and protection from pathogens such as fungi, insects and bacteria [16]. In addition, birch bark can be removed in large sheets and withstand changes in shape without breaking [12, 17]. Such unique properties made birch bark a suitable choice for decorating sticks.

Identification of the stratigraphic structure

The observation of the stick revealed the presence of different decoration layers on the wood surface, varying

from top to bottom. Studying the cross-section of sample 1, it was observed that it consists of three different layers of different thickness, Figure 5a. The first (lower) layer is a black resin layer, with an average of 400 μm thickness. The second layer contains bark layer, with an average of 120 μm thickness. The third is a gold leaf of 10 to 16 μm thickness. In ancient Egypt, it was not a common practice to use gold leaf on birch bark for the decoration of furniture and this technique has never been reported in the conservation literature.

Studying the cross-section of sample 2, it was observed that it consists of two different layers, Figure 5b. The first (lower) layer is a black resin layer. The second layer contains bark layer, with an average of 160 μm thickness. From backscattered electron micrograph for sample 3 (Figure 5c), the occurrence of four different layers was observed. The first (lower) layer is a single white ground layer, of many micrometers thickness. The second intermediate layer is a gold leaf of 8.8 to 9.8 μm thickness. The third is a varnished layer, with an average of 30 μm thickness. In addition, dirt adhered to the varnish layer was also observed as a fourth layer. It was a common practice to use gold leaf on a white ground layer for the decoration of furniture in ancient Egypt, in particular in the New Kingdom, and this technique was reported by some authors [15, 18-20].

Identification of gold leaf composition

Most of the gold used in ancient Egypt was obtained from alluvial deposits and from quartz rock which lay between the Nile and the Red Sea [21]. They ranged from those of very high purity to those containing at least 40 % of silver (electrum) and copper with percentages not higher than 1.5 % [22]. Some of the ancient Egyptian

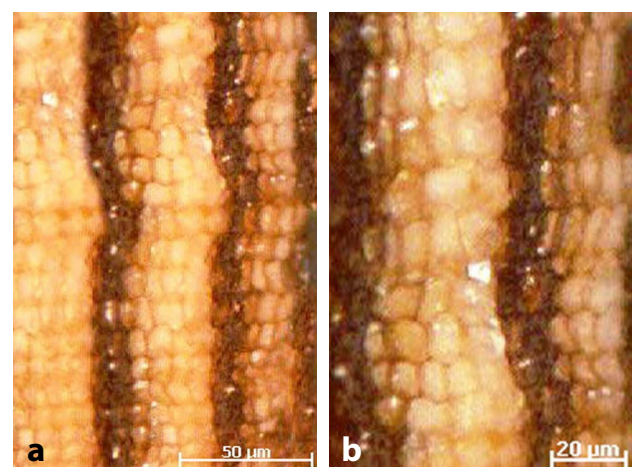


Figure 4. Microphotographs of bark sample under optical microscope: a) radial cross-section; b) details of radial cross-section.

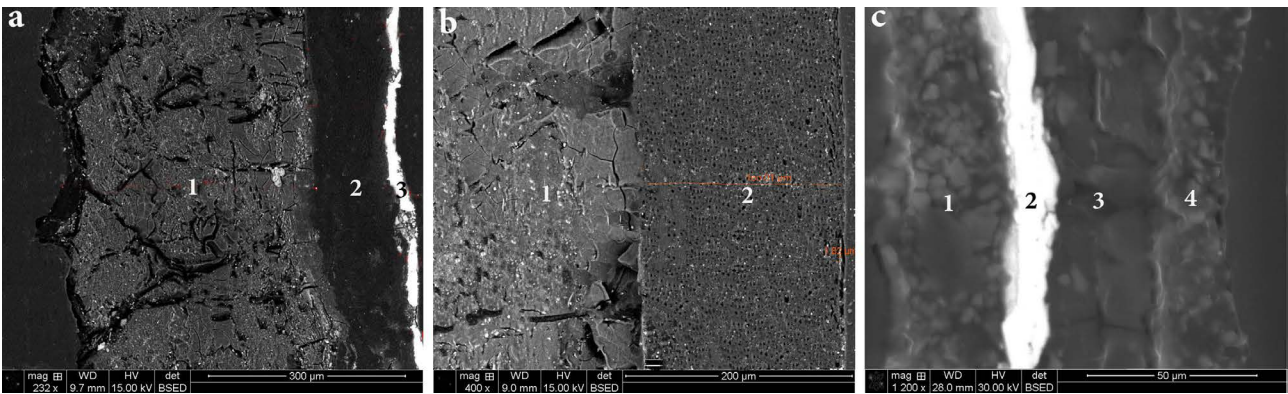


Figure 5. BSE micrographs of the fallen decorated samples from different areas showing the stratigraphic structure of the decorated layers: a) sample 1; b) sample 2; c) sample 3.

objects are made of solid gold, but the majority of golden objects are only gilded, either with gold foil or with gold leaf. There is no evidence to suggest that the Egyptians made a terminological distinction between gold leaf and gold foil [21], however we used the terminology of gold leaf to describe the gilding techniques discussed in this paper according to previous works [15, 18], that defined gold leaf as a sheet having a thickness of 1-90 μm . Generally, gilding is the technique of applying a thin sheet of gold over a solid support to achieve the rich appearance of solid gold. Gold leaf was produced by hammering a thin sheet of pure gold or gold alloy with small amounts of silver, copper or other metals [18]. Moreover, Hatchfield and Newman concluded that the production of extremely thin gold leaf on ancient Egyptian artifacts from diverse periods was not dependent on the availability of extremely pure gold, whether from native or refined sources [19].

Table 1 summarizes the composition of the gold leaf from different areas of the stick as shown in Figure 1. The data indicated that gold leaf adhered to bark (spots no. 1, 2 and 3) is very pure, composed of gold (Au) with percentages of 96.7 to 97 % (approximately 23.5 karat) followed by small amounts of lead (Pb, 0.7 %), iron (Fe, 0.8 %) and copper (Cu), with percentage of about 0.4 %. Almost no silver (Ag) was observed. This composition

Table 1
XRF results from different areas of gold leaf

Spot no.	Element concentration (%)							
	Au	Ag	Cu	Fe	Pb	Zn	Cr	Ti
1	96.7	–	0.33	0.68	0.84	0.23	0.62	0.41
2	96.6	–	0.34	0.73	0.83	0.24	0.67	0.37
3	97.1	–	0.23	0.72	0.65	0.21	0.65	0.35
4	93.7	3.6	0.64	0.52	0.43	0.18	0.58	0.14
5	93.1	4.1	0.68	0.49	0.51	0.19	0.82	0.17
6	93.5	3.4	0.74	0.45	0.57	0.21	0.40	0.20

with a higher level of gold purity is in agreement with the composition of other ancient Egyptian gold leaf previously determined [18-19, 23]. Despite this, the gold leaf adhered to the ground layer (spots no. 4, 5 and 6) showed the presence of Ag. In all the spots Au had the highest concentration with percentages between 93 to 93.5 % (approximately 22.5 karat); is followed by Ag, which composition was at about 3.5 to 4 %, and the percentage of Cu was the lowest of all the elements present in it, with about 0.7 %. Small amounts of Pb (0.5 %) and Fe (0.6 %) were also observed. This composition with Ag content that can reach 4 % is also in agreement with the set of gold leaf dated to different periods characterized by Hatchfield and Newman [19], and with the composition of the gold leaf of sample 2 from the tomb of Tutankhamun published by Rifai and El Hadidi [18].

Identification of previous consolidating material

The FTIR analysis of previous consolidating material (Figure 6) showed the presence of characteristic peaks of C-H stretching mode at 2916 cm^{-1} , C-H bending mode at 1463 cm^{-1} and C-H torsion mode at 728 cm^{-1} , which ascribed to paraffin wax [9, 24], a macro crystalline wax produced by distillation of petroleum and used frequently in the surface treatment for damaged objects of Tutankhamun's collection during the discovery of the tomb [25]. This result is in agreement with the Carter's handwritten of the object [4].

Identification of white ground (gesso) layer

It was a common practice in ancient Egypt to use a white ground (gesso) layer adhered to either wood surface or an intermediate textile layer surface, to produce a smooth surface to paint or gild wooden objects and funerary furniture [15]. In Figure 7 the XRF spectrum of gesso layer (spots no. 7 and 8) is shown. This spectrum shows the presence of calcium (Ca) as the main element with small amount of silicon (Si) and traces of Fe and titanium (Ti) as inclusions. The absence of sulphur in this spectrum sug-

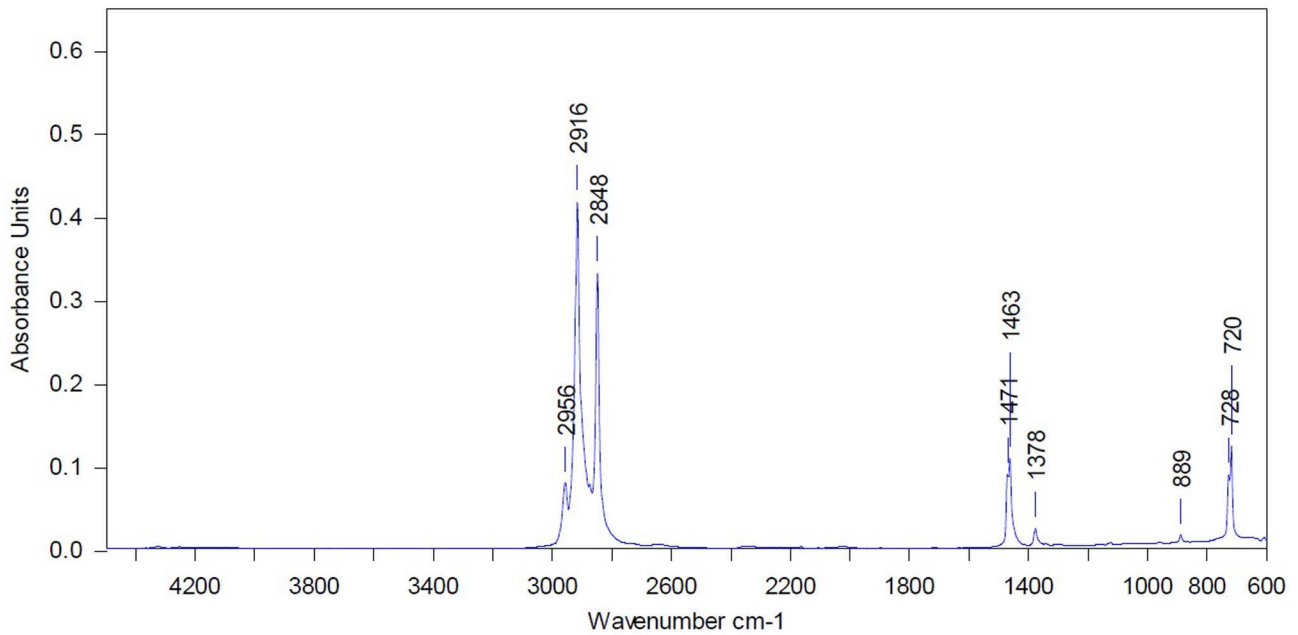


Figure 6. FTIR spectrum of previous consolidating material.

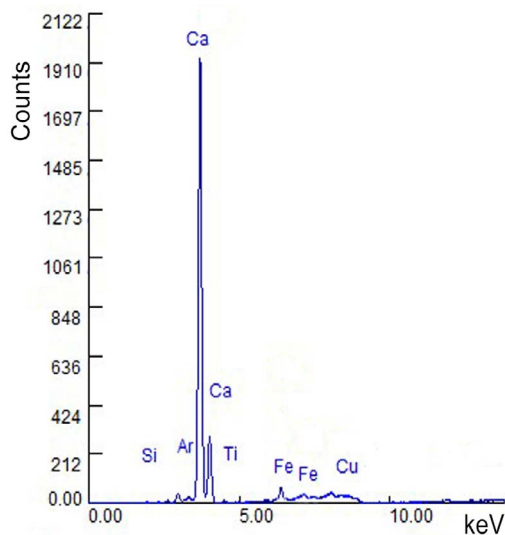


Figure 7. XRF spectrum of white ground (gesso) layer.

gests that this layer is composed of a calcium carbonate (CaCO_3) and quartz (SiO_2). In Figure 8 the infrared spectrum of gesso layer from sample 1 is shown. In this spectrum we can identify calcium carbonate and quartz; this was evidenced from the stretching vibrations of CO_3^{2-} group at 1396 , the bending vibrations of C–O–C group at 870 and 711 cm^{-1} [9, 26-27], and the stretching vibrations of Si–O–Si group at 1099 , 1043 and 779 cm^{-1} [26-28]. This spectrum also shows the presence of a band at 1619 cm^{-1} , assigned to C=O stretching of amide I and a band at 1557 cm^{-1} , assigned to N–H bending of amide II, which was confirmed by the N–H stretching band at 3328 cm^{-1} . These are characteristics of proteinaceous based material such as animal glue [9, 29], which was commonly used as binding medium in gesso layer from very early period in ancient Egypt [30].

XRD result (Figure 9) shows the presence of calcite and some quartz, in agreement with the gesso layer composition indicated from XRF and FTIR results. This composition agrees with the composition of gesso layers previously determined by Rifai and El Hadidi [18].

Identification of varnish layer

In the New Kingdom, many of the Egyptian funerary objects were coated with varnish, originally clear, but darkened over time to yellowish when thinly applied and to a reddish-orange when thickly applied [15, 30]. More analysis showed that the main component in the yellow varnish was pistacia resins such as mastic, a triterpenic resin that comes from a small tree that grows on Mediterranean coasts [31-33]. The FTIR spectrum of the varnish layer with its superficial dirty layer in sample 1 (Figure 10) is very complex. Nevertheless, most of the observed bands are probably related to the superficial dirty layer. Indeed, bands at 1621 , 1315 and 779 cm^{-1} are strongly suggestive of calcium oxalate [35-36], besides those that can be assigned to proteinaceous based material at 1621 , 1540 and 1409 cm^{-1} ; and bands assigned specifically to paraffin wax, at 2918 , 2849 , 1461 and 729 cm^{-1} . Finally, the spectrum of Figure 5 also shows some weak absorptions at 1461 , 1171 and 1099 cm^{-1} , probably related to pistacia resin [9, 34]; however further analysis using micro-FTIR spectroscopy and GC-MS will be necessary to determine the identity of the varnish layer itself more precisely.

Identification of black resinous layer

The black resinous layer was applied in several objects in the New Kingdom probably to enhance the appearance of these funerary objects as well as its religious

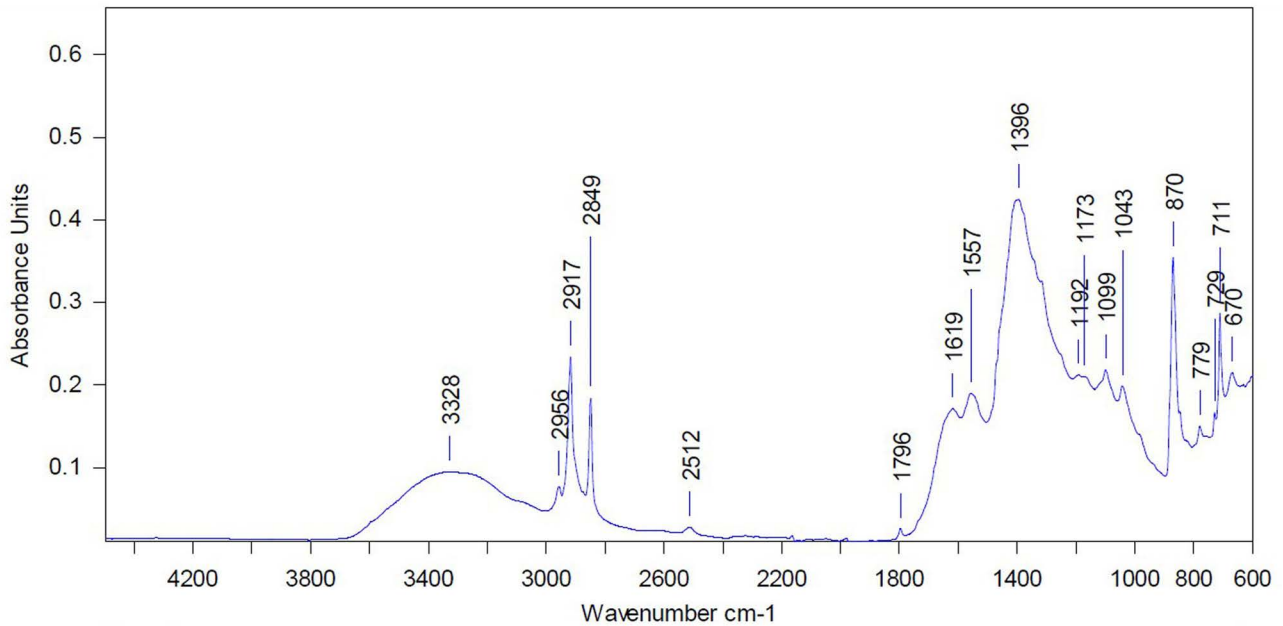


Figure 8. FTIR spectrum of white ground (gesso) layer.

importance, which was probably the primary reason for their usage [31]. The recent analysis showed that the black resinous layers or coatings consist of complex composition with diverse materials including oils, resins, fats, bitumen and wax [30, 31, 36]. In addition, this layer is often not completely black, but has a brownish color [32]. In our case study, the black resinous layer was used as a base to hold the bark decorations, which is an unusual practice in ancient Egypt. FTIR spectrum of the black resinous layer in samples 2 and 3 (Figure 11) is more complex. It shows characteristic peaks of C-C stretching mode at 1644 cm^{-1} , C-H bending mode at 1389 cm^{-1} and C-O stretching mode at 1171 cm^{-1} and other peaks at 2917 and 3200 cm^{-1} , that may be assigned to the presence of *Pistacia* resins, such as mastic [9, 34]. The spectrum from Figure 7b also shows weak absorption peaks at 1315 and 779 cm^{-1} , probably assigned to calcium oxalate, which was also determined in previous works [11]. This layer is especially unusual and it would be worthy of more detailed examination;

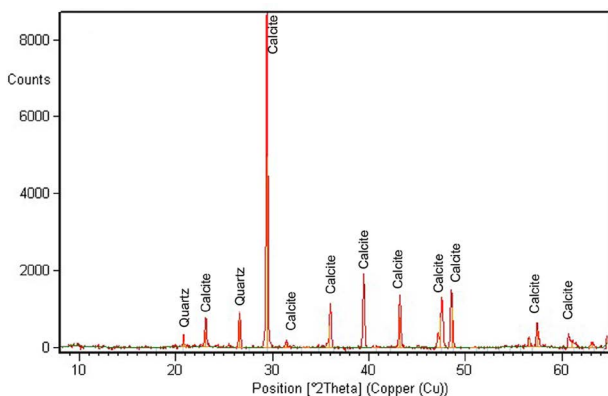


Figure 9. XRD pattern of white ground (gesso) layer.

therefore further analysis using gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) will be necessary to determine its identity more precisely.

Documentation of the stick condition

At last, in Figure 12, it is shown an example of the documentation of the lower area of the stick after using a combination of IR imaging and an axial rotation device along with adobe Photoshop and 2D software. It illustrates 2D schematic diagram for the lower area after unfolding the cylindrical decorations, which allowed us to obtain a complete representation of two captive figures together and geometric patterns, as well as all deterioration aspects were recorded. Key note anchored to the 2D schematic diagram gave information on every type of deterioration aspects where every deterioration aspect has a distinguish hatch (its color varied according to the layers of the stratigraphic structure of the object, e.g. green color has been used to express the bark; combining the green color with hatch type means that the deterioration aspects exist only in the layer of bark).

The advantage of this kind of documentation is the provision of a complete unfolded picture for the cylindrical decorations of every part of the object and a record of all the surface texture decorations and alterations of the object in a single map linked to the object without the necessity of having several maps for the different sides of the same part.

Conclusion

The paper presents the investigation of a decorated wooden stick from Pharaoh Tutankhamun funerary collection. A combination of some analytical techniques

(OM, ESEM, XRF, XRD and FTIR) was employed to determine the materials used to produce the stick, while the coupling of IR imaging and an axial rotation device along with adobe Photoshop and 2D software was applied with the aim of unfolding the cylindrical decorations and recording all alterations of the stick. The microscopic observation of wood thin sections allowed identifying it as almond tree (*Prunus dulcis*), while bark was obtained from birch bark (*Betula* sp). These choices indicated that the ancient Egyptian carpenters were aware of characteristics of tree wood and barks. The gesso layer was proved to be calcium carbonate and small amount of quartz bound with an organic binder, which was

probably composed of a protein-based material such as animal glue. The main component of the black resinous layer was probably composed of pistacia resin. Paraffin wax was identified as the consolidating material applied in the previous intervention treatment. XRF results of gold leaf adhered to bark showed a higher level of gold purity than those have been found in gold leaf adhered to the gesso layer. This variation is not unexpected and it is also in agreement with the composition of other ancient Egyptian gold leaf previously determined. Applying gold leaf on a birch bark has never been reported and it is considered to be a unique technique at that time. The use of the black resinous layer to hold the birch bark indicated

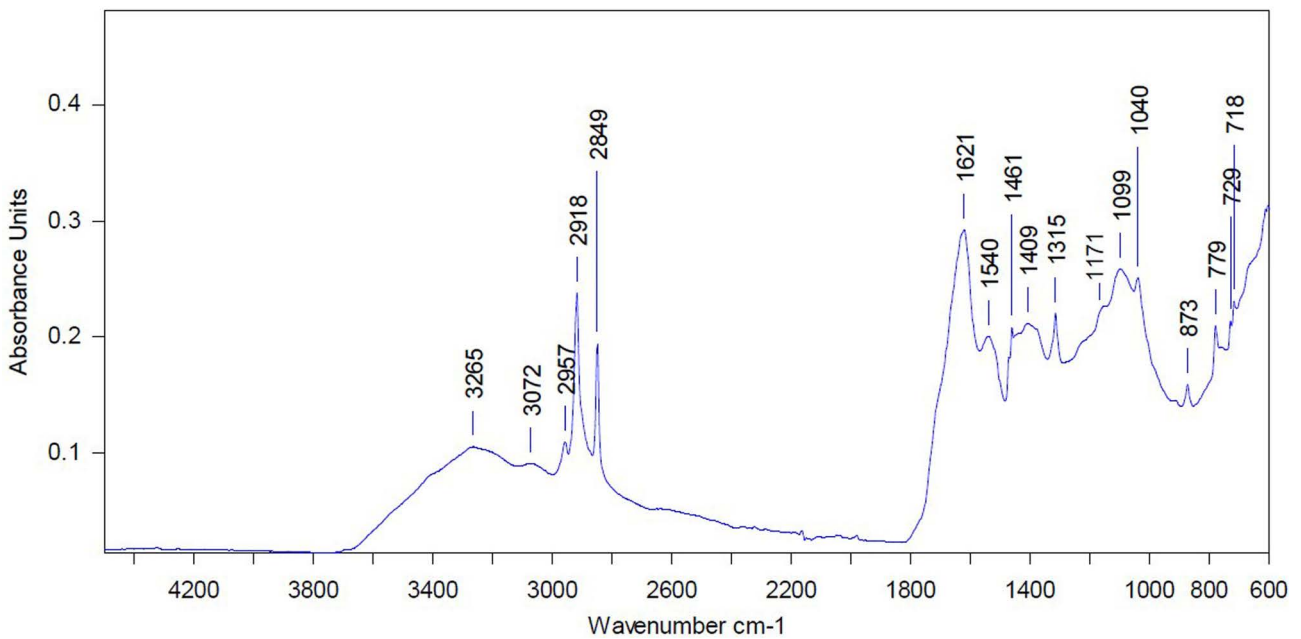


Figure 10. FTIR spectrum of the outer layer of varnish.

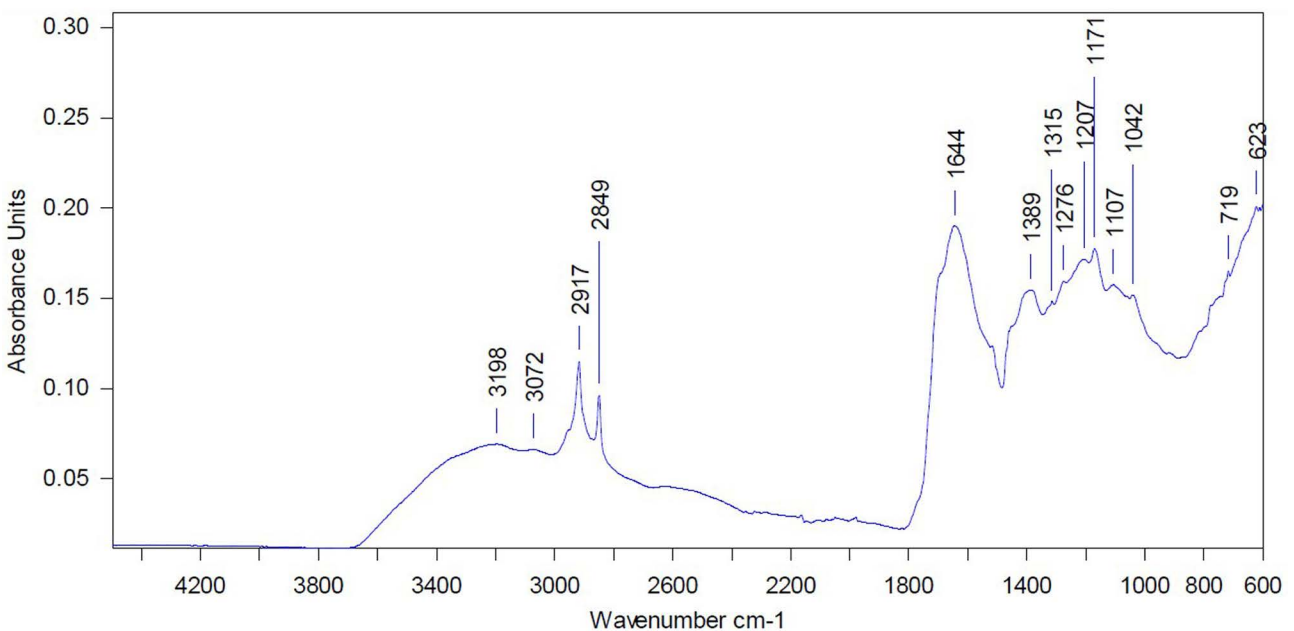


Figure 11. FTIR spectrum of black resin layer.

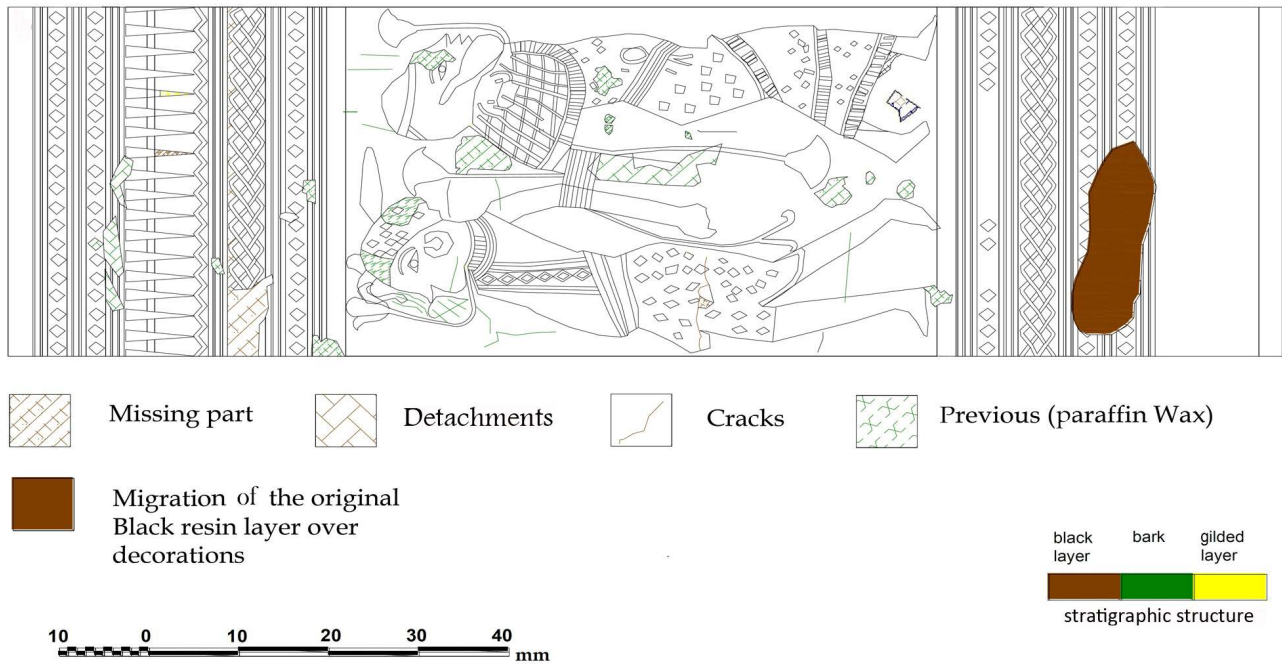


Figure 12. The 2D schematic diagram of the lower area of the stick after unfolding.


that the ancient Egyptian were aware of characteristics of the materials. The coupling of IR imaging and an axial rotation device along with adobe Photoshop and 2D software provided a useful technique for unfolding the surface texture cylindrical decorations and recording all alterations of the stick in a single map linked to the object. The results of this research represent a first step in determining the materials used to produce this particular kind of sticks during king Tutankhamun period, however complete characterization of some materials requires the use of other techniques, such as GC-MS and micro-FTIR spectroscopy.

Acknowledgments

The authors would like to thank staff-members of GEM-CC; Wood Lab, SEM Lab, FTIR Lab and XRD Lab for assistance. The authors are also much grateful to Mr. Hassan Mohamed El Sayed, Supervisor of the special case artifacts unit, Dr. Ossama Abo El khair, the General Director of Conservation affairs and Dr. Tarek Tawfik, General Director at GEM.

ORCID

Ahmed Abdrabou

 <https://orcid.org/0000-0003-3423-3884>

References

- 1 Hepper, N., *Pharaoh Flowers Botanical Treasure of Tutankhamun*, KWS Publishers, London (1990).
- 2 Reeves, N., *The Complete Ankh Amen (the King – the Tomb – the Treasury)*, The American University in Cairo Press, Cairo (1990).
- 3 Carter, H., *The Tomb of Tutankhamen*, vol. 3, London (1963).
- 4 ‘Carter no. 135e’, in *Tutankhamun: Anatomy of an Excavation*, The Griffith Institute - University of Oxford, <http://www.griffith.ox.ac.uk/gri/carter/135e.html> (accessed 2018-1-31).
- 5 Crivellaro, A.; Schweingruber, F. H., *Atlas of Wood, Bark and Pith Anatomy of Eastern Mediterranean Trees and Shrubs with Special Focus on Cyprus*, Springer-Verlag, Berlin (2013).
- 6 Wheeler, E. A.; Baas, P.; Gasson, P. E., ‘IAWA list of microscopic features for hardwood identification’, *IAWA Bulletin* **10**(3) (1989) 219-332.
- 7 Orsini, S.; Ribechini, E.; Modugno, F.; Klügl, J.; Di Pietro, G.; Colombini, M., ‘Micro morphological and chemical elucidation of the degradation mechanisms of birch bark archaeological artefacts’, *Heritage Science* **3** (2015) 2, <https://doi.org/10.1186/s40494-015-0032-7>.
- 8 Angyalossy, V.; Pace M. R.; Baas, P., ‘IAWA list of microscopic bark features’, *IAWA Journal* **37**(4) (2016) 517-615, <https://doi.org/10.1163/22941932-20160151>.
- 9 Derrik, R. M.; Stulik, D.; Landy, M. J., *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (1999).
- 10 Nabil, E.; Abdallah, M.; Abdrabou, A., ‘An axial rotation device for documenting King Tutankhamun’s decorated sticks’, poster, documentation group, in *18th Triennial Conference, Copenhagen, 4-8 September 2017. Linking Past and Future. Preprints*, ed. J. Brigland, ICOM-CC, Paris (2017).
- 11 Gänsicke, S., ‘The conservation of decorated organic Egyptian surfaces: a literature review’, in *Decorated Surfaces on Ancient Egyptian Objects. Technology, Deterioration and Conservation*, ed. J. Dawson, C. Rozeik & M. M. Wright, Archetype Publications, London (2010) 67-77.
- 12 Gale, R.; Gasson, P.; Hepper, N., ‘Wood’, in *Ancient Egyptian Materials and Technology*, ed. T. Nicholson & I. Shaw, Cambridge University Press, Cambridge (2000) 334-371.
- 13 Cartwright, C. R.; Ward, C.; Tubb, J.; Delaunay, H., ‘The middle bronze age furniture from Tomb P19 at Jericho: wood identification and conservation challenges’, *The British Museum Technical Research Bulletin* **3** (2009) 111-120.

- 14 Waly, M. N., 'Identified wood specimens from Tutankhamun funerary furniture', *Taekholmia* **16** 61-74 (1996).
- 15 Lucas, A.; Harris, J. R., *Ancient Egyptian Materials and Industries*, 4th ed., Edward Arnold, London (1962).
- 16 Croft, S.; Mathewes, R. W., 'Barking up the right tree: Understanding birch bark artifacts from the Canadian Plateau, British Columbia', *BC Studies* **16**(180) (2013) 180-122.
- 17 Modugno, F.; Ribechini, E.; Colombini, M. P., 'Chemical study of triterpenoid resinous materials in archaeological findings by means of direct exposure electron ionisation mass spectrometry and gas chromatography/mass spectrometry', *Rapid Commun Mass Spectrom* **20**(11) (2006) 1787-1800, <https://doi.org/10.1002/rcm.2507>.
- 18 Rifai, M. M.; El Hadidi, N. M. N., 'Investigation and analysis of three gilded wood samples from the tomb of Tutankhamun', in *Decorated Surfaces on Ancient Egyptian Objects. Technology, Deterioration and Conservation*, ed. J. Dawson, C. Rozeik & M. M. Wright, Archetype Publications, London (2010) 16-24.
- 19 Hatchfield, P.; Newman, R., 'Ancient Egyptian gilding methods', in *Gilded Wood Conservation and History*, ed. D. Bigelow, E. Cornu, G. Landre & C. van Home, Sound View Press, Madison CT (1991) 291-299.
- 20 Darque-Ceretti, E. D.; Felder, E.; Aucouturier, M., 'Foil and leaf gilding on cultural artifacts: forming and adhesion', *Revista Matéria* **16**(1) (2011) 540-559, <https://doi.org/10.1590/s1517-70762011000100002>.
- 21 Colinart, S., 'Analysis of inorganic yellow colour in ancient Egyptian painting', in *Colour and Painting in Ancient Egypt*, ed. W.V. Davies, British Museum Press, London (2001) 1-4.
- 22 James, T. G. H., 'Gold technology in ancient Egypt: mastery of metal working methods', *Gold Bulletin* **5**(2) (1972) 38-42, <https://doi.org/10.1007/bf03215160>.
- 23 Tissot, I.; Troalen, L. G.; Manso, M.; Ponting, M.; Radtke, M.; Reinholz, U.; Barreiros, M. A.; Shaw, I.; Carvalho, M. L.; Guerra M. F., 'A multi-analytical approach to gold in Ancient Egypt: Studies on provenance and corrosion', *Spectrochimica Acta Part B* **108** (2015) 75-82, <https://doi.org/10.1016/j.sab.2015.03.012>.
- 24 Ismail, Y.; Abdrabou, A.; Abdallah, M., 'A non-destructive analytical study and the conservation processes of Pharaoh Tutankhamun's painted boat model', *International Journal of Conservation Science* **7**(1) (2016) 15-28.
- 25 Gilberg, M., 'Alfred Lucas: Egypt's Sherlock Holmes', *Journal of the American Institute for Conservation* **36**(1) (1997) 31-48, <https://doi.org/10.1179/019713697806113620>.
- 26 Abdrabou, A.; Abdallah M.; Kamal, H. M., 'Scientific investigation by technical photography, OM, ESEM, XRF, XRD and FTIR of an ancient Egyptian polychrome wooden coffin', *Conservar Património* **26** (2017) 51-63, <https://doi.org/10.14568/cp2017008>.
- 27 Bracci, S.; Caruso, O.; Galeotti, M.; Iannaccone, R.; Magrini, D.; Picchi, D.; Pinna, D.; Porcinai, S., 'Multidisciplinary approach for the study of an Egyptian coffin (late 22nd/early 25th dynasty): combining imaging and spectroscopic techniques', *Spectrochimica Acta Part A* **145** (2015) 511-522, <https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.02.052>.
- 28 Edreira, M. C.; Feliu, M. J.; Fernández-Lorenzo, C. F.; Martín, J., 'Spectroscopic study of Egyptian blue mixed with other pigments', *Helvetica Chimica Acta* **86** (2003) 29-49, <https://doi.org/10.1002/hlca.200390017>.
- 29 Afifi, H.; AbdEl Fatah, M. A., 'Analytical study of ground painting layers and conservation processes of an Egyptian painted coffin', *Journal of Life Sciences* **5** (2011) 661-669.
- 30 Newman, R.; Halpine, M. S., 'The binding media of ancient Egyptian painting', in *Colour and Painting in Ancient Egypt*, ed. W. V. Davies, British Museum Press, London (2001) 22-32.
- 31 Serpico, M.; White, R., 'The use and identification of varnish on New Kingdom funerary equipment', in *Colour and Painting in Ancient Egypt*, ed. W. V. Davies, British Museum Press, London (2001) 33-42.
- 32 Kariya, H.; Bruno, L.; Godfrey, J.; March, T., 'Treatment of Dynasty 18 painted coffin, 37.47E a-e (Abbott collection 405A)', in *Decorated Surfaces on Ancient Egyptian Objects. Technology, Deterioration and Conservation*, ed. J. Dawson, C. Rozeik & M. M. Wright, Archetype Publications, London (2010) 97-105.
- 33 Modugno, F.; Ribechini, E., 'GC/MS in the Characterisation of Resinous Materials', in *Organic Mass Spectrometry in Art and Archaeology*, ed. M. P. Colombini & F. Modugno, John Wiley & Sons, Chichester (2009) 215-235, <https://doi.org/10.1002/9780470741917.ch8>.
- 34 Bonizzoni, L.; Bruni, S.; Guglielmi, V.; Milazzo, M.; Neri, O., 'Field and laboratory multi-technique analysis of pigments and organic painting media from an Egyptian coffin (26th dynasty)', *Archaeometry* **53**(6) (2011) 1212-1230, <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2011.00592.x>.
- 35 Brecolouaki, H.; Fiorin, E.; Vigato, P. A., 'The funerary klinai of tomb 1 Amphiopolis and a sarcophagus from ancient Tragilos, eastern Macedonia: a physico-chemical investigation on the painting materials', *Journal of Cultural Heritage* **7**(4) (2016) 301-311, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.06.005>.
- 36 Stein, R. A.; Lacounra, P., 'Observations on the preparation layers found on ancient Egyptian decorated coffins in the Michael C. Carlos Museum', in *Decorated Surfaces on Ancient Egyptian Objects. Technology, Deterioration and Conservation*, ed. J. Dawson, C. Rozeik & M. M. Wright, Archetype Publications, London (2010) 3-8.

Received: 2017-5-27

Revised: 2017-12-1

Accepted: 2018-1-25

Online: 2018-3-3



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>

Moldura microclimática para pinturas sobre tela expostas a flutuações intensas de humidade relativa

Sara Sá^{1,2,*} , Isabel Pombo Cardoso^{1,2} , Leslie Carlyle^{1,2} , Raquel Marques^{1,2} 

¹ Departamento de Conservação e Restauro, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

² LAQV-REQUIMTE, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Campus Caparica, 2829-516 Caparica, Portugal

*sr.sa@campus.fct.unl.pt

Resumo

O Ecomuseu Municipal do Seixal pretende exibir três retratos a óleo sobre tela do século XIX, pertencentes ao seu espólio, num dos seus núcleos museológicos, o Moinho de Maré de Corroios. Em virtude da sua localização, inerente à função de moinho de maré, este edifício exhibe condições ambientais que se caracterizam por fortes flutuações de temperatura e, em particular, de humidade relativa. O presente trabalho tem como objectivo propor um modelo de moldura microclimática que oferece uma solução para a preservação a longo prazo das pinturas referidas. O design desta moldura foi definido com base no estudo das condições ambientais da sala de exposições do moinho (temperatura e humidade relativa), bem como nos resultados de uma experiência realizada in situ com molduras protótipo. A proposta apresentada, uma moldura microclimática contendo sílica gel como material tampão, considerou os modelos referidos na literatura, os requisitos individuais das pinturas em questão e, finalmente, a necessidade de restrição a um orçamento específico.

Microclimate frame for paintings on canvas exposed to extreme fluctuations in relative humidity

Abstract

Ecomuseu Municipal do Seixal is aiming to exhibit three oil portraits on canvas from the 19th century in the Tide Mill of Corroios. Due to its location, intrinsic to its function of Tide Mill, the building exhibits environmental conditions characterized by severe fluctuations in temperature and relative humidity. This work aims to propose a model of microclimate frame that offers a solution for the continued preservation of the three paintings. The frame's design was chosen based on the study of the environmental conditions (temperature and relative humidity) of the exhibition room at the Tide Mill as well as in the results of an in situ experiment involving model frames. The proposal here described, a microclimate frame with silica gel as buffering material, considered the designs presented in the literature, the individual needs of the paintings and, finally, the available budget.

Palavras-chave

Moinho de Maré
Pintura a óleo sobre tela
Flutuações de humidade relativa
Moldura microclimática
Microclima
Sílica gel

Keywords

Tide mill
Oil paintings on canvas
Fluctuations in relative humidity
Microclimate frame
Microclimate
Silica gel

ISSN 2182-9942



Introdução

O Moinho de Maré de Corroios, núcleo museológico pertencente ao Ecomuseu Municipal do Seixal (EMS), é um edifício histórico que se manteve em condições de funcionamento até aos nossos dias (Figura 1). Foi edificado em 1403, sofreu várias alterações e ampliações ao longo do tempo, tendo sido adquirido pela autarquia em 1980. Por se tratar de um moinho de maré, este núcleo museológico apresenta características climáticas muito peculiares, com valores de humidade relativa (HR) muito elevados e flutuações muito severas, decorrentes da sua construção num terreno que inunda bidualmente (Figuras 1 e 2). Apesar destas condições climáticas, o EMS pretende expor neste núcleo três pinturas a óleo sobre tela, por retratarem três proprietários do moinho durante o século XIX, João Luiz Lourenço, Isabel Maria Lourenço Affonso e Domingos Affonso.

Os efeitos negativos de flutuações diárias e anuais de temperatura e HR nos objectos estão amplamente estudados [1-3]. As pinturas de cavalete, por se tratarem de objectos compósitos, são especialmente susceptíveis em consequência do comportamento distinto que os seus diferentes materiais apresentam face às flutuações ambientais [3-5]. Deste modo, o controlo das condições ambientais no local de exposição é fundamental para a preservação destes objectos. Especial atenção deve ser dada ao controlo das flutuações de HR, pois estas provocam um maior impacto na variação do teor de humidade destes objectos, quando comparado com o impacto provocado por flutuações de temperatura [6-7].

A literatura refere que, na impossibilidade de se obter um controlo climático efectivo do edifício, é uma opção recorrer à criação de microclimas para exposição das obras de arte [8]. Além do mais, considera-se este tipo de controlo climático localizado uma solução mais económica, mais sustentável, bem como mais eficiente, comparativamente ao controlo climático do interior do edifício [9-10]. Desta forma, o presente trabalho consistiu no estudo das condições ambientais da sala de exposições do moinho, na realização de testes preliminares de diferentes tipos de molduras e no *design* e produção de uma moldura microclimática adequada.

Molduras microclimáticas: relevância e variações tipológicas

Além de reduzirem e controlarem as flutuações de HR no seu interior, as molduras microclimáticas apresentam outras vantagens, como oferecer ao artefacto alguma protecção contra acidentes ou acções de vandalismo e proteger as obras em reserva ou em trânsito [8, 11].

Existem diferentes sistemas de molduras microclimáticas: alguns são executados de modo a conterem tanto a pintura como a moldura, outros contêm a pintura sem moldura, e outros podem ainda ser construídos dentro da própria moldura [8]. Não obstante, todos os sistemas seguem o mesmo princípio, o da criação de um microespaço, mais ou menos hermético em redor da pintura, com o objectivo de atenuar as flutuações de HR procedentes do exterior circundante.



Figura 1. Moinho de Maré de Corroios, Seixal. Imagem de <http://www.cm-seixal.pt/ecomuseu-municipal/moinho-de-mare-de-corroios>.

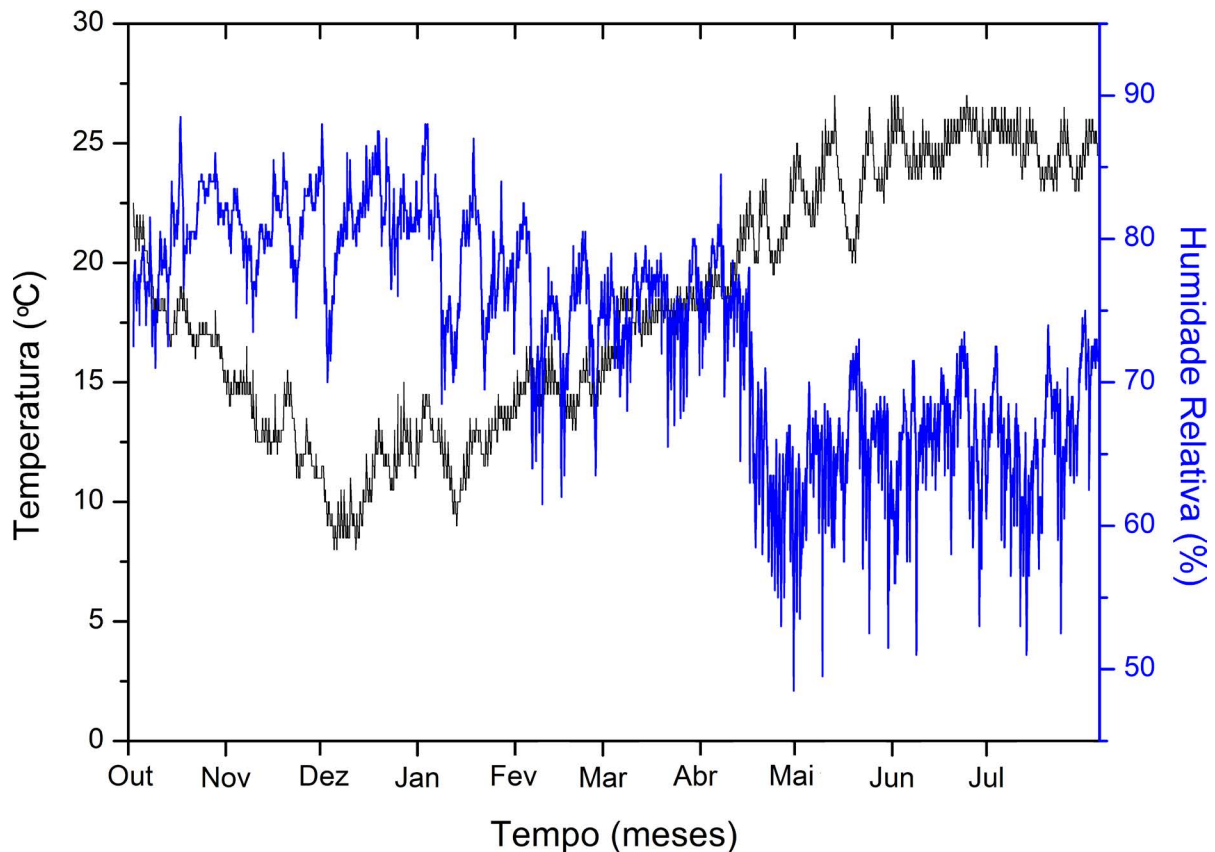


Figura 2. Gráfico dos valores de temperatura e HR da sala de exposições do Moinho de Maré de Corroios entre Outubro de 2014 e Outubro de 2015. As leituras foram realizadas de 30 em 30 minutos, com um *data logger* EL-USB-2 Lascar.

Existem algumas preocupações relativamente a fechar uma pintura dentro de uma moldura microclimática que devem ser tidas em conta. Uma das preocupações diz respeito à acumulação de poluentes que possam ser gerados no interior [11-12], sendo que a actual recomendação é evitar, na sua construção, o uso de materiais com elevada emissão de compostos orgânicos e tornar o microclima o mais hermético possível, reduzindo assim infiltrações de poluentes do exterior. Outra recomendação é deixar um intervalo de tempo significativo (pelo menos 3 meses) entre a construção da moldura e a instalação da pintura no seu interior. Podem também ser tomadas algumas medidas adicionais, tais como a aplicação de materiais absorventes, a instalação de películas de barreira – para cobrir os materiais de construção que emitam poluentes gasosos (tais como a madeira) – ou, ainda, alterar a composição da atmosfera no interior da moldura microclimática [12-13].

Outra preocupação é a possibilidade do crescimento de fungos devido à criação de um ambiente favorável – HR elevada e estável por um período prolongado de tempo [9, 14]. Contudo, um estudo prático realizado por Toledo *et al.*, em museus localizados em climas húmidos e temperados, demonstrou que as pinturas não protegidas por uma caixa de vidro revelaram um crescimento de fungos superior, bem como uma maior deposição de poeira e sujidade, que podem ter contribuído para promover tal

crescimento de fungos [15]. As molduras microclimáticas classificam-se também de acordo com o seu conteúdo: podem apostar apenas na hermeticidade, podem conter um material tampão activo como estabilizador da HR interna e podem ainda conter um gás de substituição [8]. Estas últimas têm como principal objectivo reduzir os efeitos de degradação provocados por acção do oxigénio [13]. Contudo, em tais atmosferas, alguns pigmentos podem sofrer alterações na cor e, portanto, não serão aqui consideradas [16]. As molduras microclimáticas sem material tampão, para além da hermeticidade, podem também tirar partido do possível comportamento higroscópico de alguns dos materiais constituintes da moldura (ex. madeira), bem como do próprio objecto artístico, como elementos estabilizadores dentro de um pequeno volume de ar [11, 17-19]. Esta opção também é defendida com o argumento de que, no caso de se verificar um período continuado de temperaturas elevadas, o material tampão pode interferir negativamente com o objecto, promovendo a sua desidratação [18]. Apesar de alguns testes mostrarem que as molduras sem material tampão têm um bom desempenho, especialmente no caso de conterem materiais higroscópicos [18-19], alguns autores alertam para o possível dano que possa resultar de se enclausurarem objectos compósitos [4], como é o caso das pinturas, onde os diferentes componentes higroscópicos existem em diferentes quantidades,

porque, como a humidade se move entre estes materiais, poderá acontecer uma transferência da humidade de um componente em menor quantidade para um em maior quantidade, causando danos no primeiro. Esses mesmos autores demonstraram que o uso de um material tampão, por ter a capacidade de libertar humidade, iria contrariar a tendência de dessecar do componente em menor quantidade [4].

O grande argumento a favor da introdução de um material tampão em molduras microclimáticas parece ser o facto de estes apresentarem uma maior capacidade de armazenar água e uma maior rapidez de resposta, sendo, portanto, os primeiros a reagir à introdução ou perda de humidade num sistema fechado, reduzindo assim a resposta do artefacto [6, 20]. Este tipo de controlo passivo de HR dentro das molduras é simples e parece ser um método com um bom custo/benefício para proteger os objectos artísticos [6].

Em suma, o uso de molduras microclimáticas pode trazer inúmeras vantagens para a protecção dos objectos artísticos, desde que estes sistemas de emolduramento sejam bem planeados e construídos com materiais cuidadosamente seleccionados [13].

Materiais utilizados para a construção de molduras microclimáticas

Os métodos para a construção de molduras microclimáticas podem variar nos detalhes, mas geralmente um vidro (ou material transparente) é encaixado no rebaixo da moldura, seguido da pintura e de uma placa de revestimento que é encaixada no verso da moldura [9]. Relativamente aos materiais que revestem a frente da pintura, os mais utilizados têm sido o vidro, a chapa acrílica e a chapa de policarbonato [13]. O vidro, apesar de existir de boa qualidade e de baixa reflexão, tem a desvantagem de ser quebrável e pesado. Por questões de segurança, o vidro laminado com tratamentos anti-reflexo é considerado uma alternativa [9]. As chapas acrílica e de policarbonato, quando não tratadas, apresentam uma elevada reflexão e susceptibilidade aos riscos [9]. Recentemente, foram desenvolvidas chapas acrílicas de elevada qualidade (Optium acrylic) que, de acordo com o fabricante, são leves, anti-reflexo, antiestáticas e anti-risco, mas são actualmente bastante dispendiosas.

Quanto aos materiais utilizados para a protecção do verso da moldura, o painel de fibra de madeira de alta densidade (HDF) temperado a óleo é um dos materiais mais utilizados. É relativamente resistente ao impacto, funciona como boa barreira para a humidade e é económico, mas apresenta a desvantagem de ser pesado, de distorcer em condições de elevada humidade e de não ser um material com qualidade de arquivo [9]. De forma a prevenir que os compostos voláteis acídicos do HDF entrem no espaço microclimático da moldura, é aconselhado cobrir a superfície interior com uma folha

de Melinex (filme de poliéster) [9]. Igualmente é sugerida na literatura a utilização de Marvelseal 360 (um filme-barreira composto por nylon e polietileno revestidos por alumínio) para cobrir a placa de revestimento posterior e, também, o interior da moldura de madeira. Outra opção para selar a madeira é a fita de alumínio. Outros materiais têm sido referidos na literatura, mas por serem muito mais dispendiosos não serão aqui abordados. Alguns autores defendem que a inspecção visual do verso da pintura é importante e, para tal, um material transparente pode ser utilizado [13].

Materiais para atenuar flutuações de humidade relativa

Como acima referido, os materiais tampão são muito sensíveis a alterações de HR, reagindo rapidamente, absorvendo ou libertando humidade [4, 6, 20].

A sílica-gel e o Art-Sorb são os materiais mais utilizados para atenuar flutuações de HR. Existem outros que não serão aqui abordados por serem menos adequados para os valores de HR pretendidos, visto não ser possível utilizá-los no verso de uma moldura ou serem mais difíceis de adquirir.

A sílica-gel foi recomendada a primeira vez para aplicações museológicas por Kenzo Toishi em 1959 [20]. Trata-se de um material inerte e não-tóxico, composto por dióxido de silício amorfo (SiO_2), geralmente em forma de pequenas esferas que contêm uma rede interna de poros microscópicos interconectados, originando uma área superficial de 700-800 m^2/g . As moléculas de água são adsorvidas e expelidas por estas microcapilaridades até ser atingido um equilíbrio de pressão de vapor com a HR da atmosfera envolvente [6].

Inicialmente utilizada na indústria como dessecante, quando utilizada em contexto museológico necessita ser condicionada de modo a funcionar como um material tampão. Condicionar a sílica gel implica a sua exposição a uma determinada humidade que permita a sua estabilização ao valor de HR pretendido.

Uma desvantagem atribuída à sílica-gel em contexto museológico é a necessidade de uma quantidade considerável de material. Garry Thomson determinou que, para que não seja necessário recondicionamento, são necessários 20 kg/m^3 de sílica-gel de densidade regular para atenuar as flutuações de HR durante um ano inteiro numa vitrina bem construída (com taxa de vazamento de ar de uma mudança de ar por dia) [21]. Desta forma, o microclima dentro da vitrina estaria protegido da baixa HR no Inverno (nos edifícios aquecidos) e elevada HR no Verão, criando assim uma vitrina autocorrectiva [6]. Não obstante, Thomson alerta que se a média anual de HR divergir significativamente do que é pretendido no interior do espaço microclimático, provavelmente será necessário um recondicionamento anual da sílica-gel [21].

Por esta razão, outras opções têm sido testadas e desenvolvidas com os objectivos de diminuir a quantidade

de material necessário e melhorar a rapidez de resposta perante flutuações de HR.

O Art-Sorb é vendido em vários formatos e parece ser a alternativa mais comum à sílica-gel. O formato em folha é o mais popular para as molduras, pois tem a vantagem de ser leve e fino, permitindo ser facilmente colocado no verso das molduras. Este material comercial é constituído por uma matriz de fibras de polietileno e polipropileno, com partículas de sílica-gel incorporadas, nos poros das quais se encontra embebida uma solução aquosa de cloreto de lítio [10, 22-23]. O cloreto de lítio tem uma pronunciada acção dessecante; contudo é um sal altamente corrosivo [21, 24]. Como o Art-Sorb não se encontra suficientemente estudado e existem indicações de que possa afectar negativamente as obras de arte, este material não foi considerado como opção para o caso do Moinho de Maré [23, 25].

Desenho experimental

Considerando as indicações acima mencionadas, foram então testados os dois modelos de molduras microclimáticas – com e sem material tampão – para o problema específico do Moinho de Maré de Corroios.

Assim, quatro molduras microclimáticas (duas réplicas) foram colocadas no Moinho de Maré, no mesmo espaço onde as três pinturas do EMS serão expostas. Todas foram executadas da mesma maneira, sendo que em duas foi introduzida sílica-gel condicionada. A quantidade mínima de sílica gel foi calculada segundo a recomendação de Thomson [21, p. 111 e p. 237] e, considerando o ambiente húmido e muito agressivo do moinho, foi utilizada a quantidade máxima possível. A sílica-gel foi preconditionada à HR pretendida, a 50 %.

Construção das molduras microclimáticas protótipo e instalação

Cada protótipo consistiu numa moldura de madeira com um vidro frontal e polipropileno alveolar como placa de protecção no verso. No interior, foi colocada uma pintura teste e um *data logger* (Figura 3) [26]. Dois espaçadores em rolha de cortiça com 2 cm de espessura foram pregados à parte inferior do verso da moldura de madeira, de forma a mantê-la afastada da parede e evitar possível condensação no verso (Figura 3) [27].

No sistema com material tampão, a sílica-gel foi colocada num saco de Reemay (poliéster não-tecido) desenhado para conter o máximo de sílica-gel e expor a maior área de superfície possível (Figura 3b). No centro deste saco foi deixado aberto um quadrado de 7 cm × 7 cm para acomodar o *data logger* (Figura 3b). A quantidade de sílica-gel introduzida na moldura (aproximadamente 400 g, massa seca) foi 3,51 vezes superior à quantidade mínima recomendada por Thomson [21].

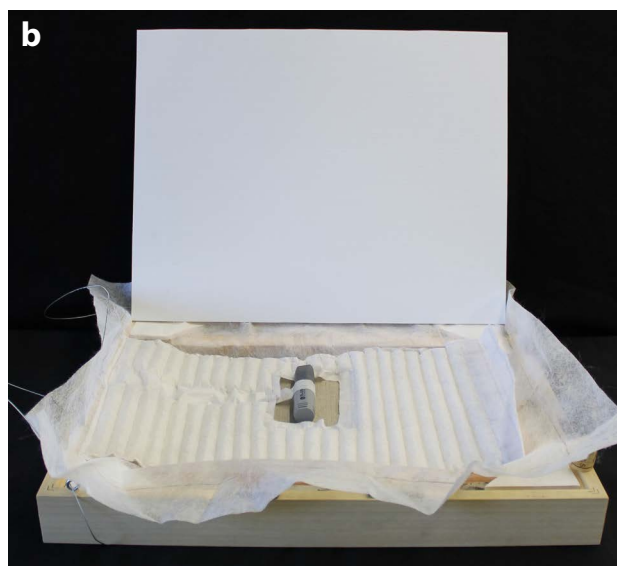
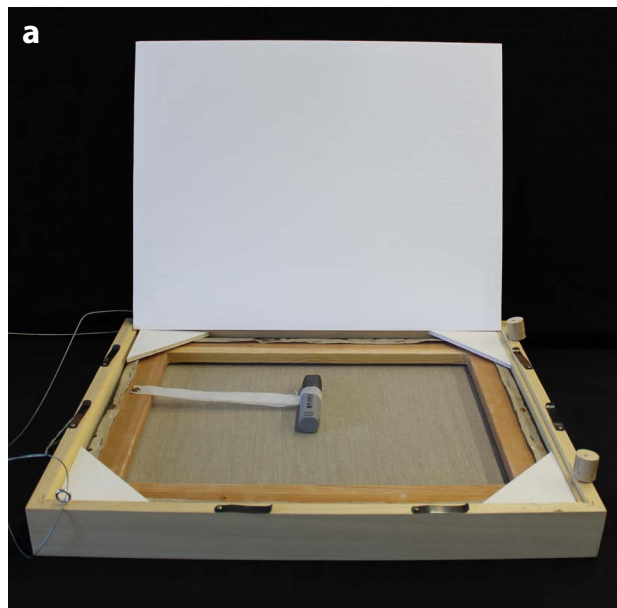


Figura 3. Interior das molduras microclimáticas protótipo, sendo visível o *data logger* no centro: a) moldura hermética sem material tampão; b) moldura com sílica gel dentro dos canais de um saco de Reemay.

Resultados e discussão

Os resultados da experiência realizada no Moinho de Maré com as molduras microclimáticas protótipo mostram que ambos os sistemas de emolduramento, com e sem sílica-gel, embora seguindo o ciclo de flutuações anual, atenuam eficazmente as severas flutuações diárias de HR que caracterizam o ambiente da sala de exposição do moinho.

Tal como previsto, e já reportado na literatura, a moldura microclimática fechada e sem qualquer material condicionador de HR atenua significativamente estas flutuações. Não obstante, uma maior capacidade de atenuar os picos das flutuações é conseguida com a presença de sílica-gel dentro da moldura (Figura 4). Além disso, este

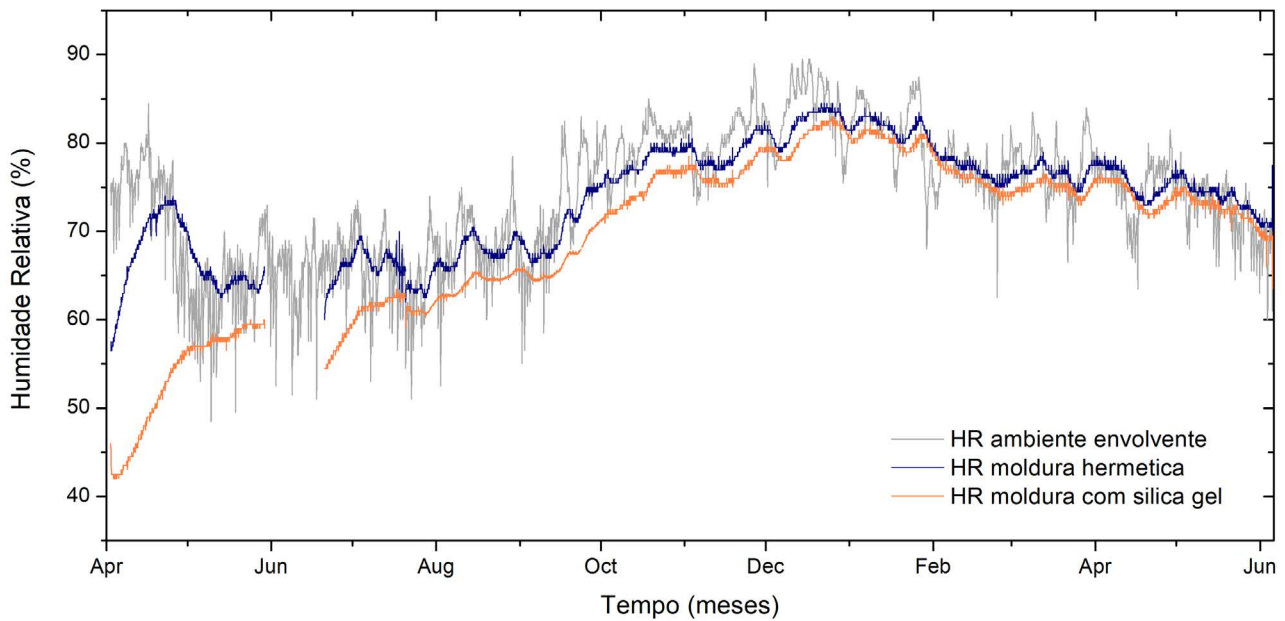


Figura 4. Gráfico dos valores de HR das molduras microclimáticas protótipo e da sala de exposições do Moinho. Leituras realizadas de 30 em 30 minutos com um *data logger* EL-USB-2 Lascar, entre 20 de Abril de 2015 e 23 de Junho de 2016. A ausência de dados de HR das duas molduras entre 16 de Junho de 2015 e 8 de Julho de 2015 deve-se ao facto de estas terem sido retiradas do moinho no âmbito de uma tese de mestrado [25].

sistema permite obter valores mais baixos de HR, tão importantes no caso do Moinho de Maré. Contudo, esta tendência vai diminuindo ao longo do tempo devido à saturação da sílica-gel. A baixa selagem das molduras protótipo e o facto de estas terem sido abertas com alguma frequência no ambiente húmido do moinho (para aceder à leitura dos *data logger*) levaram a uma perda de capacidade da sílica-gel. Isto é perceptível pela análise dos valores de HR das duas molduras, que se tornam cada vez mais semelhantes. A perda de eficiência da sílica-gel é referida por Thomson [21, p. 111], que alerta que, em ambientes onde a HR exterior é muito superior ao pretendido no espaço microclimático, a tendência é existir um aumento gradual dos valores de HR no interior da moldura. Face a esta situação, Thomson sugere uma troca ou acondicionamento anual da sílica-gel [21].

Proposta e construção da moldura microclimática

Sumário da construção da moldura

O estudo realizado no Moinho de Maré de Corroios, associado à interpretação da literatura, forneceu diretrizes importantes para o planeamento e construção de um modelo de moldura microclimática como pretendido. Nesta secção é sumariada a construção geral da moldura. Na secção seguinte encontra-se detalhada a construção passo-a-passo, incluindo ilustrações e notas explicativas.

Foi escolhida uma moldura simples e económica como estrutura base para o sistema microclimático (Tabela 1).

A moldura com uma espessura fina permitirá no futuro o encaixe numa outra, de estilo mais concordante com a pintura, que, por motivos de falta de orçamento do museu, não foi equacionada.

Não foi possível optar por vidro laminado ou um acrílico anti-reflexo de boa qualidade para proteger a frente da pintura devido ao seu elevado custo; assim, foi utilizado vidro anti-reflexo (Clear Colour UV 92). Por razões de segurança, para o tamanho de moldura em questão, a espessura do vidro foi de 2 mm. O verso da moldura foi fechado com uma chapa de acrílico transparente (94,4 cm × 77,9 cm × 0,4 cm de espessura), apoiada no rebaixo mais exterior da moldura (Figura 5). Foi preferido acrílico transparente para que o verso da pintura (que havia estado infestado com microrganismos) e um equipamento de leitura de HR permanecessem visíveis para inspeção periódica.

Um dos aspectos mais desafiantes do *design* da moldura consistiu em encontrar uma solução eficaz para suportar o volume adequado de sílica gel, no espaço disponível no

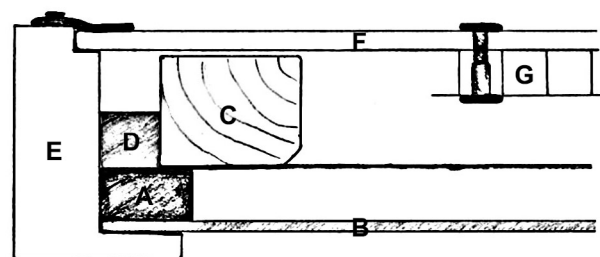


Figura 5. Esquema do perfil da moldura: A – espaçador; B – vidro; C – grade da pintura; D – calço; E – moldura; F – placa de protecção do verso; G – suporte da sílica-gel.

Tabela 1

Lista dos materiais utilizados na construção da moldura microclimática e respectivos fornecedores

Material	Fornecedor
Chapa acrílica	Dagol, Lisboa, Portugal http://www.dagol.com
Fita de selagem de molduras (<i>frame sealing tape</i>)	PEL, Preservation Equipment http://www.preservationequipment.com
Vidro anti-reflexo, Clear Colour UV 92, 2 mm	M&M – Moldura Minuto, Almada, Portugal http://www.molduraminuto.pt
Parafusos de rosca niquelados (<i>Chicago screws</i>), 1,5 cm de capacidade	Cartune, Lisboa, Portugal http://www.cartune.pt
Adesivo Colaplex Goold Plus	Dagol, Lisboa, Portugal http://www.dagol.com
Policarbonato alveolar	Dagol, Lisboa, Portugal http://www.dagol.com
Reemay	PEL, Preservation Equipment http://www.preservationequipment.com
Parafusos e placas de união em forma de “L”	Leroy Merlin, Almada, Portugal http://www.leroymerlin.pt
Silica-gel branca, grânulos de 2-5 mm	PEL, Preservation Equipment http://www.preservationequipment.com
Espuma de revestimento de rebaixo Volara (<i>foam rabbet tape</i>)	PEL, Preservation Equipment http://www.preservationequipment.com
Moldura de madeira	M&M – Moldura Minuto, Almada, Portugal http://www.molduraminuto.pt
<i>Data logger</i> EL-USB-2	Lascar Electronics http://www.lascarelectronics.com

verso da pintura, e, ao mesmo tempo, garantir que uma elevada área de superfície da sílica gel ficasse exposta. A opção seguida nas molduras microclimáticas protótipo, que consistiu em costurar a sílica gel dentro de canais criados num saco de Reemay, não se adequava a molduras de grandes dimensões, devido ao peso e à dificuldade de instalação. Inspirado num *design* anterior [28], utilizou-se uma chapa de policarbonato alveolar para formar um suporte para a sílica-gel (Figura 6). Foram necessárias duas chapas devido à existência de uma barra central na grade da pintura. Os canais com 1 cm × 1 cm de espessura das chapas de policarbonato foram orientados horizontalmente. Ao cortar selectivamente a superfície superior da chapa que cobria alguns canais, foram criadas secções alternadas de canais abertos e canais fechados (Figura 6a). A sílica-gel foi vertida para o interior dos canais abertos e segura por uma folha de Reemay aderida com adesivo à superfície dos canais fechados (Figura 6 b).

A quantidade mínima de sílica gel requerida para este sistema (460 g) foi determinada tendo por base a recomendação de Garry Thomson [21, p. 111 e p. 237]. Uma vez que os canais nas chapas de policarbonato podiam acomodar sílica-gel além do mínimo, considerando o ambiente com fortes flutuações de HR e tendencialmente húmido da sala de exposições do moinho, optou-se por incluir sílica-gel em quantidade consideravelmente

superior à mínima recomendada, num total de 1370 g. Determinou-se que o nível de hermeticidade da moldura deveria ser superior ao das molduras protótipo, de forma a evitar a introdução de humidade do exterior para o interior da moldura microclimática. Tal poderia ser obtido cobrindo o interior da moldura de madeira com um material impermeável e selando o verso da moldura.

De forma a evitar a acumulação de compostos orgânicos voláteis no espaço microclimático, libertados pela pintura ou pelos materiais de construção da moldura, foi deixado um intervalo de tempo superior ao mínimo recomendado entre a construção da moldura e o fecho da pintura no seu interior [13]. Da mesma maneira, foi também deixado um intervalo de tempo de 12 meses desde o final do restauro da pintura até esta ser emoldurada. A impermeabilização do interior da moldura de madeira com materiais-barreira com qualidade de arquivo foi também uma solução adicional.

Construção passo-a-passo da moldura

Preparação do espaçador da moldura e isolamento da madeira

a) Um espaçador de madeira de cor preta foi utilizado, de forma a evitar o contacto entre a pintura e o vidro.

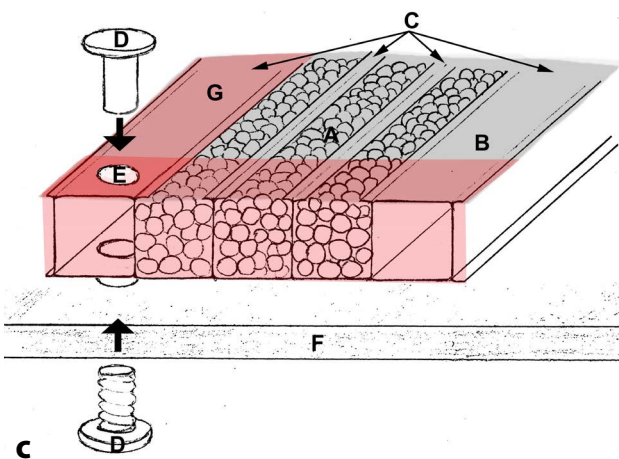
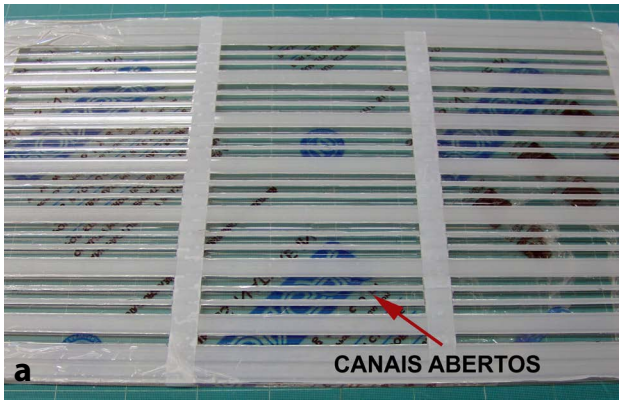


Figura 6. Suporte para a sílica-gel. *a)* Chapa de policarbonato alveolar depois de cortada a superfície superior dos canais seleccionados e antes da aplicação de Reemay. A superfície observada na figura corresponde à que ficará virada para o interior da moldura. *b)* Detalhe do verso do suporte da sílica-gel (superfície virada para o exterior da moldura, visível através da chapa acrílica) mostrando os canais de policarbonato enchidos com grânulos de sílica-gel. O Reemay, que se encontra colado no lado da frente, é visível através dos canais transparentes vazios. *c)* Esquema do suporte da sílica-gel: A – canais cortados, com sílica gel; B – canais vazios não cortados; C – superfície à qual o Reemay é aderido; D – parafuso de rosca; E – buraco feito no centro de um canal intacto do policarbonato para permitir a introdução do parafuso; F – placa acrílica de protecção do verso; G – fita de selagem de molduras.

Este espaçador foi coberto com fita de espuma Volara (Figura 7). De acordo com a descrição do produto, esta fita consiste numa espuma de polietileno de células abertas, inerte e *acid-free*, coberta com um adesivo acrílico estável. É fornecido como um material de qualidade de arquivo não abrasivo para forrar rebaixos de molduras (Tabela 1). Nota: o espaçador ficou assente sobre o vidro e foi seguro por pressão moderada obtida pelo ajuste ao interior da moldura.

b) De forma a isolar a madeira, uma fita de selagem de molduras (*frame sealing tape*), incorporando uma folha de alumínio e um adesivo acrílico (Tabela 1), foi colocada sobre a madeira do interior da moldura (Figura 7).

Preparação do suporte da sílica gel

a) Duas chapas de policarbonato alveolar com canais de 1 cm × 1 cm, orientados horizontalmente, foram cortadas à medida pelo fornecedor. Cada chapa tinha 33 cm de largura, 56 cm de comprimento e 1 cm de espessura.

b) A camada protectora de plástico que acompanhava as chapas de policarbonato alveolar na frente e no verso foi mantida durante toda a preparação para evitar a criação de riscos indesejados na superfície. A parte central da superfície superior dos canais seleccionados foi cortada com uma lâmina (*x-acto*) (Figura 6a). Para assegurar a estabilidade estrutural do suporte, os canais não foram cortados continuamente de um lado ao outro da chapa de policarbonato alveolar. Ao invés, foram mantidas tiras verticais de plástico não cortado nas margens esquerda e direita da chapa e no centro da mesma, obtendo-se três colunas de canais cortados, separadas por duas áreas verticais não cortadas (Figura 6a). De forma a fornecer uma superfície para o pano de Reemay aderir, foi deixado fechado um canal por cada três abertos (Figura 6a).

Nota: o policarbonato é um material muito resistente e difícil de cortar. A lâmina utilizada, guiada por uma régua, teve de ser nova e afiada e, geralmente, foi necessário passar duas a três vezes sobre a mesma linha de corte antes de esta conseguir trespassar o plástico.

c) Os suportes da sílica-gel foram fixados à placa de protecção do verso da moldura através de parafusos de rosca. Assim, foram perfurados buracos no suporte da sílica-gel e na chapa acrílica para permitir a passagem dos parafusos de rosca com 0,5 cm de diâmetro. Foram feitos três buracos ao longo da parte superior e inferior das chapas de policarbonato alveolar, tendo cada um deles sido perfurado no centro de um canal intacto (Figura 6c). Buracos correspondentes foram feitos na chapa acrílica. O registo da localização das chapas de policarbonato alveolar e dos buracos a serem perfurados foi facilitado por ser possível desenhar sobre o plástico protector que cobria a chapa acrílica. Este plástico protector foi removido durante a montagem.

d) Para aderir o pano de Reemay à superfície das chapas de policarbonato alveolar que conteriam a sílica-gel, optou-se por um adesivo plástico comercial (Colaplex Gould Plus) (Tabela 1), criado para aderir ao acrílico e ao



Figura 7. Canto interior da moldura mostrando o espaçador coberto com espuma Volara e as margens internas do interior da moldura cobertas com fita de selagem de molduras.

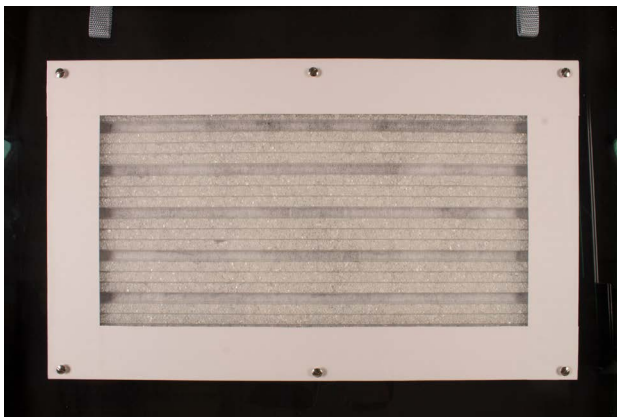


Figura 8. Detalhe do verso da moldura mostrando o suporte de sílica-gel preso à placa acrílica de protecção do verso.

policarbonato. De acordo com a literatura deste produto, é composto por polímero acrílico e diclorometano. O adesivo foi aplicado com um pincel sobre os canais não cortados (Figura 6c). Devido à sua rápida secagem, a aplicação do pano de Reemay foi feita gradualmente sobre a chapa de policarbonato alveolar e não de uma só vez.

Nota: foi importante não utilizar adesivo em excesso na superfície dos canais não cortados, uma vez que o excesso de adesivo poderia migrar, impregnando o pano de Reemay, além da área desejada, tornando-o impermeável.

e) Após a secagem do adesivo (de um dia para o outro) e o Reemay estar firmemente seguro à chapa de policarbonato alveolar, uma das extremidades de cada chapa foi selada utilizando a fita de selagem de molduras (Tabela 1). Na frente da chapa de policarbonato alveolar, a fita foi aplicada junto à margem não cortada directamente sobre o Reemay e, envolvendo as arestas do policarbonato, foi aderida à parte de trás. Com uma extremidade agora fechada, a sílica-gel pôde ser introduzida nos canais cortados através da outra extremidade da chapa de policarbonato alveolar.

f) A sílica-gel (Tabela 1) foi introduzida nos canais com recurso a um funil e uma colher. Quando todos os

canais cortados ficaram cheios, a extremidade aberta do policarbonato alveolar foi selada com a fita de selagem de molduras. A fita foi igualmente colocada à volta das restantes margens das duas chapas para produzir um acabamento uniforme (Figura 8).

Nota: nesta fase a fita de alumínio cobria os buracos previamente feitos para acomodar os parafusos de rosca (passo c). Antes de se fixarem as duas chapas (policarbonato alveolar e acrílico), estes buracos foram perfurados.

Preparação da placa de protecção do verso

a) Para facilitar a remoção da placa de protecção do verso quando necessário, duas pegas flexíveis foram anexadas à chapa acrílica utilizando parafusos de rosca (Figura 9). A construção das pegas é detalhada abaixo. Foram furados na chapa dois buracos para acomodar os parafusos, aproximadamente a 3 cm do topo e 44 cm afastados um do outro.

b) As chapas de policarbonato alveolar contendo sílica gel e cobertas com pano Reemay foram montadas na placa acrílica de protecção do verso, utilizando parafusos de rosca inseridos nos buracos previamente furados (Figura 9a).

c) As pegas metálicas foram criadas com uma fita cinzenta de nylon. Para cada uma das pegas, a fita foi dobrada em dois e as extremidades foram costuradas uma na outra. Aproximadamente a 1,5 cm acima da extremidade, outra linha foi costurada de forma a unir



Figura 9. Pegas flexíveis: a) detalhe mostrando uma das pegas fixa à chapa acrílica; b) ilhó metálico e costuras nas extremidades da tira de nylon.



Figura 10. Detalhe do interior da moldura mostrando os calços de madeira moldados para se adequarem ao perfil da pintura.



Figura 11. Placas de união em forma de "L", com espuma Volara.

as duas partes da tira para que um ilhó de metal pudesse ser colocado através da sua dupla espessura (Figura 9b). Um parafuso de rosca inserido através do ilhó segurou a pega à placa acrílica de protecção do verso, onde buracos correspondentes haviam sido feitos.

Preparação dos calços de madeira de balsa

a) Como a pintura não forma um rectângulo perfeito, e para evitar que esta se movesse dentro da moldura, foram criados calços a partir de tiras de madeira de balsa. Estes calços, com cerca de 1 cm de largura e 1,5 cm de espessura, foram conformados para se ajustarem perfeitamente ao perfil da pintura, sendo depois inseridos entre as margens de pregaria da pintura e o interior da moldura (Figura 10). Foi escolhida madeira de balsa pois permite acomodar eventuais alterações nas dimensões da grade de madeira da pintura, em caso de variações graduais da HR.

Selagem da moldura

a) Para segurar a placa acrílica de protecção do verso, foram aparafusadas no verso da moldura placas de união em forma de "L" (4 cm × 4 cm) (Figura 11), de modo a que o canto de cada L ficasse sobre a chapa de acrílico (Figura 12b). Foi utilizado um total de 14 placas de união: uma em cada canto da moldura, duas ao longo da margem superior e da inferior e três de cada lado.

b) De forma a evitar que o metal das placas de união riscasse a superfície da chapa acrílica, pequenos quadrados

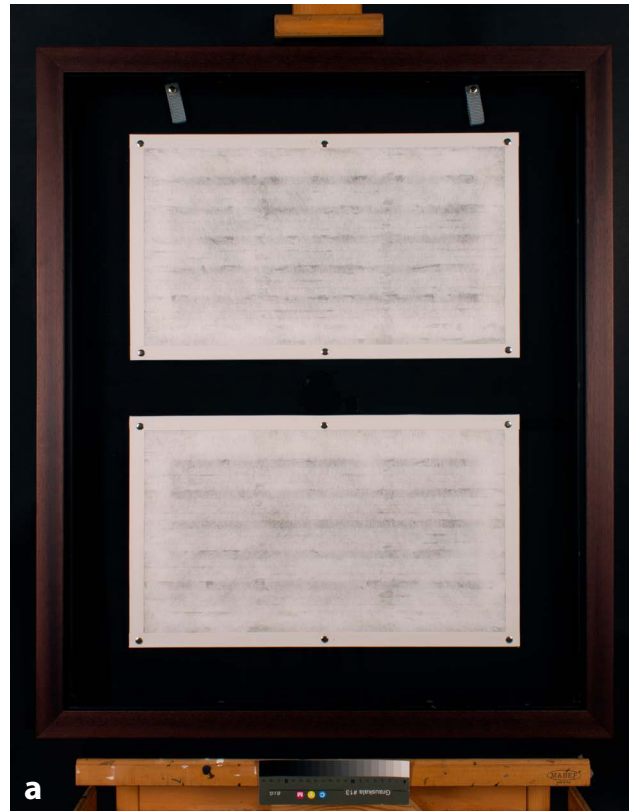


Figura 12. a) Frente da moldura mostrando o suporte da sílica-gel fixo à placa de protecção do verso, com a sílica-gel virada para o interior da moldura e segura por Reemay. As duas pegas fixas ao acrílico são visíveis no topo da placa de protecção do verso. b) Verso da moldura mostrando a placa acrílica de protecção do verso segura por placas de união em forma de "L" fixadas à madeira da moldura. A sílica-gel é visível através dos canais não cortados e vazios da chapa de policarbonato alveolar.



Figura 13. Fita de selagem de molduras cobrindo a abertura entre a placa de protecção do verso e a moldura.

de espuma Volara foram aderidos às placas de união, no futuro local de contacto com o acrílico (Figura 11).

c) As placas de união foram seguras à margem da moldura através de pequenos parafusos (3 mm de diâmetro por 16 mm de comprimento), introduzidos em buracos previamente furados na madeira. Furar previamente os buracos para os parafusos foi um passo importante para estabelecer a localização exacta dos buracos no centro da área de madeira disponível, e guiou os parafusos quando estes foram introduzidos na madeira. Isto evitou a possibilidade da madeira lascar ou rachar no caso de introdução dos parafusos sem buracos prévios.

d) Após a pintura ter sido inserida na moldura e esta se encontrar fechada com a placa de protecção do verso, o estreito intervalo entre a moldura e a placa foi selado com a fita de selagem de molduras (Figuras 13 e 14). Para se ter acesso à pintura, esta fita terá de ser cortada ao longo da abertura e reaplicada no momento em que a pintura volte a ser emoldurada.

Considerações finais

A experiência realizada no Moinho de Maré de Corroios, com as molduras microclimáticas protótipo, permitiu obter informações importantes, não só para a compreensão do ambiente no qual as pinturas serão expostas, como para a tomada de decisões relativas à construção de uma moldura microclimática, adequada a este caso específico e a outros que apresentem o mesmo tipo de problemas. A interpretação dos resultados da experiência *in situ* permitiu que se fizessem melhoramentos no *design* final da moldura proposta, entre os quais aumentar a hermeticidade do espaço microclimático e selar os materiais de construção. Espera-se, portanto, um melhor desempenho da moldura microclimática final, relativamente às molduras protótipo.

Não obstante, o desempenho da moldura microclimática vai ser monitorizado durante um ano completo, através de um *data logger* inserido no verso da moldura e de um *data logger* colocado no exterior,



Figura 14. Retrato de João Luiz Lourenço no interior da respectiva moldura microclimática: a) frente; b) verso.

que registrarão os valores de temperatura e HR em intervalos regulares. A condição da pintura será também monitorizada com avaliações visuais regulares que serão registadas com fotografia digital. A evidência visual será correlacionada com os registos do *data logger* do interior da moldura.

Através da experiência com molduras protótipo, verificou-se que a utilização da moldura microclimática com sílica-gel permite baixar significativamente o valor médio diário de HR ao qual a pintura estará exposta, bem como atenuar as flutuações de HR ao longo do ano, quando comparativamente com os valores de HR do ambiente envolvente. Espera-se que estas condições de HR sejam alvo de uma melhoria ainda mais significativa, considerando o incremento de hermeticidade no *design* final da moldura. Ainda assim, a monitorização da condição da pintura é de extrema relevância, visto o já mencionado risco de desenvolvimento de microrganismos devido à manutenção de um valor médio de HR elevado.


O efeito dos compostos voláteis nas pinturas carece ainda de um estudo aprofundado, nomeadamente para definição de valores limite, actualmente inexistentes. O *design* da moldura aqui proposta e o enclausuramento da pintura num espaço microclimático foram planeados cuidadosamente de forma a reduzir a libertação de poluentes dos materiais de construção, designadamente através do recurso a um maior intervalo de tempo entre a construção da moldura e a introdução da pintura na moldura, e da selagem dos materiais de construção.

Agradecimentos


As autoras agradecem ao Ecomuseu Municipal do Seixal a oportunidade de realizar este estudo, nomeadamente à Dr.^a Ana Duarte e a José Meias pela grande disponibilidade e ajuda ao longo de todo o projecto. As autoras agradecem também a Stefan Michalski por ter apresentado o conceito de Garry Thomson de utilizar sílica-gel como um sistema passivo de redução das flutuações diárias e anuais de HR, no início de 1980, durante discussões com uma das autoras, a propósito do *design* de uma moldura microclimática para uma pintura sobre tela [28]. Este artigo foi escrito com o apoio das bolsas de doutoramento ref.^a PD/BD/135054/2017 (Sara Sá) e ref.^a PD/BD/135058/2017 (Raquel Marques) da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT-MEC) e com o apoio do Laboratório Associado para a Química Verde – Tecnologias e Processos Limpos (LAQV) financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (UID/QUI/50006/2013) e co-financiado pelo FEDER, no âmbito do Acordo de Parceria PT2020 (POCI-01-0145-FEDER-007265).

ORCID


Sara Sá

 <https://orcid.org/0000-0002-4822-4252>


Isabel Pombo Cardoso

 <https://orcid.org/0000-0003-3328-6749>

Leslie Carlyle

 <https://orcid.org/0000-0001-9480-4613>

Raquel Marques

 <https://orcid.org/0000-0002-6498-6468>

Referências

- 1 Van Duin, P., 'Climate effects on museum objects: the need for monitoring and analysis', *Conservation Perspectives, The GCI Newsletter* 29(2) (2014) 13-15, http://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/29_2/climate_effects.html. (acesso em 2018-2-10).
- 2 Michalski, S., 'Relative humidity: a discussion of correct/incorrect values', in *Historical Perspectives on Preventive Conservation*, ed. S. Staniforth, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (2013) 165-168.
- 3 Mecklenburg, M., 'Microclimates and moisture induced damage to paintings', in *Museum Microclimates*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, National Museum of Denmark, Denmark (2007) 19-25.
- 4 Toishi, K.; Gotoh, T., 'A note on the movement of moisture between the components in a sealed package', *Studies in Conservation* 39 (1994) 265-271, <https://doi.org/10.1179/sic.1994.39.4.265>.
- 5 Mecklenburg, M. F.; McCormick-Goodhart, M.; Tumosa, C. S., 'Investigation into the deterioration of paintings and photographs using computerized modeling of stress development', *Journal of American Institute for Conservation* 33(2) (1994) 153-170, <https://doi.org/10.1179/019713694806124739>.
- 6 Weintraub, S., 'Demystifying silica gel', in *Object Specialty Group Postprints*, vol. 9, ed. V. Greene & P. Griffin, The American Institute for Conservation of Historic & Artistic Works, Washington (2002) 169-194.
- 7 Richard, M., 'The benefits and disadvantages of adding silica gel to microclimate packages for panel paintings', in *Museum Microclimates – Contributions to the Copenhagen Conference, 19-23 November 2007*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, The National Museum of Denmark, Copenhagen (2007) 237-243.
- 8 Wadum, J., 'Microclimate Boxes for Panel Paintings', in *The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, 24-28 April 1995*, ed. K. Dardes & A. Rothe, Getty Conservation Institute, Los Angeles (1998) 497-524.
- 9 Hackney, S., 'Framing for conservation at the Tate Gallery', *The Conservator* 14 (1990) 44-52, <https://doi.org/10.1080/01410096.1990.9995056>.
- 10 Glaznev I.; Alekseev, V.; Salnikova, I.; Gordeeva, L.; Shilova, I.; Elepov, B.; Aristov, Y., 'ARTIC-1: A new humidity buffer for showcases', *Studies in Conservation* 54 (2009) 1-16, <https://doi.org/10.1179/sic.2009.54.3.1>.
- 11 Camuffo, D.; Sturaro, G.; Valentino A., 'Showcases: A really effective means of protecting artworks?', *Thermochimica Acta* 365 (2000) 65-77, [https://doi.org/10.1016/S0040-6031\(00\)00614-6](https://doi.org/10.1016/S0040-6031(00)00614-6).
- 12 López-Aparicio, S.; Grontoft, T.; Odlyha, M.; Dahlin, E.; Mottner, P.; Thickett, D.; Ryhl-Svensden, M.; Schmidbauer, N.; Scharff, M., 'Measurement of organic and inorganic pollutants in microclimate frames for paintings', *e-Preservation Science* 7 (2010) 59-70.
- 13 Dahlin, E. (ed.), *PROPAIN – Improved Protection of Paintings During Exhibition, Storage and Transit. Final Activity Report*, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller (2010).
- 14 Michalski, S., 'Risk analysis of backing boards for paintings: damp climates vs cold climates', in *Minimo Intervento Conservativo nel Restauro dei Dipinti*, II Prato, Padua, (2005) 21-27.
- 15 Toledo, F.; Sehn, M.; Sousa Júnior, M.; Brazolin, S.; Hackney, S., 'The use of glass boxes to protect modern paintings in warm humid museums', in *Museum Microclimates – Contributions to the Copenhagen Conference, 19-23 November 2007*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, The National Museum of Denmark, Copenhagen (2007) 261-266.

- 16 Townsend, J. H.; Thomas, J.; Hackney, S.; Lerwill, A., 'The benefits and risks of anoxic display for colorants', in *Conservation and Access: Contributions to the London Congress 15-19 September 2008*, eds. D. Saunders, J. H. Townsend & S. Woodcock, International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works, London (2008) 76-81, <https://doi.org/10.1179/sic.2008.53.Supplement-1.76>.
- 17 Hackney, S., 'The evolution of a conservation framing policy at Tate', in *Museum Microclimates – Contributions to the Copenhagen Conference, 19-23 November 2007*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, , The National Museum of Denmark, Copenhagen (2007) 229-235.
- 18 Sozzani, L., 'An economical design for a microclimate vitrine for paintings using the picture frame as the primary housing', *Journal for the American Institute for Conservation* **36**(2) (1997) 95-107, <https://doi.org/10.1179/019713697806373163>.
- 19 Thomson, G., 'Relative humidity – Variation with temperature in a case containing wood', *Studies in Conservation* **9** (1964) 153-169, <https://doi.org/10.1179/sic.1964.025>.
- 20 Toishi, K., 'Humidity control in a closed package', *Studies in Conservation* **4** (1959) 81-87, <https://doi.org/10.1179/sic.1959.018>.
- 21 Thomson, G., *The Museum Environment*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford (1986), <https://doi.org/10.1016/c2013-0-01226-1>.
- 22 Melin, C. B., 'A presentation of a new experimental test method for humidity buffers – a comparison of two silica gels, Artsorb and Prosorb', in *Museum Microclimates – Abstracts of Posters at the Copenhagen Conference, 19-23 November 2007*, eds. T. Padfield & K. Borchersen, , The National Museum of Denmark, Copenhagen (2007) 9-11.
- 23 Waller, C. 'Art sorb', in *Long Life for Art*, <http://www.cwaller.de/english.htm> (acesso em 2015-6-3).
- 24 Lide, D. R. (ed.), *Handbook of Chemistry and Physics*, 84th ed., CRC Press LLC, Florida (2003).
- 25 Sá, S., 'Analysis and treatment of a nineteenth century portrait, study of Artsorb® and a proposal for a microclimate frame', tese de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, Lisboa (2015), <http://hdl.handle.net/10362/16442>.
- 26 Reis, D., 'The materials, technique, conservation treatment and after-care of Interior de um Convento', tese de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade Nova de Lisboa, Lisboa (2011), <http://hdl.handle.net/10362/6670>.
- 27 Padfield, T.; Berg, H.; Dahlstrøm N.; Rischel, A., 'How to protect glazed pictures from climate insult', in *ICOM Committee for Conservation, 13th Triennial Meeting, Rio de Janeiro, 22-27 September 2002: Preprints*, ed. R. Vontobel, vol. 1, James & James (Science Publishers) Ltd., London (2002) 80-85.
- 28 Leslie, C., 'The adaptation of a commercial aluminum channel frame to provide a humidity controlled enclosure for a painting', poster, *International Institute for Conservation, Canadian Group 12th Annual Conference*, Winnipeg (1986).

Recebido: 2017-11-22

Revisto: 2018-1-31

Aceite: 2018-2-26

Online: 2018-3-16



Licenciado sob uma Licença Creative Commons

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.

Para ver uma cópia desta licença, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>

Towards the incorporation of a raised walkway at the Royal Alcázar of Seville: status and execution of the works

Alberto Atanasio Guisado 

Juan Francisco Molina Rozalem* 

Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, HUM 799 – Estrategias de Conocimiento Patrimonial, Universidad de Sevilla, E. T. S. de Arquitectura, Avda. Reina Mercedes, s/n, 41012-Sevilla, Spain
*jfmolina@us.es

Abstract

The Milanese architect Vermondo Resta arrived in Seville in the 16th century and soon became the master builder for the Alcázar, in charge of all the construction works undertaken in this royal palace dating from the Middle Ages. One of the challenges he addressed was the transformation of a fragment of the 12th century wall, which had lost its defensive function, into a double-storey gallery with views over the palace gardens. It was called the *Galería del Grutesco*, or Grotto Gallery. At the beginning of the 21st century arose the opportunity to restore this space to the design that Resta had conceived four centuries earlier. This article discusses the need to undertake this restoration and describes the technical solution that was proposed and recently executed.

Keywords

Royal Alcázar of Seville
Architectural intervention
Grotto gallery
Cultural Heritage

Estudo da incorporação de um passeio elevado no Real Alcázar de Sevilha: estado e execução do projecto

Resumo

O arquitecto milanês Vermondo Resta chegou a Sevilha no século XVI e rapidamente se tornou o mestre do Alcázar, sendo o responsável por todas as obras de construção realizadas neste palácio Real datado da Idade Média. Um dos desafios que ele enfrentou foi a transformação de um troço do muro do século XII, anteriormente com função defensiva, numa galeria de dois andares, a *Galería del Grutesco* ou Galeria Grotto, com vista sobre os jardins do palácio. Já no início do século XXI, surgiu a oportunidade de restaurar este espaço, considerando o desenho que Resta havia concebido quatro séculos antes. Este artigo discute a necessidade de realizar este restauro e descreve a solução técnica que foi proposta e recentemente executada.

Palavras-chave

Real Alcázar de Sevilha
Intervenção arquitectónica
Galeria Grotto
Património Cultural

ISSN 2182-9942



Introduction

According to the findings of the archaeological investigations conducted in the last two decades, the origins of the Royal Alcázar of Seville date back to the Taifa period, namely in the 11th century [1, p. 166]. Since then, the relationship between the established power and the fortress has continued uninterrupted, to the extent where Spain's royal family still use the top floor of the main palace, known as the Mudéjar Palace or Palace of Peter I.

The Almohad conquest in the mid-12th century ushered in a period of major urban expansion and architectural transformation that affected both the city and the Alcázar itself. In the 13th century, Seville was reclaimed by the Christians and during the course of the next four hundred years, until the 17th century,

the palatial complex was adapted and renovated in the prevailing taste and style of each period. In particular, the Alcázar bears the special marks of its relationship with monarchs such as Alfonso X, Peter I, the Catholic Monarchs, Charles V, Philip II and Philip III, even though the latter king never actually visited the city.

After two hundred years of decay and generally unfortunate transformations, the second half of the 19th century assisted to a slow but gradual renewed interest in recovering the architecture of the complex. This process culminated in 1987 with the inclusion of the Royal Alcázar of Seville on the UNESCO World Heritage List, along with the city's Cathedral and Archive of the Indies. Prior to that, in 1931, it had been declared a Property of Cultural Interest, the maximum category for protected Heritage in Spain.



Figure 1. Plan showing the sections mentioned in the text (montage on Google Earth image).

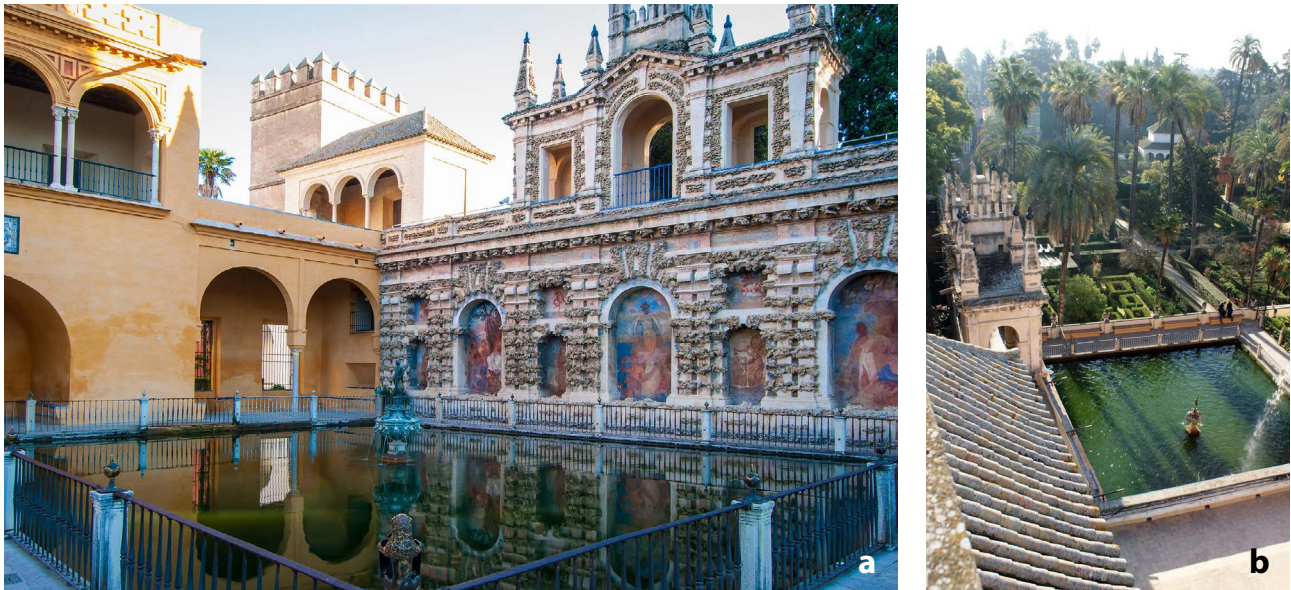


Figure 2. In the centre of the image (a), the three arches of the roofed section of the Marchena Gate, the space that articulates the entire raised itinerary. Also in (a), the Mercury Pond and the first section of the Grotto Gallery forming its east façade; and in the background, the Water Tower. (b) The reverse of the previous one and taken from the Water Tower roof, the Mercury Pond in the centre and the Pavilion of Charles V (*Cenador de Carlos V*).

At the administrative level, in 1993 the Board of Trustees of the Royal Alcázar of Seville was created to oversee the management and conservation of the complex. Although the Board reports to the city council, it has its own funds, which is largely thanks to the revenue from the tourists who visit the site – more than 1.5 million euros in 2015, according to the latest figures.

With regard to planning, although the Royal Alcázar Special Protection Plan (SPP) was drawn up in 2009, to date the document has only been provisionally approved. Volume II of the SPP contains an 11-year schedule of works, broken down into 12 intervention proposals. The fourth proposal is entitled “Opening up of the parapet walk along the walls and roof of the Gothic Palace” and, in addition to other areas, mentions the flat roof of the Gothic Palace and the wall section that runs north from the Water Tower. The stated aim is

to promote the merits of the military architecture for public enjoyment by including this parapet walk in the tourist itinerary, for which purpose it will be necessary to guarantee the safety of visitors using elements that do not distort the monument [2].

However, the proposal does not include the open walkway of the Grotto Gallery, south of the Water Tower, which, as shown in Figure 1, perfectly complements the first two itineraries proposed.

Objective: a new perspective

Neither does the SPP make any mention of what for us is the main objective, over and above promoting the merits of the military architecture, i.e., to include an

itinerary that offers visitors a new raised perspective and helps them to contextualise the fortress in the city and gain a more meaningful insight into the sequence of interventions that have been undertaken in the complex throughout its existence.

This article describes the planning and renovation works carried out to date in order to open up this new raised itinerary. The floor height of each and every part of this new walkway, with their specific characteristics and circumstances, is situated less than nine metres above the height of the usual tourist itinerary through the Royal Alcázar of Seville. However, for the moment, access to these areas is still restricted.

Scope of intervention

Description of the new itinerary

The space that articulates the entire proposed raised itinerary is the roofed section of the Marchena Gate (*Puerta de Marchena*). This leads north to the outer walls, west to the roof of the Gothic Palace, and south to the open walkway of the Grotto Gallery. With its trapezoidal plan and hip roof, this space also accommodates the stairs leading from ground level to the roof (Figure 2).

From here one can proceed north up a flight of steps ending at the Water Tower. The north face of the two-storey rectangular tower receives the palace wall, while the east face adjoins the city wall that served as the conduit for conveying water from the Caños de Carmona aqueduct.

This tower provides access to the parapet walk of the aforementioned north wall of the Alcázar, which separates

the *outside* (*Calle Judería*) from the interior of the Alcázar (gardens of the Cistern [*Alcubilla*] and the Water Spout [*Chorrón*]), presenting crenels and merlons to the outside and a low stone parapet to the palace grounds. There is an intermediate rectangular tower, with a single storey and merlons around the roof.

The west exit from the roofed section of the Marchena Gate leads to the flat roofs of the Gothic Palace.

Lastly, the south exit from the flat roof adjoining the Marchena Gate provides access to the open walkway of the Grotto Gallery. Approximately 145 metres long, this separates the Renaissance and Baroque gardens (Gardens of the Pond [*Estanque*], of the Ladies [*Damas*] and of the Bedroom [*Alcoba*]) from the gardens created at the beginning of the 20th century (Gardens of the Marquis of Vega-Inclán and Gardens of the Poets). The third and final tower, nowadays without its crest, accommodates the steps leading down to the lower level and the Garden of the Bedroom.

Sectorisation

The proposed new itinerary is divided into three sectors, based exclusively on the progress in the works carried out to date and those that have yet to be undertaken:

- Sector 1 corresponds to the roofed section of the Marchena Gate, the adjacent flat roof and the Grotto Gallery. For this part, the technical design document has been drawn up and the works have been executed.
- Sector 2 comprises the small stretch of gallery linking the Marchena Gate to the Water Tower, the Water Tower itself, the parapet walk leading to the Sun Room (*Cuarto del Sol*), including the intermediate tower and the North Portico overlooking the Mercury Pond. The technical design document has been drawn up and it has been approved by the Culture Committee so works can now commence.
- Sector 3, for which neither documents nor works have yet been undertaken, would include all of the Gothic Palace roofs.

Intervention criteria I: historical background

Although the aim is to create a single, continuous itinerary, the origins and circumstances of the different areas are so varied that they each merit their own description.

Sector 1: Grotto Gallery

In 1598 Philip II passed away and was succeeded as King of Spain by his son, Philip III. Although it never actually happened, the journey that the new monarch was meant to make to the city of Seville gave rise to

the complete renovation of the Alcázar. The person chosen to undertake this renovation was Vermondo Resta, a Milanese architect who arrived in Seville in the latter decades of the 16th century. In 1585, Restahe was appointed master builder of the Archbishopric of Seville and, in 1603, he replaced Lorenzo de Oviedo as the official master builder of the Alcázar [3, pp. 15-25].

The gardens of the Alcázar are the place where the transformation to Resta's Mannerist style is the most evident and interesting, particularly noticeable in the design of the Garden of the Ladies and its new east façade, the Grotto Gallery. The Milanese architect turned the Almohad wall into a two-storey walkway from which to admire and enjoy the gardens. In other words, he converted the original defensive structure into a recreational space. Initially, this wall would have been part of Enclosure IV, which together with Enclosure V formed the fortifications around the Alcázar during the days of the Abbadid and early Almohad dynasties. It was therefore built between the end of the 12th century and the beginning of the 13th century, executed in adobe with the layout of a barbican [2, p. 120].

The works commenced in 1612, with Juan de Mendoza as the mason, although the gallery extension beyond the section serving as the façade for the Mercury Pond was probably started in 1613. Resta created the lower roofed walkway by means of multiple semi-circular arches supported by recycled Islamic columns. The upper walkway, open to the skies, is protected by a parapet that also serves as a crest for the entire gallery, tracing a continuous line along the passageway.

Along the top of this wall is a roofed passageway, formed by jasper columns and others made out of marble, and above that is another passageway, this time open and flanked by parapets; from both it is possible to view and enjoy not only a great deal of the city but also the outlying fields, and these gardens [4, p. 57].

However, the most distinctive feature of the Grotto Gallery is the ornamentation on every panel of the west façade using *opus rusticum*, porous marine stones embedded in the walls to create natural effects like grottoes or caverns. In the case of the opposite side of the wall, overlooking what would have still been fields at the time, Resta left it smooth, without any ornamentation whatsoever. The gallery culminates in a recess at the Garden of the Bedroom, generating a much wider lookout than the rest of the walkway with a similar façade arrangement (Figure 3).

Sector 2: walls and towers of enclosure II and north portico over the mercury pond

In the 11th century the Alcázar's original enclosure, identified with the present-day Patio de Banderas, was extended by doubling the area to the south and east of the original fortress. This defined a new area (Enclosure II) stretching from the south wall of the old fortification,



Figure 3. Lithograph by Benoist entitled “Seville vue prise de la terrasse de l’Alcazar d’apres nature, par Chapuy”, mid-19th century.

now lost, to the Gardens of Mercury and the Gardens of the Dance (*Jardines de la Danza*). Nowadays, this space is extremely difficult to define because of the numerous interventions that the original layout has undergone. For example, at the beginning of the 20th century King Alfonso XIII and Queen Victoria Eugenie commissioned the construction of what became Spain’s first tennis court. Then, in the 1970s, the architectural conservator Rafael Manzano completely remodelled the entire flank from the Sun Room to the China Pavilion (*Pabellón de la China*).

With regard to the walls of Enclosure II, only the west and east ones are still standing. The intervention to adapt the itineraries affects the parapet walk of the east wall separating the Alcázar from Calle Judería outside. This wall includes the crenelated, square-plan Water Tower, also known as the Linking Tower (*Torre del Enlace*), which takes its name from the works commissioned by Abu Yaqub Yusuf in 1172 to bring water from Alcalá de Guadaíra via the Caños de Carmona aqueduct [5, pp. 195-198]. The final destination was a large water tank in the gardens of the Alcázar, nowadays known as the Mercury Pond.

The tower contains two stages: a solid lower one connecting the external wall of the Alcázar to the city wall that surrounded the Santa Cruz quarter, hence its secondary name as the Linking Tower; and an upper stage comprising two superimposed floors, both covered by domical vaults and connected by a flight of steps leading to the terrace. In the 18th century the lower space housed

a small chapel where the remains of frescoes are still visible on the south wall (Figure 4).

Meanwhile, the north face of the North Portico presides over the Mercury Pond. Organised around semi-circular arches on marble columns, it was built by Vermondo Resta between 1612 and 1613 to replace an earlier portico that had collapsed. The Milanese architect designed a loggia composed of three semi-circular arches on marble columns crowned by Moorish capitals, probably recycled from the Mudejar Palace or one of the earlier Almohad palaces.

Sector 3: Gothic palace

The original design of the Palace of the Crossing (*Palacio del Crucero*), subsequently renamed as Gothic Palace, dates from the Almohad period and is organised around a single, symmetrical courtyard along an east-west axis and a two-storey walkway with a difference in height of approximately five metres. At the south end there are four rooms: two parallel ones serving as the façade, and two smaller ones set at right angles to the former. In the 13th century, Alfonso X transformed the entire complex into the prevailing Gothic style and in the late 16th century, during the reign of Philip II, the severe medieval appearance of the Palace of Alfonso X was remodelled again [6, p. 271]. This renovation programme consisted in a series of interventions, including the construction of the upper walkway, on top of the buttresses, connecting



Figure 4. a) The Water Tower with the Marchena Gate adjoining its south flank; in the background, the intermediate tower with its ochre rendering. b) The fresco remains inside the tower.

the Mudejar Palace – the later royal residence – to the North Portico (the one preceding Vermondo Resta’s) of the Mercury Pond. Following earthquake damage in 1755, the Flemish engineer Sebastián Van der Borcht decided to sink the lower walkway around the Garden of the Crossing (*Jardin del Crucero*), which gave rise to the crypt-like appearance of the Baths of María Padilla that we see today. He also remodelled the main north nave of the Gothic Palace, crowning it with a lantern similar to the ones he had designed for Seville’s Royal Tobacco Factory.

Intervention criteria II: project background

The substantial degradation of the floor and roof structures of the Grotto Gallery was what led the Royal Alcázar Board of Trustees to commission the first emergency architectural project. Initially, the aim was to provide a new structural solution to avoid the corrosion of the metal girders. In other words, the idea was to repair the roofed gallery and maintain the restricted access to the open walkway. However, during the course of the project, it was discovered that Vermondo Resta had originally intended to build a two-storey walkway, and that is what led us to examine the feasibility of recovering that open walkway for visitors. This, coupled with the requirement to create access to the upper level via the Marchena Gate, tied in with the idea expressed in the fourth proposal of the SPP, namely to extend this itinerary along the parapet walks to the north and the roofs of the Gothic Palace to the west. Consequently, the commitment undertaken by the Royal Alcázar Board of Trustees to carry out the gradual incorporation of the raised itinerary got off to an unexpected start. It began with the recovery of the open

section of the Grotto Gallery, not included in the original proposal of the SPP, and it was implemented as a result of a series of emergency works due to structural problems in the floor and roof.

Sector 1: Grotto Gallery

The original structure of the Gallery was made of wooden beams. However, at the beginning of the 20th century, it had been replaced by metal beams. At present, there was no trace of the ligneous structure, and the metal profiles showed a high degree of oxidation, with the result that half of the roofed gallery had to be closed due to falling debris. In the section still open to the public, the ceiling and walls presented very obvious patches of damp. Meanwhile, the restricted flat roof – the open walkway designed by Vermondo Resta –, which had been closed to the public at some unknown point during the 20th century, served as a *vast conduit*, conveying numerous installations (electrical, water, etc.) along the interior face of the parapets. The possibility of recovering this upper itinerary for visitors had not been advanced by the new paving laid in the late 20th century [7, pp. 38-39], which had made the height of the parapets too low, nor by the forced mouth of the gargoyles to drain rainwater, which left highly visible remains of accumulated dirt and large patches of damp in its trail (Figure 5).

Sector 2: walls and towers of enclosure II and north portico over the mercury pond

The condition of the various areas in sector 2 is more or less acceptable, and most of the renovation works that need to be carried out stem precisely from the desire to open up to the public a series of roof spaces to which access has always been restricted due to their function as

a conduit for the installations from all the other sections of the palace. This implies removing or concealing the cables, installing normal and emergency lighting, erecting safety protective barriers to avoid falls, and cleaning and repairing the cladding materials and finishes.

On a descending scale, the best preserved areas are probably the North Portico overlooking the Mercury Pond and the interior of the Water Tower, whose walls

were repaired in 1991 [8, p. 70]. In contrast, the most dilapidated area is the intermediate tower, where several wooden beams in the roof structure show signs of rot and the steps are in a state of great disrepair. At a great distance, somewhat neglected but better preserved than the tower, both sections of the parapet walk reveal abundant dirt due to the presence of damp on the floor tiles, merlons and ceramic gargoyles.



Figure 5. a) General view of the open walkway with the installations running along the inside of the parapets and the accumulated dirt along the edges. b) Forced mouth of one of the gargoyles. c) State of the roof structure in the closed area. d) Patches of damp in the area open to the public. e) Oxidation of metal beams. f) Wall anchors.

Conservation and restoration works also need to be carried out on the historical and artistic features found in this itinerary: column shafts and capitals of the North Portico and the rear side of the Marchena Gate, wooden roof over the North Portico (restored in 1999 but in need of maintenance) [9], and the fresco in the lower chamber of the Water Tower, which requires complete renovation.

Sector 3: Gothic palace

Although the technical design project has yet to be drawn up, it would appear that the roofs of the Gothic Palace do not require any major repair. However, it will be necessary to erect safety barriers to prevent falls, install lighting in every area, and, above all, remove the enormous quantity of cables along the inner face of the parapets.

Results

Projects

As described elsewhere [10-11], the intervention criterion in both projects is minimal intervention, limited to cleaning and repairing the cladding materials and finishes, where required (floor tiles, rendering, etc.), and installing the necessary lighting and safety systems to prevent falls. In short, to repair the itineraries without altering their features, based on recognition of the fact that each area is completely different from all the other areas. The idea is also to provide continuity to the itinerary by using the same solutions throughout; in other words, the same type of lights and the same type of vertical rails, handrails and metal plates wherever they are required. Unifying the different types of materials creates the impression that the raised walkway constitutes a single passageway, even though the elements are very diverse.

The only exception to this criterion of minimal intervention was the replacement of the roof structure of the Grotto Gallery, which cannot be avoided. Three options were presented: to execute a new wood structure, to replicate the existing solution of metal beams, or to create a new structural floor. Given the absolute lack of information about the original slab, it was not considered appropriate to simulate a construction system in wood, which details were unknown. Regarding the use of metal profiles, experience had shown the catastrophic effects of oxidation, and the very ornamental shape of the wall, with its rustic stone inserts, hindered the definitive disappearance of moisture. The option remained was to design an alternative structural system. The somewhat unconventional structural solution of the composite roof deck was chosen as the best system for resolving the preliminary conditions:

- durability – the roof deck profile is made of galvanised steel, which offers greater protection from damp;

- speed and ease of assembly – compared with a slab of reinforced concrete, the narrow span of the gallery permitted the use of a mixed structural roof without the need for props;
- relatively thin – made it easier to reposition the structural roof at the optimal height for the gargoyles to fulfil their original function properly; recovering the open walkway also meant that we had to remove all the installations lining the Grotto Gallery parapets, and the thinness of the new structural roof permitted the use of a false ceiling to conceal all the cables without reducing the ceiling height of the lower walkway.

Intervention in the Grotto Gallery

Records show that the earthquake of 1755, known as the Lisbon Earthquake, caused serious damage to the city of Seville, as well as to the Alcázar and the Grotto Gallery. Baena Sánchez refers to two reports describing the damage, which led the master builders to consider the possibility of demolishing the gallery completely and then rebuilding it. In the event, reinforcement works were chosen due to lack of funds, although they did not commence until 1759. The most significant from the structural point of view, in addition to the renovation of the wooden beams, was the insertion of iron tie beams at certain intervals to stiffen the walls [12, pp. 89-92].

In view of the historical concern about tie beams between parallel walls, the demolition of the existing roof structure meant that we had to make sure we did not lose or weaken these bracing elements. Hollowing out the structure could have caused the parapets to collapse so, given the unique nature of the west façade of the Grotto Gallery, we designed and built a tie based on clevis pins inserted in the walls, with the necessary protections to prevent damage to the *opus rusticum*. The demolition of the existing roof structure was carried out in stages, one short section after another, so that there was never too large a gap in the structure at any given time.

The first beams we saw when we commenced the demolition confirmed our worst suspicions and supported the decision to replace the entire roof structure. This meant that we also had to remove the embedded heads of the beams and the 50 solid iron square-profile tie beams that appeared, having been inserted in 1759 after the earthquake. The removal of the tie beams and some of the wooden beams was a slow, laborious process since many of them were so deeply embedded as to be almost touching the façade.

Since we had done away with the support system provided by the existing metal elements, we had to reinforce the bracing that would now serve as the new roof structure, so we inserted metal connectors between the composite roof deck and the side walls. For this we used Hilti HAS M10 anchor rods secured with HY-30 resin, placed every 30 centimetres.

Having replaced the roof structure, the remaining works were mostly related to recovering the open walkway. We chose handmade ceramic floor tiles to restore the original colour and texture to the flat roof. Unlike the

homogeneity of industrial pieces, wood-fired tiles present different nuances of colour depending on where they are placed inside the kiln during firing. Before forming the roof and laying the tiles, we had to repair the walls, which



Figure 6. *a)* Demolition. *b)* New roof deck profile. *c)* Beginning with the handmade ceramic floor tiles. *d)* Installations under the roof deck profile. *e)* False ceiling. *f)* Interior final state. *g)* Small lamps connected to a double circuit to provide normal lighting and emergency lighting. *h)* Final state of the walkway.

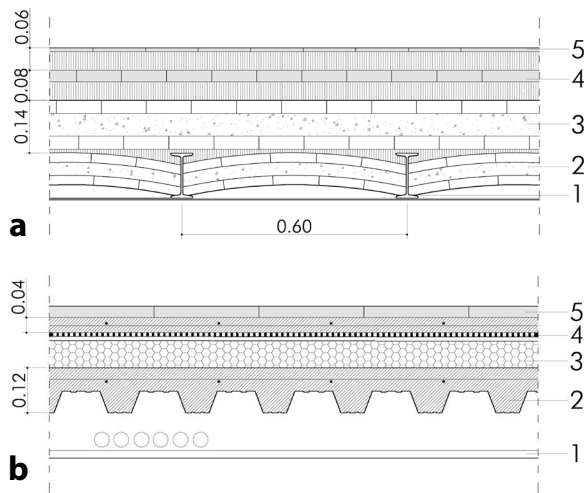


Figure 7. a) Original state: 1. IPN120 metal beam; 2. Double brick vault; 3. Lime mortar + brick + filling + brick; 4. Lost floor tiles on lime mortar; 5. New floor tiles on lime mortar; b) Proposal: 1. False ceiling; 2. Composite roof deck; 3. Form of slopes; 4. Waterproofing layer; 5. Artisanal floor tiles on compression layer.

had been seriously damaged by water seepage. We then cleaned the ceramic pieces along the top of the parapets, removing all traces of cement and repointing the pieces with lime mortar.

Similar works (wall repairs, parapet cleaning, the replacement of gargoyles) were carried out in the access points to the open walkway, namely the two flights of steps, the rear section of the Marchena Gate and the adjacent flat roof along the north flank of the Mercury Pond. In the latter area, which now serves as an outlet area following the recovery of the open walkway, the existing floor tiles had to be removed so that we could lay and then conceal the conduits. The same handmade tiles were chosen to unify the appearance of the new work.

With regard to the installations that ran along the Grotto Gallery parapets, all cables were re-laid under the false ceiling, with electrical boxes every 12 metres. This apparently simple operation, which was essential to recover the open walkway, permitted conduits for the surveillance, lighting, telephony and internet circuits from the gardens to the palace buildings. A set of empty pipes has also been installed for future extensions. The Grotto Gallery and its false ceiling therefore constitute a major hub for the Alcázar's entire network of installations. The false ceiling, which contains access panels with concealed profiles to blend into the background, was completely rendered.

As for the lighting, in view of the obsolescence of the existing installation, a new system was designed for the entire complex as part of the intervention in the Grotto Gallery. There were three basic premises for this system:

- energy saving, for which purpose LED devices were installed;
- unobtrusive presence, leading to the use of lamps connected to a double circuit to provide normal lighting and emergency lighting, therefore reducing the number of devices required;
- minimal visual impact, achieved by the use of small lamps with a simple design.

Lastly, in order to unify the appearance of the new work and preserve the same aesthetic criterion, the same type of lamp was used on the open walkway, the flat roof adjacent to the Mercury Pond and the access steps. On the upper level, the aim was to not shed any light above the line of parapets, which meant that the new lighting system could not be perceived from the outside when looking at the façade.

With regard to the rails, which had to be installed because of the low height of the parapets, the aim was to design an element that would be as unobtrusive as possible. Bearing in mind the unique nature of the Grotto



Figure 8. The Garden of the Ladies, with the North Portico, Gothic Palace and Mudejar Palace in the background. Image taken from the recovered open walkway of the Grotto Gallery.



Figure 9. Detail of the upper section, with the Cathedral in the background.

Gallery and the distinctly longitudinal dimensions of this element, this was no easy task. To this end, the position of the uprights matches the irregular rhythm marked on the façade by the pilasters surmounting the parapets. The uprights also had to be perpendicular to the façade so as to camouflage the contour line. Completing the railings is a horizontal metal plate, reinforced to prevent buckling due to the distance between uprights. The railings are all made out of stainless steel. The uprights are wider at the bottom and accompanied by two anchor rods to absorb the irregularities of the wall (Figure 6 and Figure 7).

Conclusions and pending works

Following the replacement of the roof structure and the renovation of the open walkway, the Grotto Gallery has been recovered for visitors exactly as it was conceived by Vermondo Resta and described by Rodrigo Caro in 1634: a double-storey walkway from which to admire and enjoy the beauty of the Alcázar gardens and the landscape of the city of Seville.

However, the present-day configuration of these gardens is not the same as when Resta designed the Grotto Gallery, when the first Hispano-Islamic gardens and the recently created Garden of the Ladies were all that existed. Meanwhile, the Pavilion of Charles V was situated in what was still an area of orchards and would not become the Garden of the Bedroom until the 18th century. The same is true if we turn our gaze to the east flank, where there was nothing but an orchard outside the Alcázar and so it would remain until being turned into gardens at the beginning of the 20th century. However, the vegetation

was not the same since topiary was the predominant style then, compared with the normal trees we see today.

Consequently, going back to Resta's original design, the Grotto Gallery no longer simply offers a walkway along which to stroll and admire the gardens. It is also a chance to gain an insight into the sequential development and transformations which these areas have undergone, because it provides visitors with first-hand information about how the Alcázar and its gardens are the result of numerous processes of aggregation and reorganisation. The recovery of the open walkway broadens this new perspective. The higher the vantage point, the wider the vista and the easier it is to see the gardens as the sum of its clearly differentiated parts (Figure 8).

The execution of the renovation works for the parapet walks would create the same effect, although it is true that the Hispano-Islamic gardens visible from this walkway – Gardens of the Water Spout and Cistern – were practically laid anew in the mid-20th century [13, p. 183], so the sequential interpretation is much less pronounced. However, a magnificent view would be afforded from the roof of the Water Tower because of its height and its original configuration as the hinge between the city wall and the Alcázar wall, making it easy to differentiate the sector that belongs to the city – the Jewish quarter – from the sector that belongs to the Alcázar. The tower itself is also worth a visit due to merits of the narrow staircases, the configuration of the chambers and the presence of frescoes in one of these chambers.

The same is true if we head west, since the North Portico of the Mercury Pond could be enjoyed for the view it offers not only of the pond, but of the portico itself with its Moorish capitals and wooden ceiling.

However, perhaps the most important advantage gained from opening up the North Portico would be the chance to access the roofs of the Gothic Palace. This is the great pending task since it would provide an excellent culmination to the raised itinerary that begins at the Grotto Gallery.


The echeloned disposition of the roofs themselves offers us a clear insight into the spaces that form part of the palace and the different phases of transformation that have taken place, with the lantern added in the 18th century serving as an iconic reference on the horizontal plane. Meanwhile, the beauty of the perspective over the Gardens of the Dance from the first level of the roof is on a par with the vista of the gardens from the Grotto Gallery, although as we advance the Gothic Palace does not provide the same chronological interpretation as that afforded by this first roof. On the north face, accessing the top level of the roof, the architectural complexity of Seville Cathedral suddenly appears, while the vista within the walls of the Alcázar hints at the barracks beneath the Garden of the Crossing as well as offering a clear vision of how Van der Borcht designed the passageway that connected the Courtyard of the Hunt (*Patio de la Montería*) with the Carriage Yard (*Apeadero*) (Figure 9).

Acknowledgments


Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, ETSA, Universidad de Sevilla, Av. Reina Mercedes, 2. Sevilla. This research is associated with the Project HAR2016/78113/R of the National Research, Development and Innovation Programme focused on the Challenges of Society, funded by the Ministry of Economy and Competitiveness and FEDER funds.

ORCID

Alberto Atanasio Guisado

 <https://orcid.org/0000-0002-3350-5035>

Juan Francisco Molina Rozalem

 <https://orcid.org/0000-0001-8066-3610>

References

- Almagro, A., 'Los Reales Alcázares de Sevilla', *Artigrama* 22 (2007) 115-185.
- Bermudo, R.; Llanos, V.; Tabales, M. A., 'Plan especial de protección del sector 6 "Real Alcázar"' (2009).
- Marín Fidalgo, A., *Vermondo Resta*, Diputación Provincial de Sevilla, Sevilla (1988).
- Caro, R., *Antigüedades y Principado de la Ilustrissima Ciudad de Sevilla y Chorographia de Su Convento Iuridico, o Antigua Chancilleria*, Andrés Grande, Sevilla (1634).
- Valor Piechotta, M., *Sevilla Almohade*, Editorial Sarriá, Málaga (2008).
- Marín Fidalgo, A., *El Alcázar de Sevilla Bajo los Austrias*, Guadalquivir, Sevilla (1990).
- Cabeza Méndez, J. M., *Real Alcázar de Sevilla 1990-2008*, Fundación Cultural del Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Sevilla, Sevilla (2009).
- García-Tapial y León, J.; Cabeza Méndez, J. M., 'Recuperación de la cerca islámica de Sevilla', in *El Último Siglo de la Sevilla Islámica, 1147-1248*, ed. M. Valor Piechotta, Gerencia de Urbanismo y Universidad de Sevilla, Sevilla (1995) 57-82.
- Ramírez López, I.; Rodríguez Méndez, C., 'Memoria de la restauración del alfarje del mirador al Estanque de Mercurio', non published work, Patronato del Real Alcázar y Casa Consistorial de Sevilla Library, Sevilla (1999).
- Muñoz García, A.; Atanasio Guisado A., 'Proyecto de intervención en la Galería del Grutesco', Patronato del Real Alcázar y Casa Consistorial de Sevilla, Sevilla (2013).
- Muñoz García, A.; Atanasio Guisado A., 'Proyecto de adecuación de recorridos de adarves y cubiertas en torno a la Torre del Agua', Patronato del Real Alcázar y Casa Consistorial de Sevilla, Sevilla (2015).
- Baena Sánchez, M. R., *Los Jardines del Alcázar de Sevilla Entre los Siglos XVIII y XX*, Diputación de Sevilla, Sevilla (2003).
- Manzano Martos, R., 'Los patios y jardines del Alcázar de Sevilla', *Apuntes del Alcázar de Sevilla* 14 (2013) 170-188.

Received: 2017-12-7

Revised: 2018-2-21

Accepted: 2018-3-19

Online: 2018-4-16



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Approche paramétrique pour la reconstitution 3D basée sur la connaissance préalable

Hayet Kadi*
Karima Anouche

Département d'Architecture, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Algérie
*hayet.kadi@gmail.com

Résumé

Dans le cadre de la documentation du Patrimoine, la reconstitution numérique a stimulé depuis quelques années le développement et l'implémentation de plusieurs techniques et logiciels. En effet, le balayage laser et l'évolution de l'imagerie démocratisent l'accès aux données et améliorent la capacité de partager et d'interpréter l'information patrimoniale dans le monde entier. L'acquisition 3D a connu elle un progrès significatif grâce à l'introduction de capteurs laser, mais des difficultés aussi pour exploiter de façon efficace les données acquises. Nous proposons une approche méthodologique de reconstitution 3D basée sur la connaissance préalable dont l'interprétation informatique sert à structurer les données relevées. Il s'agit d'interprétations paramétriques décrivant l'objet et les relations morphologiques de ses parties, permettant de générer des modèles consistants et réutilisables. Ce processus de reconstitution, que l'on veut généralisable, est explicité à travers un exemple; la finalité n'étant pas la modélisation en soi mais la description de ses différentes phases.

Mots-clés

Reconstitution 3D
Documentation du patrimoine bâti
Photogrammétrie
Relevé laser
Modélisation paramétrique

Abordagem paramétrica para a reconstituição 3D baseada no conhecimento prévio

Resumo

No contexto da documentação do Património, a reconstituição digital, desde há alguns anos, originou o desenvolvimento e implementação de diversas técnicas e de diverso software. Com efeito, o varrimento laser e a evolução da imagiologia democratizaram o acesso aos dados e melhoraram a capacidade de partilha e de interpretação da informação patrimonial no mundo inteiro. A aquisição 3D, ela própria, conheceu um progresso significativo graças à introdução de sensores laser, mas também teve dificuldades para explorar de modo eficaz os dados adquiridos. Propomos uma abordagem metodológica de reconstituição 3D baseada no conhecimento prévio em que a interpretação informática serve para estruturar os dados adquiridos. Trata-se de interpretações paramétricas que descrevem o objecto e as relações morfológicas entre as suas partes que permitem gerar modelos consistentes e reutilizáveis. Este processo de reconstituição, que se pretende generalizar, é explicado através de um exemplo que tem como objectivo não a modelização em si, mas a descrição das diferentes fases.

Palavras-chave

Reconstituição 3D
Documentação do património edificado
Fotogrametria
Varrimento laser
Modelização paramétrica

ISSN 2182-9942



Parametric approach for prior knowledge-base 3D reconstruction

Abstract

Within the framework of Heritage documenting, digital reconstruction has stimulated, since years, the development and implementation of many techniques and software. Indeed, laser scanning and advances in imaging and photography are democratizing access to data and improving the ability to share and interpret Heritage information over the world. 3D acquisition knew a significant progress thanks to the introduction of laser sensors, but is also having problems related to exploiting the acquired data. We propose a methodological approach of 3D reconstruction, based on prior knowledge whose computer interpretation serves to structure the acquired data. It is about parametric interpretations describing the object and the morphological relations of its parts, allowing the generation of consistent and reusable models. This reconstitution process we want generalizable is explicated through an example; the finality not being the modeling in itself but the description of its different phases.

Keywords

3D Reconstruction
Built-heritage
documenting
Photogrammetry
Laser scanning
Parametric modeling

Introduction

Les nouvelles technologies telles que les *terrestrial laser scanners* (TLS), les progrès de l'imagerie et de la photographie, et d'autres techniques spatiales renforcent grandement les capacités de conservation et de recherche sur le patrimoine. Ces technologies sont en train de démocratiser l'accès aux données et d'améliorer la capacité de partager et d'interpréter les informations archéologiques et architecturales dans le monde ainsi que la création de nouveaux domaines de l'intégration de la recherche. Ceci motive le développement et l'adoption d'outils et de méthodes qui créent, en trois dimensions des représentations interactives 3D avec beaucoup plus de contenu informationnel, de robustesse visuelle, de fiabilité scientifique, de durabilité, et de réutilisation future que les solutions d'archivage numériques basiques.

Ce projet vise à formaliser l'aide que peuvent représenter les outils informatiques pour l'extraction de connaissances architecturales, l'acquisition de données 3D et leur exploitation ainsi que la communication du savoir qu'elles représentent et ce dans le but d'une reconstruction 3D pertinente. Notre approche repose sur une modélisation dite paramétrique correspondant aux éléments prédéfinis d'après la description sémantique de l'objet.

Ce processus répond à diverses préoccupations : premièrement, la conservation et l'archivage des données patrimoniales, constituées de restitutions 3D et des sources documentaires plus ou moins anciennes ; deuxièmement, l'analyse et la comparaison de données selon divers points de vue dictés par les domaines d'étude, et enfin la valorisation des données archivées, afin de partager avec le public les connaissances du patrimoine historique. Outre le but éducatif de l'histoire, la finalité de cette modélisation numérique répond à la nécessité de modèles exploitables pour des projets de simulation, de prototypage, d'exposition, de promotion du tourisme culturel, et notamment pour l'archivage contre toute catastrophe probable et comme outil d'aide à la formulation de nouvelles configurations.

Aperçu et méthodes

Tous les domaines de la conception confrontés à un réel physique existant peuvent aujourd'hui faire appel aux techniques d'acquisition tridimensionnelle afin de reconstituer de manière numérique la morphologie et la position d'objets existants. L'intégration dès la saisie, des données tridimensionnelles permet ainsi d'assurer la gestion, le traitement, les analyses, les simulations et la représentation graphique des espaces bâtis existants.

Les résultats de ces expériences témoignent de la qualité croissante de ces outils (précision et vitesse) mais aussi des difficultés rencontrées pour exploiter de façon efficace les données acquises. Les travaux de recherche s'orientent donc dans deux directions, d'une part sur l'automatisation du processus de relevé avec comme ambition d'améliorer la pertinence de l'acquisition et d'autre part sur le traitement des données. Ces techniques d'acquisition souvent fastidieuses et quelque part défailtantes, sont de plus en plus combinées en vue d'obtenir des modèles plus précis.

La photogrammétrie permet de construire rapidement les parties principales d'un bâtiment, alors que pour les objets détaillés et complexes (volutes, voûtes) un grand nombre d'images et/ou de points correspondants sont exigés, augmentant le temps de modélisation [1]. Mueller a conçu une méthode pour une reconstruction rapide de façades à partir de photos redressées [2]. Il calcule des lignes droites horizontales et verticales pour la création d'éléments de forme simple (boîte), et l'utilisateur rentre la profondeur des éléments. Cependant leur méthode convient aux façades simples modernes des bâtiments mais n'est pas adaptable aux façades architecturales complexes.

Les techniques de Lasergrammétrie produisent des nuages de points d'une grande précision [3]. Cependant la tâche de modélisation est pénible et seulement des objets géométriques simples (sphère, cube, plan, cylindre) peuvent être automatiquement créés. L'approche de Boulassal vise à segmenter automatiquement et extraire

des surfaces planes à partir d'une façade de bâtiment capturé par TLS, et ce en se basant sur l'algorithme RANSAC [4]. La modélisation a concerné les parties visibles capturées, vu qu'il s'agit de façades simples. Afin de modéliser une colonne papyriforme égyptienne, Hassoun a développé une application en SGDLsoft [5]. Cette proposition se fonde également sur une connaissance approfondie des règles géométriques de conception de cet élément architectural, cependant ne pouvant être extrapolée à d'autres objets analogiques.

Des objets paramétriques sont maintenant disponibles dans des bibliothèques, pour des domaines spécifiques (structure métallique, industrie, mécanique...) mais aucune bibliothèque architecturale n'existe. Dans ce contexte, une approche favorisant davantage le processus typologique, a été proposée par Charbonneau pour l'interprétation et la diffusion d'un corpus de roses gothiques [6]. Un outil qui s'apparente plutôt à un thesaurus graphique, sans confrontation dimensionnelle à l'objet réel.

Bien différents dans leur procédé et leur utilisation, la modélisation de l'information du bâtiment (BIM) est plus un processus dans lequel le modèle numérique du bâtiment tient compte de feuilles de données, tandis que le principal concept de modélisation paramétrique (MP) est de définir des géométries à l'aide d'un codage. Dans le cadre du système BIM, l'industrie du bâtiment est en besoin constant d'informations qui complètent les différents plans fournis avec le projet, au détriment d'une meilleure adaptation et optimisation de la forme qu'offre la MP. Denis voit que la combinaison des deux concepts amènerait à un design mieux informé dans lequel toutes les informations contenues dans le projet ne sont pas uniquement utilisées pour identifier les éléments mais bien comme aide à la conception, à la prise de décisions [7]. Boeykens voit le même intérêt de les combiner en vue de profiter de leurs différences inhérentes [8]. Tandis que le modèle BIM est toujours lié à l'évaluation des performances basée sur des informations structurées dans le modèle de bâtiment, la création du modèle numérique elle, s'appuie sur les paradigmes de modélisation paramétrique, où l'intention de conception et les flux d'informations externes peuvent être capturés pour générer des modèles.

Représentant les caractéristiques physiques et fonctionnelles des bâtiments, le BIM est essentiellement utilisé dans la conception et la gestion de nouveaux bâtiments, plutôt que dans le domaine du patrimoine culturel, où peu de recherches focalisent sur la possibilité de son application. L'une des limitations étant le manque d'objets paramétriques dans la bibliothèque du logiciel BIM. En effet, le concept HBIM désigne la représentation BIM de l'état de conservation d'un bâtiment, et implique trois aspects: la modélisation géométrique du composant, l'attribution de catégories et de propriétés matérielles aux composants et enfin l'établissement de relations entre eux. Murphy a conçu un plug-in HBIM qui contient une bibliothèque d'objets paramétriques pouvant être

utilisés pour modéliser avec précision l'architecture de style classique pour les applications patrimoniales [9]. Il présente une modélisation semi-automatique de façades de bâtiment en utilisant une grammaire de forme pour créer une façade paramétrique qui positionne automatiquement les éléments en fonction des règles architecturales et des proportions. L'approche fort intéressante par la liste d'objets créée, reste insuffisante quand à l'automatisation et la génération de nouvelles configurations, mais aussi son application à des architectures complexes. Notre objectif hormis une bibliothèque d'objets qui correspondrait plutôt aux éléments difficilement décrits par une géométrie (statuaire, décors, bas-reliefs...) est celui d'offrir des outils d'aide à la modélisation et qui se traduiraient par des fonctions et commandes à intégrer dans un menu d'interface paramétrique. L'aspect principal du système HBIM est d'autant plus l'offre d'une plateforme de collection et de gestion de données et d'objets patrimoniaux, que l'on néglige un peu la pertinence et la précision exigées par la reconstitution 3D.

Pour la segmentation automatique des nuages laser, Beinat propose une méthode pour détecter directement les discontinuités (segmentation) et pour estimer successivement les paramètres de chaque surface reconnue (classification) [10]. L'algorithme basé sur l'estimation locale des dérivées partielles d'expansion de Taylor, exploite les valeurs de courbure: les contours de discontinuité sont caractérisés par des points ayant une courbure moyenne supérieure à un seuil, tandis que la classification est réalisée par une analyse de cluster de points ayant des valeurs de courbure homogènes. Les valeurs de courbure estimées permettent la détection automatique des singularités dans les nuages: les points de liaison sont mis en évidence en analysant les courbures

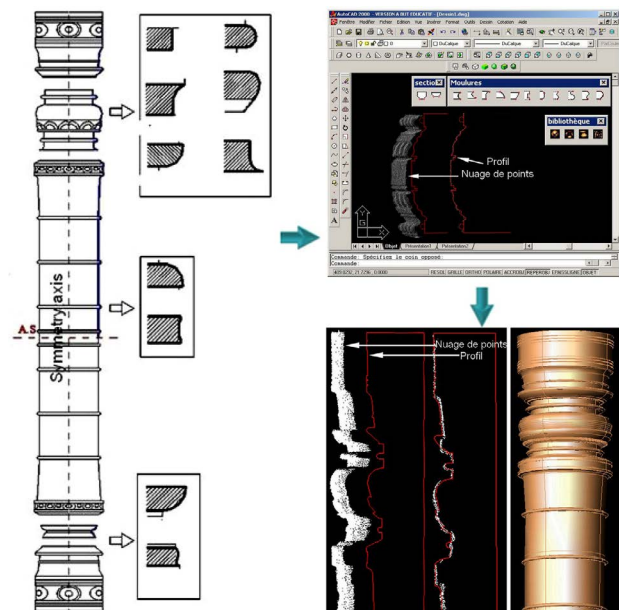


Figure 1. Moulures extraites et combinées en un profil à ajuster sur le nuage de points pour un Modèle 3D (Colonne Prei kmeng, Musée Guimet, France).

Gaussiennes locales, tandis que les points de bord résultent en évaluant les courbures moyennes. Dans notre cas, ce traitement de données laser brutes synthétiques permettant la reconnaissance de certains points et segments, pourrait parfaitement répondre à notre besoin de référencement dicté par les points d'ancrage nécessaires pour l'éventuel ajustement des objets 3D envisagés sur le nuage.

Nos recherches entamées avec un précédent projet lié à la modélisation 3D d'objets architecturaux Khmers, ont été basées sur des nuages de points acquis par laser, des photographies et des règles architecturales théoriques de l'objet à modéliser afin de créer automatiquement des modèles 3D qui peuvent être ajustés de façon interactive. L'étude de l'architecture khmère s'est concentrée tout d'abord sur la classification des colonnes en fonction de leurs plans, et leur constitution géométrique et structurelle. La recherche d'éléments répétitifs qui composent les colonnes révèle les moulures comme étant les primitives géométriques qui ont été identifiées par une forme et des attributs (Figure 1).

Ces moulures formalisées depuis la synthèse de l'étude théorique des colonnes khmères ont conduit à la structuration des données mesurées (nuage de points) vers une modélisation considérablement accélérée et certainement plus pertinente. Cependant, la construction basée sur des primitives semble fastidieuse quand il s'agit de la modélisation d'un bâtiment complexe. L'approche devait remédier à la difficulté de décrire des formes complexes dans un langage informatique, et être développée en tenant compte de toutes les opérations devant être appliquées à un modèle.

La technique d'acquisition laser a été adaptée à ce type de projet, mais le processus de modélisation fût beaucoup plus lent. Il nous a donc paru judicieux d'orienter la recherche vers le domaine de la modélisation architecturale. Nous comptons donc sur une méthodologie basée d'une part, sur une étude analytique des objets afin de formaliser des outils pour aider la modélisation, et d'autre part sur l'extraction de l'information 2D et la mesure appliquée à l'objet afin d'atteindre une application concrète.

Approche proposée

Principe

Afin de représenter les connaissances et de développer des moyens d'intervention, nous devons assumer la disponibilité préalable d'un modèle d'objet qui contiendra les différents traitements. Cependant, la modélisation d'un objet architectural existant indépendamment de son échelle (du bâtiment au territoire) pose le double problème de la mesure (morphologie et emplacement) et la modélisation des connaissances disponibles sur ce sujet. La condition sine qua non d'un modèle architectural pour la mesure et toutes les données collectées devraient

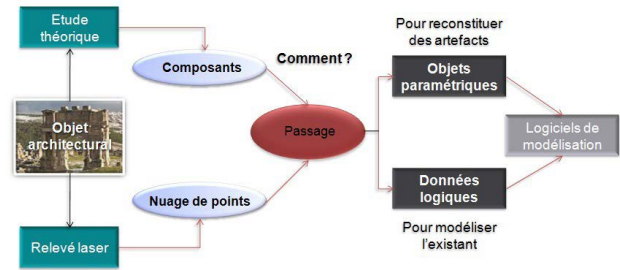


Figure 2. Principe du processus de reconstruction 3D.

être exploitée pour le développement d'outils numériques. La création de tels outils nécessite des recherches sur la structuration de l'information et la modélisation, la mise en œuvre de logiciels de consultation et d'outils de diffusion.

Si la forme architecturale est associée à une description sémantique, le bâtiment peut être considéré comme un système de connaissances. Depuis l'observation et la connaissance de l'objet réel, il est possible de définir un modèle décrivant le bâtiment, les relations morphologiques de ses parties, ses règles géométriques et de la connaissance de l'objet. L'outil numérique permet enfin la conception du modèle de la connaissance en tant que soutien de différentes représentations basées sur des informations géométriques et l'interprétation des données.

Le présent projet vise une approche méthodologique explicite en faveur d'une reconstruction et conception pertinente de modèles 3D. Il traite de la modélisation 3D basée sur la connaissance préalable. Notre démarche consiste, à partir de la numérisation et de la reconstitution réalisées sur des édifices existants, à expliciter les données et informations nécessaires à sa réalisation : photos, mesures, relevés, édifice par édifice mais aussi l'ensemble du corpus architectural stylistique, les grammaires de formes à utiliser pour tant en alléger la réalisation qu'en assurer la robustesse historique (Figure 2).

La formalisation de l'approche consiste d'abord à représenter les diverses formes d'objets et d'en extraire les composants, et doit identifier les paramètres décrivant leur géométrie. La mise en œuvre de ces objets paramétriques dans un environnement graphique, conduit à une modélisation 3D qui forme un langage dont le vocabulaire serait constitué d'entités géométriques et la grammaire de règles combinatoires spécifiques.

Dans notre cas, nous procéderons, in situ au balayage laser de l'objet choisi (la photogrammétrie ou autre technique pourrait s'appliquer); le traitement initial du nuage de point se faisant automatiquement dans le logiciel afférent au capteur. Bien que notre objectif principal soit le paramétrage en vue de numériser les connaissances architecturales, le besoin de quelques points de référence de l'objet incite à la segmentation du maillage 3D acquis par laser. Cette piste déjà initiée par Lari permet l'extraction de quelques références pouvant

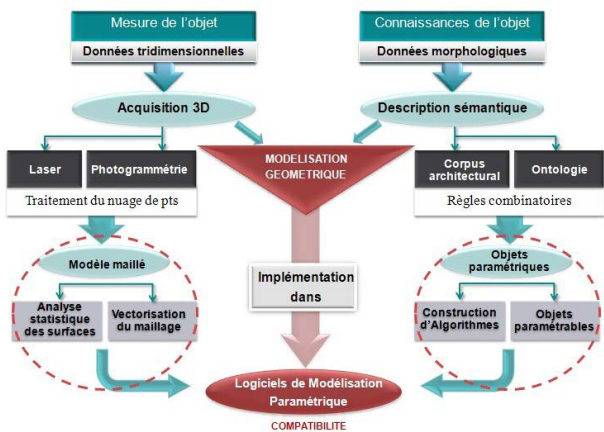


Figure 3. Schéma de l'approche adoptée.

servir de points d'ancrage lors de l'ajustage des objets paramétriques [11].

Ces composants informatisés peuvent également servir à concevoir de nouveaux objets architecturaux grâce à de multiples combinaisons et modifications proposées. Cela pourrait être possible grâce au système de paramétrage. À ce niveau, aucune acquisition 3D n'est nécessaire; La modélisation étant uniquement basée sur la manipulation numérique. En clair, le processus de reconstitution proposé pourrait se schématiser montré dans la Figure 3.

Tout comme la conception architecturale, la reconstitution du patrimoine doit faire appel à ces nouvelles démarches collaboratives de plus en plus demandées en vue

d'un produit fiable et pertinent. D'une part, notre modélisation paramétrique consistant à se préoccuper davantage de l'aspect formel de l'objet, en travaillant directement sur la géométrie à travers un programme sans avoir à passer par des objets standardisés, mais qui elle, permet de produire une infinité de formes architecturales. D'autre part, l'intention de s'insérer dans une approche collaborative. En effet, la recherche d'automatisation de la modélisation et la génération de modèles à partir d'un minimum de données en évitant le cas-par-cas, dicte la nécessité de se focaliser sur la construction la plus fidèle du modèle 3D en se basant sur la notion de paramétrage. Cependant, l'intégration dans le processus BIM constitue le prolongement de notre démarche.

Nous rappelons notre objectif qui vise l'automatisation du processus de reconstruction 3D d'objets patrimoniaux relevés au laser, où la recherche de l'aspect volumique « tel que construit » prime. Notre objectif tend à structurer les données 3D acquises en se basant sur la connaissance architecturale de l'objet. Ceci est d'autant plus une phase primordiale et un moyen rapide et pertinent de protection d'un patrimoine, qu'un recours à l'intervention ponctuelle contrainte tant par l'aspect technique que financier et même administratif.

Ceci ne nous laisse cependant guère indifférents à la volonté de participer à gestion de notre patrimoine. En effet, nous nous sommes interrogés sur le devenir de notre modèle après validation, dont l'usage ne pourrait servir qu'une simple documentation ou un enseignement. Hormis son paramétrage et sa réutilisation soit pour reconstituer d'autres objets homologues, soit pour en

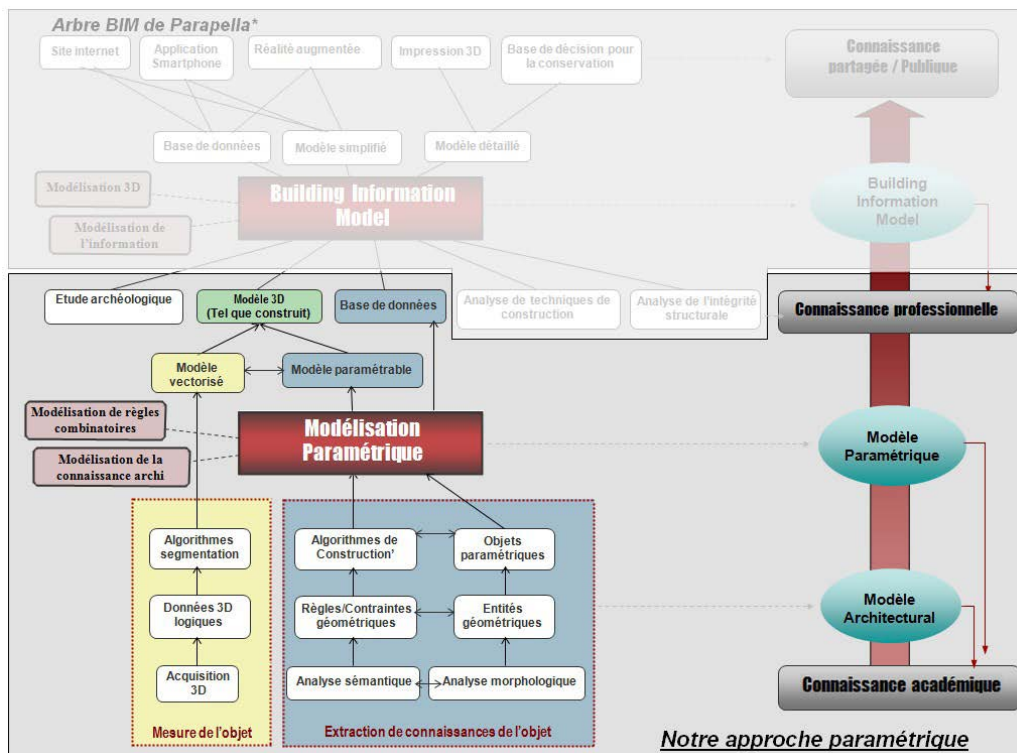


Figure 4. Schéma général du positionnement de notre approche dans le processus BIM.

concevoir de nouvelles configurations, nous avons pensé à la possibilité d'intégration de notre outil dans une plate-forme BIM pour l'accès et l'usage du modèle dans différentes études multidisciplinaires (Figure 4).

Champ d'application

L'approche fait appel à l'étude d'un objet emblématique de l'architecture romaine ; l'arc de triomphe caractérisé par la robustesse de la construction et le décor incomparable lui donnant une valeur patrimoniale indéniable. Hormis le but de reconstruire un patrimoine pour sa sauvegarde, l'étude de cet objet approprié peut offrir une lecture modélisant comparative en opérant un zoom sur ses composants architectoniques et détails à travers de nombreuses localités. Un objectif spécifique réside dans l'extrapolation vers d'autres arcs romains.

Ayant fait partie de l'extension de l'Empire romain, l'Algérie possède un riche patrimoine ancien qui a été déjà exploré et illustré en partie par l'administration française. Basé sur des arcs de triomphe algériens, l'analyse devrait être étendue à d'autres arcs romains, aux fins de comparaison en cas de lacunes documentaires.

Mise en application de l'approche et résultats

Afin de mener à bien ce projet, on prévoit un programme d'étude en trois temps :

- La consignation dans une table de données de tous les documents existants concernant les objets en

étude, puis son exploitation et l'élaboration d'un modèle architectural de chaque élément distinctif, travail en cours, y compris l'élaboration de plans 2D.

- D'autre part, l'informatisation de la connaissance architecturale, par la traduction algorithmique des composants de base extraits en analyse. Il s'agira dans cette phase de définir un modèleur et langage de programmation adaptés à la notion de paramétrage.
- En parallèle de l'analyse sémantique, devoir procéder à des acquisitions 3D de quelques objets en guise d'expérimentation. La combinaison de ces mesures avec les outils développés permettrait la validation et l'amélioration de l'approche.

Structuration de la connaissance architecturale

Il s'agit, à travers une analyse comparative de différents arcs, d'étudier cet élément du point de vue architectural et archéologique. L'étude morphologique devrait faire ressortir les composants de cet objet en vue de définir les primitives architecturales de base. La description sémantique qui consiste en l'étude et l'analyse de l'objet architectural afin d'en connaître les différentes formes et en extraire les composants, a pour objectif d'identifier les paramètres de chaque entité, permettant sa construction.

L'analyse de divers documents (ouvrages, travaux scientifiques, archives,...) a permis l'identification d'un nombre important d'arcs de triomphe classés en deux séries: porte monumentale correspondant à l'entrée d'une enceinte et arc honorifique isolé sur une place ou une voie. Quant à l'aspect typologique, quatre types d'arcs furent identifiés :

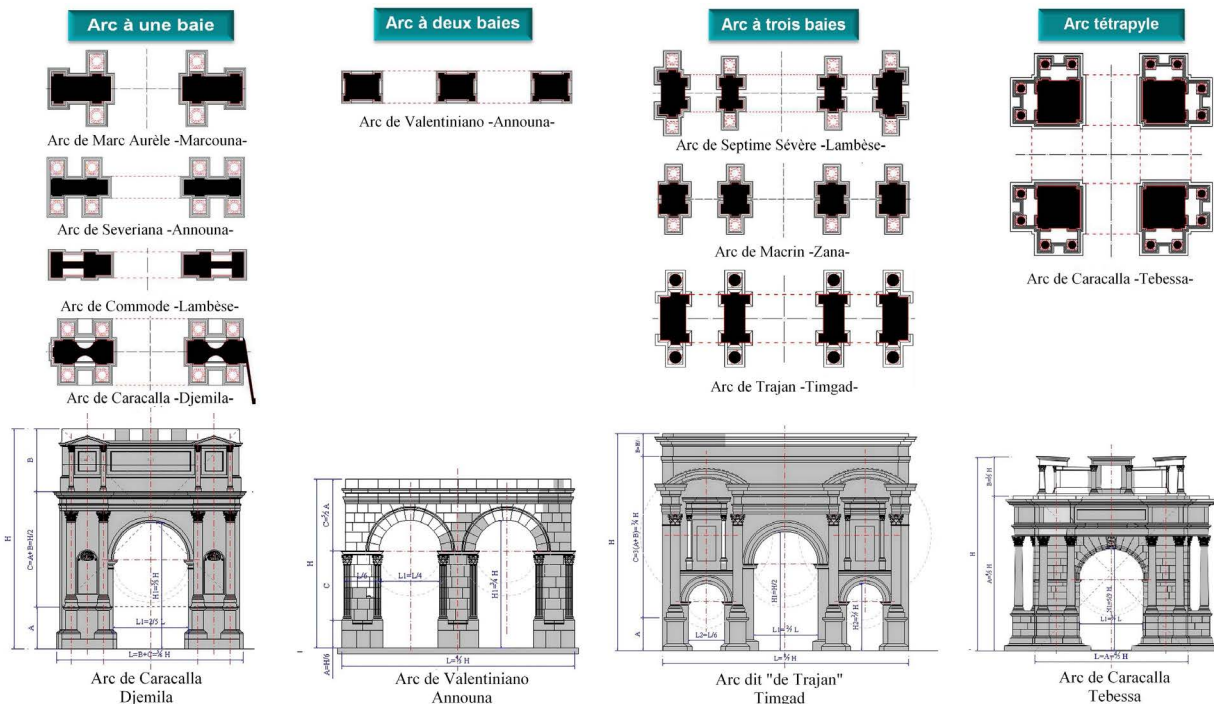


Figure 5. Élaboration du modèle 2D.

Table 1
 Répertoire des Arcs de triomphe en Algérie

N°	TYPE	DENOMINATION	CITE ROMAINE	NOM ACTUEL	DATATION	ETAT DE CONSERVATION	DOCUMENTS DISPONIBLES
1	Arc à 1 baies	<i>Arc de Caracalla</i>	<i>Cuicul</i>	Djemila	216	Bon état	Photos/ Gravure / plan
2		<i>Arc du Cardo</i>			IIe S. (les Sévères)	Bon état	photo
3		<i>Arc de Commode</i>	<i>Lambaesis</i>	Lambèse (Tazoult)	184-185	Partiellement détruit	Plan / photo
4		<i>Porte de Lambèse</i>			Sous Commode	Partiellement détruit	photo
5		<i>Arc dit « d'El Ghouassa »</i>	<i>Thubursicum Numidarum</i>	Khamissa	IVè s	Partiellement détruit	Photo / Plan
6		<i>Porte du passage vers cour de la Basilique</i>	<i>Theveste</i>	Tébessa	Fin du IVè s	Partiellement détruite	photo
7		<i>Arc de Marc Aurèle</i>	<i>Diana Veteranorum</i>	Zana	164-165 (165Gsell)	Bon état	Dessin / plan / photo / Gravure
8		<i>Porte d'entrée au temple de Diane</i>			IIIe siècle	Partiellement détruite	Plan / photo
9		<i>"Arc de Severiana "</i>	<i>Thibilis</i>	Announa	Période des Sévères	Bon état	Plan / photo / Gravure
10		<i>Arc de Marc Aurèle et Lucius Verus</i>	<i>Verecunda</i>	Marcouna	162	Partiellement détruit	Plan / photo
11		<i>Arc de Marc Aurèle</i>			172	Partiellement détruit	Photo / Gravure / plan
12		<i>Porte du Nord ou Porte de Memmius</i>	<i>Castellum Tidditanorum</i>	Tiddis	209-212	Bon état	Photo
13	Arc à 2 baies	<i>Porte double : "Arc de Valentiniano "</i>	<i>Thibilis</i>	Announa	375-378	Partiellement détruit	Plan / photo / Gravure
14		<i>Arc dit « de Trajan »</i>	<i>Thamugadi</i>	Timgad	203	Bon état	Détail / croquis / plan
15	Arc à 3 baies	<i>Arc de Septime Sévère et Caracalla</i>	<i>Lambaesis</i>	Lambèse (Tazoult)	203	Bon état	Croquis / plan/ photo
16		<i>Arc d'entrée du Forum Novum</i>	<i>Thubursicum Numidarum</i>	Khamissa	IVe S.	Partiellement détruit	photo
17		<i>Arc de Macrin</i>	<i>Diana Veteranorum</i>	Zana	217	Bon état	Dessin / plan / photo
18	Tétrapyle	<i>Arc de Caracalla</i>	<i>Theveste</i>	Tébessa	213-214	Bon état	Gravure / plan / photo

arc à une baie, arc à 2 baies, arc à 3 baies, tétrapyle avec 4 piédroits formant une base carré [12]. L'élaboration d'une liste (Table 1) a fait appel à des travaux antérieurs liés à l'antiquité romaine; les plus utiles à notre étude étaient ceux de Delamare [13] et de Ravosié [14]. Afin de mettre à jour ces documents et d'actualiser la liste de Frothingham [15], une enquête sur site a été importante pour valider encore certaines données extraites du répertoire architectural d'Engramma par Paronuzzi [16].

L'étude de cet objet architectural vise l'élaboration dans un premier temps d'un modèle 2D et ce en restituant les façades et plans de chaque édifice en faisant appel à la technique de photogrammétrie. Hormis quelques documents graphiques disponibles (croquis, plans), cette opération repose sur des données textuelles ainsi que sur des données terrain (Figure 5).

Cette phase a fait appel entre autres à la photogrammétrie architecturale, en vue de restituer les plans et façades des arcs étudiés. Ce modèle 2D à restitué ne servant qu'à l'extraction de composants, et devant être remesuré ultérieurement, ne requiert pas des appareils précis. En effet, l'usage d'un appareil numérique ordinaire d'une bonne résolution et privilégiant une faible sensibilité (100 ISO) pour une meilleure netteté, pourrait

suffire. Pour notre cas, et pour éviter la calibration, un reflex (Canon EOS 5D) facilite le contrôle de paramètres, mais un Canon PowerShot A620 a aussi servi. En quête de modèle 2D en vue d'extraire les composants communs aux arcs, ImageModeler a suffi pour l'acquisition des données voulues, au détriment de son homologue PhotoModeler plus apte à créer des modèles 3D. Le traitement et le format final des plans et élévations basés sur cette actualisation photogrammétrique sur site et complétés par des archives graphiques et textuelles, ont toutefois été développés sous Autocad plus pratique à manipuler.

L'avantage majeur de la photogrammétrie est qu'elle nécessite très peu de matériel, et est relativement simple à mettre en œuvre, les logiciels de traitement restant très abordables. Cependant, elle fonctionne mieux avec un environnement et un éclairage contrôlés contrairement à la lasergrammétrie favorable au moindre éclairage. La photogrammétrie est fortement dépendante de l'état de surface d'un objet, selon qu'il soit transparent (problème de réflexion) ou uni (difficile à reconstruire). Sa précision est conditionnée également par la présence ou non d'objets en mouvement ou non statiques.

L'analyse des différents arcs doit faire ressortir les composants de base, la relation proportionnelle entre eux,

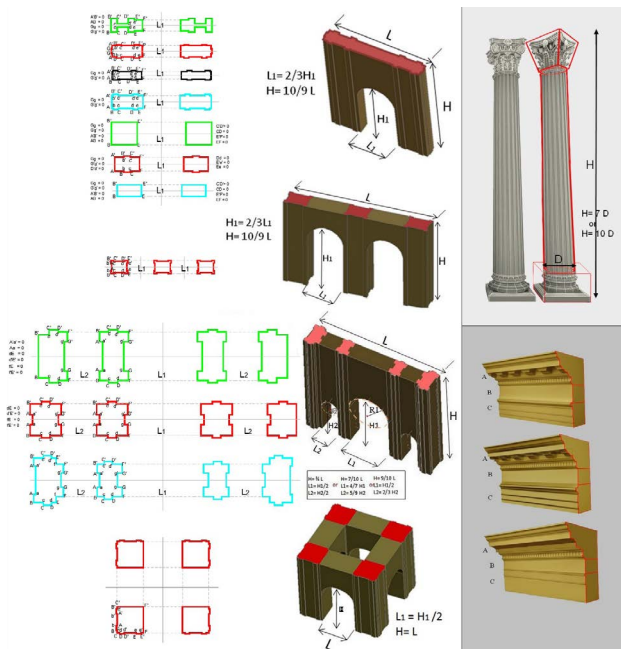


Figure 6. Extraction de paramètres.

ainsi que les analogies avec des arcs de même époque. Cette opération concerne tous les arcs en Algérie ainsi que certains en Tunisie et au Maroc, en vue de comparer leur morphologie et extraire les éléments variant et invariant. La décomposition de l'objet vise l'extraction d'entités communes à tous les arcs en vue d'identifier un chemin de reconstruction commun.

Il est impératif de noter que l'étude principalement axée sur la description d'une démarche visant l'automatisation et la pertinence de la modélisation, tente de focaliser sur l'exploitation et l'interprétation paramétrique de la connaissance

architecturale. Les données collectées sont assignées dans un premier temps dans des tables comme inventaire préliminaire, puisqu'il s'agira de le compléter dans le temps. Comme précédemment décrit, notre insertion BIM en vue, dictera la prise en charge de ces données et leur intégration dans une base. Cet article ne présente que notre vision paramétrique du modèle. En effet, l'étude théorique des différents types d'arcs a permis d'accumuler une somme de connaissances qui serait restaurée dans les outils développés.

Développement d'outils d'aide numériques

Cette étape consiste à numériser la connaissance architecturale extraite de la phase précédente. Il s'agit en premier lieu d'analyser profondément chaque composant de l'arc de Triomphe avec les différentes instances dégagées. Ceci permettrait ensuite d'identifier les paramètres régissant leur géométrie. La description géométrique sert à écrire les différentes formules algorithmiques correspondant chacune à une entité variante ou invariante (Figure 6).

Ce travail vise la construction d'objets 3D paramétriques qui une fois implémentés dans un environnement graphique permettrait la construction 3D de l'arc entier, en combinant ces objets paramétriques entre eux, par instanciation.

La visualisation de ces instances se traduit par l'attribution pendant la modélisation de valeurs aux entités géométriques définies. Pour chaque entité, la création des attributs et l'affectation de valeurs se fait à partir des modules développés au niveau du modelleur. L'utilisateur aura la possibilité de créer des attributs préconfigurés ou nouveaux. Les attributs sont à tout moment modifiables ou effaçables.

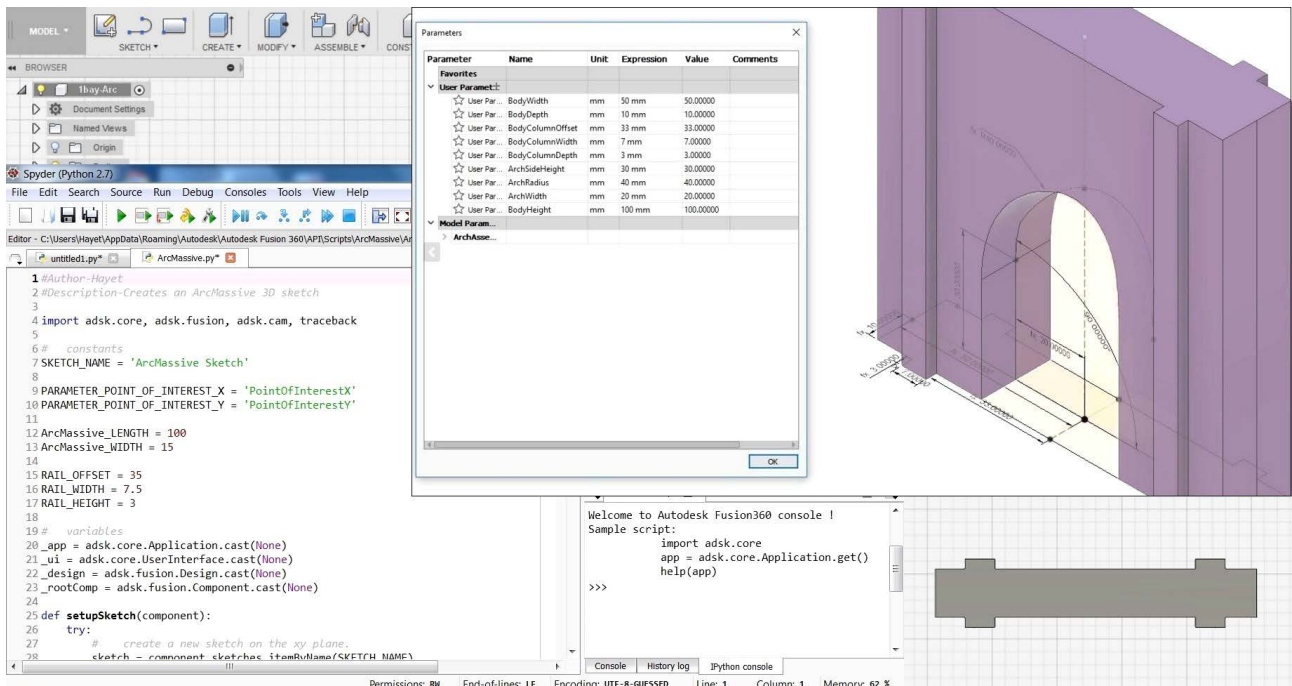


Figure 7. Exemple de code Python 2.7 pour créer un arc de triomphe paramétrable à 1 baie .

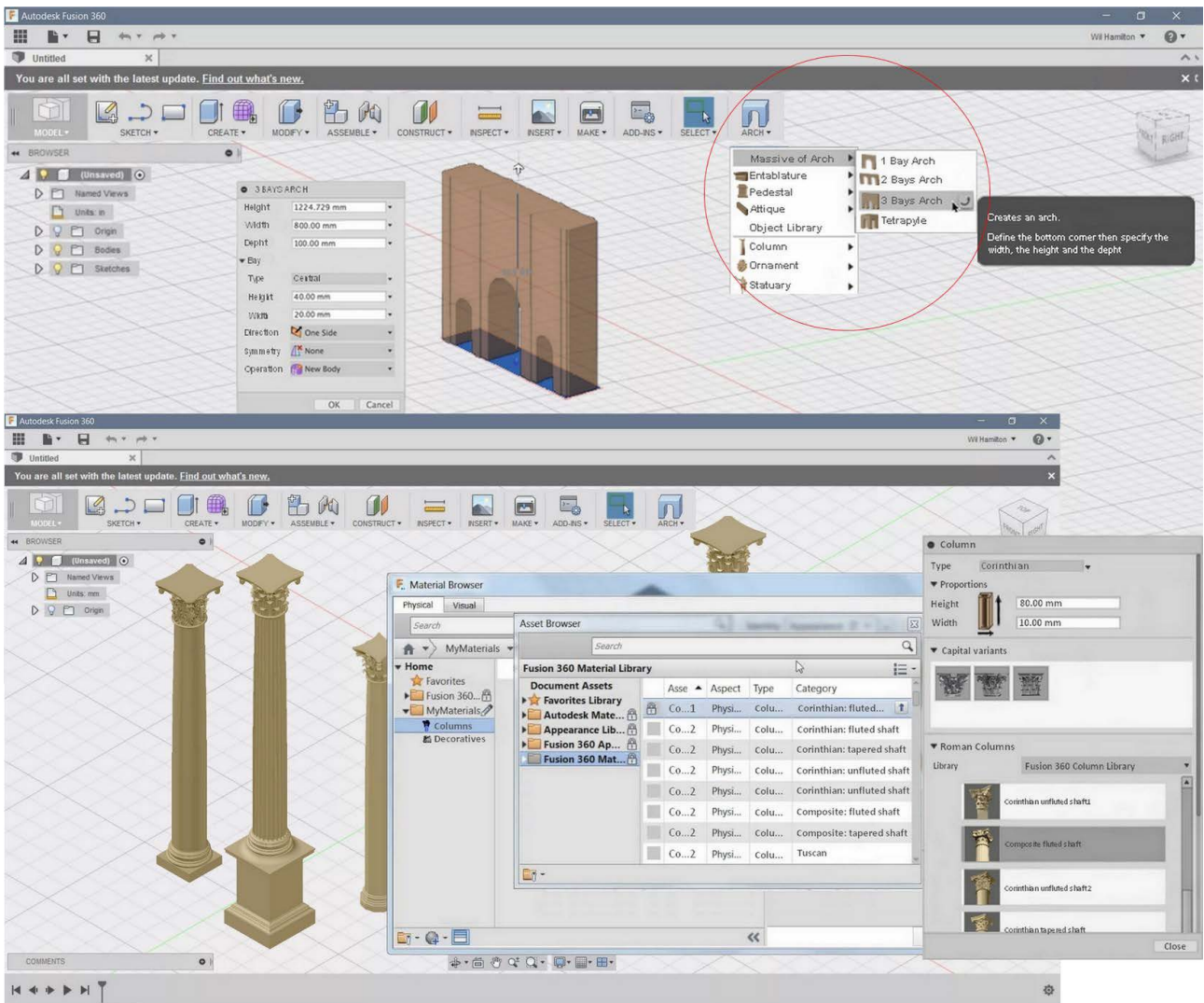


Figure 8. Environnement graphique de Fusion 360 et outils proposés.

Puisque notre travail s'étale sur trois phases dont la modélisation numérique des composants paramétriques, le traitement des nuages de points et la construction 3D du modèle final; nous optons donc pour un environnement graphique offrant le maximum de fonctionnalités pour un moindre transfert de données et de fichiers. Actuellement, la plupart des logiciels Autodesk autorisent l'import des formats de données scannées 3D. Fusion 360 est l'un de ces logiciels avec toutes les propriétés dont nous avons besoin. En plus de son interface facile à utiliser, il prend en charge les maillages issus de la numérisation laser (Autodesk / Fusion 360). Il offre un langage de programmation – Python – développé avec une syntaxe claire qui permet la création de nouveaux outils et fonctionnalités.

Le langage de programmation en question sert à traduire les composants géométriquement descriptibles en modèles paramétrables à intégrer comme nouvelles commandes. Ces nouveaux outils sont destinés à modéliser la forme de base de chaque arc ; relative au massif, à l'entablement et aux attiques. Les premiers scripts ainsi créés correspondent aux composants

constants que sont les massifs d'arc, entablements et attiques. Ils permettent de générer toute forme de base d'un arc de triomphe quelque soit sa typologie, à travers la modification des paramètres. Un exemple de massif d'arc à une baie est généré et décrit avec son code Python (version 2.7) (Figure 7).

En quittant le domaine des formes basées sur les primitives géométriques, il est nécessaire de considérer les solutions suggérées par la modélisation classique basée sur les fonctions booléennes. Ceci concerne les composants complexes correspondant aux éléments décoratifs spécifiques qui doivent être intégrés dans une bibliothèque d'objets architecturaux, préalablement définie. Compte tenu de leurs formes complexes difficilement décrites par une géométrie, les éléments architecturaux classiques (colonnes, bas-reliefs, quadriges...) sont modélisés individuellement et intégrés par des codes en « add-in » sous forme d'objets bibliothèques au niveau de l'interface (Figure 8).

Notre principale fonction recherchée étant le paramétrage permettant modéliser sans redondance et de

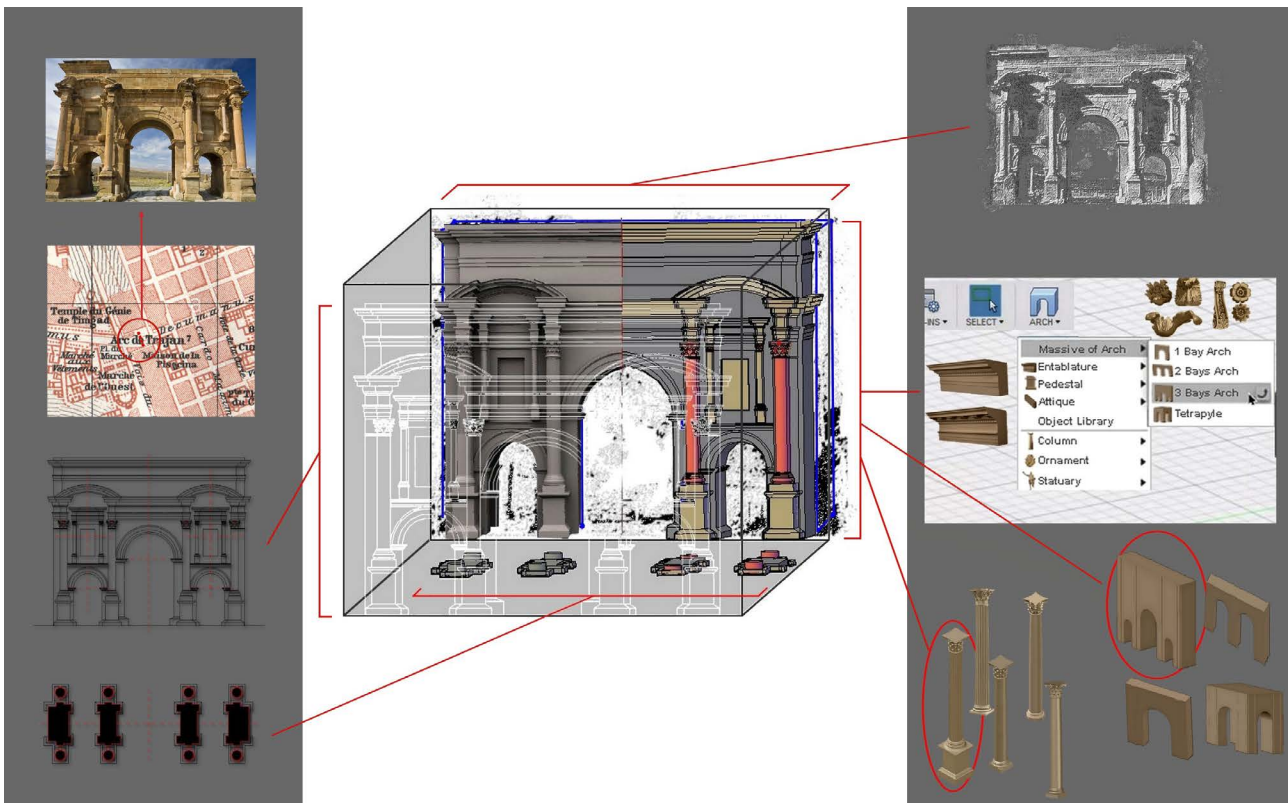


Figure 9. Processus de modélisation 3D paramétrique de l'Arc.

sculpter même des formes organiques, ce premier outil de CAO 3D, FAO et CAE permet de connecter l'ensemble du processus de développement de projet dans une seule plate-forme Cloud. Cette caractéristique rejoint notre objectif futur lié à notre intégration dans le processus BIM, pour une collaboration en ligne avec d'autres concepteurs sur le même modèle.

Construction du modèle 3D

L'aspect de cette phase réside dans l'intégration d'algorithmes développés – correspondant aux objets paramétriques dans le logiciel professionnel de modélisation Fusion 360, et l'ajustage de ces derniers aux nuages de points.

En effet, tout comme l'usage de la photogrammétrie pour la restitution 2D, le relevé laser qui fait l'objet de notre problématique liée à la difficulté de reconnaissance de forme, et à l'exploitation non effective des données laser 3D, va servir non seulement une mesure plus exacte et donc des points 3D réels, mais permettre surtout le paramétrage et l'ajustage précis de nos objets créés (Figure 9).

Etant donné l'aspect expérimental onéreux quant à l'acquisition d'un scanner laser, et en vue de valider nos outils proposés, quelques arcs ont fut l'objet de relevé. Les nuages de points (données brutes) obtenus par GLS-1500 de Topcon, sont automatiquement traités dans ScanMaster afférent au capteur à travers les opérations de consolidation et de segmentation. Le nuage logique est

ensuite exporté vers notre environnement de modélisation paramétrique, en l'occurrence Fusion 360, qui supporte également les maillages et permet une fluidité dans le transfert de modules graphiques à travers des formats normalisés. Sur ce même environnement est effectuée l'opération de construction du modèle final. Il s'agit de faire appel à tous les objets (scripts) paramétrables prédéveloppés et leur ajustage sur le nuage 3D segmenté, en insérant aussi les objets de la bibliothèque relatifs aux éléments de décor. Le modèle 3D résultant semble assez pertinent de par sa construction sur des mesures réelles acquises par la technique de lasergrammétrie étant la plus précise à nos jours. Il constitue le modèle fidèle de l'objet réel, puisque sa construction est basée sur les caractéristiques même de ce dernier traduites géométriquement avec leurs paramètres. La multitude d'objets créés selon les typologies existantes permettrait la modélisation de tout arc de triomphe sans avoir à recourir à des études au cas-par-cas (Figure 10).

Conclusion

La finalité de la recherche loin d'une simple formulation de modèle 3D, consiste à travers l'exploitation de la connaissance architecturale, à faciliter le passage de l'étape d'acquisition et de la description sémantique à une modélisation géométrique. Ceci correspond à une représentation numérique de l'information tridimensionnelle complète. Ces données 3D s'adaptent

aux éléments identifiés aussi par la mesure laser qui a fait l'objet de diverses limites, et où la notion de notre paramétrage tient lieu de principe de cette interprétation. Cet interface graphique agrémenté par un ensemble de nouveaux « add-ins » et dont le code Python permet de paramétrer selon nos besoins, pourrait servir comme environnement de restitution 3D d'objets patrimoniaux et ainsi répondre au besoin croissant de modèles tel-que-construits en vue de simulation d'éclairage de bâtiments, de modèles archéologiques en fin de diverses études, et de nouvelles configurations à partir d'éléments architecturaux existants. L'objectif semble atteint en mettant en place ce processus de reconstitution 3D, basé sur des connaissances préalables et sur la modélisation paramétrique, pour résoudre le problème d'interprétation et de structuration des nuages de points.

L'aspect critique de ce travail reste, pour le long terme, la quantité d'objets à créer et leur utilisation dans des logiciels à licence limitée. Ainsi, la continuité de nos recherches consiste, dans un premier temps, à développer davantage d'outils de modélisation supplémentaires et appropriés à mettre en œuvre dans le logiciel Fusion 360, et leur validation par des expérimentations concrètes.

Toutefois, ceci n'empêche guère de penser à concevoir notre propre interface graphique qui serait entièrement destinée à la reconstitution et analyse patrimoniales. Au-delà de notre cas de modélisation correspondant à l'arc triomphal qui ne fut qu'un exemple pour expliciter notre démarche; le processus et l'outil proposés se veulent généralisables et peuvent s'étendre à une large typologie d'objets. Il inclurait autant de composants architecturaux et archéologiques dont le paramétrage offrirait toutes les instances et configurations possibles. L'automatisation de cette approche de reconstitution 3D sied dans la mise en place de formes en amont et issues de la connaissance de l'objet, à paramétrer librement pour faciliter la structuration et la modélisation géométrique sur des

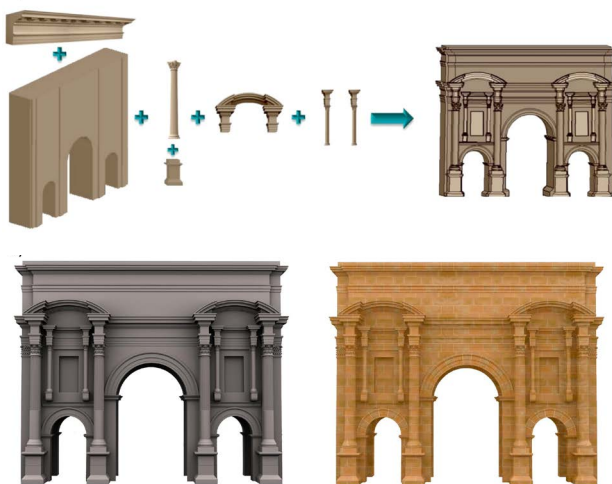


Figure 10. Exemple de modélisation 3D de l'Arc de Triomphe de Timgad: a) processus de reconstruction selon les composants de l'objet; b) modèle 3D résultant et texturé.

nuages de points. Ainsi, est assurée une modélisation plus pertinente et un temps plus réduit.

Bien que les méthodes de modélisation en trois dimensions soient largement utilisées dans la communication du patrimoine historique et la recherche de nouvelles configurations, pour assurer la rigueur du travail du point de vue intellectuel et technique, il est nécessaire d'établir des normes qui répondent aux propriétés de la représentation 3D.

Remerciements

Le projet lié à l'architecture Khmère fut élaboré au CRAI de Nancy après l'acquisition laser réalisée grâce au soutien du conservateur du Musée Guimet (France). L'inventaire a été enrichi par les données recueillies auprès du «Centro studi architettura civilita tradizione del classico» de Università Iuav di Venezia.

References

- 1 El-Hakim, S.; Beraldin J. A., 'Sensor integration and visualization', in *Applications of 3D Measurement from Images*, ed. F. & M. Chandler, Whittles Publishing, Scotland (2007) 259-298.
- 2 Müller, P.; Zeng, G.; Wonka, P.; van Gool, L., 'Image-based procedural modeling of facades', *ACM Transactions on Graphics* **26** (3) (2007) 85, <https://doi.org/10.1145/1276377.1276484>.
- 3 Remondino, F., 'From point cloud to surface: the modelling and visualisation problem', *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **34**(5/W10) (2003), <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004655782>.
- 4 Boulaassal, H.; Chevrier, C.; Landes, T., 'From laser data to parametric models: towards an automatic method for building façade modelling', in *Digital Heritage*, ed. M. Ioannides, D. Fellner, A. Georgopoulos & D. G. Hadjimitsis, Springer, Berlin (2010) 42-55, https://doi.org/10.1007/978-3-642-16873-4_4.
- 5 Hassoun, K., 'La représentation de colonne égyptienne papyriforme', dissertation, Université de Montréal, Montréal (1999).
- 6 Charbonneau, N., 'Le recours à des environnements numériques pour la diffusion de connaissances relatives au patrimoine bâti: une exploration du potentiel de la modélisation de systèmes typologiques', dissertation, Université de Montréal Montréal (2009).
- 7 Denis, F., 'Tool for augmented parametric building information modelling for transformable buildings', dissertation, Université Libre de Bruxelles & Vrije Universiteit Brussel, Brussels (2014).
- 8 Boeykens, S., 'Bridging building information modeling and parametric design', in *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2012*, ed. G. Gudnason, R. Scherer, CRC Press, Boca Raton (2012) 453-460, <https://doi.org/10.1201/b12516-71>.
- 9 Dore, C.; Murphy, M., 'Semi-automatic modelling of building façades with shape grammars using historic building information modelling', *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **40**(5/W1) (2013) 57-64, <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-5-W1-57-2013>.
- 10 Beinat, A.; Crosilla, F.; Visintini, D.; Sepic, F., 'Automatic non parametric procedures for terrestrial laser point clouds processing', *International Archives of the Photogrammetry,*

Remote Sensing and Spatial Information Sciences **36**(3/W49B) (2007).

- 11 Lari, Z., Habib, A., 'An adaptive approach for the segmentation and extraction of planar and linear/cylindrical features from laser scanning data', *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **93** (2014) 19-212, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.12.001>.
- 12 Gsell, S., *Les Monuments Antiques de l'Algérie. Service des monuments historiques de l'Algérie*, vol. 1, Paris (1901).
- 13 Delamare, Ad. H. A., *Exploration Scientifique de l'Algérie Pendant les Années 1840, 1841, 1842, 1843, 1844 et 1845*. Archéologie, Imprimerie Nationale, Paris (1850).
- 14 Ravosié, A., *Exploration Scientifique de l'Algérie Pendant les Années 1840, 1841, 1842: Architecture et Sculpture*, vol. 1, Paris (1846).
- 15 Frothingham, A. L., Jr., 'A revised list of Roman memorial and triumphal arches', *American Journal of Archaeology* **8**(1) (1904) 1-34, <http://www.jstor.org/stable/497017>.
- 16 Paronuzzi, M.; Zanchetta, L., 'Repertorio degli archi onorari e trionfali romani (I sec. a.C.-IV sec. d.C.)', *La Rivista di Engramma* **66** (2008), http://www.egramma.it/eOS2/index.php?id_articolo=1705.

Reçu: 2017-10-29

Révisé: 2018-1-29


Accepté: 2018-3-28

En ligne: 2018-4-18



Mise à disposition sous licence Attribution-Pas d'Utilisation
Commerciale-Pas de Modification 4.0 International.
Pour voir une copie de cette licence, visitez
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>.

Digitalización e impresión 3D para la reconstrucción de pérdidas volumétricas en un modelo anatómico de cera del siglo XVIII

Óscar Hernández-Muñoz*
Alicia Sánchez-Ortiz 

Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Calle Pintor El Greco 2, 28040 Madrid, España
*oscarhernandez@art.ucm.es

Resumen

Los modelos tridimensionales de cera pertenecientes al patrimonio científico de la Universidad Complutense de Madrid son un material raro y extraordinario que merece ser preservado por tener una gran relevancia para comprender el modo cómo los cirujanos y anatomistas encontraban fórmulas de construcción visual que les posibilitasen la difusión de su conocimiento sobre el cuerpo humano. En la presente investigación se ha ensayado sobre un modelo anatómico de cera del siglo XVIII, con un notable grado de deterioro y debilidad estructural, una metodología de reconstrucción de pérdidas volumétricas basada en la digitalización de la obra mediante fotogrametría, el modelado 3D de las partes originales dañadas y la impresión 3D de sus moldes, para obtener a partir de ellos las copias definitivas en material céreo. Gracias a esta metodología se ha conseguido reducir la manipulación de la escultura durante el proceso de restauración y se ha minimizado el riesgo de deterioro accidental.

Palabras clave

Fotogrametría
Tecnologías digitales
Conservación-restauración
Ceroplástica
Colecciones científicas

Digitalização e impressão 3D para a reconstrução das perdas volumétricas num modelo anatómico de cera do século XVIII

Resumo

Os modelos tridimensionais de cera pertencentes ao património científico da Universidade Complutense de Madrid são objectos raros e extraordinários que merecem ser preservados porque têm grande relevância para se entender como cirurgiões e anatomistas encontraram fórmulas de construção visual que possibilitaram a difusão do seu conhecimento sobre o corpo humano. Na presente pesquisa, num modelo anatómico de cera do século XVIII, com um notável grau de deterioração e fragilidade estrutural, foi testada uma metodologia de reconstrução volumétrica baseada na digitalização do objecto por fotogrametria, modelagem 3D das peças danificadas e impressão em 3D dos respectivos moldes, para no final se obter cópia em material ceroso. Graças a esta metodologia, foi possível reduzir o manuseamento da escultura durante o processo de restauro e foi minimizado o risco de deterioração accidental.

Palavras-chave

Fotogrametria
Tecnologias digitais
Conservação e restauro
Ceroplástica
Colecções científicas

ISSN 2182-9942



Digitization and 3D printing for the reconstruction of volumetric losses in an anatomical wax model of the 18th century

Abstract

The three-dimensional models of wax belonging to the scientific heritage of the Complutense University of Madrid are a rare and extraordinary material that deserves to be preserved because it has great relevance to understand how surgeons and anatomists found formulas of visual construction that made possible the diffusion of his knowledge about the human body. In the present investigation, an anatomical wax model of the 18th century, with a remarkable degree of structural deterioration and weakness, has been restored, testing a new volumetric loss reconstruction methodology based on photogrammetric digitization of the sculpture, 3D modelling of the lost pieces and 3D printing of their moulds to obtain from them the final copies in waxy material. Due to this methodology, it has been possible to reduce the handling of the figure during the restoration process and the risk of accidental deterioration has been minimized.

Keywords

Photogrammetry
Digital technologies
Conservation-restoration
Ceroplastics
Scientific collections

Introducción

Los modelos tridimensionales han sido herramientas esenciales en la instrucción médica. Fueron óptimos sustitutos del cadáver diseccionado al posibilitar a los cirujanos y anatomistas representar con gran verismo estructuras que eran difícilmente observables por los estudiantes en un único espécimen. Sus materiales, técnicas de fabricación y acabados se fueron adaptando a los avances y requerimientos científicos de cada período histórico para de ese modo contribuir a la construcción y difusión del conocimiento [1]. La cera fue elegida por su maleabilidad, por su extraordinario parecido con la piel humana y, en definitiva, por posibilitar la creación de un simulacro hiperrealista que reemplazaba el cadáver y servía como material didáctico en el que educar la mirada y adiestrar la mano del estudiante.

Estos objetos que en un tiempo pasado llenaban los gabinetes de historia natural y aportaban prestigio a las instituciones y universidades que disponían de ellos en sus colecciones durante los siglos XVIII y XIX, poco a poco fueron dejando paso a otros métodos docentes y finalmente su asociación con el mundo del entretenimiento popular los terminó de equiparar con el resto de artefactos calificados como “cultura popular”. Quizá por ello, los modelos de cera no han ocupado un lugar destacado en las investigaciones de los historiadores de la ciencia y del arte. Sin embargo, recientemente algunos estudiosos [2-4] han señalado la importancia de las colecciones de ceroplástica como parte de la cultura material desarrollada en las prácticas médicas del pasado y se ha despertado el interés en las disciplinas de la medicina, del arte y de la conservación del patrimonio. La *Declaración de Leiden sobre la Anatomía Humana y las Colecciones Anatómicas* [5], documento elaborado a partir de la reunión celebrada en la Universidad de Leiden los días 15-18 de febrero de 2012, recoge la gran preocupación existente sobre las condiciones de conservación en las que este tipo de patrimonio – representativo de la historia de las instituciones que las custodian – se encuentra en

la actualidad, siendo muchas de ellas universidades. Espacios expositivos inadecuados a las características propias de la cera, el mal almacenamiento de las esculturas, la carencia de personal cualificado para el mantenimiento periódico, una financiación limitada y escasa, pero, sobre todo, la falta de sensibilidad, el poco interés y la ausencia de planes estratégicos, han ocasionado importantes daños que, en algunos casos, han llegado a causar la pérdida completa de elementos significativos, afectando a la estabilidad física del objeto y mermando la comprensión de sus valores tanto desde un punto de vista anatómico como estético.

La reconstrucción volumétrica de los modelos artificiales de cera que han perdido alguna de sus partes anatómicas es un proceso delicado al requerir la actuación directa sobre la obra. Los riesgos que implica cualquier manipulación de un objeto de estas características – sumamente frágil y quebradizo –, junto con el uso de productos químicos necesarios en los procesos de obtención de moldes por el método tradicional, pueden poner en peligro la estabilidad del conjunto. Además, este tipo de procesos técnicos en el ámbito de la restauración suelen consumir mucho tiempo y precisar de importantes recursos humanos y materiales. Teniendo en cuenta el enorme número de piezas que componen las colecciones de ceroplástica de los museos universitarios, tanto a nivel nacional como internacional, estos costes resultan en muchos casos inasumibles por las instituciones responsables de su conservación.

Por estos motivos, se ha considerado conveniente buscar alternativas a dichos métodos que reduzcan los citados riesgos, aumenten la efectividad de este tipo de intervenciones y conlleven un menor coste. Con esta finalidad se ha desarrollado un estudio que se centra en el análisis de los posibles beneficios que las tecnologías de digitalización e impresión 3D pueden aportar en la reconstrucción de pérdidas volumétricas en modelos anatómicos de cera.

Se han analizado todos los procesos tradicionales necesarios en estas intervenciones, con el propósito

de determinar cuáles de ellos podían ser mejorados o sustituidos por métodos digitales. La primera de las fases susceptible de modificación es la de copiado o registro tridimensional de la obra original mediante moldes, que puede ser reemplazada por un proceso de digitalización 3D gracias a la precisión y rapidez de ejecución que esta tecnología ha alcanzado en la actualidad [6]. Éste es un paso fundamental porque evita la aplicación de silicona u otros productos similares sobre la obra original para la obtención de moldes y también minimiza el riesgo derivado de su manipulación.

La reproducción de la obra original en otro material a partir de los moldes también puede ser reemplazada por la impresión 3D del modelo tridimensional previamente digitalizado, teniendo en cuenta la precisión y economía de los dispositivos que han sido comercializados recientemente [7]. La réplica así obtenida sirve como base para modelar físicamente sobre ella las partes desaparecidas de la escultura original.

El modelado de las zonas ausentes puede ser también sustituido por un método digital, ya que los programas informáticos de escultura digital permiten acortar sensiblemente los tiempos de creación y edición de figuras tridimensionales e incluso son capaces de registrar detalles más delicados que los métodos tradicionales, tales como el modelado en barro, plastilina o cera [8].

Otro paso que puede ser ejecutado mediante dispositivos digitales – en lugar de medios tradicionales y que resultaría totalmente novedoso en este tipo de intervenciones – es la creación de moldes para la reproducción de la zona reconstruida en cera, toda vez que se pueden crear en programas de modelado 3D haciendo un negativo digital de la figura previamente modelada para después obtener una copia física de dichos moldes mediante impresoras 3D, algo que ya se ha ensayado en otros campos de conocimiento [9-10].

Pese a que alguno de los procesos digitales mencionados se han empleado de manera parcial en algunos trabajos de restauración escultórica [11], no se ha encontrado ningún estudio de restauración de modelos anatómicos de cera donde el flujo de trabajo esté basado prácticamente en su totalidad en tecnologías digitales, como el que se plantea en esta investigación. Por tanto, el objetivo de este estudio es analizar la utilidad de las tecnologías de digitalización e impresión 3D en el proceso de restauración de modelos anatómicos de cera que han sufrido la pérdida de algún elemento formal, probando diferentes métodos de abordaje para establecer cuál es el que se muestra más efectivo y seguro.

Un archivo visual del cuerpo humano: colecciones de ceroplástica anatómica

En plena época de la Ilustración, la evolución en la investigación anatómica influyó en los medios didácticos. Para suplir la carencia de cadáveres y avanzar en un conocimiento más profundo de la disciplina,

se comenzaron a utilizar diferentes materiales que posibilitasen su plasmación de manera plástica en soportes menos perecederos que la carne [12]. Dibujos y grabados ilustraban los principales atlas de anatomía de reconocidos cirujanos, pero a los ojos de los anatomistas del siglo XVIII, aquellas imágenes plásticas tenían limitaciones ligadas a su carácter bidimensional. La búsqueda de otros recursos visuales llevó al uso de la cera, que posibilitó la creación de simulacros del cuerpo dotados de volumen, en los que anatomistas y escultores aunaron sus saberes en una extraordinaria simbiosis entre la ciencia y el arte. La cera fue elegida por su maleabilidad, ductilidad y organicidad, propiedades que la convertían en una sustancia capaz de reproducir con un altísimo grado de verosimilitud la cualidad táctil del espécimen anatómico, con una expresión de verdad que se potenciaba al añadir pelo y pestañas.

Los museos de historia de la medicina albergan colecciones de piezas anatómicas y patológicas que en origen tuvieron como finalidad contribuir a la formación de los estudiantes en las principales universidades de Europa. Las primeras de ellas que incorporaron en sus cátedras estos nuevos instrumentos de enseñanza fueron las italianas de Bolonia y Florencia. El Museo de La Specola – en origen Real Gabinetto di Fisica e di Storia Naturale – alcanzó un enorme prestigio; inaugurado, en 1775, bajo la dirección de Felice Fontana, su colección de ceras anatómicas atrajo a ilustres visitantes y provocó una gran demanda de copias [13]. En Viena, el Josephinum Museum alberga la mayor colección de modelos obstétricos de cera, realizados en el taller florentino, entre 1784 y 1788 [14-15].

En el caso concreto de España, los modelos anatómicos en cera no se introdujeron en la enseñanza médica hasta finales del siglo XVIII. El interés por mejorar la formación de los futuros cirujanos llevó a Carlos III a ordenar, en 1787, la creación de un Real Colegio de Cirugía, en Madrid, dotado de un gabinete anatómico donde elaborar piezas en cera que reflejasen los progresos científicos del momento [16-18]. En los legajos conservados en el Archivo General de la Universidad Complutense consta como, en 1787, el propio monarca solicitó un informe sobre los progresos que se hubiesen hecho en el citado gabinete y en él se hace mención especial a los modelos obstétricos [19]. Esta magnífica colección fue creada en un período de tiempo que se sitúa entre los años 1788 y 1797. Consta de dos secciones, una dedicada a la anatomía del útero grávido, que se concluyó en 1792, y otra dedicada a los partos distócicos, finalizada en 1797. El conjunto de las esculturas fue realizado por Juan Chaéz y Luigi Franceschi bajo la dirección del disector del Real Colegio, Ignacio Lacaba, empleándose no sólo partes naturales disecadas, sino también las excelentes láminas de los atlas de anatomía de los reconocidos obstetras de la época William Smellie y William Hunter, probablemente por la imposibilidad de encontrar cadáveres que mostrasen las diferentes situaciones del

feto en los distintos estados del embarazo. Los nuevos conocimientos descubiertos sobre la gestación y el parto, tanto normales como problemáticos, y también los relacionados con la morfología gestacional, solían ir acompañados de imágenes dibujadas por los mejores grabadores y muy probablemente su iconografía influyó en la creación de los modelos tridimensionales de cera que componen la colección madrileña objeto de estudio [18, 20]. En concreto, el tratado de Smellie, *A Sett of Anatomical Tables, with Explanations and an Abridgement of the Practice of Midwifery: With a View to Illustrate a Treatise on That Subject, and Collection of Cases*, publicado por primera vez en Londres, en 1754, contiene láminas grabadas por el inglés Charles Grignion que fueron realizadas a partir de los dibujos hechos por Jan van Riemsdyck, tomados directamente de los cadáveres de mujeres embarazadas que el obstetra diseccionaba [21].

Selección del modelo anatómico

En primer lugar, se procedió a seleccionar un modelo anatómico con el fin de estudiar sobre él los métodos de intervención basados en tecnologías digitales que se pretendían evaluar. Para ello, se examinaron los modelos de cera que componen la colección del Museo de Anatomía “Javier Puerta” de la Universidad Complutense de Madrid. De entre todos los ellos, se seleccionaron inicialmente aquéllos que habían perdido algún elemento significativo. Finalmente, se escogió para el estudio la figura denominada *Parto de Frente* (n.º ref. MAJP000145). Esta obra se eligió debido a los importantes daños de carácter estructural y estéticos que presentaba: con pérdida del ante-pie derecho y del miembro superior izquierdo, debido probablemente al uso derivado de la función original que desempeñaba el modelo, a una manipulación inadecuada o a una caída

o golpe durante traslados de la colección en diferentes momentos históricos (Figura 1).

Materiales y técnica de manufactura

Se trata de una figura de bulto redondo, hueca, con unas dimensiones de 39,5 × 28,3 × 28,4 cm. Desde el punto de vista anatómico, representa un feto dentro del útero materno durante el periodo de alumbramiento, con una presentación poco habitual en la que el cuello está hiper-extendido, siendo la frente, la zona más adelantada en el canal del parto.

En cuanto a la técnica de ejecución seguida por los escultores, es posible recrear el método de trabajo en el gabinete anatómico a partir de la descripción detallada del funcionamiento del mismo recogida en el libro de Bonells y Lacaba, publicado en 1800: en la sección última del libro V, dedicada al arte de trabajar piezas de cera, se cita el uso de diversos materiales, como la cera de abejas, tanto virgen como blanqueada, a la que se adicionaban trementina de Venecia y manteca de cerdo, en diferentes proporciones, para elaborar las distintas pastas con las que modelaban las esculturas [18, 22]. Los artífices del modelo anatómico, Cháez y Franceschi, emplearon cera roja de desecho, por su elevada proporción de resina, para aquellas partes de la obra que debían soportar el peso del conjunto y aumentaron la cantidad de grasa animal con la finalidad de imitar la transparencia de la placenta. La coloración de cada parte anatómica fue lograda por medio de la adición a la masa de pigmentos previamente molidos y aglutinados con aceite, y en algunas zonas aplicaron veladuras locales directamente sobre la superficie cérica para matizar el tono y recrear detalles. Para la elaboración de la figura del feto es muy probable que Cháez modelase un boceto en barro o en cera roja y, sobre este primer modelo escultórico, hiciese junto con el modelador italiano Franceschi, los moldes de yeso siguiendo la



Figura 1. Juan Cháez y Luigi Franceschi, *Parto de Frente*, siglo XVIII. Fotografías: Toya Legido.

tradición de taller para verter en su interior las pastas previamente preparadas y obtener el positivo final [23]. Extraída la figura de cera y eliminadas las posibles imperfecciones propias del proceso técnico, así como las rebabas de las juntas, con ayuda de un pincel blando impregnado en esencia de trementina, añadieron algunos detalles anatómicos modelando directamente la cera e incorporaron pelo humano en la cabeza, para conseguir un efecto más realista en el acabado del modelo.

Búsqueda de fuentes documentales

Una vez seleccionado el modelo anatómico para el estudio, se trataron de localizar en el museo los fragmentos de las partes deterioradas de la escultura que hubieran podido quedar de ellas, así como los moldes que los artífices que trabajaron en el gabinete anatómico utilizaron para su elaboración. Dado que no fue posible hallar ninguno de éstos, se buscaron entonces imágenes fotográficas de archivo en las que apareciese la obra en su estado original, con el fin de tener alguna referencia para la reconstrucción, pero tampoco se pudo encontrar ninguna. Finalmente, se optó por investigar si existía en su defecto alguna lámina anatómica en la que se pudieran haber basado los autores, ya que éste era un proceder habitual en el arte de la ceroplastica. De este modo, pudo localizarse la ilustración que probablemente fue utilizada como referencia, denominada “Plate XXV”, incluida en el atlas anatómico de Smellie (Figura 2) [21].

Por otra parte, debido a que la figura seleccionada pertenece a una serie de modelos anatómicos obstétricos que representan diferentes posiciones fetales durante el parto, se estudió cómo habían sido representadas las extremidades superiores e inferiores en el resto de las esculturas que conforman la colección del museo, y también sus posiciones, para tratar de deducir el aspecto que debían tener las partes ausentes y su disposición.

Digitalización del modelo original de cera *Parto de Frente*

Como paso previo a la reconstrucción virtual del modelo, se consideró la necesidad de digitalizar la obra original para poder añadir sobre ésta las partes ausentes mediante un programa de modelado 3D. Con este objetivo, se recurrió a la técnica de la fotogrametría, realizándose 260 fotografías del modelo, todas ellas desde diferentes puntos de vista; se empleó una mesa giratoria sobre la cual se ubicó el modelo de cera y se instaló un fondo blanco en la escena. Las imágenes fotográficas se registraron con una cámara digital réflex Canon, EOS 5D Mark II, de 21 megapíxeles. Todas ellas se capturaron en formato RAW. Con el fin de evitar sombras indeseadas se iluminó la escena con luz difusa mediante varios flashes de pantalla y para reducir los brillos sobre el modelo se utilizó un filtro polarizador.



Figura 2. “Plate XXV”, William Smellie, 1754 [21].

Las imágenes se revelaron en Adobe Camera RAW, reduciendo en lo posible las sombras y los brillos sobre el modelo. Para ello, se utilizó un ordenador de tipo PC, con procesador Intel Core i7-6800k de 3,4 GHz y 64 GB de RAM, que incorporaba una tarjeta gráfica con 8 GB de memoria dedicada.

Los archivos se guardaron en formato JPG para su posterior procesamiento en *Agisoft Photoscan*, de modo que se pudiera obtener el modelo 3D y la correspondiente textura. Una vez importados los archivos en dicho programa, se procedió en primer lugar a su alineamiento, para lo cual se utilizó el ajuste de máxima precisión (Figura 3). A continuación, se calculó la “nube de puntos densa”, que contiene todos los puntos que van a ser considerados para la generación de la malla tridimensional. Para esta fase se seleccionó la opción de procesamiento en calidad “Extra alta”.

Tras la obtención de la nube densa, se realizó una limpieza exhaustiva de ésta para eliminar todos aquellos puntos que no pertenecían al modelo original y posteriormente se creó, a partir de ella, la malla 3D, seleccionando para ello la opción de máxima calidad (Figura 4). Se exportó este modelo al programa de modelado orgánico *Pixologic ZBrush* para reparar algunos errores de la malla debidos fundamentalmente a la existencia de huecos profundos y estructuras extremadamente finas en el modelo original (Figura 5). Para conseguir que el modelo digital

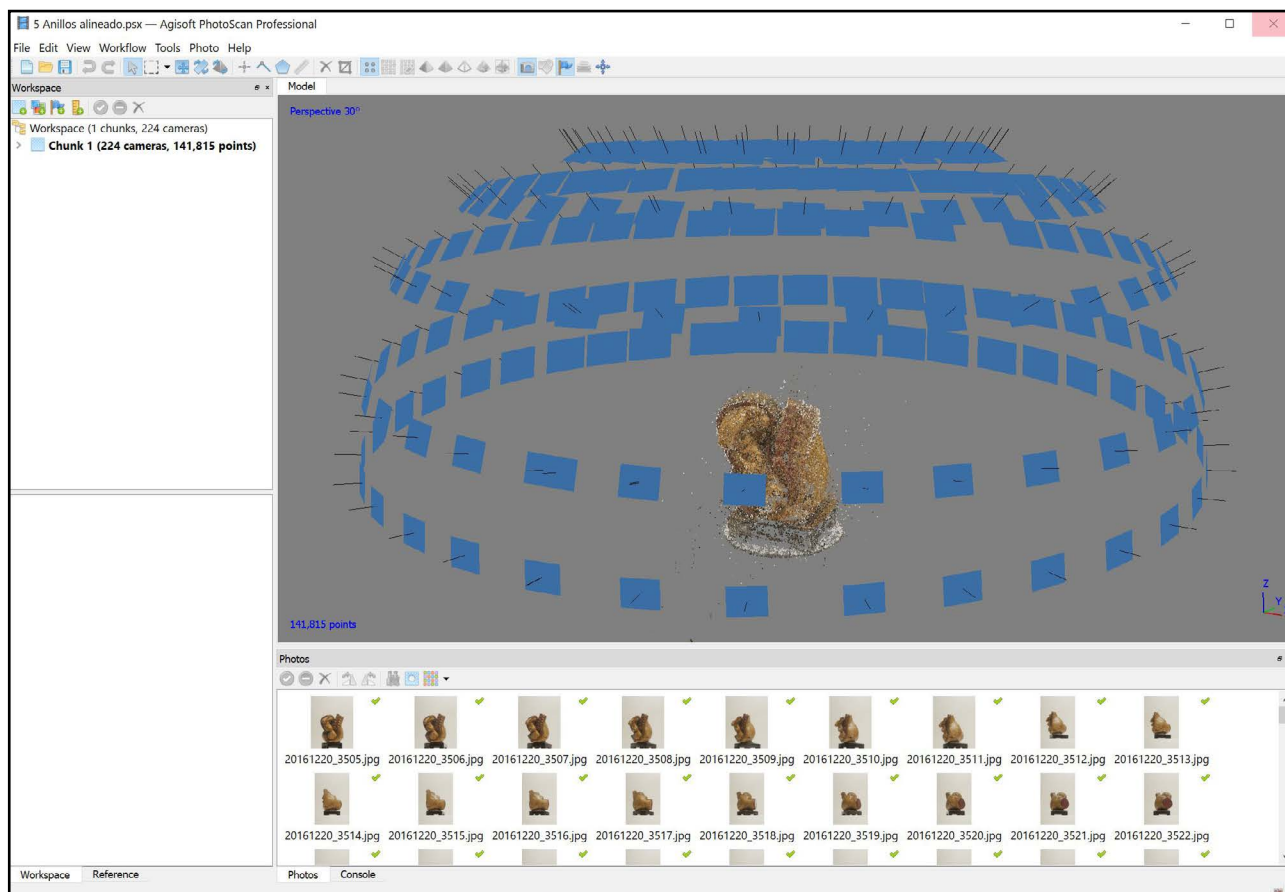


Figura 3. Alineamiento de imágenes y creación de nube de puntos dispersa en *Agisoft Photoscan*.

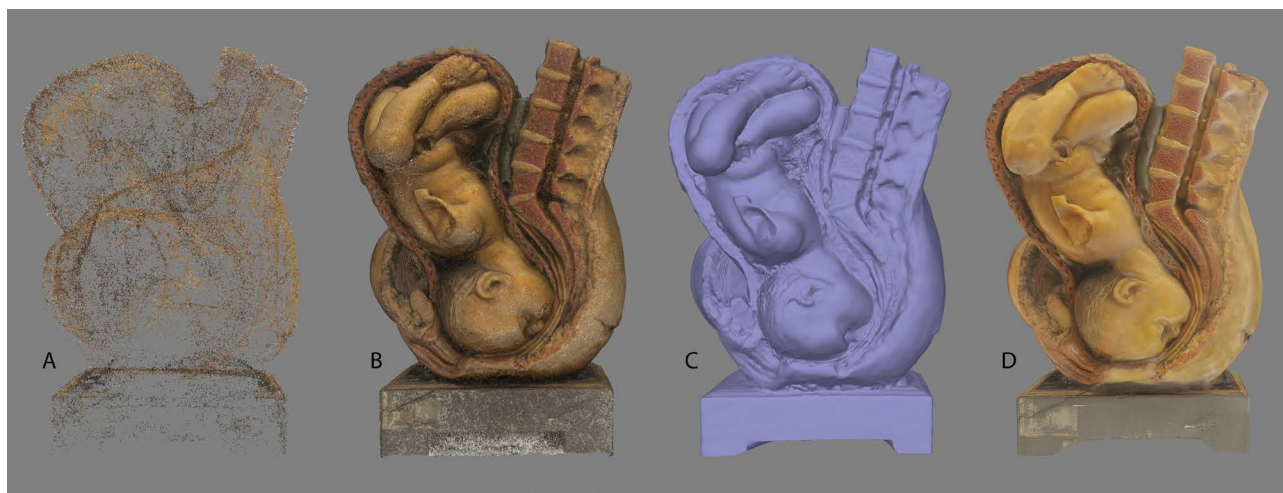


Figura 4. Fases del levantamiento fotogramétrico en *Agisoft Photoscan*: a) nube de puntos dispersa; b) nube de puntos densa; c) malla 3D; d) Malla 3D con textura fotográfica aplicada.

tuviera exactamente las mismas dimensiones que la figura de cera original, se procedió a modificar su escala en *ZBrush*, creando en este programa diferentes segmentos con las medidas previamente tomadas entre distintos pares de puntos del modelo de cera (Figura 6). Con la intención de obtener un mejor ajuste de la textura fotográfica en el modelo 3D y facilitar su edición, se realizó una copia del mismo en *ZBrush*, que se sometió a continuación un

proceso de retopología en este programa, reduciéndose asimismo el número de polígonos de la malla (Figura 7). Se procedió al mapeado UV de la figura, proceso mediante el cual se establece una correspondencia entre los polígonos de la malla y la textura fotográfica que le otorga su aspecto material. Este proceso es esencial para que la imagen se proyecte adecuadamente sobre la superficie y no se produzcan estiramientos o compresiones de ésta. La copia

se subdividió entonces para proyectar sobre ella todos los detalles del modelo obtenido por fotogrametría (Figura 8). El nuevo modelo 3D obtenido se exportó nuevamente a *Agisoft Photoscan* para proyectar sobre él la textura creada a partir de las 260 tomas fotográficas.

Reconstrucción virtual

Para modelar las partes ausentes del modelo, se volvió a llevar la malla 3D a *ZBrush*, donde se crearon virtualmente el pie derecho y el miembro superior izquierdo. En el caso

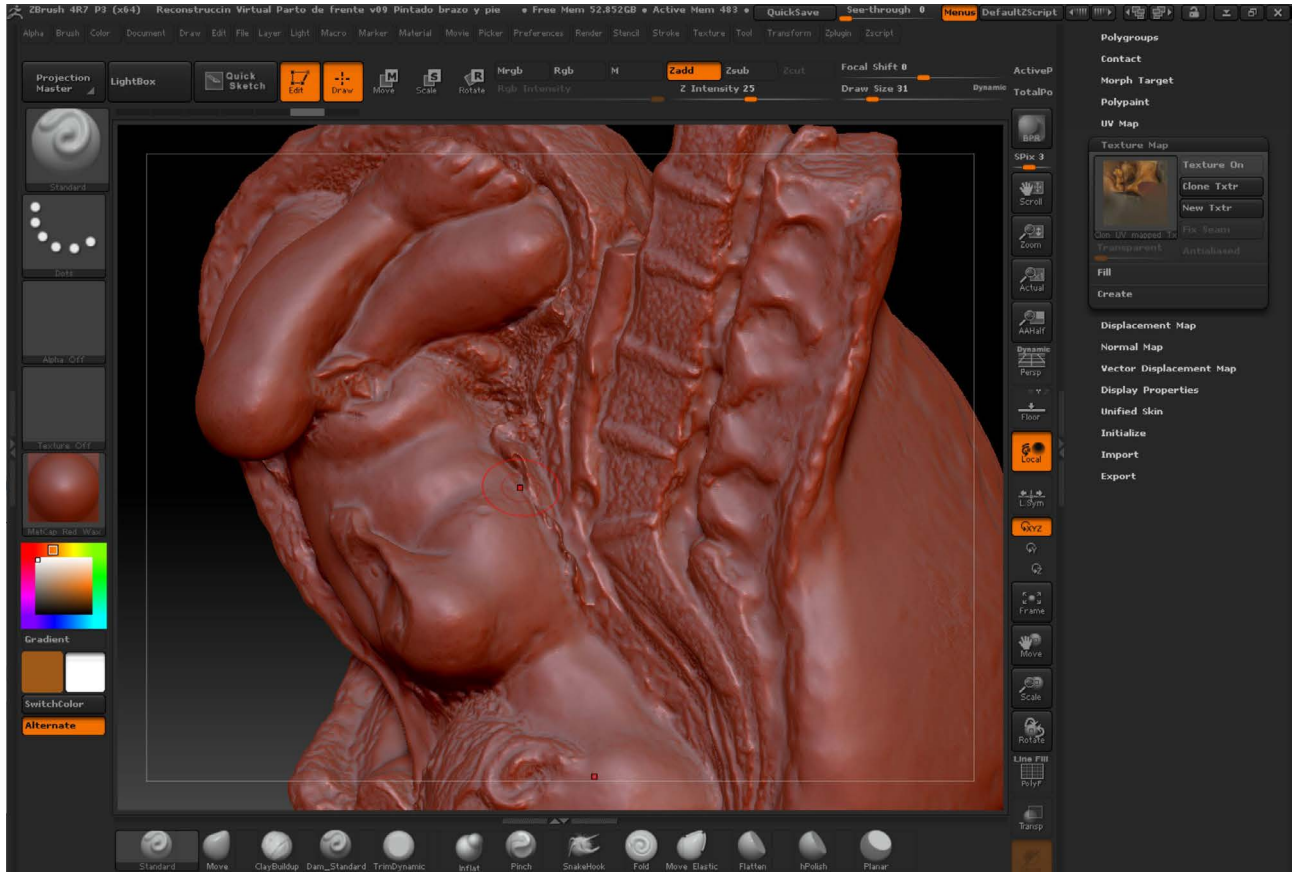


Figura 5. Reparación de errores de malla en *Pixologic ZBrush*.



Figura 6. a) Toma de medidas del modelo original. b) Establecimiento de la escala correcta en *Pixologic ZBrush*.

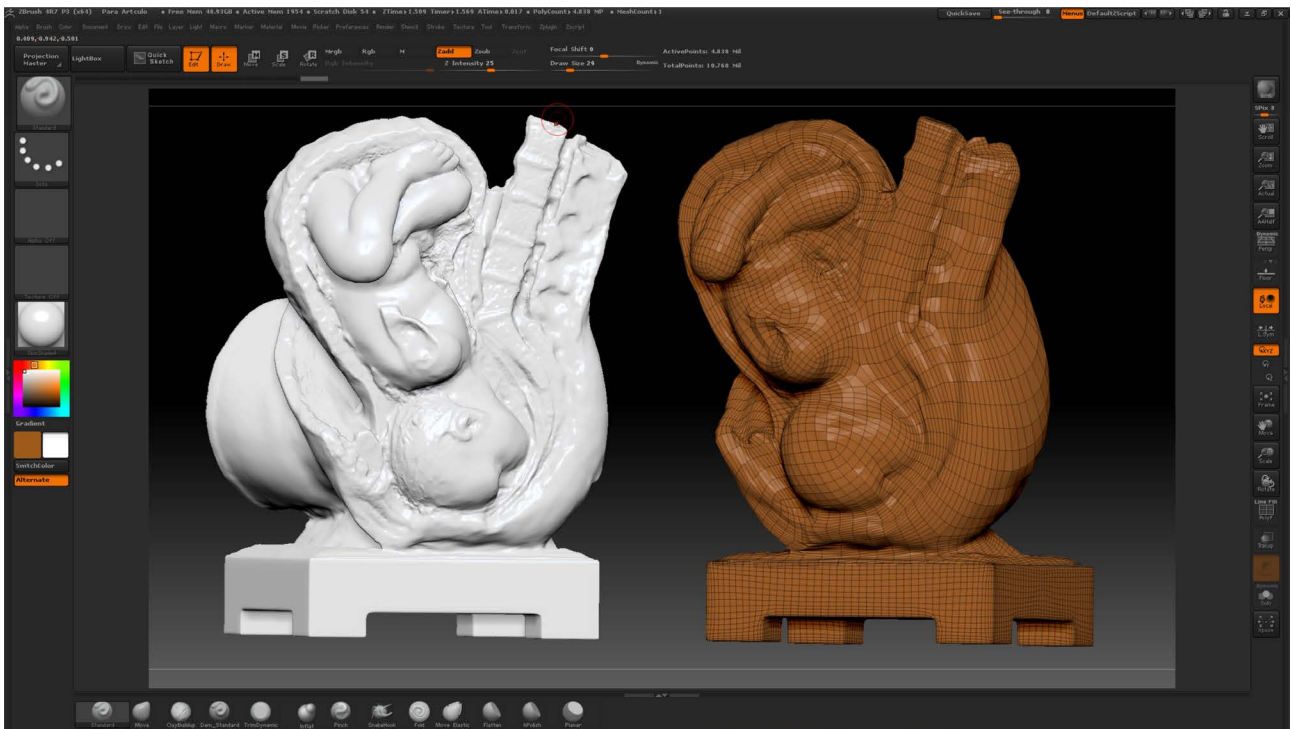


Figura 7. Proceso de retopología en Pixologic ZBrush.

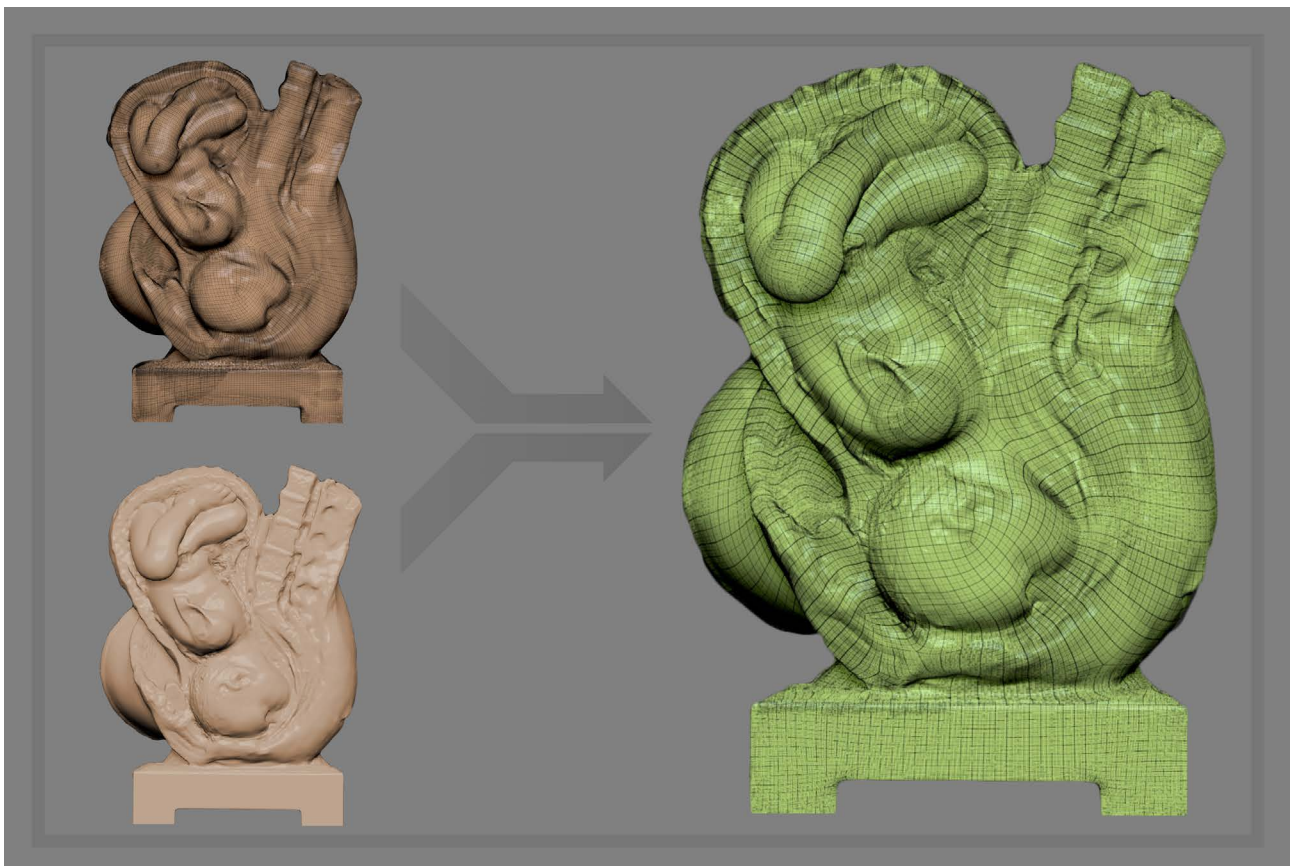


Figura 8. Proyección del detalle desde el modelo digitalizado en Photoscan sobre la copia que se trató en Pixologic ZBrush.

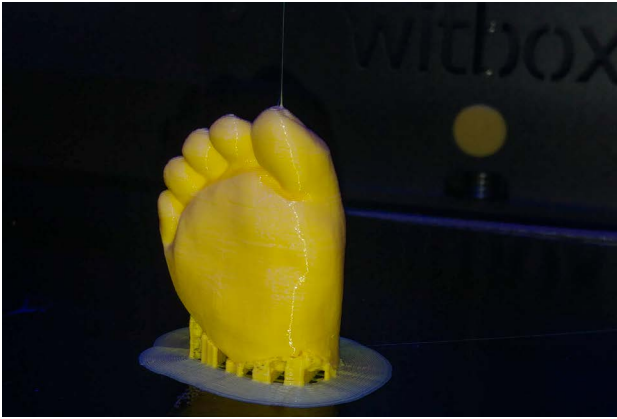


Figura 9. Obtención de una copia del pie derecho del modelo mediante impresión 3D.

del pie, éste se clonó directamente a partir del derecho, que se había conservado, y a continuación se invirtió de forma simétrica, ajustando luego su forma a la del área de fractura. El brazo, antebrazo y mano izquierdos fueron modelados desde cero con las herramientas de escultura digital que posee el programa.

La base de madera sobre la que reposa la figura del feto tuvo que ser modelada nuevamente en *ZBrush* debido a que las zonas inferiores no quedaron bien registradas durante el proceso de fotogrametría, al no haberse podido tumbar o invertir la obra para fotografiarlas correctamente a causa de la extrema fragilidad que presentaba el material céreo.

Impresión 3D

A partir de la reconstrucción virtual del modelo, se realizaron copias físicas de los elementos ausentes me-

dante impresión 3D, con el fin de comprobar que se ajustaban de manera adecuada a la figura de cera. Para su impresión 3D, el modelo se exportó en formato STL y se editó en el programa de laminado *Ultimaker Cura*, donde se especificaron los parámetros necesarios para una correcta reproducción: filamento de ácido poliláctico (PLA) de 1,75 mm, altura de capa de 0,2 mm, temperatura de fusión de 205 °C y velocidad de impresión de 50 mm/s. Con la configuración descrita, se generó un archivo de tipo GCode, que contiene las órdenes que la impresora debe interpretar para realizar la reproducción. Este fichero se grabó en una tarjeta de memoria SD que se insertó en la impresora 3D, una máquina modelo Witbox, de la empresa BQ. Una vez reproducida la pieza (Figura 9), se repasó para eliminar los soportes y rebabas derivados del proceso de impresión.

Concluida la reproducción de todas las partes ausentes de la obra original, se comprobó el ajuste perfecto de estas piezas en el modelo de cera y se crearon los moldes necesarios para su reproducción final con una nueva pasta de cera

Obtención de los moldes por impresión 3D

Para obtener las reproducciones definitivas a partir de las piezas reconstruidas virtualmente mediante modelado 3D en *ZBrush*, es necesario crear moldes para verter en su interior la cera líquida en sucesivas capas, según el método escultórico tradicional. En este estudio, hemos ensayado dos métodos de moldeado alternativos a los moldes de silicona tradicionales, que posteriormente hemos comparado con el fin de analizar su rapidez, exactitud y coste económico.

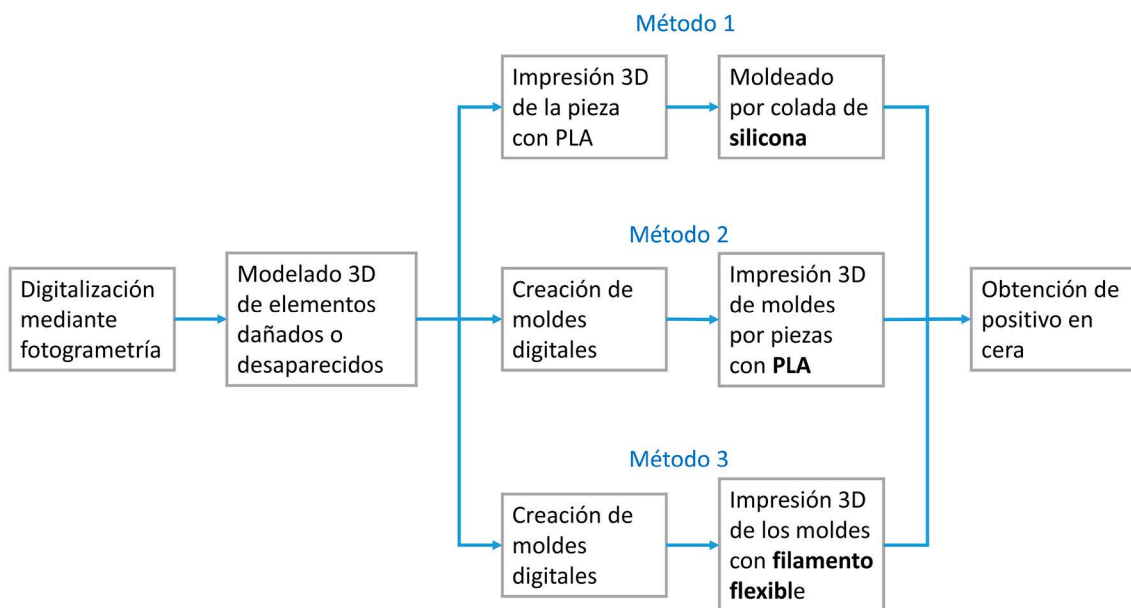


Figura 10. Esquema del proceso de reconstrucción del pie.

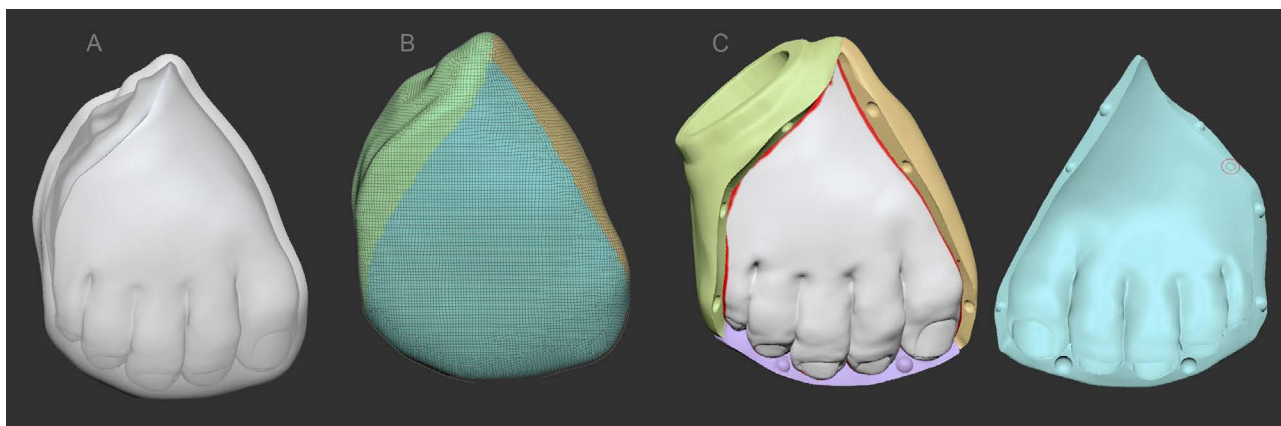


Figura 11. Elaboración en *ZBrush* de moldes por piezas para impresión con filamento de PLA: a) copia del pie aumentada un 10 % y suavizada para dejar una superficie externa lisa (compárese con la silueta del pie vista por transparencia); b) división del molde en piezas utilizando la función *Group from Polypaint*; c) molde por piezas una vez sustraído de cada una el volumen correspondiente al pie y añadidos los tetones para asegurar el correcto encaje de las mismas.

Método 1 – Moldes rígidos por piezas

El primer método de moldeado que se probó para el pie es totalmente novedoso en este tipo de intervenciones y se basó en la creación de moldes rígidos por piezas mediante un proceso puramente digital (Figura 10). Para ello se crearon moldes digitales de la pieza en *ZBrush* similares a los tradicionales de escayola. Con dicho fin, se realizó en *ZBrush* una copia de la malla 3D del pie, que más tarde se escaló un 10 % para hacerla ligeramente más grande y se dividió en varias secciones, de modo que todas tuvieran salida en la fase de desmoldeo. A todas ellas se les restó el volumen del pie para obtener su negativo digital (Figura 11). Adicionalmente, se realizó otra copia del pie, esta vez incrementada en un 30 %, a fin de generar los contramoldes. Para lograr la forma negativa interior de los éstos, se sustrajo a los mismos una copia de los moldes previamente creados, que se escaló un 2 % adicional para tener en cuenta un pequeño margen de ajuste entre los moldes y la madre o contramolde. Una vez obtenidos los moldes y contramoldes, éstos fueron reproducidos físicamente utilizando una impresora 3D con filamento de PLA de forma semejante a la descrita en el método anterior (Figura 12).



Figura 12. Moldes rígidos por piezas impresos en PLA.

Método 2 – Moldes flexibles

El segundo método ensayado para la creación de moldes del pie fue también digital y tampoco se han encontrado estudios de reconstrucción en los que se haya empleado. Consistió en la creación de moldes flexibles mediante impresión 3D. En este caso, se realizaron en *ZBrush* dos matrices digitales siguiendo una línea de división parecida a la utilizada en los moldes de silicona tradicionales. En primer lugar, se creó un prisma de base rectangular con un tamaño ligeramente mayor que el pie, en el que se realizaron algunos cortes para ajustar su forma a la de éste y dividiéndolo en dos partes, superior e inferior. Más tarde, se restó el volumen del pie a cada una de esas dos mitades para crear sendos negativos del empeine y la planta (Figura 13). Asimismo, se restó una pieza cónica creada a modo de embudo para facilitar la introducción de la cera durante la reproducción. Para finalizar, se crearon tetones en los bordes de los moldes digitales que favoreciesen el anclaje entre las diferentes piezas.

Se exportó el modelo a un formato STL, con el que se generó el correspondiente archivo GCode en *Ultimaker Cura* con una configuración adecuada para su reproducción con Filaflex, material flexible compatible con la impresora 3D Witbox. (Figura 14).

Método 3 – Moldes por colada de silicona

El último método experimentado para la creación de moldes del pie se basó en el proceso tradicional de molde por colada de silicona (Figura 15). Para ello, se construyó inicialmente una cama de plastilina que ocultaba aproximadamente la mitad de la pieza. Sobre ella se cavaron numerosos tetones en los bordes para asegurar que ambas mitades del molde ajustasen en la posición correcta durante el proceso de positivado. Asimismo, se colocaron tabiques de contención de plástico en los laterales y fondos, que fueron sellados con plastilina para evitar fugas del material. Una vez preparada la pieza, se vertió sobre ella

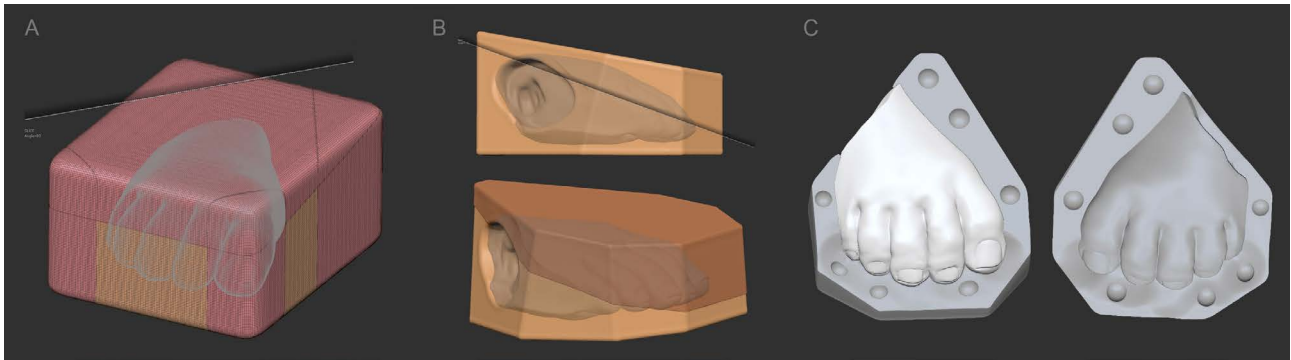


Figura 13. Elaboración en *ZBrush* de moldes para impresión con filamento flexible: a) realización de cortes para ajustar molde a la forma del pie; b) sección del molde para obtener pieza superior e inferior (también se ha perforado un orificio cónico para el vertido de la cera); c) piezas del molde una vez sustraído el volumen correspondiente al pie y creados los tetones para un adecuado ajuste entre ellas.

silicona específica para colada y se dejó curar durante 24 horas, tras lo cual se desmoldó. Tras eliminar algunas rebabas, se aplicó vaselina industrial sobre la mitad inferior del molde recién obtenida y se colocaron nuevamente los tabiques, vertiendo otra vez silicona suficiente para crear la mitad superior del molde siguiendo los mismos pasos.

Para la creación de los moldes de la extremidad superior izquierda se utilizó también un sistema de molde por colada de silicona (Figura 16).

Obtención de positivos en cera

Para la creación de la reproducción definitiva en cera, se utilizó el mismo método para los tres tipos de moldes, con algunas diferencias según el caso. En primer lugar, se aplicó vaselina industrial como agente desmoldante a todos los moldes. A continuación, se acoplaron unos con otros y se fijaron en la posición correcta mediante bandas elásticas y placas de madera en el caso de los moldes elásticos de silicona y Filaflex, y únicamente mediante bandas elásticas en el caso de los moldes rígidos por piezas.

Se creó una mezcla de cera de abeja blanqueada y sin blanquear en una proporción de 7:1 y se añadieron pigmentos para teñir la cera con un color similar al del modelo original. Previamente se hizo una serie de pruebas hasta hallar la mezcla adecuada. La mezcla de cera se calentó hasta una temperatura de 75 °C y se vertió en el interior de los moldes a través del orificio destinado para este fin, volteando continuamente el conjunto para distribuirla de forma homogénea. Trascurrido unos segundos, se vació el molde y se procedió a repetir la operación de llenado para crear varias capas con la cera fundida a temperaturas cada vez más bajas hasta llegar a la temperatura de fusión (65 °C). Por último, se dejó enfriar la cera durante 12 h y se abrieron los diferentes moldes para extraer las reproducciones. Estas copias fueron tratadas con el utillaje preciso para eliminar cualquier huella en su superficie derivada del proceso de impresión, así como las rebabas debidas a las uniones de los moldes.

Obtenidas las correspondientes reproducciones por cada uno de los tres métodos de moldeo anteriormente descritos, éstas se compararon entre sí analizando su calidad y la exactitud de la copia en relación con el modelo 3D de la zona reconstruida virtualmente, así como el tiempo y el coste de ejecución.

Resultados y conclusión

A partir del modelo anatómico de cera digitalizado mediante la técnica de fotogrametría, se creó un modelo



Figura 14. Molde del pie impreso en filamento flexible.



Figura 15. Moldes de silicona del pie.



Figura 16. Obtención del molde de silicona a partir de las piezas impresas.

virtual en tres dimensiones. La mayor parte de los detalles de su superficie quedaron registrados volumétricamente. Solo hubo fallos en la interpretación de los volúmenes de aquellas partes que eran extremadamente delgadas, como la membrana amniótica, de un espesor inferior a 1 mm, o en huecos muy profundos y angostos, donde no penetra la luz adecuadamente. También se apreció una ligera rugosidad generalizada en la superficie del modelo 3D, que fue interpretada como un ruido derivado de los brillos imposible de ser totalmente controlados durante la toma fotográfica.

La imagen de textura obtenida en *Photoscan* a partir de las imágenes fotográficas capturadas desde múltiples ángulos reflejaba adecuadamente los detalles cromáticos

de la figura de cera. Únicamente requirió ajustes manuales en una pequeña área del modelo debido a la sobreexposición que presentaba como consecuencia de algunos reflejos de luz que no pudieron anularse por completo al tomar las fotografías.

Las partes ausentes reconstruidas mediante modelado en *ZBrush* recogieron los principales detalles anatómicos y permitieron reproducir una textura superficial y un aspecto formal similar a los de los miembros que se han conservado en la escultura original (Figura 17).

La reproducción en PLA obtenida mediante impresión 3D registró correctamente toda la volumetría de la reconstrucción virtual de los miembros que habían sufrido daños. En su superficie se pudo apreciar una ligera trama lineal que se correspondía con la orientación de las capas durante su impresión. No se observaron irregularidades de la superficie debidas al descuelgue del material ni tampoco en las zonas de unión de los soportes con el modelo reproducido. La zona de junta de unas piezas con otras era relativamente poco evidente y muy estable. Ésta se pudo disimular con plastilina antes de la creación de los moldes.

Los extremos de las copias impresas de las extremidades reconstruidas encajaron de forma bastante fiel con los extremos proximales de éstas en la obra original, y no se apreció ninguna discrepancia entre las escalas de unas y de otras.

En cuanto a los moldes, los realizados en silicona a partir de la copia impresa de las áreas reconstruidas, se



Figura 17. Detalle de partes reconstruidas virtualmente (miembro superior izquierdo y pie derecho). El resultado muestra un acabado similar al del modelo original.

Tabla 1

Comparativa de los métodos de moldeo empleados

Sistema empleado	Tiempo de elaboración	Tiempo de impresión	Tiempo curado	Calidad registro	Facilidad desmoldeo	Coste de materiales*
Silicona	129 min	–	48 h	Alta	Alta	Medio
PLA por piezas	200 min	11 h 22 min	–	Alta	Alta	Bajo
Filaflex	35 min	6 h 23 min	–	Alta	Alta	Bajo

* Sin tener en cuenta los equipos informáticos necesarios.

desmoldaron con facilidad y no han presentado ningún tipo de artefacto en su superficie, recogiendo todos los detalles de la misma, incluida la fina trama lineal debida a la orientación de las capas durante la impresión (Tabla 1).

El molde rígido por piezas creado en *ZBrush* y reproducido mediante impresora 3D registró todos los detalles de los elementos reconstruidos, siendo también visible en su superficie la trama lineal antes mencionada. Las diferentes piezas de cada molde encajaron correctamente unas con otras.

Por último, los moldes elásticos creados mediante impresión con Filaflex capturaron bien la volumetría, aunque con una fidelidad al modelo reconstruido algo menor debido a que era más evidente la trama lineal que se generó por superposición de capas y también por la dificultad de eliminar los hilos que quedaron colgando entre algunas áreas durante el proceso de impresión con este material.

El desmoldeo fue sencillo en los tres casos, aunque requirió un mayor cuidado en el molde por piezas que en los realizados en materiales flexibles.

En relación al tiempo requerido para su elaboración, el proceso de creación de moldes rígidos por piezas digitales fue el más laborioso (3 h 20 min) debido al alto número de partes que lo componen y a una más compleja planificación de las divisiones a realizar (Tabla 1). A éste hay que sumarle también el tiempo de impresión de las piezas (11 h 22 min). Este procedimiento requirió, además, de un mayor tiempo de repaso de juntas de unión en la reproducción en cera. El tiempo de trabajo empleado para crear los moldes de filamento flexible fue el más bajo (35 min), sin contar el tiempo de impresión del molde (6 h 23 min), seguido del moldeo con silicona (1 h 55 min), aunque a este último hay que añadirle el tiempo necesario para imprimir una copia en PLA del modelo (2 h 9 min) y el tiempo de curado de la silicona, que fue de 24 h para cada pieza.

En cuanto al coste económico, siempre que se cuente con una impresora 3D, el gasto resulta algo menor en los dos métodos de moldeo digital que en el tradicional debido a que el precio de la silicona es más elevado que el del PLA y el filamento flexible (Tabla 1).

Respecto a la reproducción en cera a partir de los moldes elaborados mediante los métodos que se acaban de comentar, en los tres casos se crearon con éxito las copias, siendo de una calidad similar en todos ellos, aunque en la obtenida a partir del molde realizado con Filaflex, de nuevo resultaron ligeramente más evidentes las líneas debidas a la orientación de las capas. No obstante, una vez suavizadas las copias, la calidad de todas ellas fue muy similar y la trama lineal desapareció por completo en todos los supuestos estudiados (Figura 18).

El uso de nuevas tecnologías de digitalización, modelado en impresión 3D ha permitido la reconstrucción de las áreas dañadas del modelo reduciendo al mínimo su manipulación y evitando por completo la aplicación de agentes químicos sobre su superficie para la creación de moldes. Se han conseguido acortar los tiempos de ejecución correspondientes a las distintas fases de la intervención, especialmente cuando se utilizan moldes de filamento flexible. También ha sido menor en ambos casos el coste económico del proceso. Por todo ello, se considera que la metodología aplicada en este trabajo puede ser una alternativa interesante para la realización de este tipo de tratamientos en colecciones ceroplásticas.

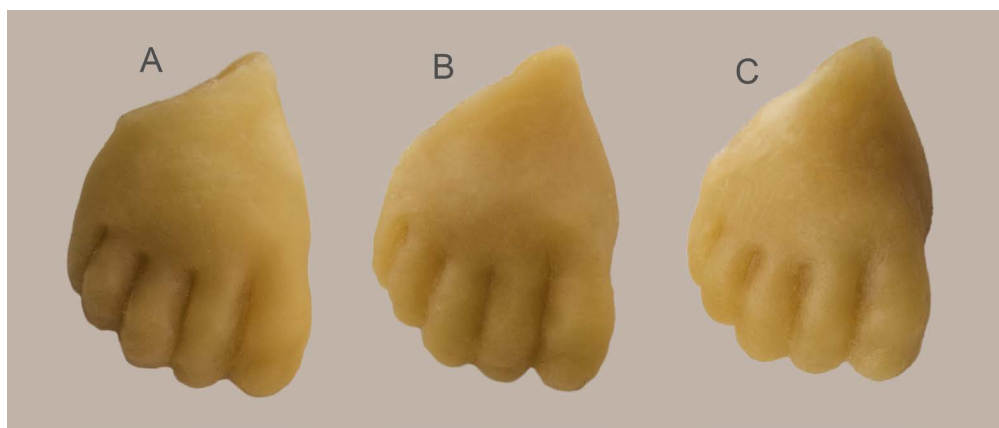



Figura 18. Comparación de las reproducciones del pie obtenidas por los 3 diferentes métodos de moldeo utilizados.

Agradecimientos

Investigación financiada dentro del Proyecto Santander-UCM Ref.: PR26/16-20322. Los autores quieren expresar su agradecimiento al profesor Fermín Viejo Tirado, Director del Museo de Anatomía “Javier Puerta” de la Facultad de Medicina, así como al Vicerrectorado de Extensión Universitaria, Cultura y Deporte de la Universidad Complutense de Madrid, por la colaboración prestada durante la realización de esta investigación.

ORCID

Alicia Sánchez-Ortiz

 <https://orcid.org/0000-0002-3358-1943>

Referencias

- De Chandarevian, S.; Hopwood, N. (eds.), *Models: The Third Dimension of Science*, Stanford University Press, Stanford (2004).
- Maerker, A., ‘Anatomizing the trade: designing and marketing anatomical models as medical technologies, ca. 1700-1900’, *Technology and Culture* **54**(3) (2013) 531-562, <https://doi.org/10.1353/tech.2013.0108>.
- Haviland, T. N.; Parish, L. C., ‘A brief account of the use of wax models in the study of Medicine’, *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* **25**(1) (1970) 52-75, <https://dx.doi.org/10.1093/jhmas/XXV.1.52>.
- Talairach-Vielmas, L., ‘Anatomical models: a history of disappearance?’, *Histoire, Médecine et Santé* **5** (2014) 9-20.
- ‘The Leiden declaration on human anatomy/anatomical collections’ (2012), International Conference on ‘Cultures of Anatomical Collections’, held at Leiden University, Leiden University, <http://media.leidenuniv.nl/legacy/leiden-declaration.pdf> (acceso en 2018-6-10).
- Pierdicca, R.; Frontoni, E.; Malinverni, E. S.; Colosi, F.; Orazi, R., ‘Virtual reconstruction of archaeological heritage using a combination of photogrammetric techniques: Huaca Arco Iris, Chan Chan, Peru’, *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* **3**(3) (2016) 80-90, <https://doi.org/10.1016/j.daach.2016.06.002>.
- Scopigno, R.; Cignoni, P.; Pietroni, N.; Callieri, M.; Dellepiane, M., ‘Digital fabrication techniques for cultural heritage: a survey’, *Computer Graphics Forum* **36**(1) (2017) 6-21, <https://doi.org/10.1111/cgf.12781>.
- Di Paola F., ‘Digital technologies for virtual recomposition: the case study of Serpotta stuccoes’, *Journal of the Malta Chamber of Scientists* **3**(1) (2015) 63-68, <https://doi.org/10.7423/XJENZA.2015.1.09>.
- Charbonnier, B.; Laurent, C.; Blanc, G.; Valfort, O.; Marchat, D., ‘Porous bioceramics produced by impregnation of 3d-printed wax mold: ceramic architectural control and process limitations’, *Advanced Engineering Materials* **18**(10) 1728-1737, <https://doi.org/10.1002/adem.201600308>.
- Rodriguez, R. U.; Kemper, N.; Breathwaite, E.; Dutta, S. M.; Hsu, E. L.; Hsu, W. K.; Francis, M. P., ‘Deminerized bone matrix fibers formable as general and custom 3D printed mold-based implants for promoting bone regeneration’, *Biofabrication* **8**(3) (2016) 035007, <https://doi.org/10.1088/1758-5090/8/3/035007>.
- Arbace, L.; Sonnino, E.; Callieri, M.; Dellepiane, M.; Fabbri, M.; Iaccarino Idelson, A.; Scopigno, R., ‘Innovative uses of 3D digital technologies to assist the restoration of a fragmented terracotta statue’, *Journal of Cultural Heritage* **14**(4) (2013) 332-345, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.06.008>.
- Dacome, L., *Malleable Anatomies. Models, Makers, and Material Culture in Eighteenth-Century Italy*, Oxford University Press, Oxford (2017).
- Azzaroli Puccetti, M. L., ‘Human anatomy in wax during the Florentine Enlightenment’, *Italian Journal of Anatomy and Embriology* **102**(2) (1997) 77-89.
- Maerker, A., *Models Experts: Wax Anatomies and Enlightenment in Florence and Vienna, 1775-1815*, Manchester University Press, Manchester (2011).
- Maerker, A., ‘Florentine anatomical models and the challenge of medical authority in late-eighteenth-century Vienna’, *Studies in History and Philosophy of Science* **43**(3) (2012) 730-40, <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2012.02.005>.
- Usandizaga, M., *Historia del Real Colegio de Cirugía de San Carlos de Madrid (1787-1828)*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (1948).
- Burke, M. E., *The Royal College of San Carlos. Surgery and Spanish Medical Reform in the Late Eighteenth Century*, Duke University Press, Durham (1977).
- Sánchez, A.; Del Moral, N.; Micó, S., ‘Entre la Ciencia y el Arte. Ceroplástica anatómica para el Real Colegio de Cirugía de San Carlos (1786-1805)’, *Archivo Español de Arte* **85**(340) (2012) 329-349, <https://doi.org/10.3989/aearte.2012.v85.i340.518>.
- ‘Libro de representaciones, respuestas y ordenanzas, y Reales Ordenes con arreglo a la ordenanza de cirugía. Madrid, 1787-1815’, manuscrito, Archivo General de la Universidad Complutense, Madrid, BH UCM, Mss 927.
- Massey, L., ‘Pregnancy and pathology: picturing childbirth in eighteenth-century obstetric atlases’, *The Art Bulletin* **87**(1) (2005) 73-91, <https://doi.org/10.1080/00043079.2005.10786229>.
- Smellie, W., *A Sett of Anatomical Tables, With Explanations and an Abridgement of the Practice of Midwifery: With a View to Illustrate a Treatise on That Subject, and Collection of Cases*, London (1754).
- Bonells, J.; Lacaba, I., *Curso Completo de Anatomía del Cuerpo Humano*, vol. 5, Imprenta de Sancha, Madrid (1800).
- Sánchez, A.; Matia, P., ‘Modelos plásticos o simulacros de carne. Procedimientos tecnológicos en la creación de esculturas en cera’, *De Arte* **15** (2016) 310-326, <https://doi.org/10.18002/da.v0i15>.

Recibido: 2018-1-29

Revisto: 2018-4-17

Aceptado: 2018-6-2

Online: 2018-6-11



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

La Virgen con el Niño Jesús Dormido: estudio de dos imágenes superpuestas

Ana Calvo* 

Ruth Chércoles 

Alicia Sánchez 

Margarita San Andrés 

*Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Bellas Artes, Departamento de Pintura y Conservación-
Restauración, Calle Pintor El Greco 2, 28040 Madrid, España*

* ancalvo@art.ucm.es

Resumen

En este artículo se presenta el estudio de una pintura anónima sobre lienzo que representa la Virgen con el Niño Jesús Dormido. Durante su proceso de restauración se detectó una pintura subyacente y la radiografía de la obra mostró la existencia de una composición subyacente. Se trataba del mismo tema, aparentemente en fase pictórica terminada, pero volteado horizontalmente con respecto a la imagen visible, como si fuera su imagen especular. Esta circunstancia poco frecuente suscitó un estudio de materiales con el objetivo de intentar trazar los avatares de la obra a través del tiempo. Los resultados del estudio estratigráfico mediante técnicas microscópicas (MO y SEM-EDX), mostraron la utilización de pigmentos muy similares. La existencia de una preparación coloreada en la pintura original y el empleo de esmalte en ambas pinturas (la subyacente y la visible), junto con el análisis del estilo de ambas representaciones así como de los modelos utilizados, nos lleva a situar la ejecución de ambas a finales del siglo XVII o principios del siglo XVIII.

Palabras clave

Pintura sobre lienzo
Pigmentos
Radiografía
Superposición de imágenes
Esmalte
SEM-EDX

A Virgem com o Menino Jesus Adormecido:
estudo de duas imagens sobrepostas

Resumo

Neste artigo apresentamos o estudo de uma pintura anónima sobre tela representando *A Virgem com o Menino Jesus Adormecido*. Durante o processo de restauro, uma pintura subjacente foi detectada e a radiografia mostrou a existência de uma composição subjacente. O assunto, aparentemente na sua fase pictórica final, é o mesmo, mas virado horizontalmente em relação à imagem visível, como se fosse a sua imagem no espelho. Esta circunstância pouco frequente justificou o seu estudo material com o objectivo de tentar averiguar os avatares do trabalho ao longo do tempo. Os resultados do estudo estratigráfico, utilizando técnicas de microscopia (OM e SEM-EDX) mostraram o uso de pigmentos muito semelhantes. A existência de uma preparação colorida na pintura original e o uso de esmalte em ambas as pinturas (a subjacente e a visível), juntamente com a análise do estilo de ambas as representações e os modelos utilizados, levam-nos a situar a execução das duas obras no final do século XVII ou início do século XVIII.

Palavras-chave

Pintura sobre tela
Pigmentos
Radiografia
Sobreposição de imagens
Esmalte
SEM-EDX

ISSN 2182-9942



The Virgin with the Sleeping Child Jesus: study of two overlapping images

Abstract

This paper presents the study of an anonymous painting on canvas with the representation of *The Virgin with the Sleeping Child Jesus*. During the restoration process, an underlying paint was detected and the radiograph showed the existence of an underlying composition. The theme is the same, apparently in the finished pictorial phase, but flipped horizontally with respect to the visible picture, as if it were its specular image. This infrequent circumstance aroused a study of materials with the aim of trying to trace the avatars of the work over time. The results of the stratigraphic analysis by microscopic techniques (OM and SEM-EDX) show the use of very similar pigments. The use of colored ground in the original paintings and especially the use of smalt in all cases, together with the analysis of the style of both representations as well as the models used, lead us to situate the execution of both works, the visible and the underlying, in the end of 17th or beginning of 18th century.

Keywords

Canvas painting
Pigments
Radiography
Overlay painting
Smalt
SEM-EDX

Introducción

En pintura de caballete no es extraña la existencia de diferentes composiciones pictóricas aplicadas sobre un mismo soporte. Pueden ser varias las razones de esta simultaneidad, siendo una de las situaciones más frecuentes aquella en la que los cambios observados están motivados por un replanteamiento del artista en cuanto a la disposición de las figuras. También puede ser debido al hecho de disponer de superficies ya preparadas de esbozos no satisfactorios para realizar un nuevo encargo y, en estos casos, la obra superpuesta no tiene ninguna relación con la original, aunque la autoría pudiera ser la misma. En otros, esta superposición puede deberse a cambios en la representación iconográfica de las imágenes; en este caso, la ejecución de la nueva obra superpuesta suele ser muy posterior a la de la pintura original.

El conocimiento de este tipo de actuaciones ha sido posible gracias a la realización de los correspondientes exámenes de imagen, especialmente a través de estudios radiográficos. Existen múltiples ejemplos de estas situaciones que han sido objeto de investigación, como los citados en Portugal por A. J. Cruz [1]. Algunos casos notables de pinturas realizadas sobre otras son el *Retrato de Hombre Joven*, de Rembrandt, pintado sobre una mujer meciedo una cuna [2, pp. 82-83]; el retrato de *La Condesa de Chinchón*, que Goya pintó sobre otros dos anteriores, identificados como el marqués de Villafranca y Manuel Godoy [3]. Otro ejemplo de este mismo autor es el retrato de Jovellanos, cuyo estudio radiográfico ha constatado la existencia de otro ejecutado con anterioridad, que representa a un personaje femenino y cuya realización ha sido también atribuida a Goya [4]. Igualmente, el estudio radiográfico ha evidenciado cambios notables en la versión inicial de la obra de Caravaggio *El Martirio de San Mateo*, cuya primera composición pictórica muestra diferencias notables con respecto a la definitiva [2, pp. 82-83].

Lo que resulta poco frecuente es encontrar la misma composición completa subyacente, pero dispuesta como si se tratara de su imagen especular, es decir, volteada ho-

rizontalmente. Un caso que conocemos, referido a este tipo de cambio, es el de la tabla central del *Tríptico de la Piedad, San Juan y Santa María Magdalena*, del Museo Nacional del Prado, de Luis de Morales [5]; sin embargo, hay que indicar que, en este caso, la obra subyacente es simplemente el dibujo preparatorio aplicado por el propio artista y, por tanto, no corresponde a una obra pintada. También de ese mismo artista, que realizó numerosas versiones de sus propias pinturas, se conservan, por ejemplo, otras obras con ese mismo tema, la *Piedad*, similares a la citada, pero con las figuras invertidas o volteadas horizontalmente en su posición, con respecto a las del tríptico indicado: una se encuentra en el Museo del Prado (P2513), otra en la parroquia de San Pedro y San Pablo en Polán (Toledo), y una tercera en el Museo de Bellas Artes de Bilbao [6]. Similar es el caso de la obra de Pontormo, *José con Jacob en Egipto*, de la National Gallery, de Londres, que presenta un dibujo subyacente en composición invertida con respecto a la pintura [7], como sucede en muchos otros casos de pinturas esbozadas previamente en sentido contrario o copiadas de grabados.

En la tabla de *la Anunciación* de Vasco Fernandes que se encuentra en el Museo de Lamego (Portugal), también se detectó a través de su radiografía un cambio pictórico similar que, aunque no afectaba a la totalidad de la composición, sí resultaba evidente en el segundo plano de la escena. En la Figura 1 se aprecia la modificación de posición – de izquierda a derecha – de la cama y el dosel con el nudo en la cortina, además de otros arrepentimientos [8].

También en Portugal es citada por A. J. Cruz una *Virgen el Rosario*, del Convento de la Madre de Dios en Vinhó, del siglo XVI, que presentaba dos repintes encima de los siglos XVII y XVIII, mostrando esta última modificación la figura del Niño Jesús y la posición de la Virgen invertidas [1].

En este artículo se muestra el caso de una pintura de caballete que representa a *La Virgen con el Niño Jesús Dormido* (Figura 2). Se trata de una pintura sobre lienzo de la Diócesis de Salamanca, de la que no se disponen datos sobre su procedencia, fecha de ejecución, ni de su



Figura 1. *La Anunciación*, Vasco Fernandes, Museo de Lamego (Portugal): a) imagen visible; b) imagen radiográfica. Imágenes de Joana Salgueiro.

autoría. En el primer plano de esta obra aparece el Niño Jesús desnudo y dormido sobre un lecho de paños blancos y con la cabeza apoyada en una almohada. Justo detrás, se encuentra la Virgen, que ocupa la parte central de la escena y sostiene con los dedos la sábana levantada para mostrar al Niño que duerme. La Virgen lleva un vestido en tonos rojizos, un manto azul que cubre su hombro y brazo derecho, y un velo claro de suaves pliegues que cubre su cabeza y cae en diagonal hacia el brazo izquierdo de la figura. En un tercer plano, se completa la composición con una cortina en tonos verdes que ocupa el cuadrante superior izquierdo y, separado por una columna, un fondo de paisaje con celaje y unos árboles que cubre el cuadrante derecho.

Esta pintura llegó a la Facultad de Bellas Artes de la Universidad Complutense de Madrid con el propósito de ser restaurada dentro del programa formativo del Grado en Conservación y Restauración del Patrimonio Cultural.

Durante el proceso de intervención se pudo detectar otra pintura subyacente y los estudios técnicos y analíticos realizados han constatado que ésta última representa la misma composición iconográfica, aparentemente en fase terminada, pero volteada horizontalmente.

Representación iconográfica de la Virgen con el Niño Jesús dormido

La representación del Niño Jesús dormido es un tema iconográfico que surge en el siglo XVI y está fuertemente ligada a la devoción popular por la infancia de Cristo. La figura del Niño se representa desnudo o ligeramente cubierto con un paño, sólo o acompañado de ángeles. Su cabeza apoya sobre una cruz o sobre una calavera, siendo frecuente que ésta última forme parte de la escena junto a otros símbolos relacionados con la pasión de Cristo (cla-



Figura 2. *La Virgen con el Niño Jesús Dormido*, anónimo, Diócesis de Salamanca. Foto Rubén Morales.

vos, corona de espinas, martillo) [9, pp. 144-145]. Uno de los pintores de referencia ligados a la representación de la niñez de Cristo es Bartolomé Esteban Murillo (1617-1682) y entre sus obras se encuentran numerosos ejemplos de esta iconografía [10].

Muchas otras representaciones del Niño dormido incluyen a la figura de la Virgen sujetándolo entre sus brazos o contemplando el sueño del infante. En este último caso la figura del Niño dormido apoya su cabeza sobre una almohada y, a veces, la Virgen sostiene delicadamente un paño o velo que representaría el sudario que cubría el cuerpo de Cristo después de su crucifixión.

El modelo iconográfico de la Virgen con el Niño Jesús dormido, representado ya en el siglo XV, parece que se impuso en el siglo XVII en Italia entorno a la Escuela boloñesa. Se considera creado por Guido Reni (1575-1642), pintor y grabador encuadrado en el clasicismo romano-boloñés y seguidor de Rafael Sanzio.

Guido Reni es autor de varias obras inspiradas en esta iconografía, aunque con variaciones notables en su representación. La obra pictórica original que, a su vez, fue modelo de la pintura de la Diócesis de Salamanca, actualmente está desaparecida. No obstante, se sabe que le fue encargada en la década de los años veinte del siglo XVII para una de las capillas laterales del altar mayor de la Basílica de Santa Maria Maggiore de Roma [11]. Debido a su éxito fue copiada y difundida por sus discípulos y seguidores, sobre todo por Giovanni Battista Salvi (1609-1685), apodado Il Sassoferrato [12]. Una copia exacta de este último, que se encuentra en la Galería Estense de Módena, reproduce la escena de las dos figuras, la Virgen y el Niño, ambas representadas en la parte derecha de la escena, dejando el paisaje de fondo a la izquierda. Existe una copia igual, anónima y datada entre los siglos XVIII y XIX, que se conserva en la Real Academia Catalana de Bellas Artes de Sant Jordi, en Barcelona (Figura 3). Diferentes versio-



Figura 3. *La Mare de Déu i el Nen Adormit*, copia de Guido Reni. Reial Acadèmia Catalana de Belles Arts de Sant Jordi (Barcelona).

nes de este motivo se pueden encontrar a lo largo de todo el siglo XVII y siguientes.

En España ese tema tuvo también una gran difusión. Como ya se ha indicado, Luis de Morales fue uno de los primeros en representar a la Virgen descubriendo el velo que tapaba al Niño dormido, si bien en su caso también incluía a San Juanito en la obra del Museo del Prado (ca. 1570). Sin embargo, se considera que Alonso Cano (1601-1667) fue el verdadero divulgador del tema en torno a 1650. Se conservan diferentes versiones tanto de él como de su discípulo Pedro Atanasio Bocanegra (1638-1688), y de otros muchos seguidores que versionaron este mismo tema.

Es evidente que la obra de *la Virgen con el Niño Jesús dormido* de la Diócesis de Salamanca ha tomado como modelo el cuadro de Il Sassoferrato, que a su vez es copia de un original de Guido Reni. Sin embargo, para la representación del Niño Jesús se ha utilizado como modelo la

pintura de Murillo (1617-1682) del *Niño Jesús dormido*. Como ya se ha citado, Murillo realizó numerosas obras con el tema del Niño Jesús dormido como cuadro independiente, entre las que se encuentra la de Luton Major Gral Sir Wernher [13, vol. III, cat. 208]. En esta pintura (Figura 4), datada en torno a 1660-70, el Niño se representa en la misma postura, y con igual colocación de brazos, piernas y paños que en la obra de la Diócesis de Salamanca. De esas mismas fechas se conserva otra variante de Niño dormido de Cornelio Schut (Amberes 1629- Sevilla 1685), en el Museo de Bellas Artes de Sevilla.

Tanto los modelos clasicistas de Guido Reni, como los murillescos tuvieron un gran éxito y se repitieron a lo largo del siglo siguiente hasta la época neoclásica. En Salamanca debió quedar también notable reflejo de esa aceptación a través del prelado y mecenas don Pedro Carrillo, que vivió en la ciudad entre 1649 y 1655, y desde donde fue promovido al arzobispado de Santiago [14].



Figura 4. *Niño Jesús Dormido*, Murillo, ca. 1660-70, Luton Hoo, The Wernher Collection.

Anteriormente, Carrillo había estado en Roma y llegó a ser auditor de la Rota Romana. Su gusto por las artes le llevó a coleccionar y promover obras artísticas. En su testamento lega muchas de ellas, siendo algunas de Guido Reni, a los diferentes lugares en que estuvo [14].

También en las colecciones reales españolas se constata la presencia de numerosas obras de Reni [15], que fueron objeto de compra, encargos e incluso regalos de los Papas a los reyes. Llama la atención que, en el inventario de 1686 realizado en época de Carlos II, se hace referencia a un original y a una copia de la misma obra, indicando lo siguiente: “por estar muy maltratada la mandó su majestad copiar y la copia está manchada, junto con la original, y no está acabada, y la original está” [15]. Este comentario denota el interés por la representación que fue mandada copiar. Muestra de esas obras de Guido Reni son las que se conservan en el Museo del Prado y Patrimonio Nacional, que son parte de sus colecciones originales que se vieron menguadas por las que salieron y no regresaron durante la invasión francesa [15].

Características de la obra – exámenes técnicos

Se trata de un lienzo de lino entelado de 112,6 cm × 124 cm (Figura 2). Está montado en un bastidor con cuñas, con un travesaño central vertical que parece bastante reciente. Es posible que se corresponda con la época en la que la pintura fue sometida a un tratamiento de forración, realizado con pasta de harina y cola. Las fibras, tanto del lienzo original como del de forración, fueron examinadas e identificadas como lino.

La obra se presentaba estable en relación al soporte y adhesión de la capa pictórica, pero mostraba numerosos repintes, suciedad superficial y barnices alterados (Figura 5a). Con iluminación ultravioleta, los repintes se hacían mucho más evidentes, así como las irregularidades de la capa de barniz (Figura 6). Los barnices amarillo-verdosos

se acumulaban en determinadas zonas, principalmente en los tonos oscuros y de sombras. A través de algunos desgastes en la superficie y debajo de los repintes se podían observar las capas de pintura subyacente (Figura 5b), sin embargo, mediante su examen con reflectografía infrarroja (vidicón) no fue posible detectar dibujo o estratos inferiores.

Una vez iniciada la limpieza de los repintes y constatada la existencia de capas de pintura superpuestas, se decidió llevar a cabo su estudio radiográfico. Para ello se utilizó un equipo modelo Optimus 50, marca Philips, con tensión de 50 kV, exposición de 2,5 mA, tiempo de 8,9 ms, foco fino y distancia de 100 cm. Se obtuvo así una radiografía digital, con nueve placas individuales que, una vez montadas, permitieron obtener la imagen radiográfica de la totalidad de la pintura (Figura 7). El resultado obtenido constató la existencia de otra pintura subyacente, que curiosamente representaba la misma composición pictórica, pero en sentido invertido. Era la primera vez que nos encontrábamos un caso así, con dos pinturas aparentemente terminadas superpuestas, pero con su orientación opuesta, es decir volteada horizontalmente (Figura 8). La obser-

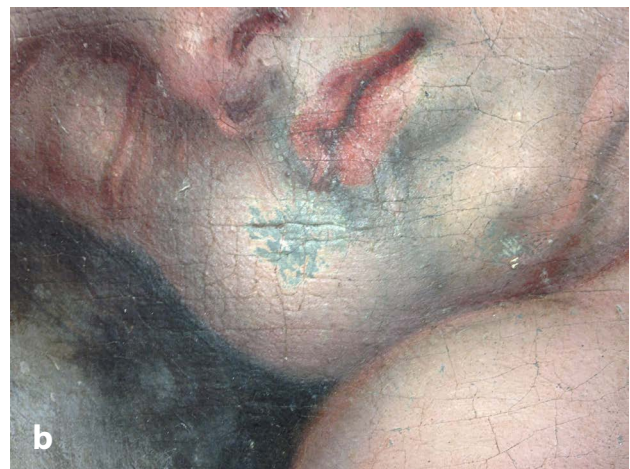
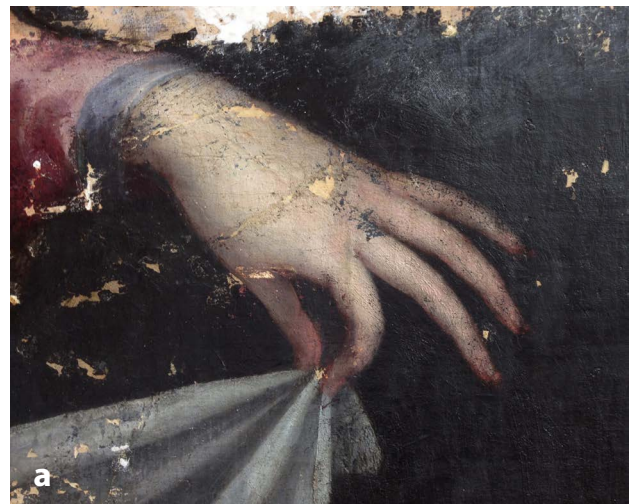


Figura 5. Imágenes tomadas durante la limpieza: a) eliminación de los repintes más recientes; b) observación de los estratos de la pintura subyacente. Fotos de Rubén Morales.



Figura 6. Imágenes tomadas con luz UV: a) y b) diferentes detalles de la pintura en los que se aprecian áreas que han sido repintadas. Fotos de Elena Cubedo.

vación de la radiografía permitía constatar la similitud de la posición de las figuras según obra original de Reni o de Il Sassoferato, si bien la representación del Niño dormido seguía el modelo de Niño de Murillo, igual que en el caso de la pintura a la vista. Se podía apreciar su antigüedad, evidenciada a través de los craquelados asociados a su envejecimiento natural, así como las importantes faltas de pintura, especialmente en toda la zona derecha. Tal vez fuera ésta la razón que motivó la realización de la misma escena, superpuesta, pero en disposición contraria.

Estos resultados llevaron a la decisión de proceder a la toma de muestras pictóricas, con el fin de determinar la sucesión de capas y su correspondencia con la pintura original y la pintura superpuesta. Otro objetivo era identificar la naturaleza de los pigmentos utilizados y establecer una posible cronología de las dos imágenes representadas, la superior y la subyacente.

Muestras analizadas – metodología y condiciones de trabajo

En la imagen de la Figura 9 se indican los lugares de toma de muestra. Las técnicas analíticas utilizadas para estudiar sus correspondientes cortes transversales han

sido microscopía óptica (MO), microscopía electrónica de barrido en modo de electrones retrodispersados [SEM(BSE)] y microanálisis por dispersión de energía de rayos X (EDX).

El estudio mediante MO se ha llevado a cabo con un microscopio óptico Olympus BX51, provisto de luz reflejada (epi-iluminación) y polarizada y con iluminación ultravioleta (UV) con lámpara de Wood. Para el estudio mediante SEM se ha utilizado un microscopio electrónico de barrido marca Jeol JSM 6400 con 20 kV de voltaje de aceleración. Su poder de resolución es de 35 Å a una distancia de trabajo de 8 mm y a 35 kV. El análisis por EDX se ha llevado a cabo en el microscopio electrónico de barrido indicado, que está equipado con un equipo LINK mod. eXL, con una resolución de 138 eV a 5,39 keV.

En la Tabla 1 se indican las muestras que han sido analizadas, la referencia que les ha sido asignada en el laboratorio, una breve descripción de las mismas y los resultados de los microanálisis realizados por EDX.

Resultados y discusión

En la muestra VN1, que corresponde a la manga de la túnica de color rosáceo de la Virgen y ha sido tomada



Figura 7. Imagen radiográfica resultante del montaje de las nueve placas obtenidas. Montaje de Claudia Camus.



Figura 8. Montaje idealizado con la superposición de la imagen invertida. Montaje de Álvaro Campos.



Figura 9. Imagen de la pintura durante su proceso de intervención con la indicación de las zonas de las que han sido tomadas las muestras.

de la zona oscura (zona de sombra), se observa una compleja sucesión de estratos. La interpretación conjunta de las imágenes obtenidas por MO visible y UV (Figura 10) y SEM(BSE) (Figura 11) pone de manifiesto la existencia de un total de 7 capas. La primera corresponde a la capa de preparación de la pintura original y los elementos detectados mediante EDX (Al, Si, K, Mg y Fe), indican que se trata de una tierra (Figura 12a). La detección de Ca puede tener relación con la presencia de calcita (CaCO_3), mineral que puede estar asociado al yacimiento de origen de la tierra o bien se puede tratar de una carga añadida intencionadamente por el pintor o el suministrador del pigmento [16]. La segunda capa se ha obtenido por mezcla de pigmento blanco y negro. En el primero, los microanálisis por EDX detectarían Pb (Figura 12b), tratándose por tanto de un blanco de plomo [$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$], y el segundo

es un negro carbón. Esta capa puede corresponder a una imprimación aplicada para matizar el color de la preparación.

En la tercera capa se aprecian partículas de color blanco, en las que se ha identificado Pb, que corresponden a blanco de plomo. Este pigmento está mezclado con grandes partículas de color azul y morfología concooidal, lo que hace suponer que se trata de esmalte (Figuras 10 y 11). Este último es un pigmento de origen sintético que fue muy utilizado durante los siglos XVI al XVIII, especialmente en el siglo XVII, aunque ya era conocido en el siglo XV [17]. Se ha constatado el uso de este pigmento por Il Sassoferrato en la *Virgen con el Niño*, pintura del segundo cuarto del siglo XVII que se encuentra en la National Gallery, de Londres; en esta obra el pintor utilizó el esmalte mezclado con azul ultramar para los cielos [18]. El uso de este pigmento fue abandonado en el siglo XIX [19, p. 56].

El esmalte es un vidrio coloreado que se obtiene a partir de arena (sílice, SiO_2), que proporciona la matriz vítrea del pigmento, una sal alcalina que actúa como fundente y un mineral de cobalto. Los resultados de los microanálisis confirman esta suposición (Figura 12c), puesto que se han identificado Si, K y Co, elementos característicos de la composición de este pigmento. Asimismo, la detección de As y de Fe también es habitual en este pigmento, puesto que todos los minerales de los que se puede partir para su obtención contienen arsénico y muchos de ellos, además, contienen hierro [20].

Las capas cuarta y quinta son de color rojizo, si bien la primera es de color rojo-naranja y la segunda tiene una tonalidad más violácea. Ambas capas se diferencian muy bien en MO, puesto que su observación con lámpara de Wood permite detectar que presentan fluorescencias diferentes. Las características observadas llevan a apuntar la presencia de un pigmento laca, mezclado con otro pigmento de color rojo-naranja en la capa 4. Además, en ambas capas existen partículas de color blanco que muestran una elevada densidad electrónica en SEM(BSE). Los mi-

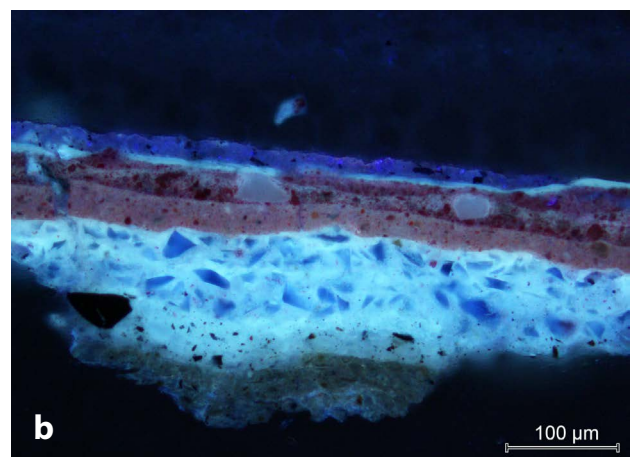
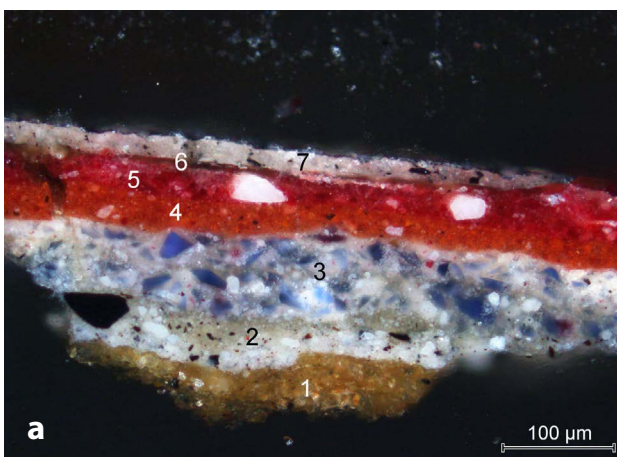


Figura 10. Muestra VN1, manga izquierda de la Virgen. Corte transversal. Imagen en MO: a) luz visible; b) luz UV (iluminación con lámpara de Wood).

Tabla 1

Relación de muestras estudiadas. Características generales y composición elemental

Referencia y localización	Características generales y grosor	Resultados microanálisis por EDX
VN1 Manga izquierda de la Virgen (rosa oscuro)	Capa 1: preparación marrón (grosor: $\geq 54 \mu\text{m}$)	Si, Al, S, Mg, K, Ca, Fe
	Capa 2: blanco grisácea (mezcla de pigmento blanco y negro), elevada densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $27-44 \mu\text{m}$)	Pb
	Capa 3: blanco azulada (mezcla de pigmento blanco y azul), aspecto heterogéneo en SEM(BSE) (grosor: $\cong 78 \mu\text{m}$)	Pb (partículas de color blanco); Si, K, Fe, Co, As, Al (partículas de color azul)
	Capa 4: rojo-naranja (grosor: $15-28 \mu\text{m}$)	Al (partícula rosácea); Pb (partículas color naranja y partículas de color blanco)
	Capa 5: rosácea (grosor: $7 - 23 \mu\text{m}$)	Al (partícula rosácea); Pb (partículas color naranja y partículas de color blanco)
	Capa 6: oscura, elevada fluorescencia en MO bajo iluminación con lámpara de Wood (grosor: $\cong 7 \mu\text{m}$)	
	Capa 7: capa de color blanquecino de baja densidad electrónica en SEM(BSE) y distribución irregular (grosor: $7-23 \mu\text{m}$)	Ca, S, Al, Na (minoritarios)
VN2 Manga izquierda de la Virgen (rosa claro)	Capa 1: capa rosácea, aspecto heterogéneo y baja densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $\geq 50 \mu\text{m}$)	Al, Ca, Pb
	Capa 2: capa blanca, elevada densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $20-38 \mu\text{m}$)	Pb
	Capa 3: capa amarillo-rosácea, algunas partículas presentan elevada fluorescencia en MO bajo iluminación con lámpara de Wood, baja densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $37 \mu\text{m}$)	Zn, Al, S, Ba, Cd
	Capa 4: capa blanca, baja densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $7-23 \mu\text{m}$)	Zn y Ti
VN3 Carnación mano derecha de la Virgen	Capa 1: azulada, obtenida por mezcla de pigmento blanco y azul, distribución irregular y aspecto heterogéneo en SEM(BSE) (grosor: $\geq 20 \mu\text{m}$)	Pb (partículas de color blanco); Si, K, Fe, Co, As, Al (partículas de color azul)
	Capa 2: azulada, obtenida por mezcla de pigmentos de color azul y blanco, junto con partículas de color rosácea y naranja, aspecto heterogéneo en SEM(BSE) (grosor: $\cong 42 \mu\text{m}$)	Pb (partículas de color blanco y naranja)
	Capa 3: blanca con algunas partículas de color negro, elevada densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $\cong 19 \mu\text{m}$)	Pb
	Capa 4: capa de naturaleza orgánica, distribución irregular (grosor: $0,4-0,8 \mu\text{m}$)	
	Capa 5: capa blanca, baja densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $\geq 39 \mu\text{m}$)	S, Ca, Si, Al, K
VN4 Manto azul de la Virgen (zona clara)	Capa 1: preparación marrón, baja densidad electrónica en SEM(BSE) (grosor: $60 \mu\text{m}$)	Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Fe
	Capa 2: color blanco azulado, obtenida por mezcla de pigmento blanco y pigmento azul (grosor: $23-39 \mu\text{m}$)	Pb (partículas de color blanco); Si, K, Fe, Co, As (partícula de color azul)
	Capa 3: color blanco, elevada densidad electrónica en SEM(BSE), (grosor: $23-34 \mu\text{m}$)	Pb, Ca (zonas de color blanco); Si, Al, Fe
	Capa 4: color grisáceo, aspecto heterogéneo en SEM(BSE) (grosor: $\cong 23 \mu\text{m}$)	Pb, C (partículas de color negro)
	Capa 5: capa azulada obtenida por mezcla de pigmento blanco y azul, aspecto heterogéneo en SEM(BSE) (grosor: $11-46 \mu\text{m}$)	Pb (partículas de color blanco); Si, K, Fe, Co, As, Al (partículas de color azul)
VN5 Manto azul de la Virgen (zona oscura)	Capa 1: capa rojo-naranja, aspecto heterogéneo en SEM(BSE), algunas partículas presentan elevada densidad electrónica (grosor: $\geq 39 \mu\text{m}$)	S, Hg, Pb, S, Ca
	Capa 2: capa negra, distribución irregular (grosor: $0,4-19 \mu\text{m}$)	Pb y C (negro carbón)
	Capa 3: capa azul grisácea, aspecto heterogéneo en SEM (BSE) (grosor: $38-58 \mu\text{m}$)	Si, K, Fe, Al, Co, As (partícula de color azul)

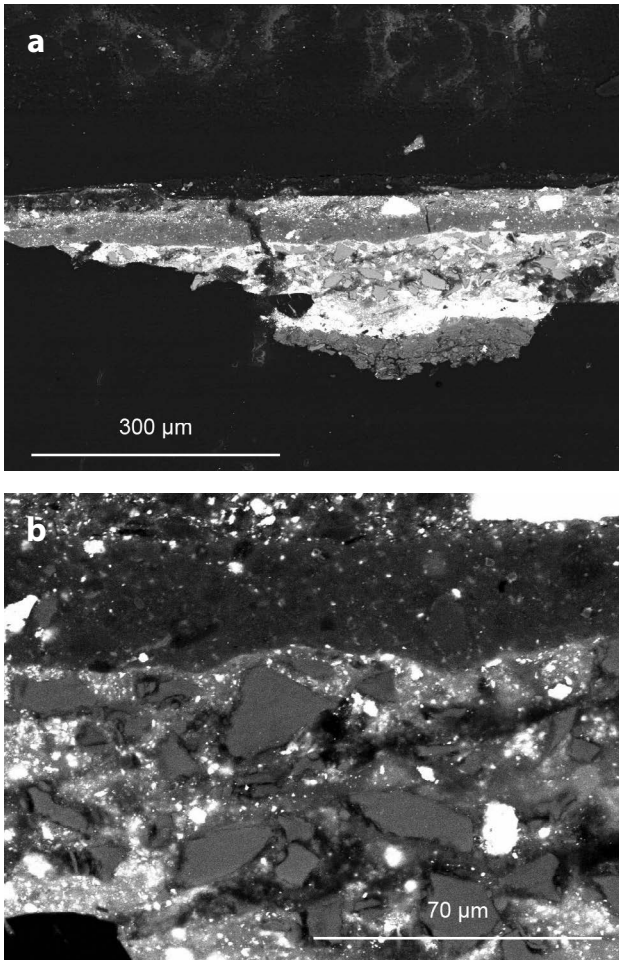


Figura 11. Muestra VN1, manga izquierda de la Virgen. Corte transversal. Imagen en SEM(BSE): a) imagen general; b) detalle de las capas 3 y 4 (azul y rojo rosáceo en MO).

croanálisis por EDX realizados sobre las áreas de color rojizo de la capa 4 han identificado Al y Pb como elementos mayoritarios (Figura 12d). El primer elemento se atribuye a la presencia de alúmina (Al_2O_3), sustancia que actúa como sustrato de los pigmentos laca, mientras que el plomo se atribuye a la presencia de minio (Pb_3O_4), pigmento de color rojo-naranja. Como elementos minoritarios se han detectado Si, K y Fe que, junto con parte del Al identificado, pueden estar asociados a la presencia de una tierra roja; además, se ha detectado S y Ca que pueden atribuirse a la presencia de yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), añadido como carga. En cuanto a las partículas de color blanco de ambas capas (4 y 5), el elemento detectado en EDX es Pb, tratándose por tanto de blanco de plomo. Asimismo, en la capa 5 se ha identificado alúmina como sustrato de la laca roja.

La sexta capa corresponde al barniz, es muy fina (en torno a $7 \mu m$ de grosor) y presenta una marcada fluorescencia en MO al ser iluminada con lámpara de Wood. La séptima es de color blanquecino y la interpretación de los microanálisis por EDX llevan a la conclusión de que está constituida por restos de partículas procedentes del ambiente, puesto que únicamente se han detectado trazas de Ca, Si, Al, Na, K y Fe.

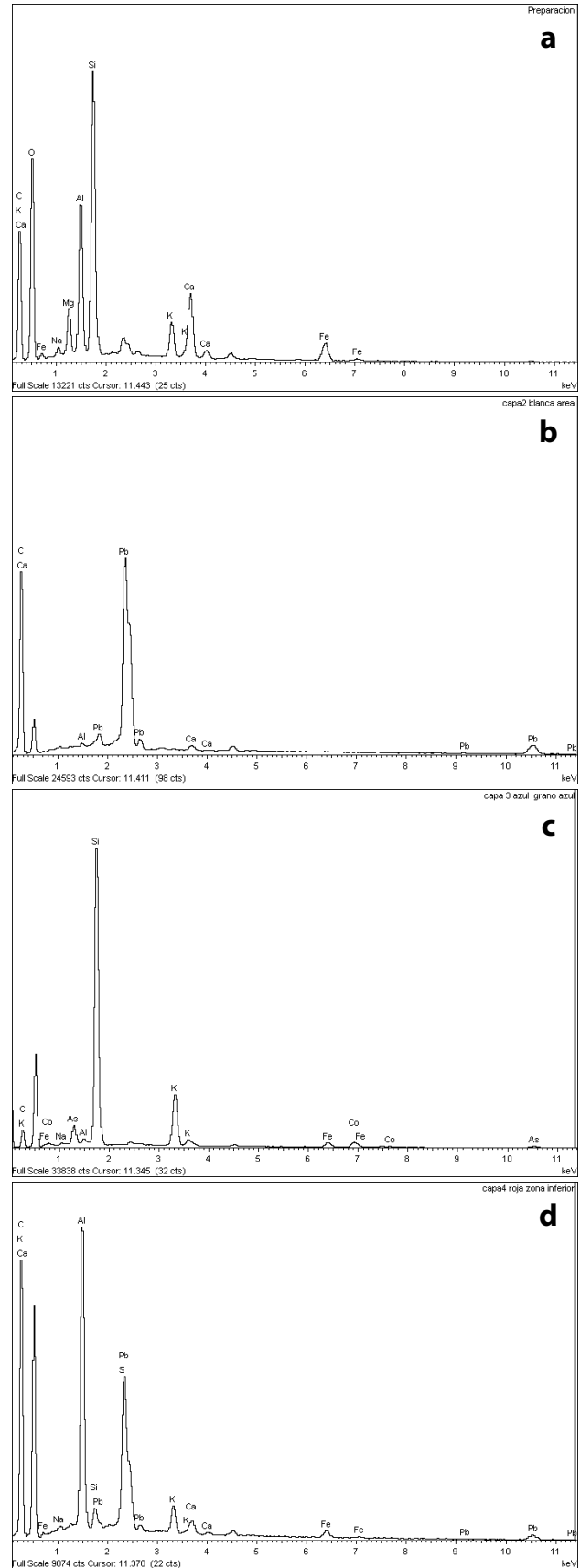


Figura 12. Muestra VN1, manga izquierda de la Virgen. Resultados de los microanálisis por EDX: a) capa de preparación (análisis de área); b) capa 2 blanco grisácea (análisis de área); c) pigmento de color azul (análisis de punto); d) capa 4 rojo-naranja (análisis de área).

A partir del conjunto de los resultados descritos se deduce que las capas de pintura correspondientes a la policromía visible (capas 4, 5 y 6) han sido aplicadas directamente sobre la capa azul de la pintura subyacente. Por otra parte, se confirma que el manto de la Virgen subyacente es de color azul, tal y como corresponde a la iconografía de la imagen.

La muestra referenciada como VN2 corresponde a la zona clara de la manga rosácea y no ha sido tomada en profundidad por lo que no se puede asegurar que contenga todas las capas. En su correspondiente corte transversal se aprecian cuatro capas y se constata una marcada fracturación y descohesión entre las mismas (Figura 13). La

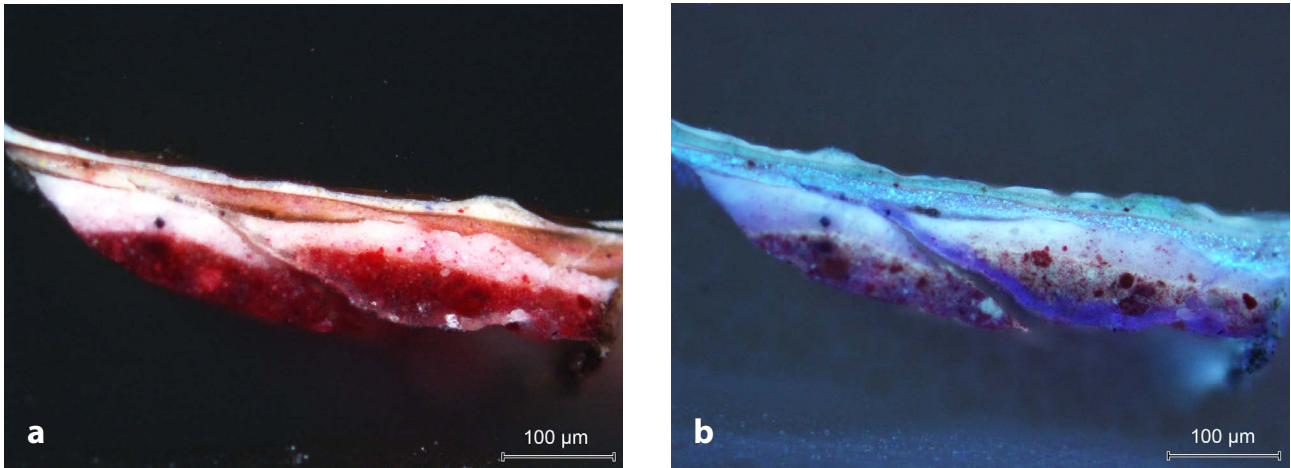


Figura 13. Muestra VN2, manga izquierda de la Virgen (rosa claro). Corte transversal. Imagen en MO: a) luz visible; b) luz UV (iluminación con lámpara de Wood).

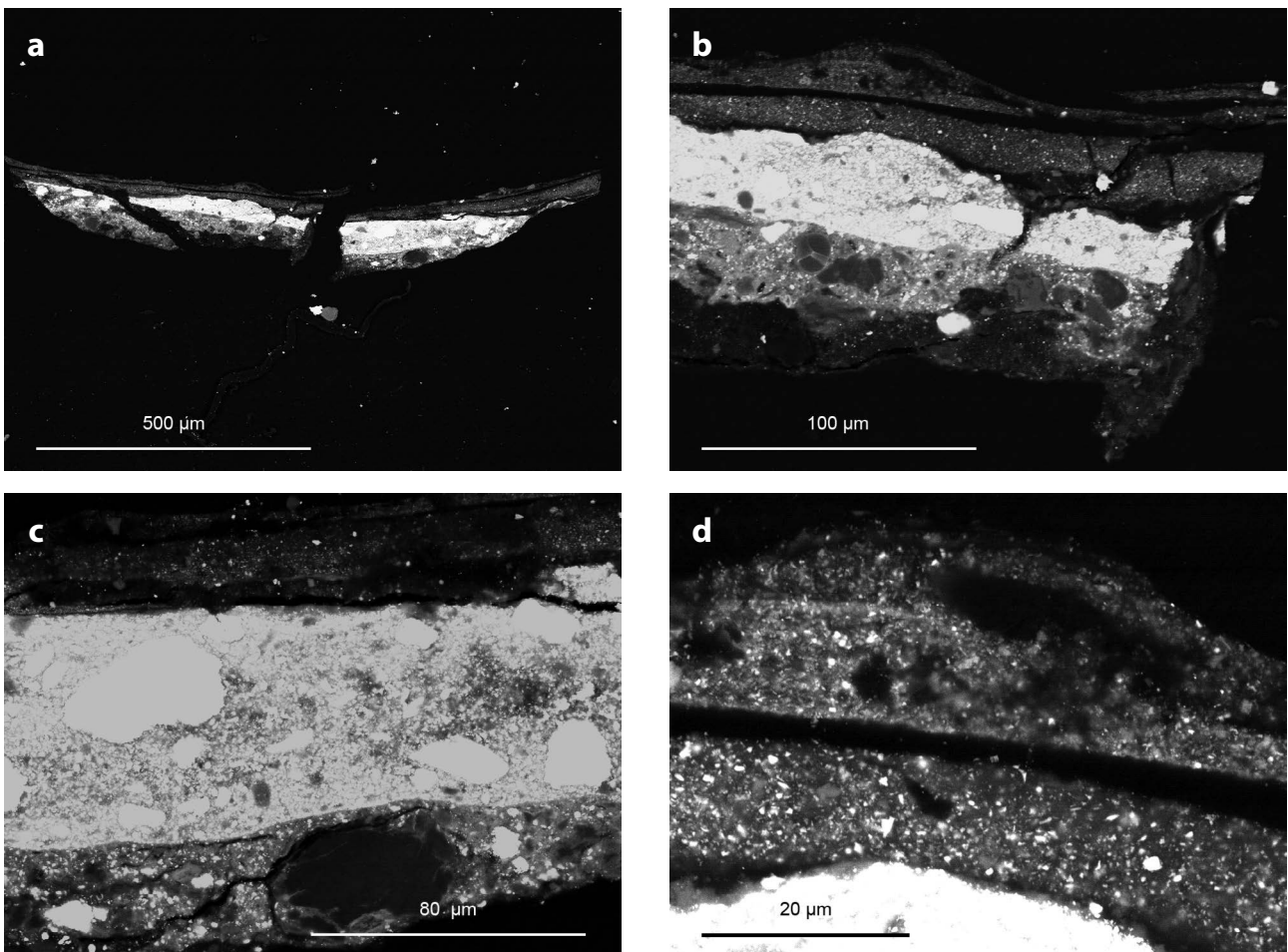


Figura 14. Muestra VN2, manga izquierda de la Virgen (rosa claro). Corte transversal. Imagen en SEM(BSE): a) imagen general; b) detalle de las cuatro capas; c) detalle de las capas 1, 2 y 3; d) detalle de las capas 3 y 4.

primera es de color rosáceo y las características observadas en MO, tanto con luz visible como con UV, llevan a pensar que su principal componente es un pigmento laca. En SEM(BSE) presenta una baja densidad electrónica que es más evidente en la parte inferior de la capa (Figura 14). Los resultados de los análisis por EDX han identificado Al, atribuido a la presencia de alúmina que actúa como sustrato del pigmento laca, Ca debido a la presencia de calcita (CaCO_3), posiblemente usada como carga, y Pb que puede estar asociado a un pigmento de plomo como el blanco de plomo o el minio (Figura 15a).

La segunda capa de la muestra VN2 es de color blanco y está constituida mayoritariamente por blanco de plomo; puesto que presenta una elevada densidad electrónica (Figuras 14a-14c) y el elemento detectado por EDX es Pb (Figura 15b).

La tercera capa es de color rosa-naranja, los pigmentos presentan una granulometría muy fina y, además, con luz UV se aprecian partículas de elevada fluorescencia (Figura 13b) que, en SEM(BSE) tienen una moderada densidad electrónica (Figura 14d). Los análisis por EDX detectaron Zn como elemento mayoritario. Teniendo en cuenta este resultado y las características anteriormente descritas se puede deducir que se trata de blanco de cinc (ZnO). Como elementos minoritarios se han detectado Al, S, Ba y Cd (Figura 15c), por lo que se puede pensar en la presencia de una mezcla de laca roja, barita (BaSO_4) y un amarillo de cadmio (CdS), siendo la laca y el amarillo de cadmio los responsables del color rojo-naranja de esta capa.

La capa 4 es de color blanco y presenta características similares a las de la capa anterior, puesto que contiene partículas de granulometría muy fina y elevada fluorescencia con UV, e igualmente una moderada densidad electrónica en SEM(BSE) (Figura 14d). Los análisis por EDX (Figura 15d) han identificado Zn y Ti; por tanto, está constituida por una mezcla de blanco de cinc y blanco de titanio (TiO_2).

De la interpretación de los resultados obtenidos se deduce que las capas 4 y 5 corresponden a repintes relativamente recientes, que pueden haber sido aplicados en un proceso de restauración anterior. Esta conclusión se fundamenta en que los pigmentos blancos identificados, blanco de cinc y blanco de titanio, son pigmentos modernos, al igual que el amarillo de cadmio [21].

La muestra referenciada como VN3 corresponde a la zona de carnación de la mano derecha de la Virgen, justo en la zona que se encuentra superpuesta a la mano de la figura subyacente. Ha sido tomada aprovechando una laguna y después de haber sido estucada la obra. Por este motivo en la Figura 16 la capa más externa de la muestra (capa 5) corresponde al yeso del estuco, y las capas inferiores corresponden a la carnación de la Virgen subyacente.

En la imagen obtenida en MO (Figura 16a) se observa que la carnación de la mano de la figura original es el resultado de la aplicación de tres capas. En la imagen obtenida por SEM(BSE) se constata que son heterogéneas en cuanto al tamaño y densidad electrónica de sus partículas (Figura 16b).

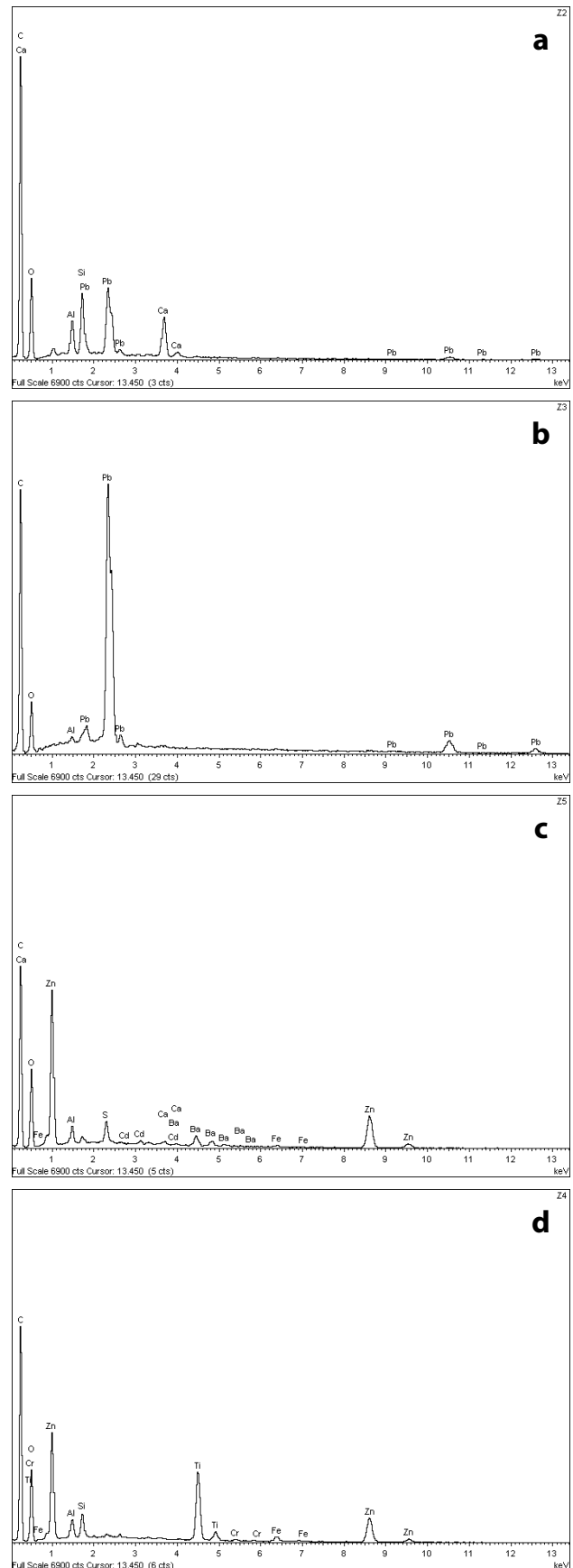


Figura 15. Muestra VN2, manga izquierda de la Virgen (rosa claro). Resultados de los microanálisis por EDX (análisis de área): a) capa 1 rosácea; b) capa 2 blanca; c) capa 3 amarillo-rosácea; d) capa 4 blanca.

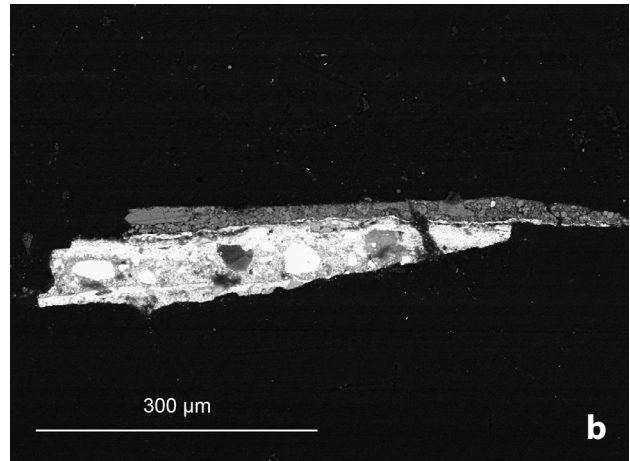
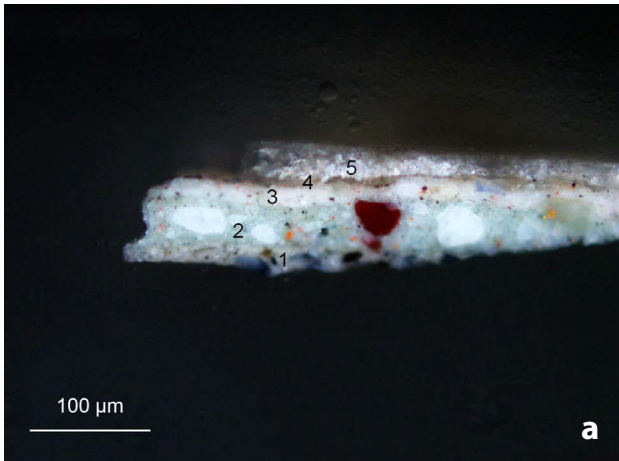


Figura 16. Muestra VN3, carnación mano derecha de la Virgen. Corte transversal: a) imagen en MO (luz visible); b) imagen en SEM(BSE).

A partir de los resultados de los análisis por EDX se deduce que el principal componente de las capas 1, 2 y 3 es blanco de plomo (Figura 17a). En la capa 1 está mezclado con esmalte (Figura 17b), mientras que en la capa 2 el pigmento azul puede ser índigo, puesto que su morfología es redondeada y no se han identificado los elementos característicos del esmalte ni de otro posible pigmento azul. En esta misma capa se han detectado partículas de color rojo-naranja, posiblemente minio (Pb_3O_4) y una laca roja. Respecto a esta última no se ha logrado identificar su posible sustrato mediante EDX. La capa 3 es de color blanco y su componente mayoritario es blanco de plomo, mezclado con algunas partículas de pigmento negro (negro carbón). La capa 4, amarillenta en MO y de baja densidad electrónica en SEM(BSE), es de naturaleza orgánica y corresponde a un recubrimiento o capa de sellado. Por último, los análisis realizados en la capa 4 identifican S y Ca, asociados al yeso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) utilizado en la preparación del estuco.

Hay que señalar que la capa 1 de la muestra VN3 puede corresponder al manto azul de la figura de la Virgen subyacente, mientras que las capas 2 y 3 conformará la carnación banco-azulada de la mano de esta misma figura.

La muestra VN4 corresponde a una zona clara del manto azul de la Virgen y ha sido tomada en profundidad, por lo que contiene todas las capas (Figura 18). Teniendo en cuenta la imagen radiográfica (Figura 7) corresponderá a la zona de la almohada en la que apoya la cabeza la figura del Niño Jesús subyacente. La primera capa, de color marrón, corresponde a la preparación y, por tanto, los resultados obtenidos por EDX son similares a los descritos en el caso de la muestra VN1. Es decir, se trata de una tierra coloreada mezclada con calcita. La observación de la muestra en MO mediante iluminación con lámpara de Wood (Figura 18b), permitió detectar que las capas 2 y 3 han sido aplicadas en dos manos superpuestas.

Los microanálisis mediante EDX (Figura 19) realizados en diferentes zonas constatan que en ambas capas el componente principal es blanco de plomo, mezclado con

un poco de calcita ($CaCO_3$) y pigmento tierra. A su vez, las partículas de color azul están constituidas por silicio Si, K, Al, Co, Fe y As, siendo, por tanto, de esmalte. La cuarta capa es de color pardo-grisáceo en MO y aspecto heterogéneo. Se ha obtenido por mezcla de negro carbón y blanco de plomo. Por último, la capa 5 contiene blanco de plomo y esmalte. Hay que señalar que este mismo pigmento azul

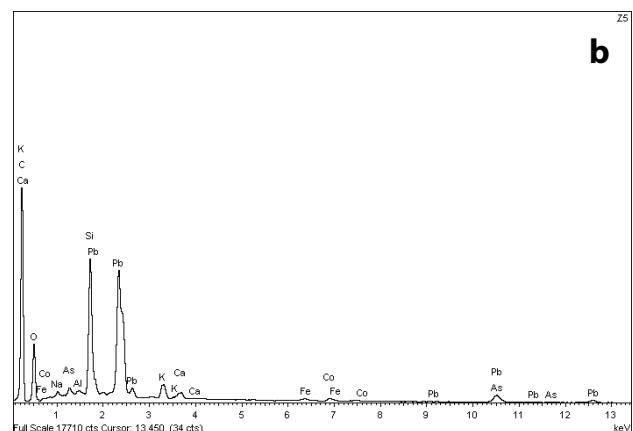
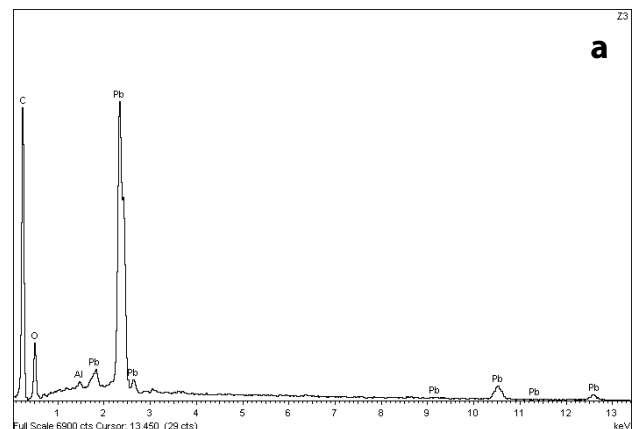


Figura 17. Muestra VN3, carnación mano derecha de la Virgen. Resultados de los microanálisis por EDX (análisis de punto): a) pigmento de color blanco (capas 1, 2 y 3); b) pigmento azul (capa 1).

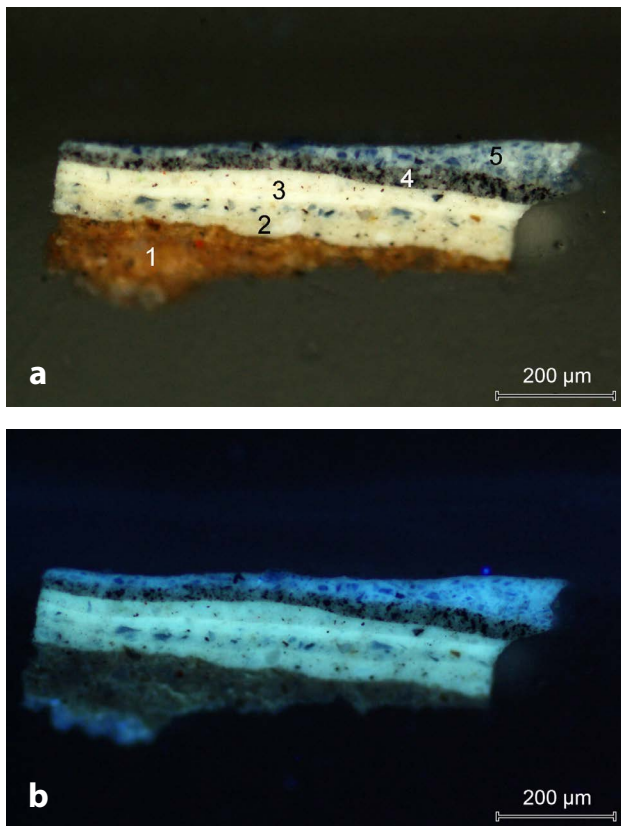


Figura 18. Muestra VN4, manto azul de la Virgen (zona clara). Corte transversal. Imagen en MO: a) luz visible; b) luz UV (iluminación con lámpara de Wood).

es el que ha sido utilizado para matizar el color blanco del paño de la almohada de la pintura subyacente. Por tanto, para obtener el color azul del manto de la figura de la Virgen se ha utilizado el mismo pigmento que en el caso de la figura subyacente e, igualmente, ha sido mezclado con blanco de plomo.

La muestra VN5 ha sido tomada de una zona muy oscura del manto de la Virgen que, según la imagen radiográfica (Figura 7) y el montaje idealizado de las imágenes

superpuestas (Figura 8), coincide con la túnica rojiza de la imagen subyacente. No ha sido tomada en profundidad y, por tanto, no contiene todas las capas. En la imagen de la Figura 20 se observan tres, la primera de color rojo-naranja, que corresponderá a la túnica roja de la Virgen subyacente, una segunda de color negro y una tercera de color azul grisáceo.

La primera capa presenta un aspecto heterogéneo al ser observada en MO con luz UV y en SEM(BSE); además, con esta última técnica se aprecian partículas de elevada densidad electrónica (Figura 21). Los microanálisis por EDX identifican la presencia de bermellón (HgS) (Figura 22a), un pigmento de plomo, posiblemente minio (Pb_3O_4), y partículas de yeso, probablemente añadido como carga. En la segunda capa, de color negro, se ha identificado la presencia de Pb y C de donde se puede deducir que se ha obtenido por mezcla de negro carbón y blanco de plomo. Respecto a la tercera capa, la morfología concoidal de sus partículas y la identificación de Si, Al, K, Co, Fe y As indican que se trata de esmalte (Figura 22b). Hay que destacar el color grisáceo de esta capa en MO, que puede ser atribuido a la degradación experimentada por el pigmento por reacción con el aglutinante. Este comportamiento es característico del esmalte cuando es aglutinado con medio oleoso y ha sido constatado en muchas obras [18]. En este caso, esta alteración resulta evidente en la imagen obtenida por SEM(BSE) en la que se observan profundas fracturas en las partículas de pigmento (Figura 21b).

A partir de estos resultados se constata nuevamente que el pigmento responsable del azul de la capa de la figura de la Virgen es el esmalte, es decir, el mismo que se ha utilizado en la figura subyacente. Sin embargo, en lo que respecta al color de la túnica superpuesta y de la subyacente, hay diferencias en cuanto a la tonalidad y los pigmentos utilizados. En la figura subyacente es de color rojo-naranja y se ha conseguido por mezcla de bermellón y minio, mientras que en la figura superpuesta es de color rosáceo y se ha obtenido por mezcla de una laca rosácea y blanco de plomo.

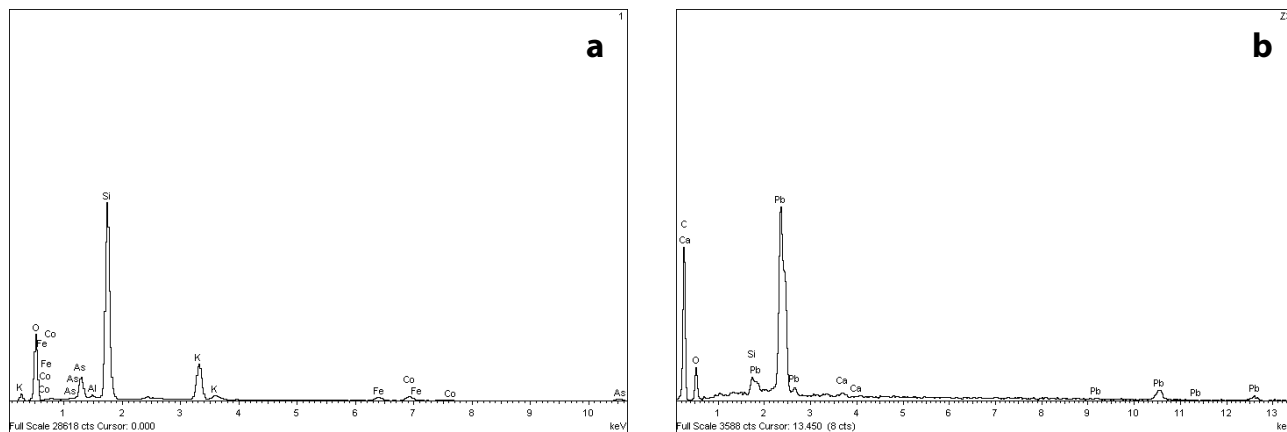


Figura 19. Muestra VN4, manto azul de la Virgen (zona clara). Resultados de los microanálisis por EDX (análisis de punto): a) pigmento de color azul (capas 2 y 5); b) pigmento de color blanco (capas 2 y 3).

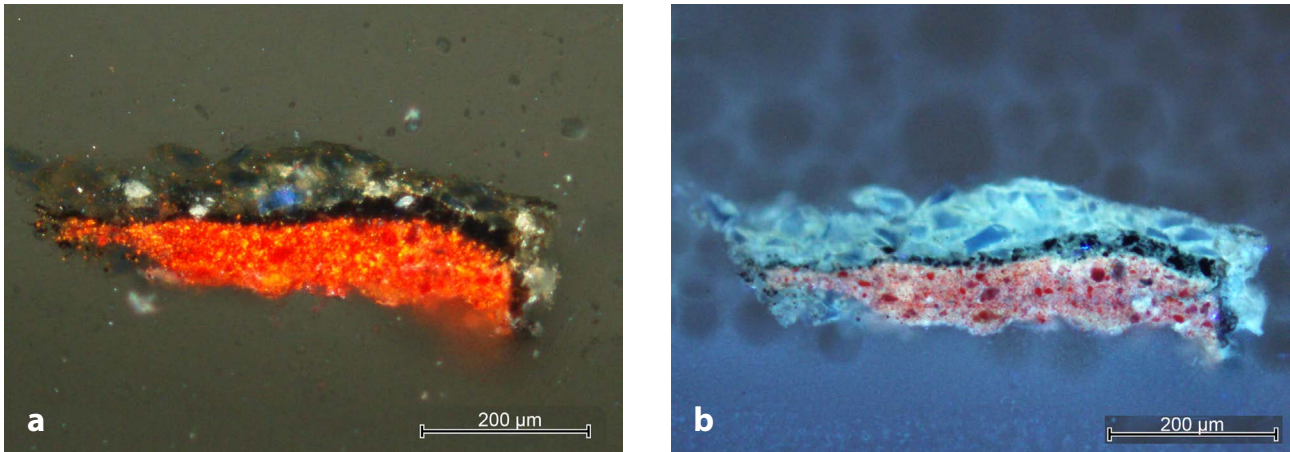


Figura 20. Muestra VN5, manto azul de la Virgen (zona oscura). Corte transversal. Imagen en MO: a) luz visible; b) luz UV (iluminación con lámpara de Wood).

Conclusiones

A la vista de estos datos se puede afirmar que, tanto la pintura a la vista como la subyacente, ofrecen la misma representación iconográfica, aunque con orientación contraria. El modelo utilizado fue la obra de Guido Reni para la Virgen y la composición general, mientras que para el Niño Jesús se partió como referencia de la obra de Murillo, que fue un modelo de especial apreciación en la España de finales del XVII y XVIII. Se trata en ambos casos de modelos ampliamente difundidos a finales del siglo XVII.

Los resultados obtenidos nos llevan a concluir que tanto la obra original subyacente como la que se encuentra a la vista superpuesta debieron ser realizadas por artistas diferentes, pero no muy lejanos en el tiempo, sobre todo por el empleo de un rojo diferente para la realización del manto de la figura de la Virgen.

Esta obra debió sufrir tempranamente algún accidente o daño, principalmente en la parte derecha, tal y como se desprende de la imagen radiográfica, lo que pudo motivar el encargo de pintarla de nuevo. El pintor encargado de realizar la nueva composición se basó en el modelo previo, pero cambió la orientación de las posiciones, quizás para poder copiarla mejor siendo el resultado una imagen especular de la original.

Del estudio de los cortes estratigráficos y del análisis de los pigmentos utilizados se deduce que ambas obras podrían corresponder a los siglos XVII y XVIII. En ambas pinturas se usa el esmalte, pigmento ampliamente utilizado en el siglo XVII. Respecto a los rojos, en la pintura subyacente que será la original, se empleó el bermellón, mientras que la obra superpuesta se ha utilizado una laca roja. El demás pigmentos identificados no son determinantes para establecer una cronología, si bien, respecto al empleo de tierras en la capa de preparación, su uso es característico de los siglos XVII y XVIII. Por último, hay que indicar que no se ha detectado la presencia de azul de Prusia, ni blanco de cinc o de titanio en los estratos correspondientes a la pintura superpuesta, aunque sí

aparecen algunos pigmentos modernos en otros repintes más recientes.

Así pues, los resultados del estudio estratigráfico mediante técnicas microscópicas muestran la utilización de

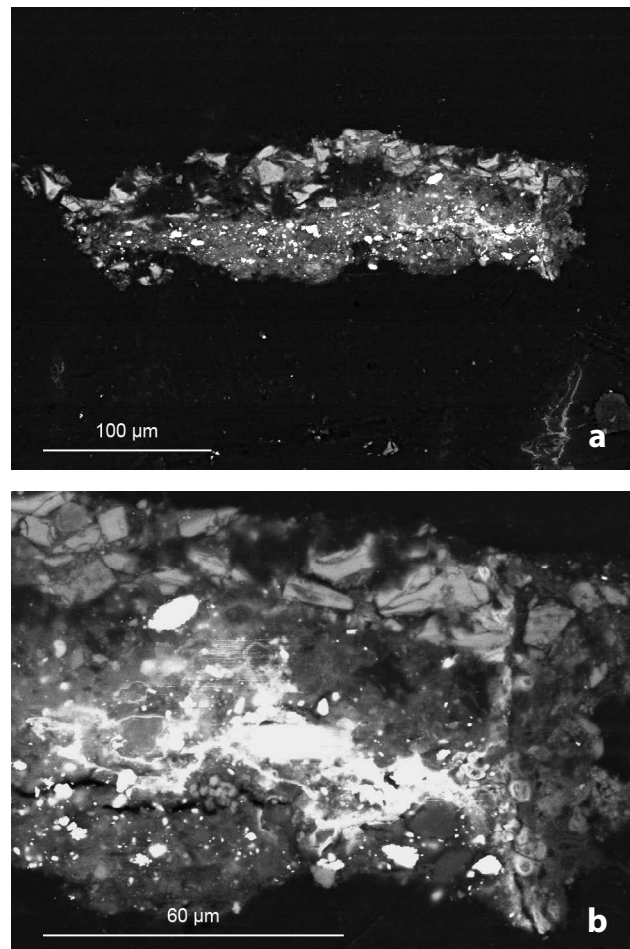


Figura 21. Muestra VN5, manto azul de la Virgen. Corte transversal. Observación en SEM(BSE): a) imagen general; b) detalle de las tres capas.


pigmentos muy similares. La existencia de una preparación coloreada en la pintura original, el empleo de esmalte en ambas pinturas (la subyacente y la visible), el uso de laca roja en la obra superpuesta, junto con el análisis del estilo de ambas representaciones así como de los modelos utilizados, nos lleva a situar la ejecución de ambas a finales del siglo XVII o principios del siglo XVIII.

Agradecimientos


A D. Enrique Mesonero y D. Florentino Gutiérrez, de la Diócesis de Salamanca, por facilitar la obra objeto de este estudio; Convenio de Investigación Artículo 83 L.O.U. ref.: 4155485; al Proyecto Geomateriales-2 (S2013/MIT-2914) CAM y Fondos Estructurales (FSE y FEDER) y al Laboratorio de Materiales (LabMat) de la Facultad de Bellas Artes de la UCM; al Centro Nacional de Microscopía Electrónica (ICTS de la UCM); al Dr. Juan Arrazola, Jefe de Servicio de Radiología del Hospital Clínico Universitario San Carlos, y a su equipo por las facilidades para realizar la radiografía; a Rubén Morales por las fotografías, a Claudia Camus por la unión de las imágenes radiográficas, y a Álvaro Campos por el montaje de imágenes; al conjunto de estudiantes que han participado en la restauración del lienzo pintado.

ORCID


Ana Calvo

 <https://orcid.org/0000-0003-4372-5434>


Ruth Chércoles

 <https://orcid.org/0000-0002-0689-4266>

Alicia Sánchez

 <https://orcid.org/0000-0002-3358-1943>

Margarita San Andrés

 <https://orcid.org/0000-0001-8490-6237>

Referencias

- 1 Cruz, A. J., 'Imagens perdidas, imagens achadas: pinturas reveladas pelos raios X no Instituto José de Figueiredo', in *Actas do Simpósio Comemorativo do Centenário da Descoberta dos Raios X*, Coimbra, Universidade de Coimbra (1996) 83-103.
- 2 Hours, H., *Analyse Scientifique et Conservation des Peintures*, Office du Livre, Fribourg (1977).
- 3 Garrido, C., 'El retrato de La condesa de Chinchón: estudio técnico', *Boletín del Museo del Prado* **21**(39) (2003) 44-55.
- 4 González-Fanjul Fernández, C. M.; Gabaldón, A.; Alba, T., 'La mujer oculta bajo el retrato de Jovellanos de Goya', *Ge-Conservación* **3** (2012) 10-26.
- 5 Jover, M.; Alba, L.; Gayo, M^a D.; García-Máiquez, J., 'El taller del pintor: procedimientos artísticos en el obrador de Luis de Morales', en *El Divino Morales*, ed. L. Ruiz Gómez, Museo Nacional del Prado, Madrid (2015) 213-225.
- 6 Mena Marqués, M. B., 'La Piedad', en *El Divino Morales*, ed. L. Ruiz Gómez, Museo Nacional del Prado, Madrid (2015) 160-168.
- 7 Plazzotta, C.; Billinge, R., 'The underdrawing of Pontormo's Joseph with Jacob in Egypt', *The Burlington Magazine* **144**(1196) 660-670.

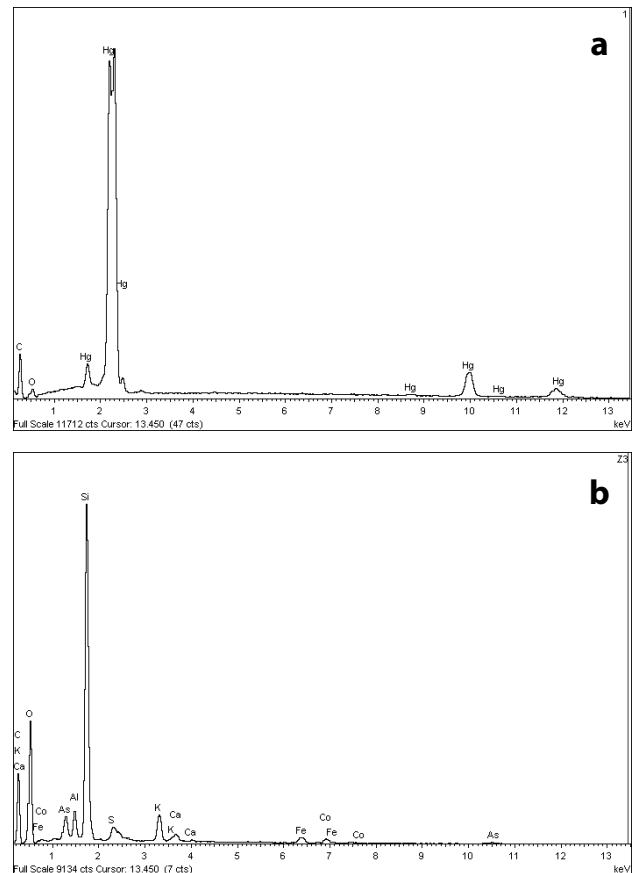


Figura 22. Muestra VN5, manto azul de la Virgen (zona oscura). Resultados de los microanálisis por EDX (análisis de punto): a) pigmento de color rojo-naranja (capa 1); b) Pigmento azul (capa 3).

- 8 Salgueiro, J., 'O suporte dos painéis da Sé de Lamego de Vasco Fernandes', en *Através da Pintura. Olhares sobre a Matéria. Estudos sobre Pintores no Norte de Portugal*, ed. A. Calvo & L. Castro, UCP-CITAR, Porto (2011) 41-57.
- 9 Pascale, E., *Death and Resurrection in Art*, The J. Paul Getty Museum, Los Angeles (2009).
- 10 Pérez López, N. V., 'Murillo y los orígenes de la iconografía del Niño Jesús dormido sobre la cruz', *Boletín de Arte* **36** (2015) 145-154.
- 11 Baccheschi, E., *La Obra Pictórica Completa de Guido Reni*, Ed. Noguer, Madrid (1977).
- 12 Enggas, R., 'Variations on a theme, by Guido Reni', *The Art Quarterly* **5** (1962) 113-121.
- 13 Angulo Íñiguez, D., *Murillo*, Espasa-Calpe, Madrid (1981).
- 14 Fernández Gasalla, L., 'Las obras de Guido Reni en la colección del arzobispo de Santiago Don Pedro Carrillo (1656-1667)', *BSAA - Boletín del Seminario de Estudios de Arte y Arqueología* **58** (1992) 431-435, <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/197350> (consulta en 2018-6-3).
- 15 Colomer, J. L., 'Guido Reni en las colecciones reales españolas', en *España y Polonia. Siete Siglos de Relaciones Artísticas y Culturales*, ed. A. Serra & J. L. Colomer, Fundación Carolina, Madrid (2006) 214-239.
- 16 Duval, A.R., 'Les préparations colorées des tableaux de l'école française des dix-septième et dix-huitième siècles', *Studies in Conservation* **37**(4) (1992) 239-258, <https://doi.org/10.1179/sic.1992.37.4.239>.

- 17 San Andrés, M.; Sancho, N.; de la Roja, J. M., 'Alquimia: pigmentos y colorantes históricos', *Anales de Química* **106**(1) (2010) 58-65.
- 18 Mühlethaler, B.; Thissen, J., 'Smalt', en *Artists' Pigments*, vol. 2, ed. A. Roy, National Gallery of Art – Oxford University Press, Washington – Oxford (1993) 113-130.
- 19 Harley, R. D., *Artists' Pigments c. 1600-1835*, 2.^a ed., Archetype, London (2001).
- 20 Gómez, M. L.; Chércoles, R.; San Andrés, M., 'Los azules de cobalto', en *Fatto d'Arquimia. Historia e Identificación de Pigmentos Artificiales en las Técnicas Pictóricas*, ed. S. Kroustallis & M. del Egido, Ministerio de Cultura, Madrid (2012) 275-294.
- 21 San Andrés, M., 'Química moderna y producción de nuevos pigmentos', en *Fatto d'Arquimia. Historia e Identificación de Pigmentos Artificiales en las Técnicas Pictóricas*, ed. S. Kroustallis & M. del Egido, Ministerio de Cultura, Madrid (2012) 27-54.

Recibido: 2018-2-28

Revisto: 2018-5-14

Aceptado: 2018-6-3

Online: 2018-6-22



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

The importance of long-term hygrothermal assessment of museum spaces: method and application in a permanent exhibition in a historical building

Luísa Dias Pereira^{1,*} , Adélio Rodrigues Gaspar¹ , José Joaquim Costa¹ ,
Gilberto Pereira² 

¹ ADAI, LAETA, Department of Mechanical Engineering, University of Coimbra, Rua Luís Reis dos Santos, 3030-788 Coimbra, Portugal

² MCUC, Museu da Ciência da Universidade de Coimbra / Centro de Física da Universidade de Coimbra, Largo Marquês de Pombal, 3000-272 Coimbra, Portugal

* luisa.pereira@uc.pt

Abstract

This paper presents the analysis of the hygrothermal conditions of a museum space hosted in an 18th century building, in Coimbra (Portugal). This historical building, which houses the Science Museum of the University of Coimbra, is located in the historic centre of the University of Coimbra, officially declared a World Heritage Site in 2013 by UNESCO. The methodology proposed in EN 15757:2010 was applied to two monitoring campaigns carried out at a distance of 4 years, in two of the rooms of the permanent exhibition. The results of the monitoring periods are presented and discussed. The findings unveil the necessity for long-term monitoring of the indoor environmental conditions of museum spaces, towards the support of grounded based-evidence guidelines for the conservation of objects and quality of environment for exhibits conservation.

Keywords

Microclimate
Preventive conservation
Hygrothermal assessment
Building Heritage

Da importância da avaliação higrotérmica de longo prazo de espaços museológicos: método e aplicação numa exposição permanente num edifício histórico

Resumo

Neste artigo são analisadas as condições higrotérmicas de um espaço museológico situado num edifício do século XVIII, em Coimbra (Portugal). Este edifício histórico, que acolhe o Museu da Ciência da Universidade, localiza-se no centro histórico da Universidade de Coimbra, declarado oficialmente como Património Mundial em 2013 pela UNESCO. A metodologia proposta na norma europeia EN 15757:2010 foi aplicada em duas campanhas de monitorização realizadas a uma distância de 4 anos, em dois dos espaços da exposição permanente do MCUC. São apresentados e discutidos os resultados dos períodos de monitorização. As conclusões mostram a importância da monitorização das condições ambientais internas dos espaços museológicos a longo prazo, no sentido da elaboração de diretrizes de conservação de objetos e da qualidade do ambiente interior para a conservação de exposições, suportadas e baseadas em evidências.

Palavras-chave

Microclima
Conservação preventiva
Análise higrotérmica
Património histórico edificado

ISSN 2182-9942



Introduction

In many European cities, differentiated cultural spaces, such as museums, exhibition galleries or libraries, are housed in historical or heritage buildings [1-2] whose visit also enhances an intangible cultural heritage experience – e.g. in the Florence district (Italy), 90 % of the museums are housed in historical buildings [3]. In many situations, an existing building has been adapted into a museum, and a compromise between objects conservation and visitors' comfort is required [4]. For the same reason, this type of buildings offers different challenges to conservators and curators. Unlike new buildings that are specifically designed to accommodate museums and are provided with building management systems, most of those historical buildings run on natural ventilation conditions and are sometimes absent of any kind of heating and cooling system. In such cases, the indoor-outdoor climate relation is normally very strong [3]: the air temperature and humidity inside respond in a faster or smoother way to the variations of the outdoor ambient conditions. Furthermore, there is usually a strong relation between air temperature and relative humidity – typically these two parameters behave symmetrically in face of short term variations [5-6].

Besides the indoor-outdoor relation and its influence on the indoor environmental conditions in historic buildings, it has also been recognized the meaningful consequence of the interactions that occur between the indoor environment and the objects housed in such spaces. In fact, when not properly controlled, these effects might lead to irreversible damages [7-8]. Since the beginning of this century, more emphasis has been given to preventive conservation [9-12]. As advocated by Corgnati & Filippi, “monitoring is an essential tool to develop an actual preventive control programme aimed at maintaining the optimal microclimatic conditions for preservation” [13]. One significant contribution on this subject is the indoor environmental quality protocol for preventive conservation in museums developed by D’agostino et al. [14]: herein, apart from the acoustic evaluation, it is foreseen the measurement of lighting, the hygrothermal parameters, the concentration of gaseous pollutants and particle matter. As prompted by these authors, strategies of monitoring and controlling the environmental conditions are often neglected and the conservation of the exhibited works is put at risk.

The importance of microclimatic monitoring of museum rooms has been previously praised [15]: on one hand, it is important to drive direct actions to reduce the risk of degradation of exhibited objects; on the other hand, it is important to specify adequate environmental conditions in which those objects should be exhibited [3, 16]. The following study is focused on the second premise. As such, a discussion on the current conservation standards is proposed, grounded on long-term hygrothermal analyses – seasonal and short-term fluctuations, performed on data collection from the

permanent exhibition of a museum located in a historic heritage building.

It is well known that the hygrothermal conditions are fundamental factors for the conservation of exhibited goods in museums and spaces alike. Several standards, guidelines and technical regulations can be found in the literature addressing this issue: (i) in some cases, strict “safety intervals” are defined, such as in UNI 10829 [17]; (ii) in other situations, less restrictive approaches have been presented, such as in ASHRAE:2015 [18]; (iii) in EN 15757:2010 [19], the acclimatization process of the exhibited collections to the spaces historical climate is reflected.

Moreover, significant new indices have been developed to assess the quality of a museum environment [17, 20]. Although the European standard is not so recent, the applications found in the literature are relatively scarce. As such, accounting on the recorded data in the Science Museum of the University of Coimbra (MCUC) and also on its physical condition and the absence of any heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems, an evaluation of the monitored hygrothermal conditions according to EN 15757:2010 was performed on data collected over more than 24 months, between 2011/12 and 2015/16. Additionally, data were also analysed according to ASHRAE’s design parameters for Museum spaces [18].

Methods and materials

Case-study presentation and rooms description

The MCUC was created in 2006 by the junction of the Physics Museum and the Natural History Museum (zoology, mineralogy and geology, botany and anthropology sections) [21]. It is a university museum, whose collections were initially collected and bought for use in classes context. The MCUC has exhibition spaces open to the public in two nearby facing buildings: the *Laboratorio Chimico* and the ancient Jesus College. The measurements treated in this article are from Jesus College rooms.

The Jesus College is an old building that began to be erected by the Jesuits in 1747 and then remodeled after 1772, during the important education reform initiated by the Prime Minister of Portugal, Marquês de Pombal. All the exhibition rooms of the museum are large and have high ceilings (about 7 m). The rooms are decorated with 18th and 19th century original cabinets where the collections are displayed, and this is one of the main riches and highlights of this university museum.

The museum does not have any heating, cooling or mechanical ventilation system. The studied exhibition rooms, the Vandelli Hall and the Portugal Hall, are integrated in a carriage-type gallery (Figure 1) [22]. The museum has defined a touristic circuit where the exhibition rooms are interconnected by keeping the doors opens. The two exhibition rooms studied in this work

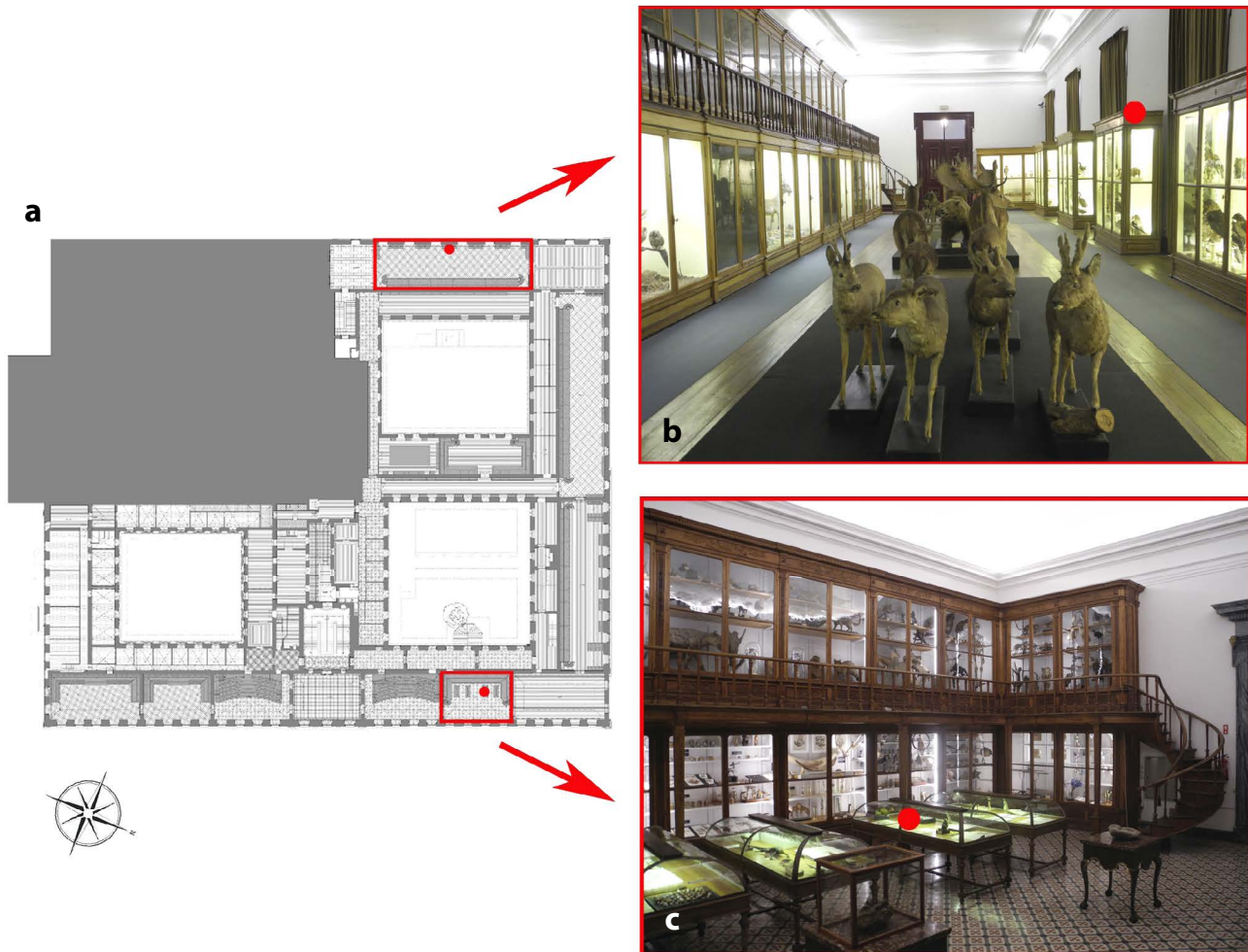


Figure 1. MCUC: a) plan of the first floor and location of the data loggers on the studied rooms [22]; b) Portugal Hall; c) Vandelli Hall.

correspond to the first and last rooms of the Natural History exhibition, and are separated and distant from each other, since they are situated on opposite sides of the building. Besides opposite solar exposure, these rooms are located at different construction phases of the building (e.g. the building envelope properties differ between construction periods).

Currently the museum is open every day of the week (closed only for three holidays per year), but during the time of this study, the museum opened only by prior appointment.

The first room, the Vandelli Hall (VH) – named after Domingos Vandelli (1730-1816), Italian scientist who was the first professor of Natural History and Chemistry at the UC –, contains samples of the most important and oldest collections of the acquis. In this space we can find, among others, the collection that Vandelli himself sold to the university, as well as the ethnographic objects collected by Alexandre Rodrigues Ferreira in Brazil (between 1783 and 1792) [23]. There is a great blend of collections of different types. We can find birds, fishes, reptiles and embalmed mammals, skeletons, teeth and horns, minerals and rocks, ceramics, fossils, paper mache models, watercolors,

books, etc. There is naturally a considerable diversity of materials present in these objects (vegetable fibers, wood, paper, leather, feathers, bone, ivory, metals, glass, etc.), a situation that often causes conservation problems. In the VH, the data logger was placed inside a relatively tight display case made of wood and glass, provided with LED lighting.

The second room, the Portugal Hall (PH), is dedicated to the fauna of the Iberian Peninsula. In this case, the collection is not so diverse as in VH. It is composed mostly of embalmed birds and mammals. The last bear caught in Portugal stands out. In PH, the data logger was placed about 3 m high, on top of a display case in the centre of the room. The main data concerning the exhibition rooms' characteristics are presented in Table 1.

Microclimate measurements

Taking into account the various approaches and methodologies to assess the indoor environmental conditions of museum spaces currently in practice [13, 17-19, 24-25], the data analysis and results discussion in the next sections are settled essentially following EN

Table 1
Room characteristics and equipment

		Vandelli Hall	Portugal Hall
Room dimensions	Floor surface (m ²)	118	263
	Volume (m ³)	888	1645
Windows	Orientation	East	West
	Number	4	6
	Type	Sash windows	Casement windows
Exhibited objects		Natural History	Fauna of the Iberian Peninsula
Equipment	Number	1	1
	Location	Inside a display case (c. 0.80 m from the floor)	On top of a display case (c. 3 m above the floor)

Table 2
Summary table of all registered values on the exhibition rooms

Space	Period	Parameter	Maximum value	Average \pm standard deviation	Minimum value
Vandelli Hall (VH)	29 Aug 2011 – 26 Sep 2012	<i>T</i> (°C)	27.0 ^a	19.2 \pm 5.4	8.7 ^b
		<i>RH</i> (%)	86.3	56.6 \pm 8.5	28.6
	23 Feb 2015 – 8 Mar 2016	<i>T</i> (°C)	26.5	18.7 \pm 4.7	11.1
		<i>RH</i> (%)	71.2	58.4 \pm 5.7	28.6
Portugal Hall (PH)	29 Aug 2011 – 26 Sep 2012	<i>T</i> (°C)	29.7	19.3 \pm 4.8	8.5 ^c
		<i>RH</i> (%)	81.8	58.5 \pm 8.4	29.9
	23 Feb 2015 – 23 Mar 2016	<i>T</i> (°C)	30.2 ^d	18.6 \pm 4.7	9.2
		<i>RH</i> (%)	92.0	65.0 \pm 9.3	33.3

Notes:

^a Registered at 2012/07/25, 16:50 (outdaily mean = 22.1 °C). ^b Registered at 2012/02/13 at 09:40 (outdaily mean = 7.2 °C). ^c Registered at 2012/02/05 at 10:10 (outdaily mean = 4.7 °C). ^d Registered at 2015/06/20 at 18:40 (outdaily mean = 29.1 °C).

15757:2010 [19]. As early stated, not so many applications of this European standard can be found in the literature. Moreover, the MCUC is an historic building without any HVAC system; therefore, the current condition of the permanent exhibition corresponds to an acclimatized context. Nonetheless, the obtained results are compared with those obtained through other guidelines and/or methodologies, e.g. ASHRAEs' method [18].

Environmental monitoring campaigns

Until 2011, no hygrothermal study had ever been carried out inside the MCUC. By then, it was decided to have an initial representativeness of all the rooms (at least one data logger per room). Currently some rooms are provided of more than one sensor – though this issue might be hereafter addressed, it is out of the scope of the current study.

As it was intended to measure the conditions to which the exhibited items were exposed (and not the thermal comfort of visitors, for example), in the VH, since all the items are exhibited inside cabinets and/or display cases, the logger was herein placed. In the PH, since a significant number of the exhibited embalmed animals is not in display cases and is directly subject to the room air conditions, it was decided to monitor the room's hygrothermal conditions – suspected to be less favourable to the preservation of the items. We make notice that that until nowadays no significant building intervention has occurred and the hygrothermal conditions of the room are subject to the direct influence of the building envelope. The precise location of the loggers is presented in Figure 1.

According to EN 15757:2010 [19], data from over one year should be considered for a proper analysis (395 days, to be precise: one year plus one month). Intending

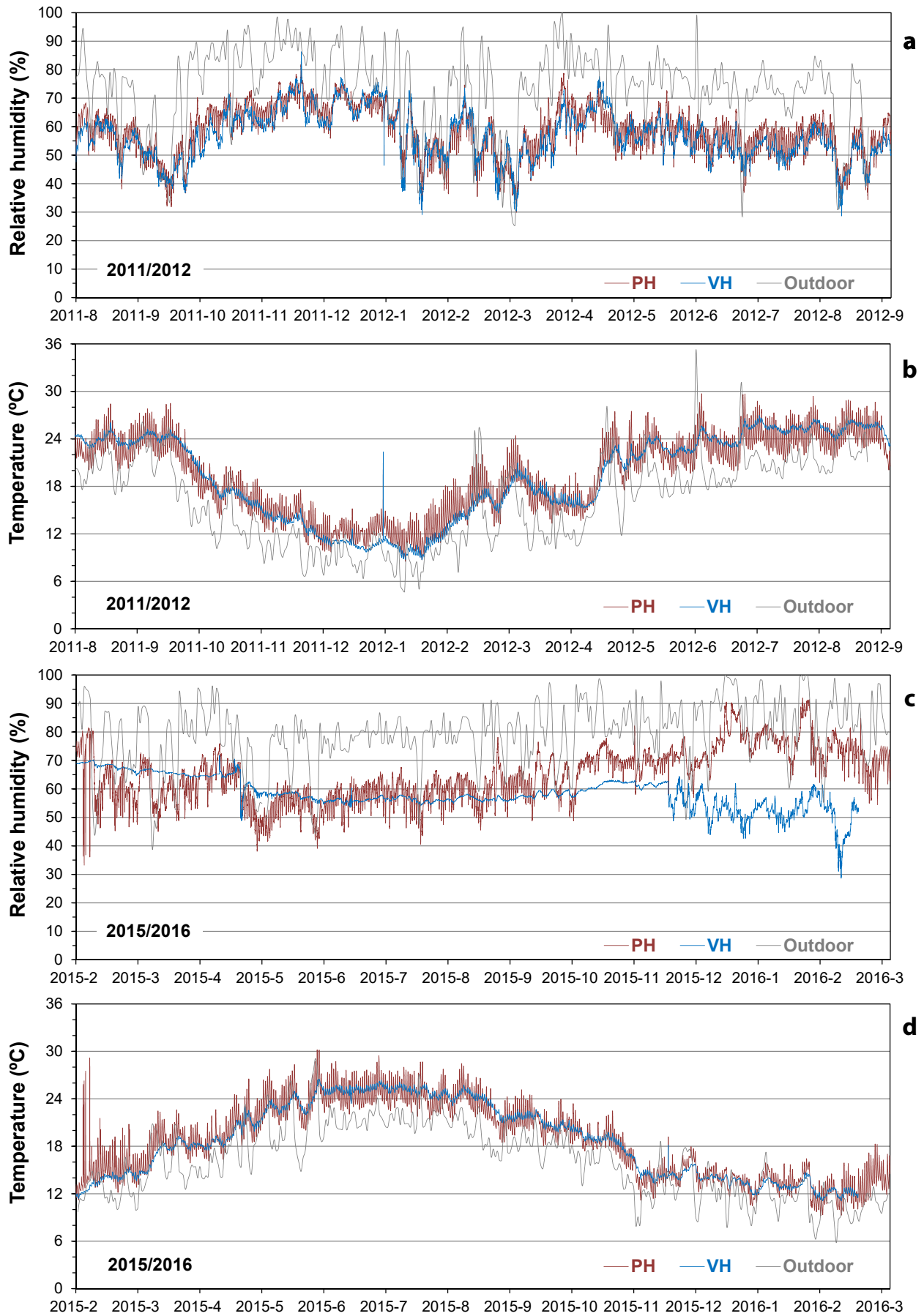


Figure 2. Indoor (Vandelli Hall - VH and Portugal Hall - PH) and outdoor hygrothermal parameters recorded in 2011-12 and 2015-16.

to enlarge our study, as suggested in [15], indoor air temperature (T , °C) and relative humidity (RH , %) were registered every 15 minutes using Tinytag View 2 (TV-4501) data loggers [26], at a distance of four years, during two main periods: (1) 29/08/2011 to 26/09/2012, and (2) 23/02/2015 to 23/03/2016. Specifications on the TV-4501 can be found on Tinytag [26] and include an unobtrusive grey case and monitors temperatures from -25 to +50 °C and relative humidity from 0 to 100 % using built-in sensors, with T sensor logger resolution 0.02 °C or better and RH sensor with an accuracy of ± 3.0 % RH at 25 °C.

Results and Discussion

Global hygrothermal overview

The overall data collection is shown in Figure 2 and Table 2. The analysis of this figure immediately unveils the importance of indoor and outdoor monitoring of the environmental conditions of the museums space, towards a hypothetical hygrothermal rehabilitation, enhancing deep information of the building behaviour.

From data observation, various inferences can be pointed out.

- Nonetheless the outdoor conditions unquestionably influence the indoor ones, the data logger placed in PH shows far more dependence on the external climate. Both hygrothermal parameters were much more stable in VH than in PH. Although this difference may suggest a single influence from the different location of the loggers in the rooms – inside/outside the display case –, please consider also the observation in point 3.

- RH values outdoors were generally higher than indoors and the opposite was verified for T .
- The influence of the thermal inertia of the building construction, as earlier suggested by Dias Pereira et al. [5], seems to have a clear influence in differences found among the two rooms: the pictures clearly disclose that VH and PH were built in different construction phases of the Jesus College, and that VH construction is heavier. In fact, the building in the VH zone was better executed, as the construction occurred during a richer period of the Portuguese kingdom.
- When comparing the autumn/winter periods of 2011/12 and of 2015/16 (e.g. September-March periods), the RH during the second period in VH showed a different behaviour, detaching from the outdoor conditions. The same was not verified in the indoor T records.
- Outdoor RH seems to have a stronger impact indoors than the outdoor air temperature (T). During both winter periods (December-March), for example, RH values indoors varied much more than indoor T (besides considered more stable, T slopes are less abrupt and less pronounced).

Concerning Table 2, some other readings were drawn:

- Maximum indoor temperatures registered in both rooms were above many of the international guidelines maximum temperatures (roughly ≈ 24 °C [17, 27-28]). Moreover, in PH (2015/16) the maximum air temperature (30.2 °C) surpassed the upper limit determined by ASHRAE (though these specifications determine a temperature set point between 15 and 25 °C, seasonal adjustments are accepted [± 10 °C] but not above 30 °C).

Table 3

Summary of daily variations of the hygrothermal parameters during both monitoring periods

Room	Year/ Period	Parameter/ Guideline	ΔT (24 h) (% compliance)	ΔT (24 h) (°C) (max - min)	ΔRH (24 h) (% compliance)	ΔRH (24 h) (%) (max - min)
PH	2011/12	ASHRAE B	97.5	10.3 - 1.0	97.5	20.6 - 2.2
		UNI 10829	3.6		2.2	
	2015/16	ASHRAE B	97.8	6.9 - 0.3	97.3	24.0 - 1.1
		UNI 10829	16.4		34.8	
VH	2011/12	ASHRAE B	99.7	11.3 - 0.1	98.9	24.6 - 1.3
		UNI 10829	97.3		70.1	
	2015/16	ASHRAE B	100	4.3 - 0.1	100	18.1 - 0.0
		UNI 10829	98.6		98.9	

Note 1: The authors opted by ASHRAE's class B as it is appropriate for most historic buildings and presents "a very small risk for most artifacts"; "Classes B and C [...] are the best that can be done in most historic buildings" [5]. ASHRAE B reference values: ΔT (24 h): ≤ 10 °C; ΔRH (24 h): ≤ 20 %.

Note 2: UNI 10829 (1999)[17] is supplemented with D. M. 10 Maggio 2001 [27]. In certain cases/materials, as specific woods and papers, the recommended daily fluctuation of RH reduces to 2 and 5%, respectively. T fluctuations remain at 1.5 °C in the case of wood and might reach 3 °C in the case of paper. UNI 10829 reference value: ΔT (24 h): ≤ 1.5 °C; ΔRH (24 h): ≤ 6 %.

- It is also worth mentioning that very low air temperature values were registered during both monitoring campaigns: in both rooms T values lower than 9 °C were recorded. Both records corresponded to particularly cold days in Coimbra: in 1-15 February 2012, mean outdoor temperature (MOT) varied between 4.7 and 11 °C. The coldest day was February 5th (the day when the lowest temperature was registered in PH). The lowest temperature record in VH was registered on February 13th (MOT = 7.2 °C), after a very cold day, February 12th (MOT = 5 °C). Although *ASHRAE Handbook* states “cold winter periods double life” of objects [18], indoor air temperature values below 10 °C are particularly uncomfortable in terms of the occupants (workers and visitors), considering the relatively low metabolic rate (1.2-1.6 °C [29]). Even more recent and *flexible* standards, such as those considering an adaptive thermal comfort behaviour (ASHRAE’s 55 [30] or EN15251 [31]), accounting on the outdoor conditions, do not consider acceptable indoor operative temperatures lower than 17 °C [30] or 19 °C [31].
- RH mean values were generically between 55 and 60 %. In PH, during 2015/16 this value was slightly higher.
- Extreme values of RH were particularly worrying (maximum values higher than 80 % and even 90 %, and lowest values lower than 30 % were registered).
- The higher stability of the hygrothermal parameters in VH is also confirmed by the annual RH mean values, which was the same in both monitoring periods.

Short-term fluctuations

The definition of fixed and universal optimal values for all types of exhibited objects and materials in museums is a rather difficult task. This is why different reference values and intervals are found in the literature [17-18, 28]. More consensual is the significance of short-term fluctuations of the hygrothermal parameters, namely T and RH daily cycles.

Object deterioration depends not only on the absolute values of each of these parameters but also on their fluctuations in time. Depending on the object, RH fluctuation can be as significant as T fluctuation [3]. In Table 3, for both monitored periods in both rooms, maximum daily amplitude of temperature (ΔT_{\max}) and of RH (ΔRH_{\max}) are reported, as well as its percentage of compliance according to two different technical regulations.

As it can be observed, in both periods, VH performed significantly better than PH, especially if considered its performance according to UNI 10829 [17], a much stringent reference. Besides the effect of building quality, the aforementioned buffering effect of the display case (were the logger in VH was placed), recommends

a complementary study – as stated by Scurpi et al., “showcases are of key relevance in the conservation and are widely used in not HVAC equipped museums” [3].

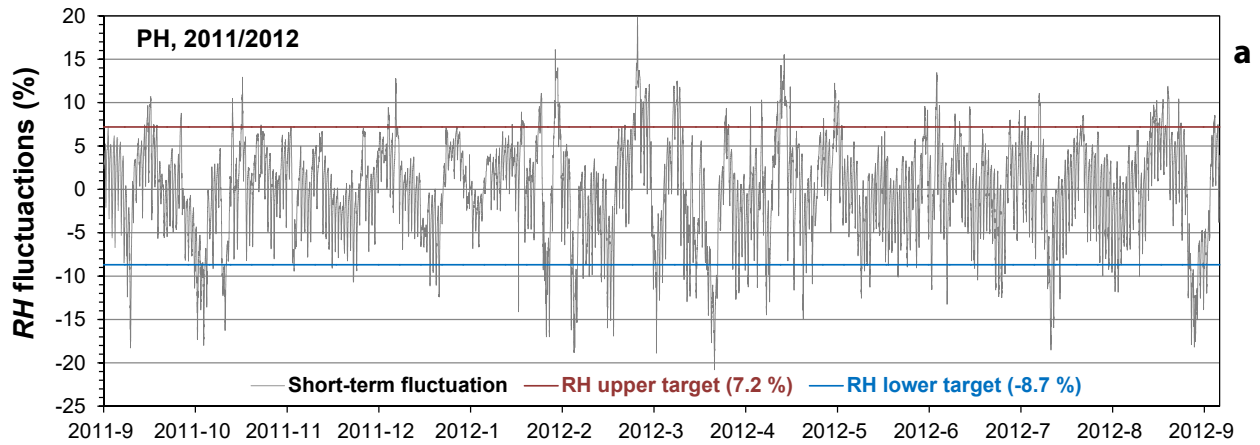
Contrarily to the UNI 10829 guidelines, EN 15757:2010 [19] does not define fixed intervals for daily fluctuations: daily cycles can vary and they are estimated for each computed value by subtracting the moving average from the instantaneous value. In this case scenario, the intervals depicted in Figure 3 were obtained. From the observation of the obtained data, several observations can be pointed out:

- Looking individually at each room, for both analysed years, the upper and lower limits of each hygrothermal parameter vary.
- Considering a yearly analysis (e.g. 2011/12), in VH the daily fluctuations are smaller, and so are the “safety intervals”.
- When looking at 2015/16’s data, the obtained fluctuation limits are quite disturbing – e.g. in VH the obtained RH interval is stricter than UNI 10829 limits.

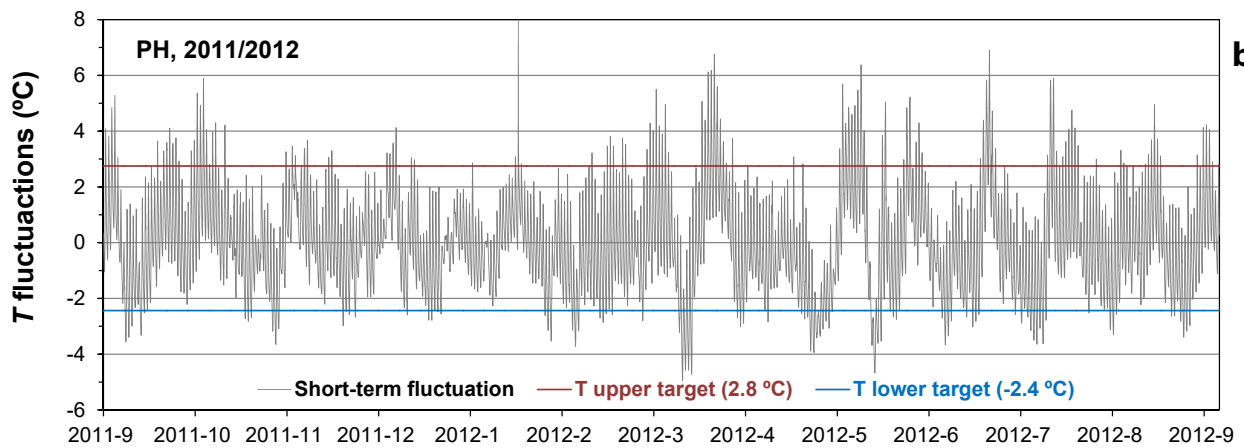
This analysis brings up the importance of pursuing a continuous long-term monitoring (more than just one year) of the indoor environmental conditions of museum spaces, towards the support of grounded evidence guidelines for the exhibition conservation. Otherwise, erroneous conditions of conservation of objects might be taken for granted. This suggestion is reinforced by previous researches on the subject [9, 32-35], which pointed at learning from the historic indoor climate conditions and also at the history of building itself and its different construction phases.

In addition, a comparison of the obtained results with similar case-studies available in the literature (e.g. museums housed in historic buildings) was attempted, but this has proved a difficult mission. Firstly, many of the most recent *in-situ* studies conducted in museums refer to air-conditioned spaces; secondly, in many occasions the comparison would be biased due to the different type of exhibited items, the type of room usage or even the state of conservation of the building itself.

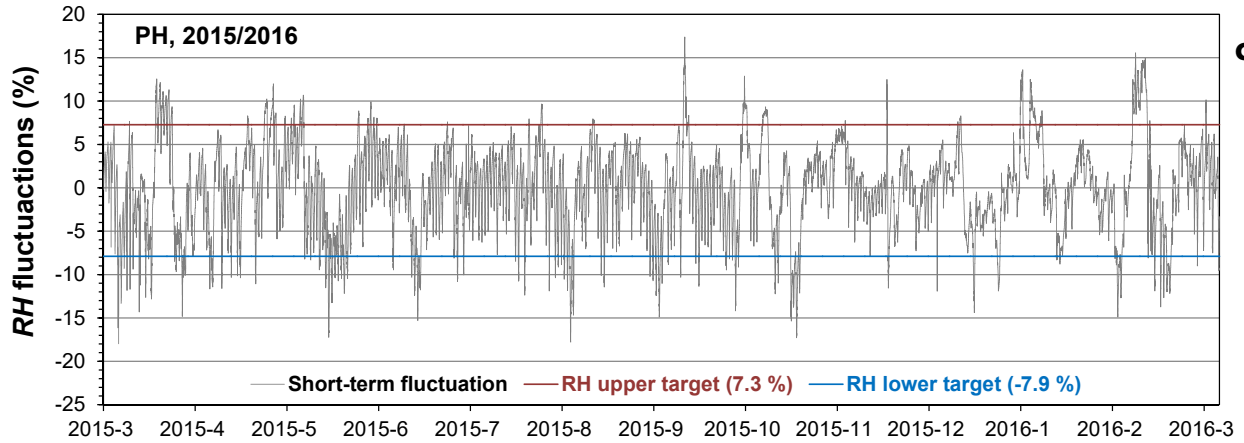
One of the most divulged Portuguese case-studies is that of Museu Nacional de Arte Antiga (MNAA), located in Lisbon, in a Palace of the 17th century, in which Silva et al. analysed “two air-conditioned and one uncontrolled rooms, [...] to understand the general response of the building” [36]. Unluckily the last space corresponds to the chapel, which, on its turn, was closed to visitors during the study (conducted in 2014). In another study, developed by Ferreira et al. on the Museum of the Faculty of Fine Arts of the University of Porto (FBAUP Museum), installed in a palace of the 19th century, the focus was addressed to the museum storage rooms “visited sporadically by the technical staff” [37], which are mechanically ventilated. Moreover, the comparison with the data collected in the exhibition gallery would be unreasonable due to the recent rehabilitation of the building and its buildings physics (between 2009 and 2010 the FBAUP Museum



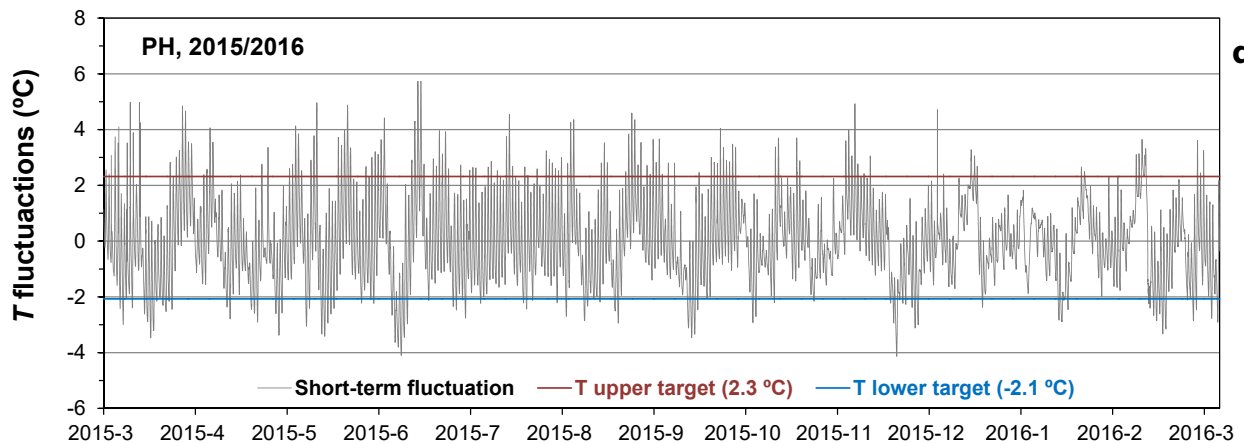
a



b



c



d

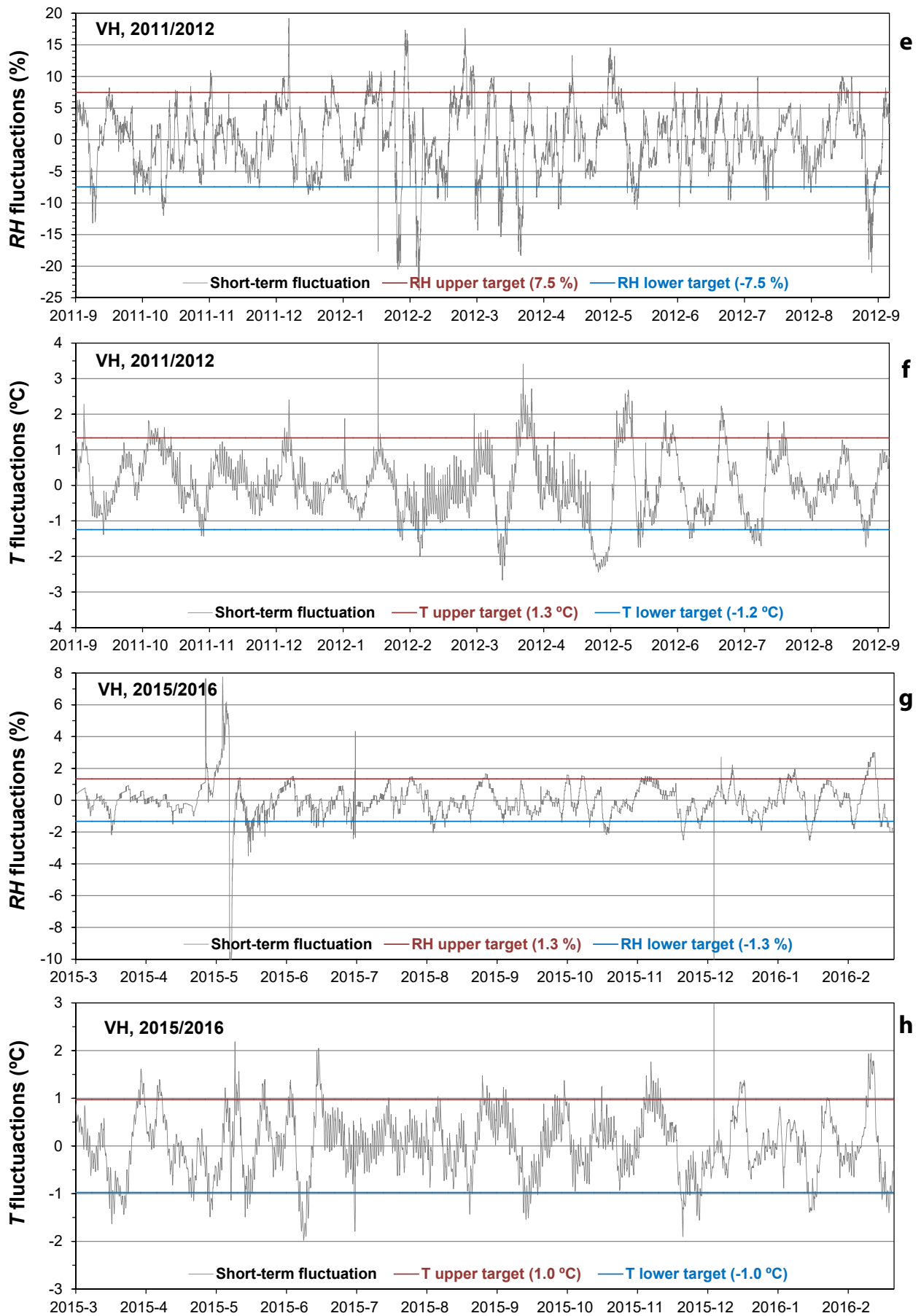


Figure 3. Short-term fluctuations of temperature and relative humidity, determined in PH and VH for 2011/12 and 2015/16.

has undergone a significant intervention in terms of the energy efficiency improvement: the addition of thermal and waterproofing insulation of the envelope, improvement of the windows and the installation of a ventilation and air-conditioned systems; moreover, its original building physics is typical of the 1950's – consisting of granite masonry and reinforced concrete slabs, [38] in [39]).

In short, the singularity of the MCUC makes it hard to be compared. Nonetheless, the international study developed by Sciarpi et al. in the “La Specola” museum in Florence (built in the 18th century) [3] is rather similar to the one herein presented. To begin with, this is considered the first European scientific museum and it is known for its famous zoological collections; then, the experimental monitoring of the environmental parameters was conducted in representative rooms inside and outside showcases whose characteristics do not significantly differ from those in the MCUC; finally, the authors performed a similar data analysis (using EN 15757 and one-year data collection). One of the evidences from this study is that the hygrothermal parameters trend from the uncontrolled rooms (i.e. absent of HVAC systems) was similar and the data followed the outdoor climate, just like in the MCUC. Other inferences concerned the daily variations of such parameters, specifically the difference between the values registered inside and outside the display cases. Globally, the display-cases “reduce *RH* variations respect those of the rooms” [3], i.e. the buffering effect of the display-cases was confirmed, giving further support to the same effect in the MCUC. Despite the similarities, some differences can be pointed out: *i*) at the MCUC, in VH the maximum ΔT (24 h) varied between 4.2 and 11.3 °C and the maximum ΔRH (24 h) varied between 18.1 and 24.6 %, while in “La Specola” museum these values were equal to 3.6 °C and 7 %, respectively; *ii*) on the other and, when comparing the hygrothermal fluctuations of the rooms conditions, in PH the maximum ΔT (24 h) varied between 6.9 and

10.3 °C and the maximum ΔRH (24 h) varied between 20.6 and 24.0 °C, while in the analysed rooms in Florence museum these values were 4.7 °C and 20 %. Generally, the daily variations of the hygrothermal parameters inside the display cases in “La Specola” museum were more satisfying. Moreover, though indoor air ΔT (24 h) were more significant in the MCUC (in the PH), the daily variation of *RH* was quite similar (≈ 20 %).

Beyond short-term fluctuations

It is generally accepted that high *RH* levels endanger collections. In fact, *RH* values above 80 % are known for empowering mould growth and risk of condensation [40]. In ASHRAE Handbook, 75 % is stated as a critical value [18]. On the other hand, when *RH* levels are low, materials release some water molecules decreasing the moisture content enhancing their shrinking [40-41]. Besides a daily cycle analysis, Kalamees et al. suggests that for studying wood cracking caused by *RH* fluctuations in an unheated church, “one month would be a more appropriate time interval” [40].

Nonetheless the potential impact of high *RH* levels on the original cabinets housing the exhibition in the Museum, for the current analysis our study looks deeper into the seasonal analysis. As such, this section examines the seasonal variations of the recorded data, following EN 15757:2010 instructions (e.g. the calculation of a 30-day moving average and 7th and 93th percentiles – determination of the sustainable limits) and also ASHRAE’s class B recommendations.

As previously suggested, contrarily to other norms or guidelines, the EN15757 is less demanding, i.e. does not recommend fixed values, allowing a daily and season variation of the hygrothermal parameters (though the proposed methodology in this norm is mainly addressed at the *RH*). Figure 4 results from the application of this methodology, defining the upper and lower limits of

Table 4

Summary of the hygrothermal parameters target bands (i.e. tolerable fluctuations) according to the EN 15757 methodology

Parameter	Values	Year/ Period	Portugal Hall	Vandelli Hall
Relative humidity (%)	Yearly average	2011/12	58.6	56.8
		2015/16	64.7	61.5
	Extreme values	2011/12	40.3–77.0	39.5–76.6
		2015/16	45.1–87.0	54.5–70.9
Temperature (°C)	Yearly average	2011/12	18.9	18.8
		2015/16	19.0	19.3
	Extreme values	2011/12	9.5–27.6	8.9–26.8
		2015/16	10.0–27.3	11.5–26.3

Note: It is generically assumed that *RH* values above 75 % are dangerous for conservation purposes, including biological degradation. As such, though estimated according to EN 15757:2010, *RH* upper limits above 75 % should be disregarded.

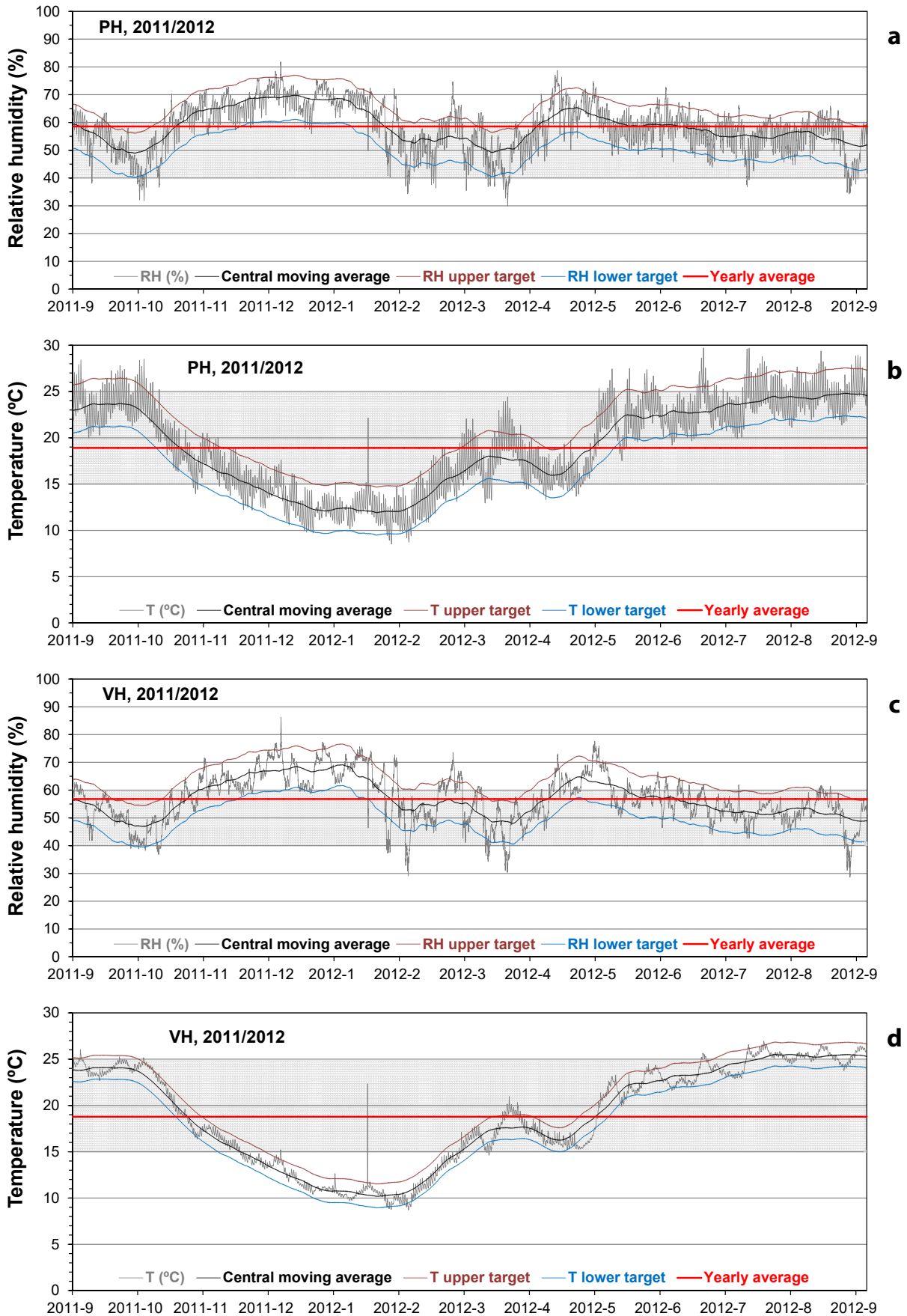


Figure 4. Target bands of tolerable fluctuations compared to the monitored values. Continuous lines represent EN15757 safety targets (defined by the upper and lower limits, the 7th and 93rd percentiles excluding 14 % of the more dangerous fluctuations) and the shaded areas represent the T range 15-25 °C and the RH range 40-60 % defined by class B of ASHRAE.

the acceptable fluctuation band (i.e. 7th and 93th percentiles). For the sake of brevity, only 2011/12's data are graphically represented (Figure 4) and both these results and the 2015/16's results are summarized in Table 4. Based on these data and Figure 4, some comments are due:

- A temperature peak is noticeable in 2011/12's January data in both rooms. This was a day of data collection from the data loggers and the peak was probably due to equipment handling.
- Generically (e.g. looking at the yearly averages), relative humidity is the parameter that changes the most, either between rooms and/or years.
- Monitored *RH* values are broadly high. Consequently, upper *safety targets* determined by EN 15757 are also much higher than those determined by most of conservation guidelines. Special attention is due to the calculation for PH during 2015/16. In this case, 89 % of *RH* was achieved as a *safety target*.
- The strong relation/dependence of these two parameters is reinforced by the obtained results: in PH, both *RH* and *T safety targets* are more extreme than in VH.
- Though significant fluctuations were registered in both rooms and observed periods, the yearly averages were not so far from the recommended guidelines. Namely ASHRAE's class B: in this case either 50 % or "historic annual average for permanent collections" can be used as reference.

In the same way, "temperature set between 15 and 25 °C". Herein, yearly averages have varied between 18.8 and 19.3 °C.

Grounded on this analysis, the collected data was also analysed according to ASHRAE's class of control B. Figure 5 synthesizes this analysis. Ideally, data recorded in both exhibition rooms should fit the intervals 15-25 °C (*T*) and 40-60 % (*RH*). According to these criteria: (i) none of the exhibition rooms presents satisfying conditions regarding the conservation of the displayed heritage; (ii) both rooms performed better in 2011/12 than in 2015/16; (iii) *RH* increase (>60 %) in between years is very significant and particularly disturbing in PH – in 2015/16, *RH* monitored data were above 60 % more than 67 % of the time.

Moreover, as recommended for this conservation class, temperature values below 30 °C were investigated in both exhibition rooms (PH and VH): this sub-criterion was achieved almost 100 % of the monitored time (both 2011/12 and 2015/16).

Besides the fixed *RH* interval 40-60 % (average 50 ± 10 %), data were explored according to the historic

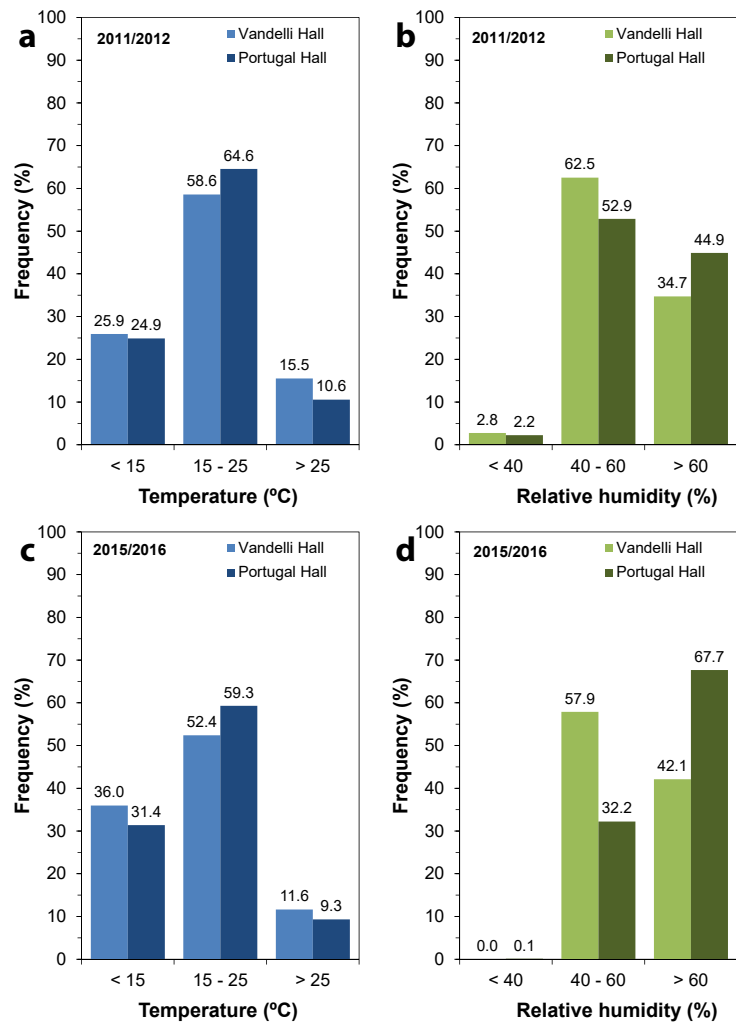


Figure 5. Distribution (%) of the monitored data according to the ASHRAE recommended intervals for conservation, class B., in 2011/12 and 2015/16.

annual average. In this case, a different percentage of compliance in seasonal adjustment, i.e. according to the distribution (%) of the monitored data according, is shown in Figure 6.

When compared with the previous distribution (%) of the monitored data, namely Figure 5, both halls perform significantly better than initially anticipated. In fact, in 2015/16, VH percentage of compliance is almost 100 %. Once more, it is emphasized the significance of performing careful data analysis, "towards the support of grounded based-evidence guidelines for the exhibits conservation". The definition of proper conservation targets cannot be dissociated from cautions and strategic analysis of the monitored data.

Conclusions

Besides a growing attention towards the conservation aspect of exhibited items in museum spaces, a greater focus has also been addressed to the energy consumption

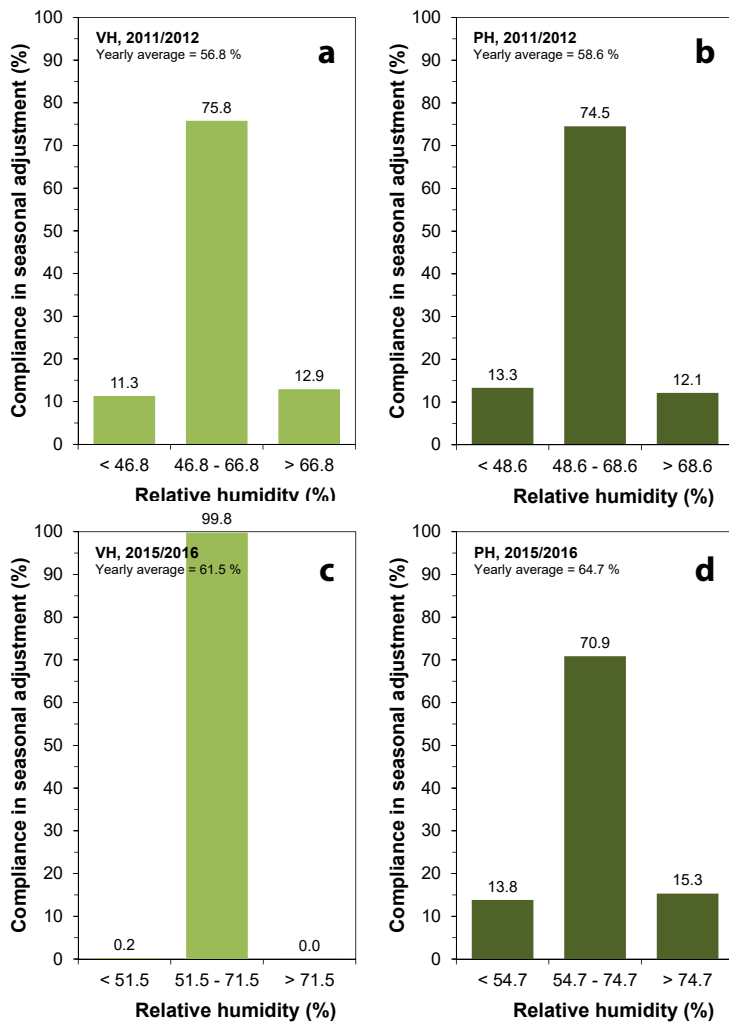


Figure 6. Relative humidity percentage of compliance in seasonal adjustment (yearly average \pm 10%), according to the distribution (%) of the monitored data in both rooms.

of such buildings [42-44], particularly in Cultural Heritage spaces [45]. As reported by Celenza et al., thermal heating energy is a determinant factor in such buildings, its proper management plays a key role in the global energy efficiency and enhances potential energy savings [46]. This concern becomes even more relevant with the recent publication of EN 16883:2017 *Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Improving the Energy Performance of Historic Buildings* [47], which should have been implemented in each European member state by November 2017 at the latest. As such, a correct definition of the interval of the hygrothermal parameters is a fundamental step forward. Improper targets of temperature and relative humidity may put collections at risk and will lead to misuse of energy.

Avoiding rapid or extreme fluctuations minimizes artefacts deterioration. As observed, in this historic museum, the thermal mass of the building positively helped to avoid sharp short-term fluctuations, and monitored data, though not optimal, were generically satisfying – the potential buffering effect of the display case

(where the logger in VH has been placed) can also not be neglected and suggests additional study on this matter, as reinforced by the comparative study by Sciarpi et al. in the “La Specola” museum [3].

The same cannot be said about extreme values of air temperature and/or relative humidity. Data showed the necessity to introduce some control aiming at minimizing the impact of the most extreme values, e.g. $RH > 75\%$ and $T > 30\text{ }^{\circ}\text{C}$, so that during the year, when excluding 14 % of data beyond the *safety targets* as defined according to EN 15757:2010, the peaks are minimized and the extreme limits respect this maximum values (instead of the estimated 89 %, Figure 4).

As pointed out by Richman et al. [32] and Timusk [48], many solutions exist to *reduce condensation potential*, namely: (i) reducing indoor RH by providing more ventilation, (ii) air-tightening the building envelope, and (iii) depressurizing the interior during cold periods. In the present case, the authors believe that by accurately (de)humidifying the air during the critical periods would immediately improve the obtained results. Another option could be warming up the indoor air when RH is higher. Additionally, in order to enhance a more stable environment, some other measures could be implemented: sealing of windows and/or placing a windbreaker in the entrance/exit doors of the museum; adding a layer of hygroscopic materials to the walls or ceilings increasing the hygroscopic inertia of the rooms [49].

As it is not possible to define optimal values for all materials in all rooms (as suggested in [17], since the exhibition rooms are inter-communicating and integrated in a carriage-type gallery), according to the various analyses carried out in both rooms (VH / PH) and in both years (2011/12 and 2015/16), mostly grounded on Figure 4, the following intervals were broadly defined as being optimal values for the MCUC rooms:

$$40\% < RH < 75\%;$$

$$15\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 27.5\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

These hygrothermal ranges are quite broad and far from the most demanding international guidelines. In this regard, it is therefore recommended that data analysis should continue, so that these intervals, grounded on the historic climate of the MCUC, are defined with more confidence. For an immediate and more self-assured decision, it is recommended that the hygrothermal parameters would be conditioned by the annual average (55-60 % and 18.5-20 $^{\circ}\text{C}$, Table 2) and closer to human thermal comfort boundaries.

In conclusion, this paper provides a detailed insight on the significance of long-term hygrothermal assessment


of museum spaces. The presented methodology (mostly grounded on EN 15757 – based on two periods of 395 days of monitored data distanced in time, in the present case at a four-year distance), starting from a global assessment of data and followed by the analysis of short-term fluctuations (determined in agreement with EN15757 but analysed also according to ASHRAE guidelines), has shown how much of a variety of outcomes can be expected. Moreover, it points at the importance of performing a proper data analysis, aiming at avoiding inappropriate interpretation and misleading the actual requirements of such places.

Acknowledgements


The authors are grateful to the Museu da Ciência da Universidade de Coimbra for providing the data loggers' data. The information about the outdoor air condition were provided by Paulo Ribeiro, from the Observatório Geofísico e Astronómico da Universidade de Coimbra, whom we thank very much. This work is framed under the Energy for Sustainability Initiative of the University of Coimbra and UC Project SUSpENsE - Sustainable built Environment under Natural Hazards and Extreme Events.

ORCID


Luísa Dias Pereira

 <https://orcid.org/0000-0003-1312-8137>


Adélio Rodrigues Gaspar

 <https://orcid.org/0000-0001-6947-4579>

José Joaquim Costa

 <https://orcid.org/0000-0002-7015-6989>

Gilberto Pereira

 <https://orcid.org/0000-0002-6891-8032>

References

- Smith, A.; Goodhue, R.; Bioletti, S., 'Monitoring Deposited Dust in The Old Library, Trinity College Dublin', *International Preservation News* **53** (2011) 19-23, <http://hdl.handle.net/2262/57312>.
- Ryhl-Svendsen, M.; Padfield, T.; Smith, V. A.; De Santis, F., 'The indoor climate in historic buildings without mechanical ventilation systems' in *Healthy Buildings – Proceedings 7th International Conference*, vol. 2, National University of Singapore (2003) 278-283.
- Sciurpi, F.; Carletti, C.; Cellai, G.; Pierangioli, L., 'Environmental monitoring and microclimatic control strategies in «La Specola» museum of Florence', *Energy and Buildings* **95** (2015) 190-201, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.061>.
- Ferdyn-Grygierek, J., 'Indoor environment quality in the museum building and its effect on heating and cooling demand', *Energy and Buildings* **85** (2014) 32-44, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.09.014>.
- Dias Pereira, L.; Gaspar, A. R.; Costa, J. J., 'Assessment of the indoor environmental conditions of a baroque library in Portugal' in *CLIMAMED'17 – Mediterranean Congress of Climatisation, Historical Buildings Retrofit in the Mediterranean Area* (2017) 410-422.
- Silva, H. E.; Henriques, F. M. A., 'Preventive conservation of historic buildings in temperate climates. The importance of a risk-based analysis on the decision-making process', *Energy and Buildings* **107** (2015) 26-36, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.067>.
- Camuffo, D.; Pagan, E., 'What is behind relative humidity? Why it is so a relevant variable in the conservation of Cultural Heritage?', in *The Materials of Cultural Heritage in their Environment*, ed. R. A. Lefèvre, Edipuglia, Bari (2006) 21-38.
- Bratasz, Ł.; Kozłowski, R.; Camuffo, D.; Pagan, E., 'Impact of indoor heating on painted wood: monitoring the altarpiece in the church of Santa Maria Maddalena in Rocca Pietore, Italy', *Studies in Conservation* **52**(3) (2007) 199-210, <https://doi.org/10.1179/sic.2007.52.3.199>.
- Camuffo, D., *Microclimate for Cultural Heritage – Conservation, Restoration, and Maintenance of Indoor and Outdoor Monuments*, 2nd ed., Elsevier Science (2014).
- Putt N.; Slade, S., *Teamwork for Preventive Conservation*, ICCROM, Rome (2004).
- 'Visitor Impact / Visitor management', documento, J. Paul Getty Trust, (2005), https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/teaching/case/olita/resources/docs/Visitation.pdf (accessed 2018-6-19).
- Lloyd, H.; Brimblecombe, P.; Lithgow, K., 'Economics of dust', *Studies in Conservation* **52**(2) (2007) 135-146, <http://www.jstor.org/stable/20619493>.
- Corgnati S. P.; Filippi, M., 'Assessment of thermo-hygrometric quality in museums: Method and in-field application to the "Duccio di Buoninsegna" exhibition at Santa Maria della Scala (Siena, Italy)', *Journal of Cultural Heritage* **11**(3) (2010) 345-349, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.05.003>.
- D'Agostino, V.; D'Ambrosio Alfano, F. R.; Palella, B. I.; Riccio, G., 'The museum environment: A protocol for evaluation of microclimatic conditions', *Energy and Buildings* **95** (2015) 124-129, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.009>.
- La Gennusa, M.; Rizzo, G.; Scaccianoce, G.; Nicoletti, F., 'Control of indoor environments in heritage buildings: Experimental measurements in an old Italian museum and proposal of a methodology', *Journal of Cultural Heritage* **6**(2) (2005) 147-155, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2005.03.001>.
- González, I. V.; Alonso, S. F. B.; Rodríguez, M. A.; González, J. O., 'Study of environmental conditions in the repositories of the National Archive of the Republic of Cuba', *Conservar Património* **24** (2016) 55-62, <https://doi.org/10.14568/cp2015019>.
- Norma UNI 10829:1999 Beni di Interesse Storico e Artistico – Condizioni Ambientali di Conservazione - Misurazione ed Analisi, UNI, Milano (1999).
- ASHRAE Handbook – HVAC Applications: Chapter 23 Museums, Galleries, Archives and Libraries, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta (2015).
- EN 15757:2010 Conservation of Cultural Property – Specifications for Temperature and Relative Humidity to Limit Climate-induced Mechanical Damage in Organic Hygroscopic Materials, BSI Standards Publication (2010).
- Corgnati, S. P.; Fabi, V.; Filippi, M., 'A methodology for microclimatic quality evaluation in museums: Application to a temporary exhibit', *Building and Environment* **44** (6) (2009) 1253-1260, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.09.012>.
- Pires, C.; Pereira, G., 'O Museu da Ciência da Universidade de Coimbra: Valorização de um património científico secular', in *Coleções Científicas Luso-Brasileiras: Património a ser Descoberto*, ed. M. Granato & M. C. Lourenço, MAST/MCT, Rio de Janeiro (2010) 185-210.
- Dias Pereira, L. ; Gaspar, A. R.; Costa, J. J.; Pereira, G., 'Assessment of the hygrothermal air conditions of the science Museum of the University of Coimbra' in *Intangibility Matters. International Conference on the Values of Tangible Heritage. IMA'TTe 2017, Proceedings*, ed. M. Menezes, D. R. Costa & J. D. Rodrigues, LNEC, Lisbon (2017) 397-406.

- 23 Carreira, I. (ed.), *Gabinete de História Natural: Revivências*, Museu Zoológico – FCTUC, Coimbra (2000).
- 24 Schito, E.; Testi, D.; Grassi, W., 'A proposal for new microclimate indexes for the evaluation of indoor air quality in museums', *Buildings* **6** (41) (2016), <https://doi.org/10.3390/buildings6040041>.
- 25 Martens, M. H. J.; Schijndel, A. W. M. van; Schellen, H. L., 'Evaluation of indoor climates using the Climate Evaluation Chart', in *Proceedings of the 27th AIVC Conference, 20-22 November 2006*, Lyon (2006) 523-528.
- 26 'Tinytag View 2 | TV-4501' in *Tinytag*, <http://www.geminidataloggers.com/data-loggers/tinytag-view-2/tv-4501> (accessed 2017-3-27).
- 27 'Decreto 10 maggio 2001 – Atto di indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei (Art. 150, comma 6, del D.Les. n. 112 del 1998)', *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana* **244** (S238) (2001).
- 28 'Temperature and humidity in museums', in *Museums Galleries Scotland*, <https://www.museumsgalleryscotland.org.uk/advice/collections/temperature-and-humidity-in-museums/> (accessed 2017-9-25).
- 29 EN ISO 7730: 2005 Ergonomics of the Thermal Environment. Analytical Determination and Interpretation of Thermal Comfort Using Calculation of the PMV and PPD Indices and Local Thermal Comfort Criteria, International Standardisation Organisation, Geneva (2005).
- 30 *ANSI/ASHRAE Standard 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy - 201'*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta (2017).
- 31 EN 15251:2007 Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics', European Committee for Standardization, Brussels (2007).
- 32 Richman, R.; Pressnail, K. D.; O'Malley, L.; Liebenow, N., 'The reduced gradient approach (RGA): An alternate method to optimizing humidity conditions in house museums in cold climates', *International Journal of Architectural Heritage* **5**(1) (2011) 48-59, <https://doi.org/10.1080/15583050903131363>.
- 33 Živković, V.; Džikić, V., 'Return to basics – Environmental management for museum collections and historic houses', *Energy and Buildings* **95** (2015) 116-123, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.023>.
- 34 Camuffo, D., 'Il clima storico per la conservazione dei beni culturali: materiali organici e variazioni microclimatiche', *Unificazione & Certificazione* **9** (2014) 11-12.
- 35 Eibl, M.; Burmester, A., 'Learning from history. Historic indoor climate conditions and climate control strategies', in *Climate for Collections. Standards and uncertainties*, Munich Climate Conference (2012) 217-232.
- 36 Silva, H. E.; Henriques, F. M. A.; Henriques, T. A. S.; Coelho, G., 'A sequential process to assess and optimize the indoor climate in museums', *Building and Environment* **104** (2016) 21-34, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.04.023>.
- 37 Ferreira, C.; Freitas, V. P.; Ramos, N. M. M. R. 'Quantifying the influence of hygroscopic materials in the fluctuation of relative humidity in museums housed in old buildings', in *Proceedings of NSB 2014 - 10th Nordic Symposium on Building Physics* (2014) 600-607.
- 38 'Compilação técnica da intervenção na Faculdade de Belas Artes da Universidade do Porto. Prestação de serviços de fiscalização e coordenação de diversas empreitadas em edifícios da Universidade do Porto, no âmbito da eficiência energética', report, CINCLUS - Planeamento e Gestão de Projectos S.A., Lisboa (2010).
- 39 Ferreira, C. S. F. M., 'Inércia higroscópica em museus instalados em edifícios antigos - Utilização de técnicas passivas no controlo da humidade relativa interior', PhD thesis, FEUP, Porto (2015).
- 40 Kalamees, T.; Väli, A.; Kurik, L.; Napp, M.; Arümagi, E.; Kallavus, U., 'The influence of indoor climate control on risk for damages in naturally ventilated historic churches in cold climate', *International Journal of Architectural Heritage* **10**(4) (2016) 486-498, <https://doi.org/10.1080/15583058.2014.1003623>.
- 41 Camuffo D.; Bertolin, C., 'Towards standardisation of moisture content measurement in cultural heritage materials', *e-Preservation Science* **9** (2012) 23-35.
- 42 Lucchi, E., 'Simplified assessment method for environmental and energy quality in museum buildings', *Energy and Buildings* **117** (2016) 216-229, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.02.037>.
- 43 Ferdyn-Grygierek J.; Baranowski, A., 'Internal environment in the museum building – Assessment and improvement of air exchange and its impact on energy demand for heating', *Energy and Buildings* **92** (2015) 45-54, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.033>.
- 44 Mueller, H. F. O., 'Energy efficient museum buildings', *Renewable Energy* **49** (2013) 232-236, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.01.025>.
- 45 Hartman, V.; Kirac, M.; Zanki, V.; Grozdek, M.; Poletto, D.; Ronchini, C., *Energy Efficiency and Energy Management in Cultural Heritage. Case Studies Guidebook*, UNESCO Regional Bureau for Science and Culture in Europe, Venice (Italy) and United Nations Development Programme in Croatia, Zagreb (2013).
- 46 Celenza, L.; Dell'Isola, M.; Ficco, G.; Palella, B. I.; Riccio, G., 'Heat accounting in historical buildings', *Energy and Buildings* **95** (2015) 47-56, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.070>.
- 47 BS EN 16883:2017 Conservation of Cultural Heritage – Guidelines for Improving the Energy Performance of Historic Buildings, British Standards Institution, London (2017).
- 48 Timusk, J., *Moisture-induced Problems in NHA Housing*, Canadian Mortgage and Housing Corporation, Ottawa (1987).
- 49 Ferreira, C.; Freitas, V. P.; Ramos, N. M. M., 'Quantificação da influência de materiais higroscópicos na flutuação da humidade relativa em museus instalados em edifícios antigos', *Pedra e Cal* **58** (2015) 22-25.

Received: 2018-2-28

Revised: 2018-5-21

Accepted: 2018-6-12

Online: 2018-7-10



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en>.

Patrimônio artístico do Palácio das Artes: um estudo do processo de preservação do figurino dos espetáculos produzidos pela Fundação Clóvis Salgado

Rachel Myrrha Neves*

Vânia Myrrha de Paula e Silva

*Universidade do Estado de Minas Gerais – Escola de Design, Av. Antônio Carlos 7545, Belo Horizonte – MG,
Brasil*

**rmyrrha@gmail.com*

Resumo

Com mais de quinhentos anos de história do teatro no Brasil, uma questão ainda inquieta: onde e como está preservada a memória desse patrimônio artístico tão representativo da cultura brasileira? O objetivo deste estudo é analisar o processo de preservação do figurino dos espetáculos do Palácio das Artes, um dos mais importantes teatros do estado de Minas Gerais, tendo como base materiais de referência, entrevistas e visitas técnicas realizadas em 2014. A partir da construção de um fluxograma e de uma análise técnica do processo, pretende-se incentivar a implantação de projetos voltados para a melhoria da gestão e a adequação dos instrumentos de conservação e guarda de acervos – utilitários e museológicos –, além do desenvolvimento de políticas de preservação. Espera-se também que possibilite não somente a continuidade dessa prática na instituição, mas que sirva de exemplo para o fortalecimento desse tipo de iniciativa em outros teatros.

Palavras-chave

Patrimônio artístico
Palácio das Artes
Figurino
Preservação
Gestão de Processos
Fluxograma

Artistic Heritage of Palácio das Artes: a study of the costume's preservation process of the shows produced by the Clóvis Salgado Foundation

Abstract

The history of Brazilian theatre goes back as far as five hundred years and yet to this day arises the issue of where and how is preserved the memory of such an artistic heritage that is very representative of Brazilian culture. The aim of this paper is to analyze the preservation process of onstage costumes of Palácio das Artes, one of the most important theatres in the Brazilian State of Minas Gerais, building upon reference documents, interviews and technical visits undertaken in 2014. A technical analysis of the process and a flowchart are used to encourage the implementation of projects related to management improvement, conservation tools and collection storage adequacy – both functional and museological –, as well as to the development of preservation policies. It is also expected that this study might stimulate the continuation of such practices in this theatre and their adoption by other institutions.

Keywords

Artistic Heritage
Palácio das Artes
Costume
Preservation
Process Management
Flowchart

ISSN 2182-9942



Introdução

O teatro no Brasil tem suas origens no século XVI com os jesuítas e suas peças de catequização “que atraíam aos pátios das escolas e capelas colonos e indígenas, fazendo-os participar como atores ou simples espectadores de dramatizações ingênuas” [1]. Já no século XVIII, durante o reinado de D. José I, diversos espaços permanentes para apresentações de teatro foram construídos em cidades coloniais do território português na América [2]. Entretanto, foi no século XIX que o teatro brasileiro ganhou mais força e visibilidade, advindas de um movimento cultural ufanista, consequência da presença da corte portuguesa no Brasil, como revelam as palavras de Sábato Magaldi:

A transferência da corte portuguesa para o Rio, em 1808, trouxe inegável progresso para o teatro, consolidado pela Independência, em 1822, a que se ligou logo depois o romantismo, de cunho nacionalista [3].

Posteriormente, o teatro brasileiro passou por mais dois ciclos de desenvolvimento, denominados por Wilson Martins de “ciclo do teatro ligeiro” e de “ciclo moderno”, até a ditadura militar em 1964 [4]. A segunda metade do século XX é descrita resumidamente por Carolin Ferreira, quando o teatro brasileiro foi, lentamente, se recuperando dos vinte anos de repressão e censura:

Durante a ditadura, o teatro politizou-se e desenvolveu através do Teatro de Arena e do Teatro de Oficina linguagens cênicas e dramaturgias próprias. Mas repressão, censura e autocensura, bem como a incapacidade de renovação impossibilitaram que este caminho fosse seguido. Enquanto os anos 1980 eram caracterizadas por um balanço desses impedimentos e por uma retomada hesitante, os anos 1990 já demonstraram uma diversidade de vertentes, estilos e temas que prometem um complexo e interessante panorama teatral para este século XXI que está começando [5].

A “diversidade de vertentes” nos anos 1990, observada por Ferreira, foi acompanhada pelo crescente número de casas de espetáculo e teatros no Brasil. Em um trabalho realizado pelo arquiteto e cenógrafo José Carlos Serroni em 2002, quase mil teatros em atividade foram identificados no Brasil [6] e, conforme levantado pelo Ministério da Cultura, em 2010 foram contabilizados 1229 espaços [7]. Assim, considerando tanto os teatros em atividade quanto os espaços já desativados, pode-se concluir que o teatro brasileiro se configura como uma considerável fonte de memória cultural ou, como expõe Lanfranchi, os teatros brasileiros são “depositários de importante parte da cultura urbana das cidades nas quais foram construídos” [8].

Froner afirma que “Patrimônio Histórico pode ser tudo e qualquer coisa – material ou imaterial – que mantenha viva a memória de um determinado tempo” [9] ou, conforme explicita Carsalade, “o conceito de

patrimônio é um conceito múltiplo que abriga diversos outros: herança, tentativa de permanência do homem ou sobrevivência da cultura, identidade, diversidade, memória, posse pública de bens culturais, dentre tantos outros” [10]. Considerando essas duas definições e refletindo sobre os mais de quinhentos anos da história do teatro no Brasil, uma questão emerge: onde e como está preservada a memória desse patrimônio, sendo o teatro parte tão representativa da cultura brasileira?

Esse patrimônio das artes cênicas assume diversos formatos, melhor ilustrado por Françoise Choay quando apresenta de forma sucinta a mudança no conceito de patrimônio até seu significado contemporâneo:

Em sua acepção original, “bem de herança que, seguindo as leis, descende dos pais e mães para seus filhos” (*Émile Littré, Dictionnaire de la langue française*), a mais antiga palavra “patrimônio” conhece hoje uma fortuna nova, por uma transferência metafórica que lhe atribui adjetivos variados: “genético”, “natural”, “bancário”, etc.” [11].

Dessa forma, pode-se pensar que o patrimônio das artes cênicas abrange tanto seu patrimônio arquitetônico, na forma dos edifícios teatrais e casas de espetáculo, como seu patrimônio móvel, isso se considerarmos apenas seu patrimônio material. A partir do conceito criado na Conferência Geral da UNESCO de Paris, em 1978, de que patrimônio móvel pode ser definido como “todos os bens móveis que são a expressão e testemunho da criação humana ou da evolução da natureza e que tem um valor arqueológico, histórico, artístico, científico ou técnico” [12], o patrimônio móvel do teatro pode ser representado por gravações em vídeo, fotografias, libretos, materiais de divulgação, além do próprio figurino e cenário produzidos. Preservando-se, então, esse patrimônio móvel do teatro estaremos preservando, não somente os bens móveis, mas mantendo viva a memória, a identidade, a diversidade e a cultura de uma sociedade em um determinado momento de sua história. Fausto Viana complementa essa visão quando diz:

A importância de se manter este acervo teatral se justifica no que ele carrega em si enquanto documento: sua costura, corte, etiquetas, interferências da moda, tecidos, opções dos figurinistas, relação do ator com o traje e diversas outras práticas de encenação. Permanecerá o registro do traje como informação sobre uma arte- ainda que efêmera [13].

Refletindo sobre todo esse rico patrimônio, surgem indagações interessantes: o que é feito com esse patrimônio móvel? Mais especificamente, o que é feito com o figurino das peças de teatro e espetáculos de ópera e dança após o período de apresentação? Onde e como esse figurino é preservado nessas instituições?

Buscando responder à última questão colocada, este trabalho apresenta uma análise do processo de preservação dos figurinos produzidos pela Fundação Clóvis Salgado (FCS) para espetáculos apresentados em

um dos mais importantes teatros do estado de Minas Gerais: o Palácio das Artes.

Breve histórico da preservação do figurino do Palácio das Artes

A FCS é uma entidade de direito público vinculada à Secretaria de Estado de Cultura de Minas Gerais cuja finalidade é apoiar a criação cultural e fomentar, produzir e difundir as artes e a cultura no estado. É uma instituição responsável pela gestão de três corpos artísticos: a Orquestra Sinfônica de Minas Gerais, o Coral Lírico de Minas Gerais e a Companhia de Dança Palácio das Artes. É também responsável pela gestão de importantes espaços culturais em Belo Horizonte, como o Centro de Formação Artística, a Serraria Souza Pinto, o Centro de Arte Contemporânea e Fotografia, o Centro Técnico de Produção Raul Belém Machado (CTP) e o Palácio das Artes – composto pelo Grande Teatro, a Sala João Ceschiatti e a Sala Juvenal Dias [14].

Quanto ao processo de preservação do figurino na FCS, imediatamente pensamos no acervo de um dos seus principais espaços, o acervo do Grande Teatro do Palácio das Artes. Inaugurado em 1971, o teatro é um equipamento cultural com 1707 lugares, capaz de abrigar concertos, espetáculos de artes cênicas, apresentações musicais e montagens operísticas. Comporta espetáculos líricos e concertos corais sinfônicos de grande porte, tendo sido palco das mais de setenta óperas produzidas pela FCS como, por exemplo, *Tosca*, *Nabucco*, *La Bohème*, *A Viúva Alegre*, *Turandot*, *Aida* e *La Traviata*. Entretanto, todo o trabalho de preservação dos trajes e adereços é realizado no CTP, outro equipamento cultural da FCS, onde são executadas ações de produção, guarda e preservação de cenários e figurinos dos espetáculos realizados [14].

Desde a sua inauguração, em 2004, o CTP está localizado em galpões alugados de uma antiga fábrica de tecidos no sítio histórico de Marzagão, tombado pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA-MG) em 2002, no município de Sabará, em Minas Gerais [15].

Antes da criação do CTP, uma área específica dentro do Palácio das Artes era destinada à produção dos cenários e figurinos, além de abrigar uma equipe grande de produção, como costureiras, cenógrafos, técnicos, produtores, camareiras, e demais profissionais envolvidos. O figurino estava armazenado em araras, ocupando dois andares do Palácio das Artes.

A ampliação e crescente ocupação dos espaços pela escola de formação, hoje denominada Centro de Formação Artística e Tecnológica (CEFART), e a utilização de uma cenografia maior nos espetáculos, com maior utilização de madeira e pinturas, fizeram com que fosse necessária a mudança do acervo para um espaço mais amplo. Outro fator importante foi a introdução de elevadores cênicos na reforma de reconstrução após o incêndio que destruiu

parte do Grande Teatro, em 1997. As máquinas dos elevadores foram instaladas onde anteriormente ficavam localizadas as oficinas de produção.

Dessa forma, a partir da criação da superprodução *Aida*, em 2001, foi necessário o aluguel de galpões fora das instalações do Palácio das Artes. Em 2003, foi alugado o primeiro galpão em Marzagão, que passou a abrigar o que foi recuperado dos outros galpões, além do cenário da ópera *O Barbeiro de Sevilha*. Em 2004, foi então criado o CTP, quando mais dois outros galpões foram alugados para acolher o setor de figurinos e o setor de cenários, designando, assim, um espaço para produção, guarda e preservação de cenários e figurinos, além de atividades de capacitação.

Metodologia de mapeamento do processo de preservação

Com base em entrevistas, visitas técnicas e materiais de referência, foi realizado um mapeamento do processo de preservação do figurino sob responsabilidade e gestão do CTP. As entrevistas e visitas foram efetuadas no mês de abril de 2014 com um membro da diretoria artística da FCS e com a auxiliar de produção do CTP.

Para fins de definição do processo, foi considerado o conceito adotado pelo *International Council of Museums* (ICOM), onde

preservar significa proteger uma coisa ou um conjunto de coisas de diferentes perigos, tais como a destruição, a degradação, a dissociação ou mesmo o roubo; essa proteção é assegurada especialmente pela reunião, o inventário, o acondicionamento, a segurança e a reparação [16].

Dessa forma, foram mapeadas as atividades inerentes ao processo de preservação do figurino, desde o inventário das peças produzidas até a higienização, armazenamento e catalogação final do acervo devolvido após a execução do espetáculo. Foram levantadas, também, as condições ambientais e de infraestrutura dos galpões e instrumentos utilizados para armazenamento das peças. É importante ressaltar que as atividades de criação dos figurinos e de capacitação dos colaboradores não foram contempladas nesse mapeamento.

No caso deste estudo, um fluxograma foi adotado como ferramenta para mapeamento do processo de preservação do figurino. Fluxograma é um modelo amplamente utilizado como ferramenta de gestão nas organizações que, através da utilização de um conjunto simples de símbolos, facilita o entendimento rápido do fluxo de um processo [17]. Ao desenhar modelos, uma organização melhora o entendimento dos seus processos de negócio, documenta e padroniza suas atividades, aprimorando, assim, a comunicação entre os envolvidos. Além disso, o mapeamento pode ser usado como ferramenta para treinamento de pessoas, para identificação de melhorias ou para redesenho e transformação desse processo.

O fluxograma desenhado foi elaborado conforme o método de Gerenciamento de Processos de Negócio, ou *Business Process Management* (BPM), utilizando-se como base o *Business Process Management Common Body of Knowledge* (BPM CBOK) [17], um guia publicado pela Associação Internacional dos Profissionais de Gerenciamento de Processos de Negócio (ABPMP), que apresenta as melhores práticas para identificação, desenho, execução, documentação, medição, monitoramento e controle de processos de negócio de uma organização.

Para melhor entendimento da metodologia utilizada, alguns esclarecimentos quanto às definições de processos de negócio, Gerenciamento de Processos de Negócio e Modelagem de Processos de Negócio são necessários.

Processos de negócio, de forma simplificada, são atividades executadas de forma sequencial por humanos e/ou por máquinas que servem um mesmo propósito, ou seja, que buscam alcançar um objetivo comum. Uma definição mais completa pode ser encontrada no BPM CBOK:

Processo é uma agregação de atividades e comportamentos executados por humanos ou máquinas para alcançar um ou mais resultados. Processos são compostos por atividades inter-relacionadas que solucionam uma questão específica. Essas atividades são governadas por regras de negócio e vistas no contexto de relacionamento com outras atividades para fornecer uma visão de seqüência e fluxo [17].

Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) é uma metodologia para identificação, desenho, monitoramento e controle desses processos de negócio visando o alcance e melhoria de resultados de uma organização. Essa metodologia inclui, também, a definição das estratégias e objetivos da organização, do desenho da estrutura organizacional, além da definição de políticas e regras que regulam o processo em questão [17]. Dessa forma, aplicar

o BPM em uma organização proporciona processos internos mais eficientes, mais eficazes e mais ágeis que, por fim, oferecem maior retorno a todas as partes interessadas.

A modelagem de processos de negócio, por sua vez, é uma área de conhecimento do BPM que inclui ferramentas e atividades que auxiliam na construção de modelos dos processos existentes em uma organização. De acordo com o CBOK, a modelagem “é um conjunto de atividades envolvidas na criação de representações” e, complementarmente, “os modelos podem ser matemáticos, gráficos, físicos ou narrativos ou alguma combinação desses tipos” [17]. No caso deste artigo, o fluxograma foi adotado como ferramenta para construção do modelo do processo de preservação do figurino do Palácio das Artes.

Processo de preservação de figurinos

Em visita técnica ao CTP, realizada em 16 de abril de 2014, foi possível registrar com fotos a estrutura destinada ao armazenamento dos figurinos, assim como, a partir de uma entrevista com a Auxiliar de Produção do CTP, esquematizar e detalhar o processo de preservação desde a etapa de inventário das peças produzidas até a catalogação final, incluindo-se as condições de armazenamento e a classificação das peças como parte do acervo utilitário ou museológico.

A equipe fixa do CTP era composta por quatro associados do Instituto Cultural Sérgio Magnani, uma associação sem fins lucrativos qualificada como Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP), que mantinha um contrato de termo de parceria com o Governo do Estado de Minas Gerais: um gerente administrativo, um agente de higienização, um auxiliar de

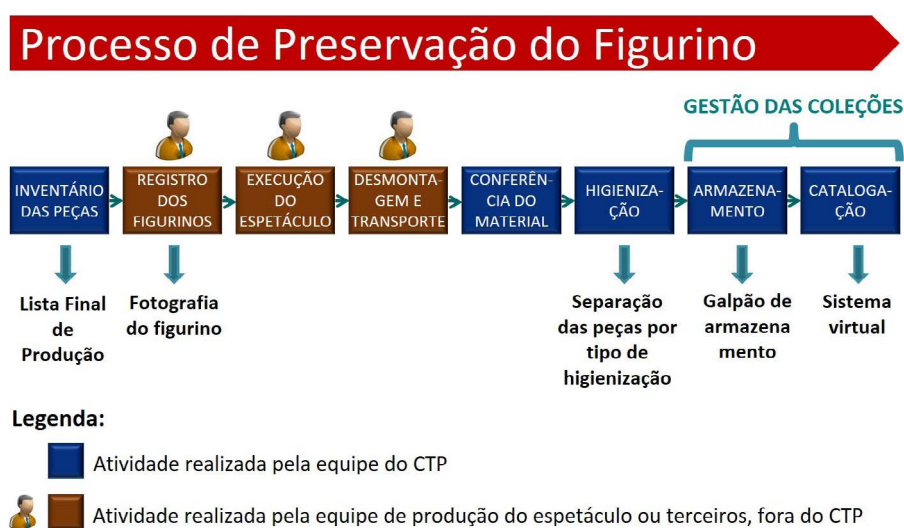


Figura 1. Esquema do processo de preservação do figurino do Palácio das Artes, desde o inventário das peças até a catalogação do acervo no CTP.

produção e um auxiliar de serviços gerais, e, quando da execução de espetáculos, mão de obra especializada era contratada para produção e execução de cada projeto.

Quanto à infraestrutura espacial, os galpões eram divididos pelas duas principais áreas de atuação do CTP: produção e armazenamento do acervo. Na área de produção eram construídos os cenários, adereços e figurinos a serem utilizados nos espetáculos. Já na área adjacente ficava armazenado todo o acervo que retornava ao CTP após o período de apresentação. O galpão adjacente comportava o acervo do Palácio das Artes, composto por peças de figurino, adereços e cenários. O presente estudo foca no processo de preservação do figurino, deixando o estudo de adereços e cenários como uma sugestão para trabalhos futuros.

O processo de preservação do figurino executado pelo CTP se iniciava com o inventário das peças produzidas. Para cada espetáculo era criada uma lista final de produção, onde estavam relacionados todos os objetos de figurino com uma breve descrição, a quantidade, o personagem que utiliza a peça e a cena em que ele a utiliza. O figurino era, então, transportado ao Palácio das Artes e ficava armazenado nas dependências do teatro até a data da estreia da ópera, espetáculo de teatro ou dança. Em uma data previamente agendada, fotógrafos profissionais tiravam fotos dos artistas vestidos com os figurinos, antes que eles entrassem em cena, para registro.

Após o período de apresentação, todo o cenário era desmontado e o figurino e os adereços eram recolhidos e transportados de volta ao CTP, onde todo o material entregue era conferido tendo como base a lista final de produção. Os trajes e adereços eram analisados pelo agente de higienização que os separava por tipo de higienização e, enfim, higienizados de acordo com a classificação previamente efetuada. O processo se encerrava quando as peças eram transportadas para os galpões de armazenamento e, finalmente, cadastradas em um sistema virtual de catalogação. Essas duas últimas atividades podem ser agrupadas em uma única fase denominada gestão das coleções, que, conforme estabelece o ICOM, “constituem o conjunto das operações ligadas ao tratamento administrativo dos objetos de museu, considerando a sua inscrição no catálogo ou no registro de inventário do museu” [16]. O ICOM complementa a descrição dessa fase, incluindo a etapa de armazenamento, quando diz: “o acondicionamento em reservas técnicas e a classificação também fazem parte das atividades próprias à gestão das coleções” [16].

De forma simplificada, um esquema do processo de preservação do figurino pode ser visualizado na Figura 1.

Detalhamento da gestão das coleções

Analisando mais a fundo a fase de gestão das coleções, uma avaliação técnica dos galpões e condições de armazenamento do acervo, além de uma descrição detalhada da catalogação, são apresentadas.

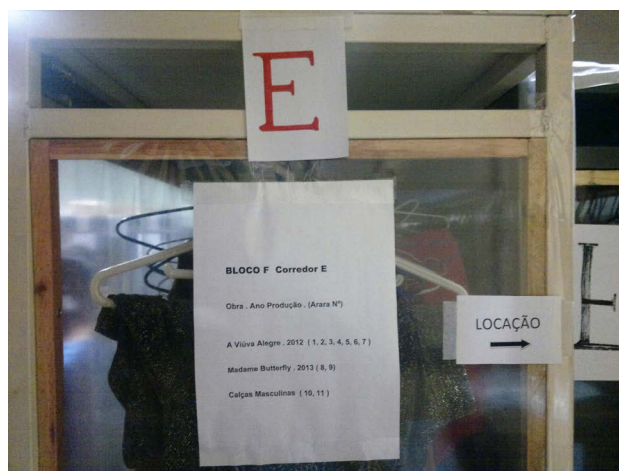


Figura 2. a) Galpão de armazenamento de figurino no CTP. b) Detalhe da placa explicativa.

O figurino ficava armazenado em dois galpões: um maior destinado principalmente ao armazenamento de trajes e um segundo, menor, destinado ao armazenamento de adereços. O espaço destinado à guarda do acervo era amplo, arejado e bem cuidado. Porém, por se tratar de uma região rural e como os galpões não foram projetados para esse fim, morcegos eram vistos com frequência sobrevoando o acervo, sujando o local. Além disso, os galpões não eram climatizados e não havia qualquer controle de temperatura e umidade em nenhum deles. De acordo com o *Canadian Conservation Institute* (CCI), o monitoramento de temperatura e dos níveis de umidade relativa do ar deveria ser realizado regularmente em qualquer área destinada à guarda de acervos e, no caso de tecidos, esse cuidado deveria ser ainda maior, pois são objetos extremamente sensíveis devido a sua natureza orgânica [18-19]. Para o CCI: “sua preservação a longo prazo é afetada por numerosos agentes de deterioração, incluindo luz, umidade relativa incorreta, temperatura incorreta, pragas, forças físicas e poluentes” [19].

O galpão principal, que pode ser visualizado na Figura 2a, era classificado por blocos e, cada bloco, por corredores, ambos identificados por uma letra. Os trajes eram separados por espetáculo, ou repertório, mantendo-se

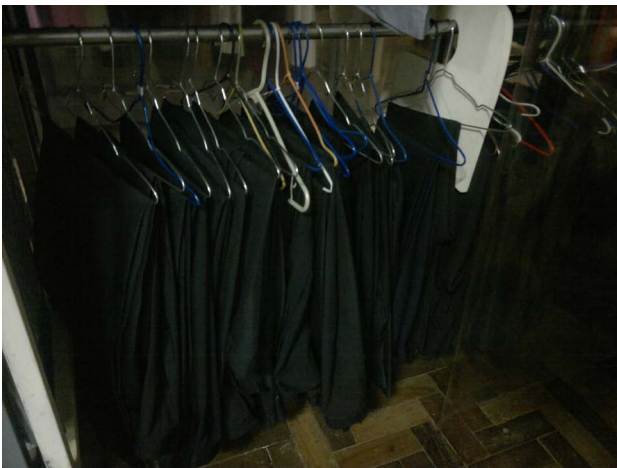


Figura 3. Arara de calças básicas (a) e detalhe (b).

o critério tipológico de organização sugerido no Plano de Conservação Preventiva elaborado pelo Instituto dos Museus e da Conservação de Portugal [20]. Na entrada de cada corredor era colocada uma placa explicativa contendo “bloco – corredor – obra – ano de produção – número das araras” (Figura 2b). É importante sinalizar que as peças não estavam identificadas individualmente, o que dificulta a localização de cada uma e aumenta a necessidade de manipulação das peças. Peças básicas, que não eram particulares de um repertório, eram separadas por tipo de vestuário, conforme ilustrado pela arara de calças na Figura 3.

Pode-se visualizar na Figura 4 que os acessórios específicos dos repertórios eram acondicionados em caixas de papelão etiquetadas, sem qualquer separação entre acessórios ou proteção específica. Também na sala secundária, acessórios e peças de adereço avulsas, que não faziam parte de um repertório fixo, eram armazenados nessas caixas (Figura 5). Karen Gausch e Joel Thompson, responsáveis pelo *Conservation Project* do *Museum of Fine Arts* de Boston, frisam que, como os acessórios geralmente possuem formas frágeis e tridimensionais, correm maior risco de danos causados pelo manuseio. Eles afirmam que a construção de suportes de armazenamento customizados para cada acessório seria, portanto, crucial para sua proteção. [21]

Quanto ao acondicionamento das peças têxteis, as araras possuíam uma cortina de plástico transparente para proteção e fácil visualização dos trajes (Figura 6). O plástico transparente que, ao mesmo tempo facilita a identificação dos trajes, possibilita a passagem de luz que é extremamente danosa aos tecidos, concordando, assim, com a colocação do CCI quando diz que luz é essencial para visualização dos tecidos, mas ajuda a esmaecer suas cores e enfraquecer suas fibras [19]. O galpão maior não possuía janelas, evitando, assim, a incidência de luz solar no acervo, mas conforme constata Fausto Viana, em seu *Breve Manual de Conservação de Trajes Teatrais*, “a luz indireta e leve – e não apenas a luz solar – também provoca alterações nos tecidos” [22]. Ele sugere, então, que “deve-se tentar manter as luzes apagadas o maior tempo possível” [22], o que vai de acordo com a sugestão do CCI de desligar as luzes nas horas não visitadas [19]. Entretanto, o CCI vai além, sugerindo uma proposta mais elaborada e que exigiria, portanto, maior investimento:

Use interruptores de luz ativados por visitantes. Para controlar melhor a intensidade da luz, use lâmpadas de baixa potência, coloque os *dimmers* em interruptores de luz e aumente a distância entre a fonte de luz e o têxtil. Mantenha um registro do tempo em que o têxtil está em exibição, o nível de luminosidade e as condições ambientais, pois isso ajudará na determinação dos níveis de exposição anual [19].

Os trajes ficavam suspensos e não tocavam o solo para facilitar a ventilação, mas o espaçamento entre eles era muito pequeno, o que possibilita que os trajes estraguem com mais facilidade quando em contato com outro (Figura 2a). Quanto a essa questão, o manual de Fausto Viana pontua que “algumas consequências e/ou riscos deste contato é a transferência de cor entre as roupas, o possível emaranhado de um traje no outro, ocasionando a perda de pequenos detalhes ou rasgos, entre outros incidentes possíveis” [22, p. 23]. Como solução, o manual sugere a separação dos trajes por uma camada de “tecido



Figura 4. Armazenamento de acessórios específicos dos repertórios.

não tecido” (TNT): “as roupas precisam ser separadas por uma camada de TNT ao serem guardadas para que não haja transferência de cores entre elas, manchando os trajes permanentemente” [22, p. 34]. Outra sugestão interessante do CCI é a proteção individual de cada peça com uma capa de tecido, que pode ser feita de tecidos não muito caros, como lençóis de algodão. Essa capa, além de protegê-la contra o contato com outras peças, também a resguarda contra a ação de luz e poeira. Caso não seja possível acondicionar os trajes em unidades individuais, instale cortinas feitas de algodão e os separe com uma distância mínima de 10 centímetros [23].

Em relação ao uso de cabides, eram utilizados vários tipos de materiais, como madeira, plástico e arame – a Figura 3b ilustra a utilização de cabides de arame para acondicionamento de calças. Conforme o CCI, o ideal é trabalhar com uma variedade de cabides de madeira e plástico, selecionando o estilo e tamanho mais adequado para cada peça, mas cabides de arames devem sempre ser evitados, pois não suportam adequadamente o traje [23]. Viana complementa dizendo que, idealmente, “os cabides deveriam ser de madeira ou outro material mais resistente, forrados com espuma e recobertos de tecido inerte (tipo malha cirúrgica) para que o ajuste a cada peça fosse feito nele: cada cabide feito para uma peça específica” [22, p. 33]. No caso do CTP, apenas algumas peças mais delicadas ficavam penduradas em cabides envoltos por uma almofada (Figura 7), o que também vai contra a recomendação do CCI para essas peças, já que



Figura 6. Araras com plástico de proteção no CTP.

trajes frágeis, fortemente decorados, pesados ou delicados deveriam ser acondicionados na horizontal. [23].

Também parte da fase de gestão das coleções, a atividade de catalogação do figurino era realizada em um sistema em que cada traje era classificado nos seguintes campos: obra, temporada (ano), figurinista, quantidade de peças disponíveis no acervo, preço de custo de cada peça, nome do personagem, período histórico, nome do intérprete e as fotos dos artistas utilizando os trajes. Além disso, eram alimentados a situação (disponível para aluguel e pesquisa, apenas para pesquisa, apenas para exposição, acervo de repertório, acervo museológico) e o valor do aluguel, quando aplicável. Uma amostra do sistema de catalogação disponível em 2014 pode ser visualizada na Figura 8.

Todos os campos alimentados no sistema eram importantes para localização e registro das peças, mas o campo situação cumpre um papel de destaque porque permitia a separação do acervo entre museológico e utilitário. O acervo utilitário era destinado a diferentes aplicações, podendo ser reutilizado para outros espetáculos, utilizado para pesquisas, exposições, além de disponibilizados para locação da comunidade em geral. De acordo com a entrevistada, a locação do figurino garantia, no momento, parte da renda para manutenção do CTP, o que nos lembra Viollet-Le-Duc e Riegl quanto à preservação incentivada pela funcionalidade do objeto de arte. Isto é, podemos estender o que Viollet-Le-Duc disse especificamente do edifício como objeto de preservação a qualquer objeto de arte em “o fato é que a melhor maneira de se preservar um edifício é encontrar um uso para ele” [24] ou, como melhor descreve Alois Riegl:

O valor do uso prático corresponde esteticamente, também, a um novo valor; pelo seu próprio bem, o culto ao valor da idade terá, pelo menos em seu estágio atual de desenvolvimento, de tolerar um certo grau de valor do novo em obras modernas e utilizáveis [25].

Por outro lado, a reutilização de trajes antigos os condensa ao desgaste e acelerada deterioração. Dessa forma,



Figura 5. Armazenamento de adereços no galpão secundário.



Figura 7. Armazenamento de peça delicada de figurino no CTP.

torna-se de extrema importância a correta classificação do traje no sistema quanto a sua situação para evitar que peças do acervo museológico sejam degradadas. Renata Padilha, em sua publicação *Documentação Museológica e Gestão de Acervos*, explicita a importância de uma análise mais criteriosa do objeto, uma investigação que possibilite identificá-lo à missão da instituição. O objeto, somente assim, receberia um valor documental que o permitiria ser incorporado ao acervo museológico [26].

Um fator que contribuía para a utilização incorreta do figurino era o fato de que não existia manual, política ou regra de classificação dos trajes do acervo que servisse de guia para os profissionais no momento da catalogação. Quanto a essa questão, Padilha complementa essa visão da política de gestão de acervo como um documento de orientação, destacando-o, também, como um documento público que esclarece como a organização assume a responsabilidade de salvaguarda do seu acervo [26]. Isso posto, a utilização do figurino dependia do julgamento

desses colaboradores, que nem sempre possuíam a qualificação ou treinamento adequados e como bem coloca Marguerite Yourcenar: “De todas as mudanças causadas pelo tempo, nenhuma afeta esculturas mais do que as mudanças no gosto de seus admiradores” [27].

Além disso, o acervo era classificado como utilitário ou museológico apenas no sistema, não sendo possível identificá-los visualmente no galpão de armazenamento. Separando o acervo fisicamente no galpão em funcional e museológico, levaria a processos de armazenamento e conservação diferenciados e, portanto, mais adequados para cada situação.

É importante mencionar que, no momento do levantamento em 2014, o acervo cadastrado no sistema estava disponível online para a comunidade e podia ser acessado através da página na internet da associação parceira da FCS responsável pela gestão do CTP à época, o Instituto Cultural Sérgio Magnani. Vinte e nove espetáculos tinham sido cadastrados no sistema até 2014, que, conforme mencionado na entrevista, estava desatualizado e não era alimentado com a frequência necessária. A catalogação estava sendo realizada em planilhas de Excel e, como o sistema exigia uma quantidade maior de dados para cadastro, as informações dos espetáculos mais recentes estavam mais incompletas. Desde 2016, a gestão do CTP está a cargo da Associação Pró-Cultura e Promoção das Artes e, no momento de submissão do artigo, o acervo não pôde ser encontrado online para consulta na página da nova parceira. Também não foi possível encontrá-lo na página na FCS.

Considerações finais

A partir da análise realizada no ano de 2014 do processo de preservação do figurino produzido para o teatro do Palácio das Artes, foi possível mapear e analisar

PESQUISA DE FIGURINOS							
597 figurino(s) cadastrado(s) - 156 avulso(s) Figurinos AVULSO(S)							
A Flauta Mágica		Qualquer FIGURINISTA			Qualquer PERÍODO		
OBRA	TEMPORADA	QTD	ALUGUEL	PERSONAGEM	FIGURINISTA	PERÍODO	INTERPRETE
A Flauta Mágica	1984	1	R\$ 160.00	Dama da Rainha da Noite	Raul Belém Machado	Atemporal	1984 - Alba Machad
A Flauta Mágica	1984	2	R\$ 200.00	Pamina	Raul Belém Machado	Atemporal	1984 - Vania Ligia Gc
A Flauta Mágica	1984	1	R\$ 190.00	Rainha da Noite	Raul Belém Machado	Atemporal	1984 - Tereza Godov
A Flauta Mágica	1984	1	R\$ 130.00	Tamino	Raul Belém Machado	Atemporal	1984 - Marcos Thade
A Menina das Nuvens	2009	1	R\$ 90.00	Anita	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Fabiola Protzr
A Menina das Nuvens	2009	6	R\$ 120.00	Bailarinas	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Ballet Jovem c
A Menina das Nuvens	2009	8	R\$ 140.00	Bailarinos	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Ballet Jovem c
A Menina das Nuvens	2009	1	R\$ 100.00	Corisco	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Inácio de Non
A Menina das Nuvens	2009	2	R\$ 120.00	Lua	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Indaiara Silva
A Menina das Nuvens	2009	1	R\$ 110.00	Mãe	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Aline Soares /
A Menina das Nuvens	2009	1	R\$ 125.00	Menina das Nuvens	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Gabriella Pace
A Menina das Nuvens	2009	2	R\$ 80.00	Palhaço feminino	Rosa Magalhães	Atemporal	
A Menina das Nuvens	2009	1	R\$ 150.00	Príncipe	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Wellington Vil
A Menina das Nuvens	2009	1	R\$ 270.00	Rainha	Rosa Magalhães	Atemporal	2009 - Regina Elena ?

Figura 8. Amostra do sistema de catalogação de figurinos em 2014.

as condições de preservação desse patrimônio artístico brasileiro.

Ao discorrer brevemente sobre a história da preservação do patrimônio móvel (figurino e cenário) artístico no Palácio das Artes, foi possível identificar que a preocupação com a guarda e preservação desse acervo se intensificou no início do século XXI, a partir da criação das superproduções pela FCS que exigiam um espaço físico maior, fazendo-se necessária, então, a criação de um centro de produção e guarda, hoje denominado CTP.

Quanto ao processo de preservação do figurino no CTP, do ponto de vista técnico, foi identificado que o acervo do figurino do Palácio das Artes passava por um processo bem estruturado em 2014, tendo disponível um espaço amplo para armazenamento e grande parte do seu acervo catalogado. Em todas as etapas, porém, foram identificadas oportunidades de melhoria, indicando que reformas estruturais são necessárias para proteger o figurino da ação do tempo, como a instalação de controles de temperatura e umidade, e da ação de animais, que podem transitar livremente no local. Também foi detectada a necessidade de pequenos ajustes, de mais fácil resolução, como o uso de cabides apropriados, de cortinas de algodão para proteção dos trajes, o acondicionamento horizontal das peças delicadas, ou a manutenção do galpão de armazenamento o mais escuro possível.

O trabalho de catalogação das peças em um sistema executado pela FCS foi louvável e, apesar de estar desatualizado no momento das entrevistas, em 2014, grande parte das peças estava registrada e bem descrita, o que, além de facilitar o acesso ao acervo, proporciona uma forma de preservação. A partir deste estudo, entretanto, recomenda-se, além de um inventário para atualização do sistema, a efetiva museologização do acervo, separando-o fisicamente entre museológico e utilitário, possibilitando, assim, processos de preservação distintos e mais adequados para cada situação. É relevante mencionar que a iniciativa de disponibilizar o acervo para consulta online, como era realizado em 2014, não foi continuada, já que o acervo não pôde mais ser consultado em 2017.

Do ponto de vista de gestão, deve-se ressaltar a importância do mapeamento desse processo de ponta a ponta, desde o inventário das peças produzidas até a higienização, arquivamento e catalogação final do acervo, para um melhor entendimento desse processo. Além disso, o fluxograma elaborado pode contribuir para aprimorar a comunicação entre os envolvidos no processo e ser utilizado como ferramenta para treinamento de pessoas ou como ferramenta para reestruturação e inovação do processo.

Como sugestão para um trabalho futuro, além da implantação das melhorias listadas anteriormente, seria interessante estender a aplicação da metodologia de gerenciamento de processos de negócio para além do mapeamento do processo, incluindo, assim, a identificação e medição de indicadores, definição de ferramentas para monitoramento e avaliação do desempenho do processo. Complementando, assim, a implantação do BPM, será

possível disponibilizar as informações do processo em manuais de gestão e implantar melhorias contínuas ao processo, visando, também alcançar maior eficiência e eficácia.

Espera-se, adicionalmente, que o registro da prática de preservação realizada pela FCS possibilite, além da permanência desse trabalho na instituição, o provimento de novas soluções e que forneça exemplos e mostre caminhos para o fortalecimento desse tipo de iniciativa em outros teatros.

Agradecimentos

Agradecemos a atenciosa colaboração dos servidores da FCS, em especial à diretora de produção artística, Claudia Malta, e à auxiliar de produção de figurinos do CTP, Marcela Moreirah, que, em 2014, nos concederam entrevistas e disponibilizaram materiais e informações de extrema relevância para o desenvolvimento desse trabalho.

Referências

- 1 Ávila, A., *O Teatro em Minas Gerais: Séculos XVIII e XIX*, Prefeitura Municipal de Ouro Preto, Ouro Preto (1978).
- 2 Bréscia, R. M., 'Os teatros públicos na capital das Minas setecentistas: da casa da Ópera de Vila Rica ao Theatro do Ouro Preto', *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros* 52 (2011) 89-106, <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901X.v0i52p89-106>.
- 3 Magaldi, S. 'Síntese histórica', in *Depois do Espetáculo*, ed. S. Magaldi, Editora Perspectiva, São Paulo (2003) 1-3.
- 4 Martins, W., 'O Teatro no Brasil', *Hispania*, 46(2) (1963) 239-251, <http://dx.doi.org/10.2307/336986>.
- 5 Ferreira, C. O., 'Uma breve história do teatro brasileiro moderno', *Revista Nuestra America* 5 (2008) 131-143, <http://bdigital.ufp.pt/handle/10284/2650>.
- 6 Serroni, J. C., *Teatros: uma Memória do Espaço Cênico no Brasil*, SENAC, São Paulo (2002).
- 7 *Cultura em Números: Anuário de Estatísticas Culturais*, 2ª edição, Brasília: MinC, 2010, <http://culturadigital.br/ecocultminc/files/2010/06/Cultura-em-N%C3%BAmeros-web.pdf> (acesso em 2017-06-20).
- 8 Lanfranchi, G., 'Ensaio - O teatro e seu espelho', in *Teatros: uma memória do espaço cênico no Brasil*, ed. J.C. Serroni, SENAC, São Paulo (2002) 1-3.
- 9 Froner, Y., 'Os domínios da memória - um estudo sobre a construção do pensamento preservacionista nos campi da Museologia, Arqueologia e Ciência da Conservação', tese de doutoramento, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo (2001).
- 10 Carsalade, F. L., 'Desenho contextual: Uma abordagem fenomenológico-existencial ao problema da intervenção e restauro em lugares especiais feitos pelo homem', tese de doutoramento, Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador (2007).
- 11 Choay, F., *O Patrimônio em Questão*, Fino Traço, Belo Horizonte (2011).
- 12 "Recommendation for the protection of movable Cultural Property", Unesco, http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=13137&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html (acesso em 2017-06-19).
- 13 Viana, F. R. P.; Girotti, M., 'Figurino dos amadores: dos filodramáticos ao teatro lírico de equipe', in *Anais do*



- 6.º *Colóquio de Moda*, São Paulo (2010), <http://www.coloquiomoda.com.br> (acesso em 2017-11-22).
- 14 Fundação Clóvis Salgado, <http://fcs.mg.gov.br> (acesso em 2018-1-15).
- 15 Ávila, R. P., 'A centralidade do trabalho na formação social da vila de Marzagão', *Revista Mundos do Trabalho* 1(1) (2009) 65-95, <http://dx.doi.org/10.5007/1984-9222.2009v1n1p65>.
- 16 Desvallées, A.; Mairesse, F., *Key Concepts of Museology*, Armand Colin (2010), http://icom.museum/fileadmin/user_upload/pdf/Key_Concepts_of_Museology/Museologie_Anglais_BD.pdf (acesso em 2018-1-30).
- 17 *Guia para o Gerenciamento de Processos de Negócio – Corpo Comum de Conhecimento ABPMP BPM CBOK V3.0.*, Association of Business Process Management Professionals, Brazil (2013).
- 18 'General precautions for storage areas – Notes series 1/1', in *Canadian Conservation Institute (CCI) Notes*, Canadian Conservation Institute, <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/precautions-storage-areas.html> (acesso em 2018-1-29).
- 19 'Textiles and the environment – Notes series 13/1', in *Canadian Conservation Institute (CCI) Notes*, Canadian Conservation Institute, <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/textiles-environment.html> (acesso em 2018-1-28).
- 20 Camacho, C., *Plano de Conservação Preventiva – Bases Orientadoras, Normas e Procedimentos*, Instituto dos Museus e da Conservação, Lisboa (2008), <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/static/data/ljfi/iplplanoconservacaopreventiva.pdf> (acesso em 2018-4-15).
- 21 Gausch, K.; Thompson, J., *Conservation Project: Costume Accessories*, Museum of Fine Arts, Boston, http://www.mfa.org/collections/conservation/feature_costumeaccessories (acesso em 2018-1-28).
- 22 Viana, F. R. P.; Azevedo, E., 'Breve manual de conservação de trajes teatrais', manuscrito, Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo (2006).
- 23 'Hanging storage for costumes – Notes series 13/5', in *Canadian Conservation Institute (CCI) Notes*, Canadian Conservation Institute, <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/hanging-storage-costumes.html> (acesso em 2018-1-29).
- 24 Viollet-Le-Duc, E.E., 'Restoration', in *Historical and Philosophical Issues in the Conservation Cultural Heritage*, ed. N. S. Price, M. K. Talley Jr. & A. M. Vaccaro, Getty Conservation Institute, Los Angeles (1996) 314-318.
- 25 Riegl, A., 'The modern cult of monuments: its essence and its development', in *Historical and Philosophical Issues in the Conservation Cultural Heritage*, N. S. Price, M. K. Talley Jr. & A. M. Vaccaro, Getty Conservation Institute, Los Angeles (1996) 69-83.
- 26 Padilha, R. C., *Documentação Museológica e Gestão de Acervo*, Fundação Catarinense de Cultura, Florianópolis (2014), <http://www.fcc.sc.gov.br/patrimoniocultural//arquivos> (acesso em 2018-1-31)
- 27 Yourcenar, M., 'That mighty sculptor, time', in *Historical and Philosophical Issues in the Conservation Cultural Heritage*, N. S. Price, M. K. Talley Jr. & A. M. Vaccaro, Getty Conservation Institute, Los Angeles (1996) 212-215.

Licenciado sob uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.
Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.

Recebido: 2017-12-8

Revisto: 2018-2-1

Aceite: 2018-2-26

Online: 2018-4-24

Propuestas de organización y la visualización de datos para mejorar la gestión y comprensión de obras complejas

Arianne Vanrell Velloso

Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid, España
arianne.vanrell@museoreinasofia.es

Resumen

La adaptación de alternativas de investigación a través del uso de técnicas desarrolladas en proyectos de humanidades digitales permite gestionar y analizar grandes cantidades de datos de propuestas artísticas complejas. Su implementación facilita la obtención de resultados y la comprensión y evaluación de características y singularidades que determinan y condicionan decisiones de gestión, difusión, conservación y restauración. Las ontologías específicas a cada investigación sirven para crear bases de datos que permiten ordenar y compartir información a gran escala de forma dinámica y accesible en modelos de visualización basados en grafos, líneas temporales y gráficos. Gracias a estas herramientas computacionales podemos almacenar y estructurar información a gran escala de forma segura y accesible. Esta metodología impulsa el análisis objetivo y multidisciplinario de datos para crear nuevos conocimientos y se ofrece como alternativa en proyectos de investigación que requieran analizar, comparar y entender las singularidades de múltiples variables para ofrecer respuestas adaptadas a sus necesidades.

Palabras clave

Conservación
Investigación
Humanidades digitales
Big data
Modelos de visualización

Propostas de organização e visualização de dados para melhorar a gestão e a compreensão de obras complexas

Resumo

A adaptação de alternativas de pesquisa através do uso de técnicas desenvolvidas em projetos de Humanidades Digitais permite gerenciar e analisar grandes quantidades de dados de propostas artísticas complexas. A sua implementação facilita a obtenção de resultados e a compreensão e avaliação de características e singularidades que determinam e condicionam as decisões de gestão, disseminação, conservação e restauro. As ontologias específicas para cada investigação servem para criar bases de dados que permitem ordenar e partilhar informações em larga escala de forma dinâmica e acessível através de modelos de visualização baseados em grafos, linhas cronológicas e gráficos. Graças às ferramentas computacionais, é possível armazenar e estruturar informações de forma acessível e segura. Esta metodologia incentiva a análise objetiva e multidisciplinar de dados para criar novos conhecimentos e é proposta como alternativa em projetos de pesquisa em que é necessário analisar, comparar e compreender as singularidades de múltiplas variáveis para encontrar respostas adaptadas a cada pesquisa.

Palavras-chave

Conservação
Pesquisa
Humanidades Digitais
Big data
Modelos de visualização

ISSN 2182-9942



Proposals for data organization and visualization to improve the management and the understanding of complex works

Abstract

The adaptation of investigation alternatives through techniques developed in Digital Humanities projects allows to manage and to analyze big quantities of data from complex artistic proposals. Its implementation provides results and the understanding and assessment of characteristics and peculiarities that determine and condition dissemination, conservation and restoration decisions. Specific ontologies to each research serve to define and create databases that allow sorting and sharing information on a large scale in a dynamic and accessible way through display models based on graphs, chronological lines and graphics. Thanks to computational tools, it is possible to store and structure information in an approachable and secure way. This methodology promotes the multidisciplinary and objective analyses of data to create new knowledge and is offered as an alternative in research projects that require to analyze, to compare and to understand the singularities of multiple variables in order to offer answers adapted to the specific objectives of each investigation.

Keywords

Conservation
Research
Digital Humanities
Big data
Visualization models

Origen de la investigación

El origen de esta investigación se remonta a mi participación como coordinadora del grupo español en los proyectos de investigación europeos *Inside Installations* [1] y *PRACTICS* [2], cuya finalidad fue identificar y estudiar los desafíos que proponía la gestión, conservación y exposición de obras contemporáneas, en especial, las instalaciones de arte y obras complejas. Los resultados de estas investigaciones se reflejaron en diversos artículos en la publicación del proyecto *Inside Installation. Preservation and Presentation of Installation Art* [3], en capítulos del libro *Inside Installation. Theory and Practice of Complex Works* [4] y en las actas del congreso de la Section Française de l'Institut International de Conservation [5] en París, entre otros.

También se evaluó la idoneidad de estos protocolos a través de casos de estudio en obras de instituciones de Argentina y Uruguay, estudios que se realizaron bajo mi tutela entre 2009 y 2011 y cuyos resultados se presentaron en las 9ª y 10ª Jornadas de Conservación del Grupo Español de Contemporáneo del Instituto Internacional de Conservación en 2009 y 2010 [6-7], respectivamente, así como en las reuniones del *Spanish Speakers Group del Congreso Contemporary Art, Who Cares? (INCCA)*, que se realizaron en Amsterdam en 2010 [8].

En el desarrollo de los proyectos mencionados se pudo constatar que la dificultad en la comprensión de estas colecciones se incrementaba exponencialmente con la incorporación de nuevos elementos, materiales y herramientas de creación. Esto produce una gran cantidad de nuevas variables que contribuyen al desarrollo de discursos y narrativas cada vez más elaboradas que pueden hacer referencia a diversas propuestas conceptuales y/o estéticas y relacionarse con múltiples aspectos del contexto de cada artista.

En estos proyectos se investigaron las singularidades individuales de estas obras y se propusieron protocolos generales de actuación enfocados a entender el proceso creativo de los artistas, la elección de materiales

y herramientas tecnológicas y sus objetivos de comunicación. También se valoró la evolución del papel del conservador-restaurador [9] y de los procedimientos, criterios y mecanismos de toma de decisiones destinados a la conservación de estas colecciones, así como al desarrollo de métodos de documentación y difusión del conocimiento [10], entre otros aspectos.

Los procedimientos propuestos se pusieron en práctica para su evaluación a través de casos de estudio en los que participaron equipos multidisciplinarios. Estos estudios sirvieron para valorar la eficacia de las propuestas desarrolladas en el proyecto y a identificar nuevas necesidades de documentación. Los resultados de estos estudios permitieron optimizar modelos para la gestión y conservación, restauración, exposición y difusión de estas colecciones, así como a pensar en su evolución y en la necesidad de implementar futuras alternativas de investigación.

Durante estos proyectos se produjo un vasto material que sirve actualmente de referencia para el estudio de obras contemporáneas complejas. Sin embargo, no se establecieron modelos de análisis globales que permitieran comparar estos resultados a gran escala, cotejarlos con investigaciones desarrolladas por otras áreas de conocimiento o evaluar su evolución y repercusión a largo plazo.

Desde los primeros análisis se constató que la presencia de herramientas y dispositivos tecnológicos que servían de catalizador para la multiplicación de variables y propuestas artísticas podían contribuir a solucionar los desafíos que proponía el aumento de la complejidad existente en estos nuevos tipos de colección. Se revisaron los resultados de numerosos estudios en los que el desarrollo tecnológico había servido de impulsor para el desarrollo de metodologías de investigación y en todos ellos se valoró positivamente el alcance y la difusión de resultados de proyectos de Humanidades Digitales y estudios de *big data*.

A pesar de que inicialmente la mayoría de los proyectos de Humanidades Digitales y *big data* no estaban relacionados con la producción artística, todos tenían en común la necesidad de manejar de forma rápida y eficaz

enormes volúmenes de datos, lo que respondía a las necesidades de estudio de obras de arte complejas con alto contenido semántico, que constituyen características fundamentales en la producción artística contemporánea.

Autores como Viktor Mayer-Shonberger y Kenneth Cukier sirvieron de inspiración por su enfoque del concepto de *big data*, que exponen en su libro *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think* [11]. En él enfatizan que el análisis masivo de datos fomenta la creación de ecosistemas y la construcción de imágenes coherentes de los datos y de sus conexiones. Esta afirmación es fundamental para entender la relación entre artistas y valorar el origen de sus influencias e inspiraciones, las causas y el desarrollo de movimientos artísticos o la aportación de nuevos elementos, materiales o dispositivos tecnológicos en la creación artística, no sólo contemporánea, sino a través de toda la historia.

Los recursos computacionales empleados en proyectos de *big data* facilitan el uso de modelos de visualización a gran escala, como grafos, gráficos y líneas temporales que permiten acceder al contenido de los datos y entender sus relaciones de forma intuitiva y objetiva. Esto promueve el análisis multidisciplinario y la interpretación y el intercambio de saberes desde diversas áreas que contribuye a la producción de conocimientos, bienes y servicios de valor significativo.

A partir de estas experiencias y como base de investigación a mi tesis doctoral [12], evaluamos las alternativas desarrolladas en proyectos de investigación similares, en los que analizaban objetos culturales complejos a gran escala. Uno de estos proyectos, el proyecto sobre el Barroco Hispánico, *The Hispanic Baroque* [13], llevado a cabo por laboratorio de complejidad cultural, The Cultureplex Lab, de la Universidad de Western Ontario, en Canadá, proponía una metodología de investigación a gran escala a partir del análisis de grafos y otros modelos de visualización como base para el análisis de datos y el intercambio de profesionales de diversas áreas del conocimiento.

En el proyecto del Barroco Hispánico se detectaron dificultades para el análisis a gran escala de objetos culturales complejos tales como los retablos barrocos, ya que estos poseían una gran diversidad de variables relacionados entre otras cosas, con la carga semántica y los materiales y soportes empleados.

Esta coincidencia con el estudio de propuestas artísticas de gran complejidad, como las instalaciones de arte y otras obras contemporáneas con múltiple elementos y dependencia tecnológica, sirvieron de inspiración para experimentar la viabilidad de una propuesta metodológica que pudiera aplicarse a la investigación de colecciones de arte contemporáneo caracterizadas por un alto grado de complejidad y contenido semántico, así como un importante número de variables materiales, conceptuales o sensoriales que sirvieran de elementos o herramientas para la creación y/o exposición de estas obras.

Una de las características de nuestro estudio era el continuo aumento de la complejidad en el discurso

artístico y la multiplicación exponencial de variables en evolución, lo que originaba nuevos desafíos para la conservación y difusión de estas obras. En este nuevo paradigma es importante considerar las singularidades y el significado de todos los elementos como partes indisolubles de estas propuestas artísticas. Esta diversidad dificulta la gestión, conservación y difusión de un patrimonio contemporáneo compuesto por elementos inmateriales e intangibles, cuyo número y variedad es difícilmente abarcable por medio de métodos de análisis tradicionales.

En esta metodología propone valorar nuevos modelos para gestionar la proliferación de nuevos contenidos o temáticas. Para ello se tuvo en cuenta las dificultades de interpretación y comprensión que podían suscitar en diferentes tipos de públicos con edades o referencias culturales diversas. Otro factor a considerar fue que los errores de interpretación pueden afectar el montaje o la correcta exposición de estas obras y dificultar su exhibición en museos y espacios con características diferentes al del lugar de creación inicial.

También se constató que el acceso a recursos tecnológicos, en apariencia infinitos, había permitido a los artistas desarrollar novedosos lenguajes y planteamientos creativos cada vez más complejos, cuyos formatos y necesidades de exposición superan, con creces, a las propuestas artísticas tradicionales. Estos nuevos enfoques son visibles tanto en obras de arte contemporáneo como en objetos y proyectos culturales, que se alejan de los usos y representaciones tradicionales del arte y de la realidad.

El uso de redes sociales en una nueva era de la información y de revolución tecnológica ha incentivado la creación de originales propuestas de comunicación e interacción. Estas alternativas culturales, producidas o difundidas a través de Internet, redes sociales, vídeo juegos o nuevas aplicaciones han modificado sustancialmente la forma tradicional de participación del público y, en algunos casos, son parte esencial de la activación y creación de la propia obra de arte.

Como consecuencia de la accesibilidad de estas posibilidades técnicas, los artistas se desvinculan de los cánones establecidos y logran una espontaneidad de expresión sin precedentes, apoyados en elementos, herramientas y medios que se actualizan sin cesar, a pesar de que en muchas ocasiones son desarrollados de forma intuitiva y experimental. Esta libertad y diversidad dificulta la aplicación de modelos de toma de decisiones o de protocolos de gestión, conservación o difusión, y no es posible establecer modelos generales a gran escala como las que se sugieren en esta metodología.

Las exigencias de creación, exposición, documentación, estudio y conservación de nuevas propuestas creativas han impulsado nuevas relaciones e intereses entre grupos de artistas, sus obras, museos y espectadores. Estos intercambios han permitido el desarrollo de nuevas temáticas y narrativas más elaboradas, que pretenden plasmar y transmitir una visión más analítica de la realidad, tanto objetiva como subjetiva.

Este nuevo paradigma ha obligado a artistas, curadores, diseñadores, conservadores y restauradores a trabajar en equipo con la finalidad de encontrar soluciones consensuadas para llevar a cabo proyectos complejos y mejorar el uso, disfrute, preservación y comprensión de estas colecciones.

Objetivos

En este artículo se propone una metodología que puede aplicarse a diversas líneas de estudio en función de los objetivos de cada investigación y de los resultados que queramos alcanzar.

Para ello es fundamental conocer cuáles son las características del objeto de estudio y establecer la complejidad de la información inicial, así como los medios, los recursos y el tiempo disponible.

Los principales objetivos propuestos fueron:

- evaluar las posibilidades de adaptar metodologías y herramientas informáticas, empleadas en proyectos de Humanidades Digitales y de *big data*, para analizar las características y la evolución de la producción artística contemporánea y su relación con el desarrollo industrial y tecnológico;
- demostrar el interés de aplicar metodologías que proporcionan datos objetivos para comparar y contrastar grandes cantidades de información y mostrar la existencia de tendencias en el comportamiento y/o el deterioro de materiales y dispositivos tecnológicos;
- exponer las ventajas de utilizar sistemas de representación por medio de líneas temporales, gráficos y grafos para mejorar la comprensión de las características y las singularidades propias de obras de arte contemporáneo;
- identificar las relaciones existentes entre los artistas, establecer patrones, jerarquías y grados de influencia o su importancia cualitativa o cuantitativa dentro de una colección;
- comprender la influencia de nuevos elementos, materiales y dispositivos tecnológicos en el desarrollo de propuestas y temáticas artísticas a través del tiempo;
- entender las causas y las consecuencias de la aplicación de criterios y decisiones de conservación para valorar su uso en colecciones similares, identificar errores y/o proponer soluciones mejor adaptadas a las necesidades de diferentes tipos de obras y de colecciones;
- desarrollar modelos de organización y visualización de datos para mejorar la gestión y comprensión de obras contemporáneas complejas y facilitar el intercambio de experiencias provenientes de especialistas de diversas áreas del conocimiento;
- aprovechar la participación de profesionales de diversas procedencias y especialidades para identificar y analizar relaciones entre hechos

históricos, movimientos artísticos y el desarrollo tecnológico a través de grafos, gráficos y líneas temporales;

- valorar el uso de estos modelos de visualización como herramientas pedagógicas que sirvan para dinamizar la participación y comprensión de diversos tipos de públicos.

Definición de las variables de estudio

Uno de los objetivos de la metodología propuesta es su posible aplicación a gran escala.

Esta propuesta se desarrolla en varias fases, la primera fase consiste en establecer una ontología específica para describir los elementos de estudio y sus características y singularidades en un lenguaje común que nos permita identificar, estructurar y almacenar la información inicial para volcarla en una base de datos que facilite su manejo y consulta de forma rápida y eficaz.

Establecer una ontología que sustente el estudio de obras de arte complejas y diversas no es una tarea simple, ya que debe unificar el modo de acceder a la información general de todas las obras que participan en el planteamiento metodológico y tener en cuenta las características propias de las obras y las necesidades y objetivos de cada investigación.

A través de procesos de comprobación y de ajustes de la información se realizan múltiples modificaciones de la ontología y de la base de datos. Estas modificaciones permiten adaptar y refinar el modelo utilizado para clasificar y almacenar los datos en función de las necesidades específicas de las obras hasta comprobar que sea el modelo más adecuado para esta propuesta.



Figura 1. Ejemplo general de mapa conceptual relacionado con hechos históricos. Los vínculos entre artistas, lugares, fechas y acontecimientos históricos ayudan a esclarecer el contexto de creación entre artistas y movimientos artísticos. Las proposiciones *trabajó en*, *participó en* y *relacionado con* ayudan a formar unidades semánticas. Estos enlaces sirven para unir conceptos y explicar, de forma directa y jerárquica, el tipo de relación que los une. Los mapas conceptuales permiten organizar la información y establecer concordancias entre conceptos con el objetivo de facilitar el aprendizaje y la comprensión de ideas y sus relaciones.



Figura 2. En este estudio se definió un mapa conceptual tomando como referencia las clasificaciones utilizadas en museos de arte contemporáneo. A partir de una clasificación general la subdividimos en clasificaciones específicas: (artes en vivo, media, obras tridimensionales y fotografía) realizadas a partir de diferentes tipos de soportes, soportes físicos, elementos y descriptores.

La segunda fase corresponde al *modelado de la información* y consiste en establecer ciertos patrones para unificar la forma de identificar, organizar y clasificar la información disponible al inicio de la investigación.

Un *modelo* debe servir para identificar los vínculos entre los elementos de un problema como parte de un sistema y permite comprender su funcionamiento para evaluar y analizar sus tendencias y sus comportamientos. En palabras de Ezequiel Ander-Egg, “un modelo es una representación de la realidad, con la que se trata de reducir la variedad y complejidad del mundo real mediante el uso del lenguaje simbólico” [14, p. 342].

En esta fase se emplearon *mapas conceptuales* [15, pp. 33-120] como herramientas de visualización y verificación de conocimientos en forma de esquema (Figura 1). El elemento básico es el *nodo*, que se relaciona con otros tópicos mediante proposiciones para unir conceptos que sirven para completar unidades semánticas.

Los mapas conceptuales permiten concentrar la atención en las variables importantes y expresar ideas cada vez más específicas y facilitar la comprensión de las relaciones y las consecuencias de estas. Sirven para identificar cuál es la información relevante que deseamos conservar y qué debe volcarse en las bases de datos que

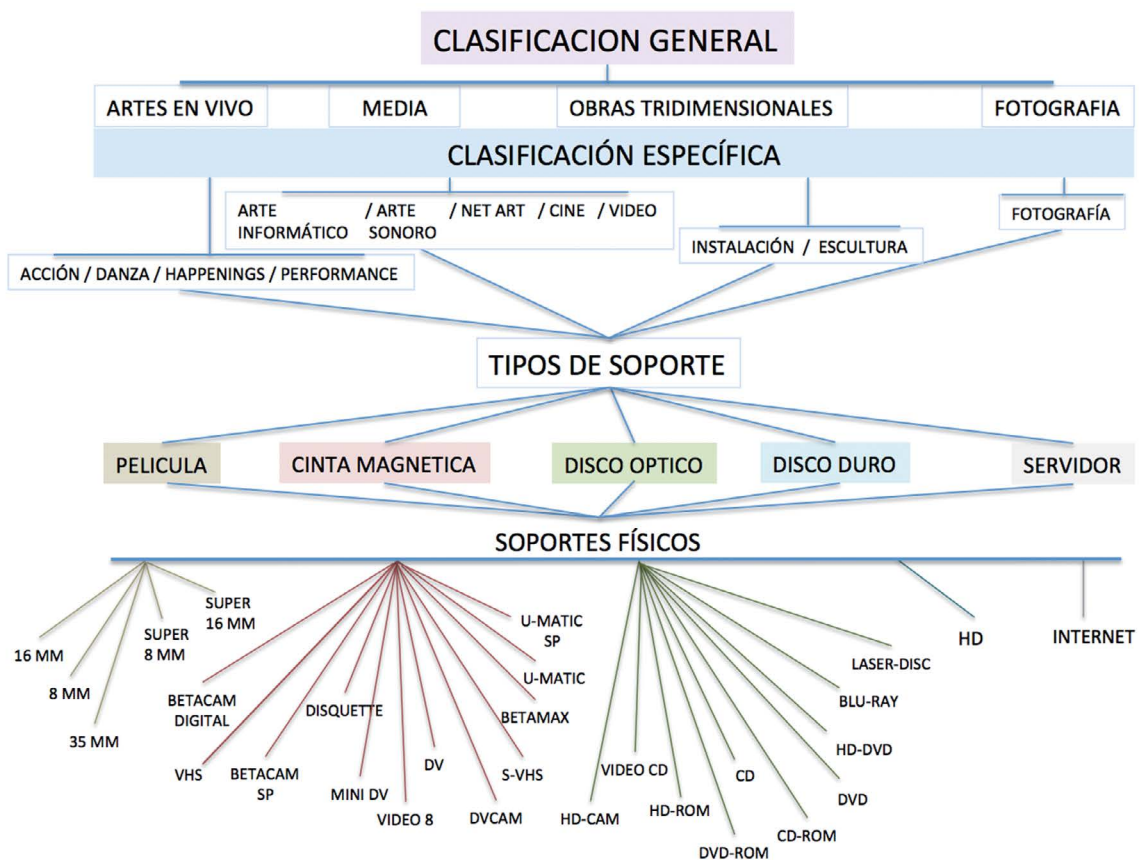


Figura 3. En este esquema se observa la complejidad de los tipos de soporte relacionados con la creación, producción, almacenaje, visionado y conservación de obras audiovisuales y pueden relacionarse con la evolución de dispositivos tecnológicos desde la creación del cine hasta Internet.

Clasificación Genérica CG	Clasificación Específica CE	Tipos de Soportes TS	Soportes Físicos TF	Elementos E		Descriptorios D		Temáticas T
Artes en vivo	Acción	Película	16 mm	Agua	Pintura	Artificial	Migrado formato/soporte	Abstracción
	Danza	Cinta Magnética	35 mm	Altavoz	Proyector	B/N	Modificado	Amor
	Happening	Disco Óptico	8 mm	Animal	Reprod. Audio	Celulósico	Mono	Ciudad
	Performance	Disco Duro	Audiocassette	Arquitectura	Robot	Color	Movimiento	Comunicación
Media	Arte Informático	Servidor	Betacam	Audio (sonido)	Sensorial	Conexión	Muerto	Cultura
	Arte Sonoro		Betacam Digital	Cableado	Software	Copia contemporánea	Natural	Drogas
	Net Art		Betacam SP	Cámara	Tela	Cromogénico	Oído	Economía
	Cine		Betamax	Cine	Vegetal	de Conservación	Olfato	Educación
	Vídeo		Blu-Ray	Circ. Cerrado	Vídeo	de Exposición	Óptico	Género
Obra 3D	Instalación		CD	Construcción	Radio	de Producción	Original	Geometría
	Escultura		CD-ROM	Diapositiva		de Reproducción	Pintado	Historia
Fotografía	Fotografía		Disquette	Dibujo		de Visionado	Plasma	Humor
			DV	Escultura		Dibujado	Plástico	Identidad
			DVCAM	Espejo		Eléctrico	Recuperado	Imagen en movimiento
			DVD	Estructura		Emulado	Reemplazable	Información
			DVD-ROM	Foto		Ensamblado	Sensación	Literatura
			HD	Hardware		Escrito	Sin sonido (mudo)	Luz
			HD-CAM	Idioma		Estéreo	Sincronizado	Medioambiente
			HD-DVD	Iluminación		Estructura	Soporte	Movimiento
			HD-ROM	Imagen		Fijo	Subtitulado	Música
			Laser Disc	Instr. Música		Filmado	Tacto	Percepción
			MiniDV	Internet		Gelatinobromuro Plata	Traducido	Poder
			S-VHS	Libro		Grabado	Transferido (soporte)	Política
			Super 16 mm	Luz		Gusto	Tubo catódico	Religión
			Super 8 mm	Matiz		Impreso	Vídrío	Representación
			U-Matic	Mobiliario		Interacción	Vintage	Sexo
			U-Matic SP	Monitor TV		LCD	Vista	Sociedad
			VHS	Objeto		Madera	Vivo	Vida-Muerte
			Vídeo 8	Pantall		Magnético		Violencia
			Vídeo CD	Papel		Mecánico		
			Internet	Pared		Metal		

Figura 4. La ontología está compuesta por lista de términos para explicar el funcionamiento de esta metodología. Las listas recogen términos relacionados con la clasificación general y específica, tipos de soportes, soportes físicos, elementos descriptorios y temáticas más representativos dentro del conjunto de obras seleccionado.

AUTOR	TÍTULO DE LA OBRA	CARACTERÍSTICAS DE SOPORTES, ELEMENTOS Y DESCRIPTORES QUE FORMAN PARTE DE LA OBRA				
1	Mario García Torres	¿Alguna vez has visto la nieve caer?	E:Diapositiva - D:Original	SF:35mm - D:Original - D:de Producción	E:Audio - D:Estéreo - D:Sincronizado	E:Matiz - D:Color
2	Luis Araquistáin Quevedo	¿Qué es España?	TS:Película - D:Original - D:de Producción TS:Disco Óptico - D:Transferido	SF:35mm - D:Original - D:de Producción SF:DVD - D:de Visionado - D:Reemplazable	E:Audio - D:Magnético E:Audio - D:Óptico - D:Transferido	E:Matiz - D:B/N E:Matiz - D:B/N
3	Antoni Padrós	¿Qué hay para cenar, querida?	TS:Película - D:Original - D:de Producción TS:Disco Duro - D:Transferido	SF:16mm - D:Original - D:de Producción SF:HD - D:de Conservación	E:Audio - D:Sin sonido E:Audio - D:Sin sonido	E:Matiz - D:Color E:Matiz - D:Color
4	José Antonio Sistiaga	...ere erera baleibu izik subua anaren...	TS:Película - D:Original - D:de Producción TS:Disco Duro - D:Transferido	SF:16mm - D:Original - D:Modificado - D:de Producción SF:HD - D:de Conservación	E:Audio - D:Sin sonido E:Audio - D:Sin sonido	E:Matiz - D:Color E:Matiz - D:Color
5	Steina Vasulka -- Woody Vasulka	1-2-3-4	TS:Disco Óptico - D:Transferido	SF:DVD - D:de Visionado - D:Reemplazable	E:Audio - D:Sin sonido	E:Matiz - D:Color
6	Rafael Lozano-Hemmer	1000 plattitudes	E:Hardware - D:Original - D:de Producción	E:Software - D:Original - D:de Producción	E:Iluminación - D:Original - D:Artificial	E:Estructura - D:Metal
7	Matthew Buckingham	1720	TS:Película - D:Original - D:de Producción	SF:16mm - D:Original - D:de Producción	E:Audio - D:Magnético	
8	Gary Hill	23:59:29 - The storyteller's room	E:Hardware - D:Original - D:de Producción	E:Software - D:Original - D:de Producción	E:Iluminación - D:Original - D:Artificial	E:Luz - D:Reemplazable
9	Wolf Vostel	6 TV Dé-coil age	E:Monitor TV - D:Original - D:Vintage - D:Tubo catódico	E:Mobiliario - D:Original - D:Vintage	E:Vegetal - D:Reemplazable - D:Vivo	E:Cableado - D:Reemplazable
10	Gary Hill	A hole in the wall	E:Proyector - D:Original	E:Monitor TV - D:Modificado - D:Tubo catódico	E:Imagen - D:Movimiento	E:Cableado - D:Reemplazable
11	Stan VanDerbeek	A la mode	TS:Película - D:Original - D:de Producción TS:Disco Óptico - D:Transferido	SF:16mm - D:Original - D:de Producción SF:DVD - D:de Visionado - D:Reemplazable		
12	Valle Export	Adjungierte dislokationen III	E:Círculo cerrado - D:Original - D:Vintage	E:Monitor TV - D:Original - D:Vintage - D:Tubo catódico	E:Mobiliario - D:Original - D:Metal	E:Mobiliario - D:Original - D:Madera
13	Antoni Muntadas	Between the lines	E:Hardware - D:Original - D:de Producción	E:Internet - D:Conexión - D:Reemplazable	E:Monitor TV - D:Original - D:Vintage - D:Tubo catódico	E:Mobiliario - D:Original - D:Madera
14	Nam June Paik	Budzha TV	E:Círculo cerrado - D:Original - D:Vintage	E:Imagen - D:Movimiento	E:Monitor TV - D:Original - D:Vintage - D:Tubo catódico	TS:Disco Óptico - D:Transferido
15	Martha Boto	Boîte électrique A	E:Estructura - D:Metal - D:Madera	E:Cableado - D:Reemplazable	E:Luz - D:Vista	E:Iluminación - D:Original - D:Artificial
16	Martha Boto	Boîte électrique B	E:Estructura - D:Metal - D:Madera	E:Cableado - D:Modificado	E:Luz - D:Vista	E:Iluminación - D:Original - D:Artificial
17	Hermanos Lumière	Danse serpentine (I)	TS:Película - D:Original - D:de Producción TS:Cinta Magnética - D:Transferido	SF:35mm - D:Original - D:de Producción SF:U-Matic - D:de Producción	E:Audio - D:Sin sonido E:Audio - D:Sin sonido	E:Proyector - D:Original E:Proyector - D:Transferido
18	Rafael Lozano-Hemmer	Equal time (Instalación)	TS:Disco Óptico - D:Transferido	SF:DVD - D:de Visionado - D:Reemplazable	E:Audio - D:Sin sonido	E:Proyector - D:Transferido
19	Rafael Lozano-Hemmer	Flatsun	E:Monitor TV - D:Original - D:Vintage - D:Tubo catódico	E:Hardware - D:Original - D:de Producción	E:Software - D:Original	E:Internet - D:Conexión
20	Peter Campus	Head of a Misanthropic Man	E:Hardware - D:Original - D:de Producción	E:Software - D:Original - D:de Producción	E:Internet - D:Conexión	E:Luz - D:Vista
21	Peter Campus	Head of a sad young woman	TS:Cinta Magnética - D:Transferido TS:Disco Óptico - D:Transferido	SF:Betacam digital - D:de Conservación SF:DVD - D:de Visionado - D:Reemplazable	E:Audio - D:Sin sonido E:Audio - D:Sin sonido	E:Matiz - D:B/N E:Matiz - D:B/N
22	Rafael Lozano-Hemmer	Índice de coronazadas	E:Estructura - D:Metal	E:Cableado - D:Eléctrico	E:Hardware - D:Original	E:Software - D:Original
23	Dora García	Instant Narrative (IN)	E:Mobiliario - D:Original - D:Madera	E:Cableado - D:Eléctrico - D:Reemplazable	E:Sensorial - D:Oído - D:Memoria	E:Iluminación - D:Original - D:Artificial
24	Rebecca Horn	La Ferdinanda: Sonate für eine Medici-Villa	TS:Película - D:Original - D:de Producción TS:Disco Óptico - D:Transferido	SF:35mm - D:Original - D:de Producción SF:DVD - D:de Visionado - D:Reemplazable	E:Matiz - D:Color E:Matiz - D:Color	
25	Rebecca Horn	Leonardo's Brautwerbung	E:Objeto - D:Metal - D:Ensamblado - D:Pintado	E:Cableado - D:Eléctrico	E:Imagen - D:Movimiento	E:Luz - D:Vista - D:Cálido

Figura 5. En esta tabla de Excel se muestra una selección de los datos seleccionados para analizar la información correspondiente a las relaciones entre soportes, elementos y descriptorios.

	TITULO DE LA OBRA	TEMÁTICA 1	TEMÁTICA 2	TEMÁTICA 3	TEMÁTICA 4	TEMÁTICA 5
1	¿Alguna vez has visto la nieve caer?	T:Comunicación	T:Percepción	T:Sociedad		
2	¿Qué es España?	T:Comunicación	T:Educación	T:Historia	T:Sociedad	
3	¿Qué hay para cenar, querida?	T:Comunicación	T:Percepción	T:Sociedad		
4	...ere erera baleibu izik subua aruare?	T:Movimiento	T:Percepción	T:Imagen en movimiento		
5	1-2-3-4	T:Comunicación	T:Percepción	T:Tecnología		
6	1000 platitudes -- 1000 usos tópicos	T:Comunicación	T:Economía	T:Sociedad		
7	1720	T:Comunicación	T:Historia	T:Música	T:Sociedad	
8	23:59:59:29 - The storyteller's room	T:Comunicación	T:Percepción	T:Tecnología	T:Literatura	
9	6 TV Dé-coll age	T:Comunicación	T:Poder	T:Sociedad	T:Tecnología	
10	A hole in the wall	T:Comunicación				
11	A la mode	T:Comunicación	T:Género	T:Percepción		
12	Adjungierte dislokationen III	T:Comunicación	T:Percepción	T:Tecnología		
13	Between the lines -- Entre líneas	T:Comunicación	T:Cultura	T:Percepción	T:Sociedad	T:Tecnología
14	Buddha TV	T:Comunicación	T:Poder	T:Sociedad	T:Tecnología	
15	Boîte électrique A	T:Movimiento	T:Percepción	T:Tecnología		
16	Boîte électrique B	T:Movimiento	T:Percepción	T:Tecnología		
17	Danse serpentine (II)	T:Imagen en movimiento	T:Comunicación	T:Sociedad	T:Tecnología	
18	Equal Time (Instalación)	T:Comunicación	T:Sociedad	T:Tecnología	T:Percepción	
19	Flatsun	T:Comunicación	T:Sociedad			
20	Head of a Misanthropic Man	T:Percepción	T:Sociedad	T:Identidad	T:Género	
21	Head of a sad young woman	T:Percepción	T:Sociedad	T:Identidad	T:Género	
22	Indice de corazonadas	T:Comunicación	T:Sociedad			
23	Instant Narrative (IN)	T:Comunicación	T:Percepción	T:Identidad	T:Sociedad	T:Tecnología
24	Leonardo's Brautwerbung	T:Movimiento	T:Percepción	T:Tecnología		
25	Ley de la buena Forma	T:Movimiento	T:Percepción	T:Tecnología		

Figura 6. Esta tabla de Excel muestra una selección de obras de este estudio y de las temáticas asociadas.

deberán seleccionarse como parte de nuestra investigación (Figura 2).

En este estudio se utilizó una clasificación general basada en ontologías y modelos de organización y almacenamiento de datos que son empleadas en el registro de obras de museos de arte contemporáneo y se pueden esquematizar en mapas conceptuales (Figura 3).

La ontología utilizada para enumerar y describir obras contemporáneas con elementos tecnológicos está formada por listas de tipos de soporte, soportes físicos, elementos, descriptores y temáticas. Estos sirven para relacionar los elementos más relevantes con los descriptores más frecuentes del conjunto de obras seleccionadas (Figura 4).

La tercera etapa se denomina fase de *población de datos* y consiste en almacenar los datos iniciales en la

base de datos. En este estudio los datos se almacenaron en una tabla de Excel, que es una aplicación muy popular, desarrollada y distribuida por la empresa Microsoft, creada para el proyecto (Figuras 5 y 6).

La información recabada en Excel se trasladó a una base de datos en grafo [16] para escribir y almacenar los datos en estructuras de grafos (Figura 7). Para activar la gestión de estos datos se empleó la aplicación *Topics Navigator* [17], que es un prototipo que permite organizar y conectar preguntas por temas de interés con el fin de realizar consultas personalizadas con gran flexibilidad. Los grafos se crearon en *Gephi*, que es un software de código abierto y gratuito que permite visualizaciones en todo tipo de grafos y redes [18].

También se emplearon aplicaciones de código abierto para visualizar los resultados en gráficos lineales y en

Escritura de la información volcada en la Base de Datos.		Ejemplo de una Instalación con vídeo y elementos estructurales						
DATOS DE LA OBRA:	Los vídeos que forman parte de la obra fueron producidos en cinta magnética, en el soporte <i>Betacam SP</i> . Son originales, de producción y de conservación. Para garantizar la preservación y exposición de esta obra actualmente se utilizan soportes ópticos en <i>DVD</i> . Se consideran soportes de exposición y reemplazables.	El mobiliario <i>vintage</i> -formado por carcassas de muebles de TV de los años cincuenta y sesenta-, el tipo de imagen y la ausencia de audio determinan las características estéticas y sensoriales de la obra. Los elementos necesarios para el montaje de la obra, como el cableado, los monitores de TV, y los equipos de reproducción, pueden sustituirse en cada montaje. Se consideran elementos de exposición y reemplazables.						
Instalación: Mirage Stage								
Fecha: 1986	TS: Cinta Magnética D: Original D: De Producción D: De Conservación	SF: <i>Betacam SP</i> D: Original D: De Producción D: De Conservación	E: Reproductor <i>Betacam SP</i> D: Original	E: Audio D: Sin Sonido	E: Matiz D: Color	E: Cableado D: Reemplazable D: De Exposición	E: Mobiliario D: Original D: <i>Vintage</i>	E: Monitor TV D: Modificado D: Reemplazable D: De Exposición
Artista: Nam June Paik								
Colección: MNCARS	TS: Disco Óptico D: Transferido	SF: DVD D: De Exposición D: Reemplazable	E: Reproductor DVD D: De Exposición D: Reemplazable					
Leyenda de las abreviaturas utilizadas:								
D: Descriptores E: Elementos SF: Soportes Físicos TS: Tipos de Soporte								



Figura 7. En esta tabla se muestra el sistema de escritura de la información correspondiente a los elementos escultóricos y soportes audiovisuales utilizados en la instalación *Mirage Stage*, creada por Nam June Paik en 1986. Esta instalación forma parte de la colección del Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofia, en Madrid, España.

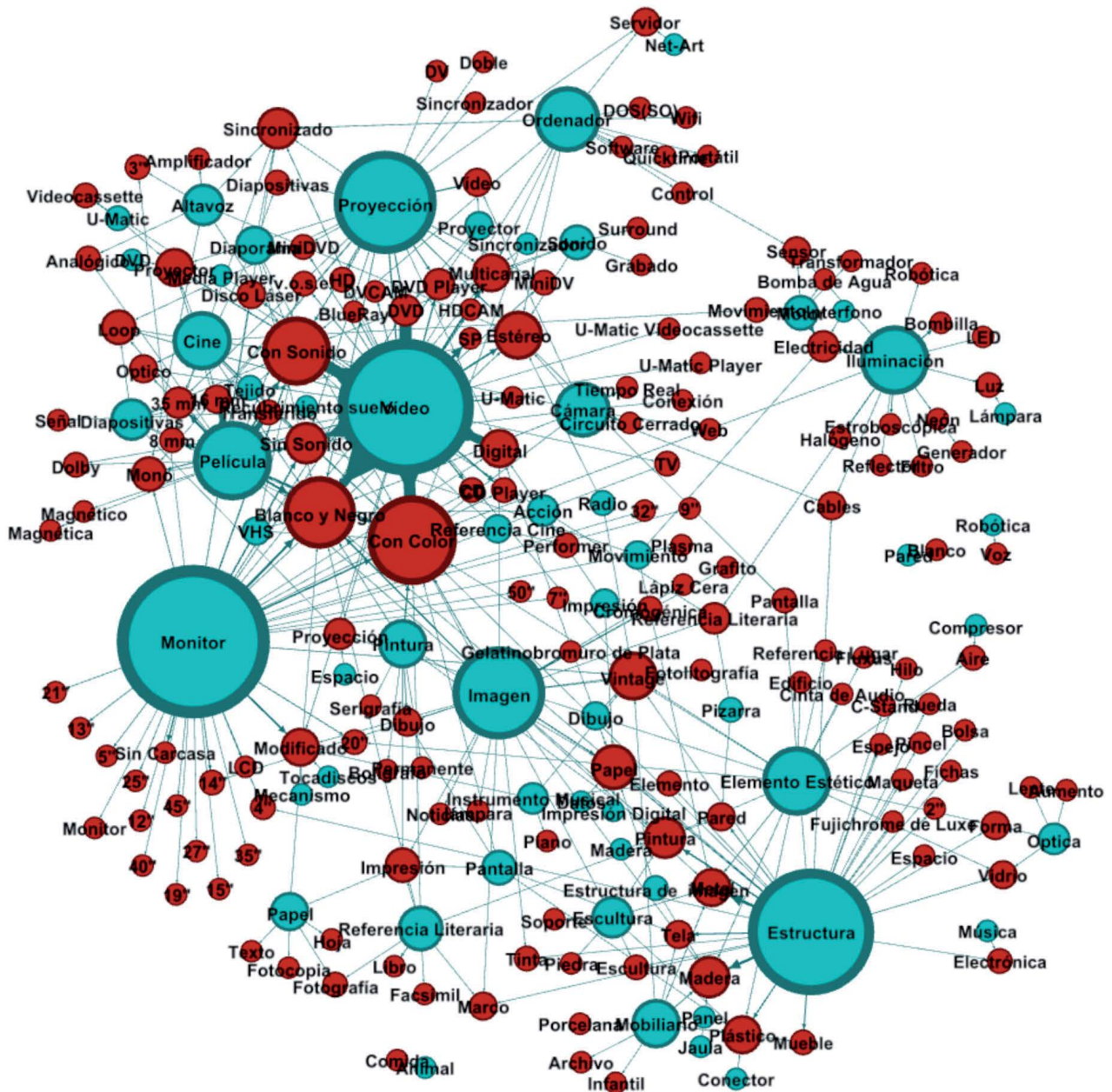


Figura 8. En el grafo el tamaño de cada nodo indica la proporción numérica de elementos similares dentro del estudio. La distancia entre nodos representa el grado de afinidad y el grosor de las líneas el número de intercambios o relaciones entre ellos.

gráficos de barras, así como para la elaboración de líneas temporales.

Los sistemas de visualización

Esta metodología se sustenta en el análisis de datos, sus patrones y relaciones a través de herramientas de visualización de grafos, gráficos y líneas temporales.

En los modelos de representación en grafos (Figura 8), el tamaño de cada nodo indica su importancia numérica dentro del estudio, es decir, mientras más grande sea éste, mayor será el número de elementos similares dentro del estudio. Para interpretar las características de sus

conexiones o la intensidad de sus relaciones se tiene en cuenta la distancia entre nodos, que representa el grado de afinidad que existe entre ellos, y el grosor de las líneas que los unen, que muestran el número de intercambios o relaciones entre nodos.

Los gráficos (Figura 9) ayudan a completar la información cualitativa de cada variable, a identificar y agrupar elementos y a valorar su importancia relativa o su peso proporcional dentro de una obra en un lapso de tiempo determinado que podemos valorar y contextualizar gracias al uso de líneas temporales (Figura 10).

Las líneas temporales permiten contextualizar la información obtenida en los grafos y los gráficos, entender la secuencia temporal, la importancia y la influencia de

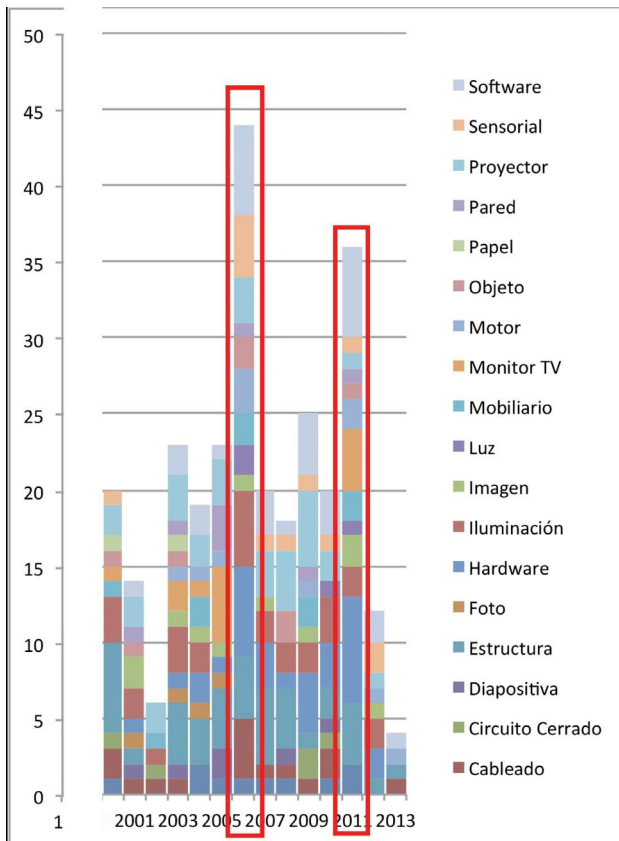


Figura 9. En esta gráfico se muestra la proporción de elementos utilizados en la producción de obras con elementos tecnológicos entre 2001 y 2013.

diversas variables dentro de los parámetros temporales de cada investigación.

Comprensión e interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en los grafos, gráficos y líneas temporales permiten hacer consultas a partir de la representación de los datos y de sus relaciones para compararlos, comprenderlos y analizarlos de forma objetiva (Figura 11).

Al cruzar información de datos iniciales organizadas en listas de obras, artistas y temáticas, es posible identificar nuevas relaciones y correspondencias que pueden servir para interpretar la importancia de la incorporación de elementos en el proceso de creación de obras de arte.

La elección de los materiales, herramientas y dispositivos que forman los elementos de una obra influyen en el discurso de los artistas y sirven para relacionarlos con su contexto temporal. Los nuevos elementos disponibles permiten ampliar las posibilidades de expresión y permiten explorar nuevas formas para expresar discursos relacionados con procesos sociales, culturales y políticos, entre otros (Figura 12).

La fecha de incorporación de estos elementos en el proceso creativo ayuda a cuantificar el impulso de las nuevas herramientas y dispositivos tecnológicos en la elaboración de nuevas propuestas y en evolución de temáticas

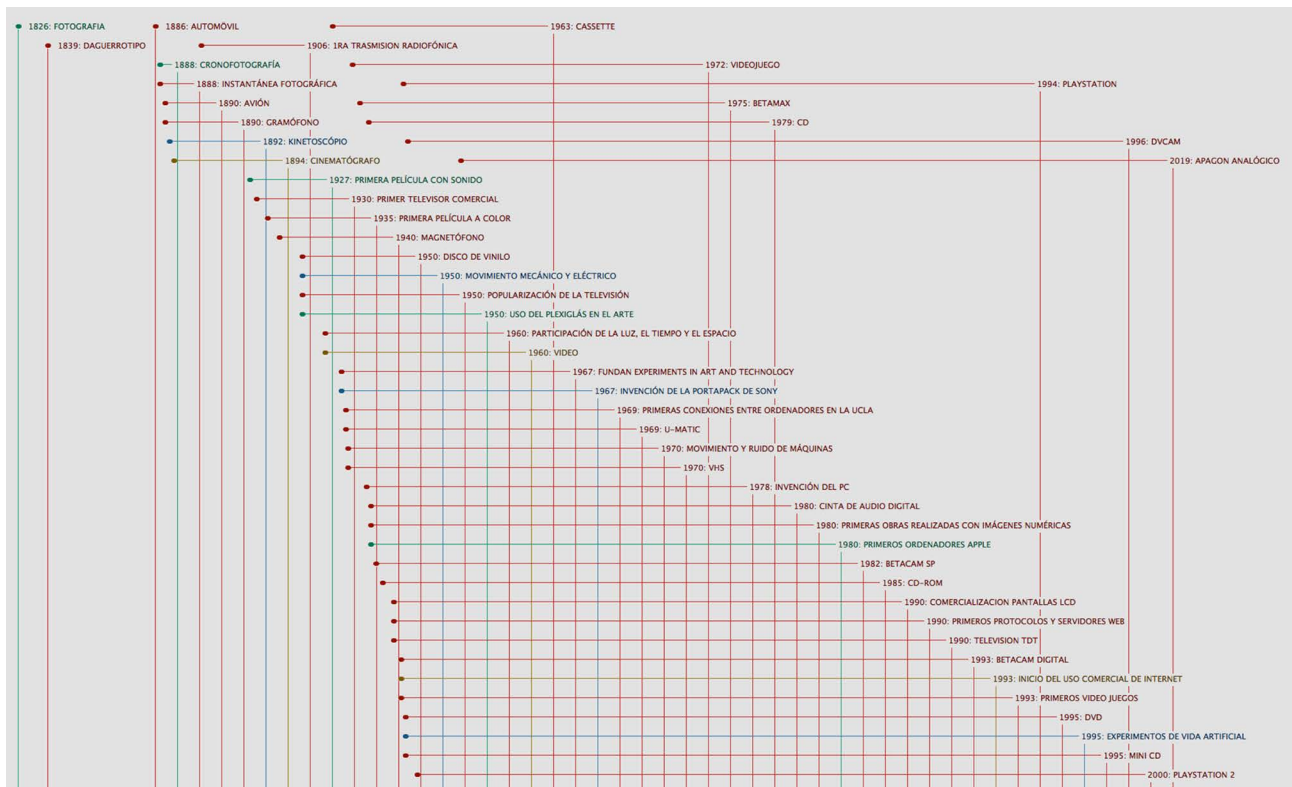


Figura 10. En esta línea temporal se muestra las fechas de aparición de invenciones tecnológicas que han servido para crear nuevas formas de arte. Esta información permite comprender la trascendencia de la incorporación de nuevos elementos en la aparición de movimientos artísticos y de la creación de nuevas temáticas.

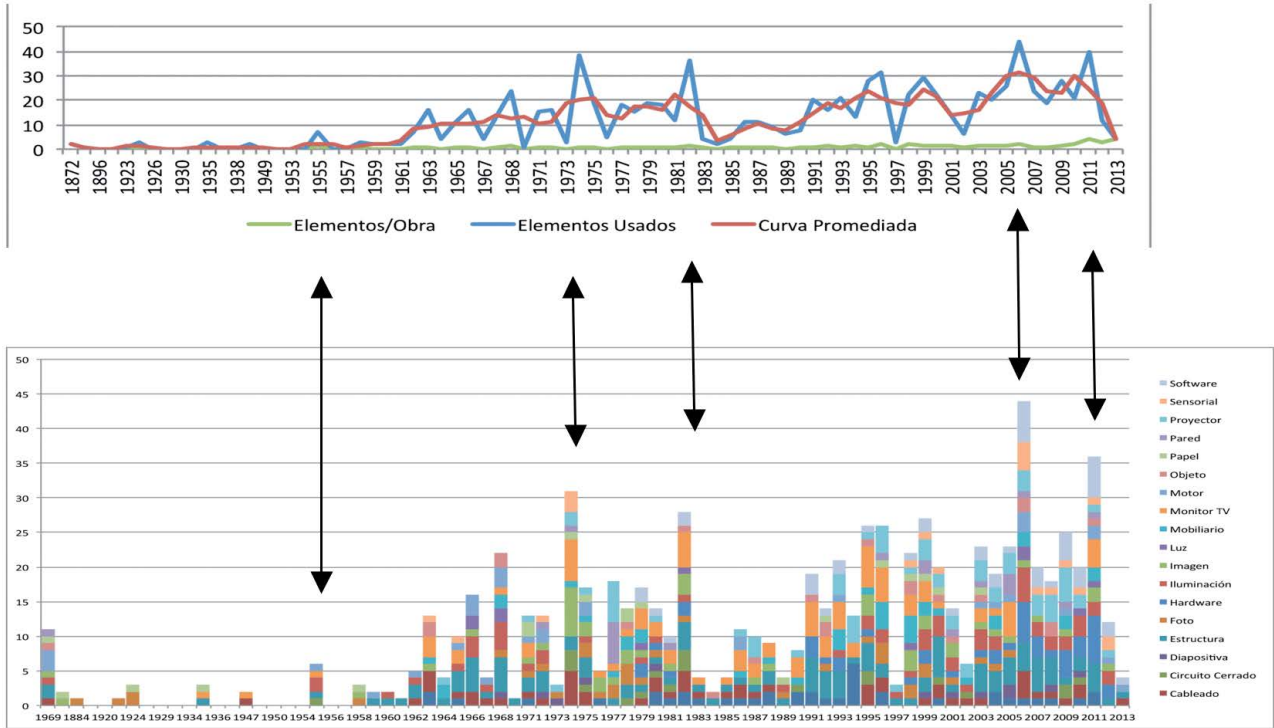


Figura 11. En estos gráficos podemos observar el incremento del número de elementos y su proporción en la producción o creación de obras de arte a través del tiempo. Hay un incremento sostenido en el uso de elementos tecnológicos por obra a través del tiempo, que influye directamente en el aumento de la complejidad en el discurso narrativo. Estas relaciones permiten entender y valorar la importancia de la incorporación de la tecnología en una colección.

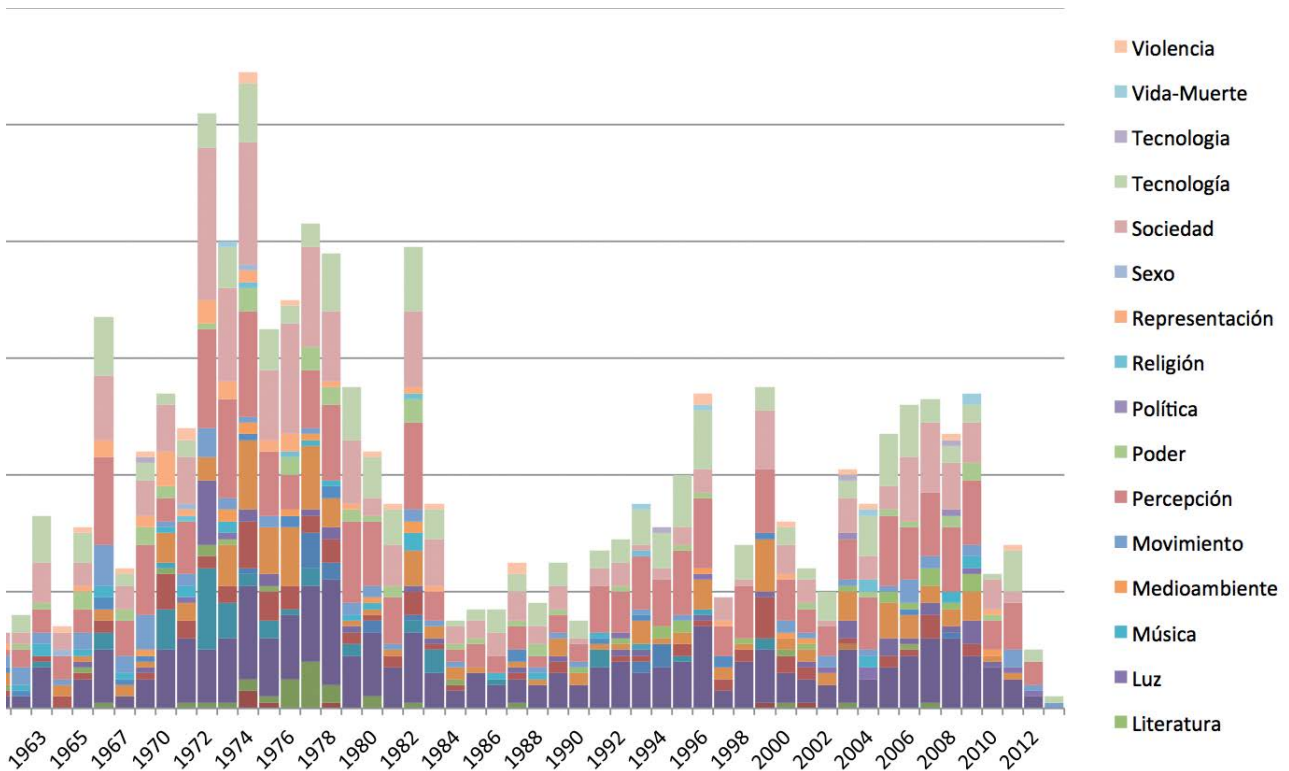


Figura 12. Relación de la proporción de temáticas desarrolladas en la creación artística entre 1963 y 2013.

(Figura 13). En el análisis de las temáticas desarrolladas por las obras estudiadas hay que tener en cuenta que su elección no corresponde a criterios únicos y objetivos, ya que se seleccionaron a partir de los textos asociados a estas obras que hayan sido valorados en cada investigación.

El análisis de estas relaciones ayuda a comprender y a valorar la importancia de determinadas temáticas y a relacionarlas con otros movimientos artísticos, a descubrir a artistas innovadores y a determinar su grado de influencia o inspiración en la producción de otros

Sistema de escritura de las temáticas vinculadas a las obras seleccionadas en la base de datos						
Artistas	Título de la obra	Temática 1	Temática 2	Temática 3	Temática 4	Temática 5
Nam June Paik	Buddha TV	T: Tecnología	T: Comunicación	T: Sociedad	T: Poder	
Marta Boto	Boîte Eléctrique 2	T: Tecnología	T: Percepción	T: Movimiento		
Ana Carceller y Helena Cabello	Bollos	T: Sociedad	T: Comunicación	T: Identidad	T: Humor	T: Género

Leyenda de las abreviaturas utilizadas
T: Temáticas

Figura 13. La lista de temáticas proviene del análisis de catálogos, entrevistas, interpretaciones de críticos y textos descriptivos, que argumenten la relación entre el uso o desarrollo de estas narrativas y los artistas y obras objeto de cada estudio.

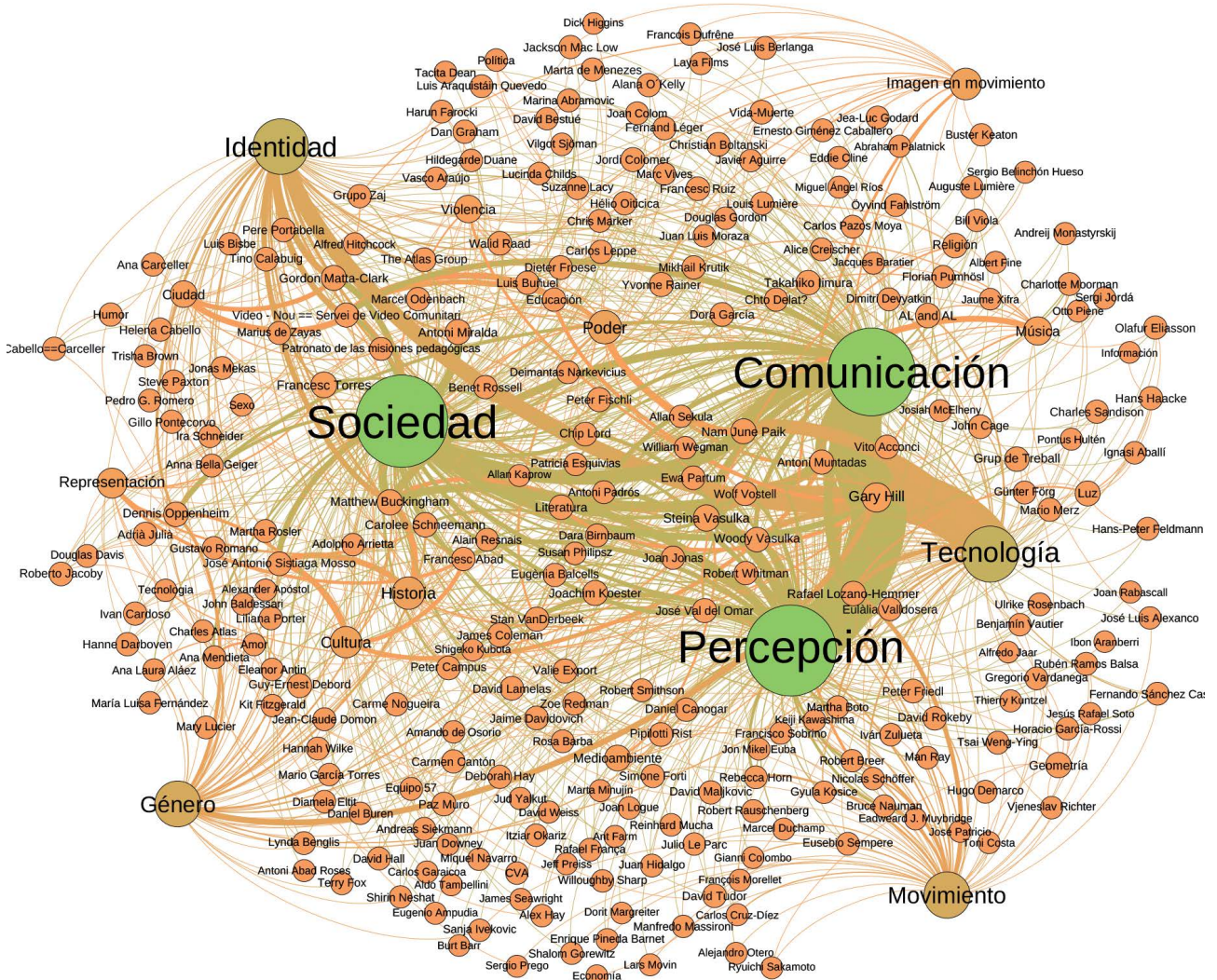


Figura 14. En este grafo destacan las temáticas *Sociedad*, *Comunicación* y *Percepción*, seguidas de *Identidad*, *Tecnología*, *Movimiento* y *Género*. La distancia entre los nodos que corresponden a los artistas muestra su grado de similitud y el grosor de las líneas que unen sus nodos la intensidad de las relaciones afinidad y coincidencia.

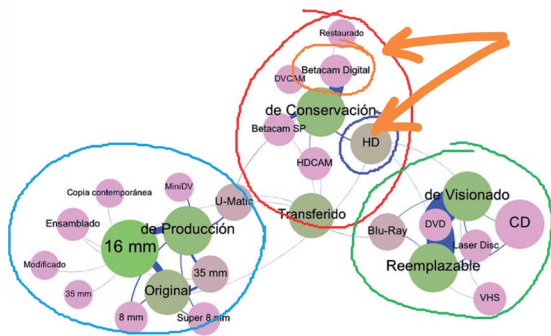


Figura 15. En este grafo representa las relaciones entre soportes físicos y sus descriptors. Permite trazar tendencias en el uso y evolución de soportes de creación, conservación y exhibición. Al contrastar la información con las fechas de invención de dispositivos y herramientas tecnológicas es posible determinar la aparición, predominancia y abandono de ciertos sistemas, y entender las causas y consecuencias de su utilización. Se muestran tres grupos de soportes: de creación, de conservación y de exhibición de obras cinematográficas y audiovisuales y diversos soportes físicos que han sido empleados para esos objetivos a lo largo de los últimos cien años. Se puede apreciar que los soportes de creación se caracterizan por ser soportes obsoletos que han sido transferidos a nuevos soportes para su preservación, entre los que destacan el *Betacam Digital* o el HD. En un tercer grupo se aprecian los soportes más empleados como copias de exhibición, que permiten una amplia difusión a bajo costo.

artistas y expresarlos en sistemas de visualización de grafos (Figura 14).

El análisis de relaciones entre soportes relacionados con la creación, exhibición y conservación de propuestas de cine y video y su evolución a través del tiempo ha permitido entender los criterios de intervención y de toma de decisiones. Para ilustrar y verificar este proceso se seleccionó un grupo representativo de obras de cine y video y se estudiaron las relaciones entre los elementos utilizados como *soporte* y sus *descriptor*s. (Figura 15). El

análisis de estas relaciones y las fechas de incorporación de estos soportes sirvió para relacionar la aparición de nuevos dispositivos tecnológicos con el proceso de creación, exhibición y conservación de dichas obras y su modelo de gestión y preservación (Figura 16).

Se muestran tres grupos de soportes: de creación, de conservación y de exhibición de obras cinematográficas y audiovisuales y diversos soportes físicos que han sido empleados para esos objetivos a lo largo de los últimos cien años. Se puede apreciar que los soportes de creación se caracterizan por ser soportes obsoletos que han sido transferidos a nuevos soportes para su preservación, entre los que destacan el *Betacam Digital* o el HD. En un tercer grupo se aprecian los soportes más empleados como copias de exhibición, que permiten una amplia difusión a bajo costo.

Comprender las causas y los criterios que originan modelos de gestión en una colección determinada ayuda a seleccionar aquellos procedimientos y soluciones que podemos adaptar e incorporar a la gestión de colecciones con características diferentes de forma exitosa. Entender el proceso de toma de decisiones dentro de un contexto determinado ayuda a evitar errores y a mejorar la eficacia de procedimientos específicos adaptados a las necesidades de cada modelo de colección.

Consideraciones finales

Se ha comprobado que el uso de herramientas digitales ayuda a reducir costes de gestión y aumenta la seguridad en la gestión de la información. Reduce los riesgos de errores en la recolección de datos masivos, evita la duplicación de la información y facilita la participación objetiva de especialistas de diversas áreas.

Como resultado, ofrece la posibilidad de descubrir la existencia de patrones relacionados con la creación artística, trazar líneas de influencia entre diversos

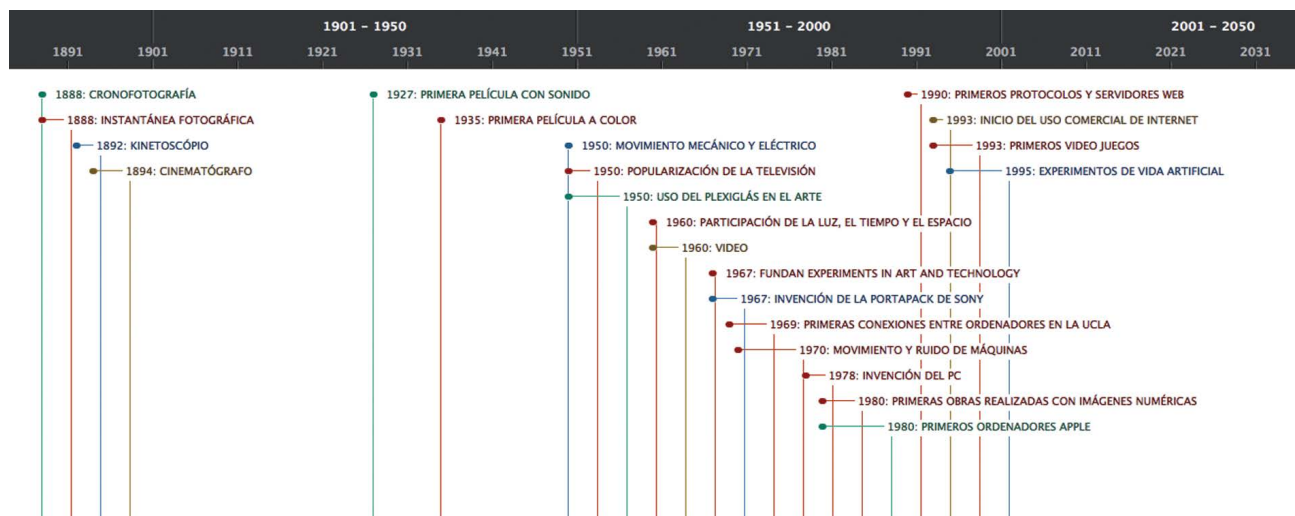


Figura 16. En esta línea temporal se observan las fechas de aparición de inventos tecnológicos relacionados con la producción audiovisual. Permite entender la trascendencia de dispositivos modernos como el cinematógrafo, las películas con sonido o con color y la evolución y popularización del video gracias a dispositivos portátiles cada vez más accesibles.

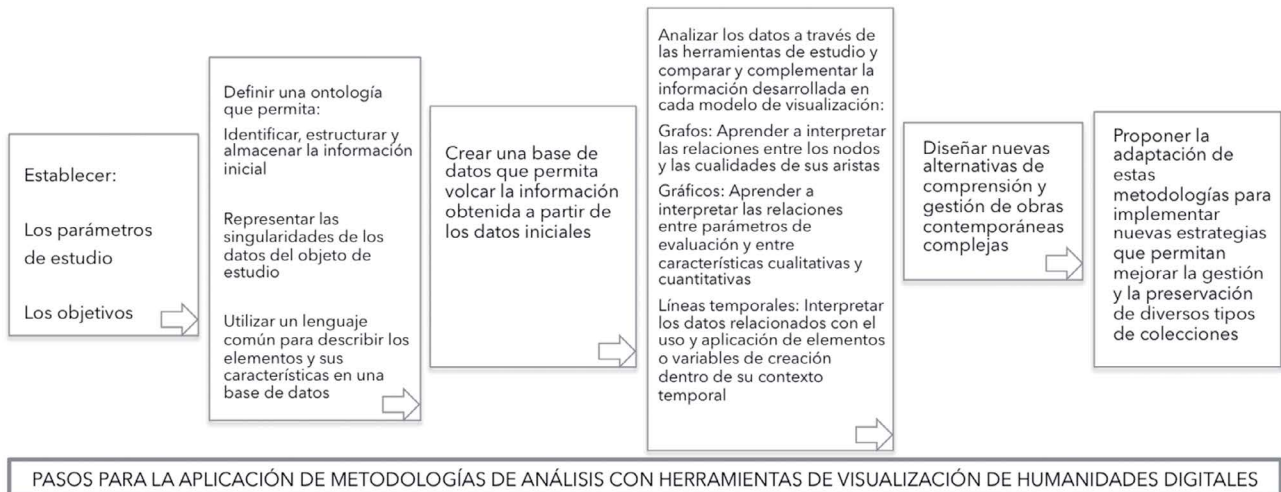


Figura 17. En este esquema se proponen algunos pasos necesarios para aplicar esta propuesta metodológica a otros modelos de colección.

artistas, identificar relaciones entre nuevos materiales o hechos históricos y el origen de propuestas estéticas o conceptuales, entre múltiples posibilidades de estudio.

Esta metodología permite evaluar variables de forma cualitativa y cuantitativa y puede emplearse como herramienta de análisis para la elaboración de nuevas narrativas curatoriales, justificar propuestas de adquisición de obras dentro de una colección y para optimizar su gestión y promoción, entre múltiples alternativas.

A partir del modelo de análisis propuesto, se han puesto en evidencia nuevos desafíos de conservación que comparten colecciones de arte contemporáneo realizadas con elementos tecnológicos que manifiestan grandes riesgos para su conservación. También permite analizar decisiones de conservación que tienen en cuenta las características de cada colección.

Los resultados obtenidos a partir de grafos, gráficos y líneas temporales ayudan a valorar, por un lado, la importancia y la evolución de las humanidades en el entorno computacional y por otro, los orígenes y el desarrollo de las Humanidades Digitales como herramienta de análisis y comprensión de la información.

Una mayor conciencia de la importancia de la información inicial impulsa a proponer mejoras en los procedimientos de adquisición y documentación de obras.

Los resultados obtenidos muestran que estos modelos permiten visualizar y comprender los protocolos aplicados en una colección y analizar las posibilidades de adaptación en colecciones similares.

Esta propuesta pretende motivar el desarrollo de nuevas líneas de investigación a partir de una metodología que puede adaptarse a las necesidades de interpretación y gestión de diversos tipos de colecciones (Figura 17).

Agradecimientos

A la Doctora Alicia Sánchez Ortiz, de la Universidad Complutense de Madrid, España, y al Doctor Juan Luis

Suárez, Vicepresidente Asociado (Investigación) y Director de *The CulturePlex Lab* (<http://www.cultureplex.ca>) de la Universidad Western Ontario, Canadá, codirectores de la tesis doctoral en el contexto de la cual se realizó esta investigación. Al Doctor Fernando Sancho Caparrini, del Departamento de Inteligencia Artificial de la Universidad de Sevilla, España, por poner a mi disposición las herramientas informáticas necesarias para desarrollar esta propuesta.

Referencias

- 1 Scholte, T.; 't Hoen, P., *Inside Installations. Preservation and Presentation of Installation Art*, Instituut Collectie Nederland, Research – The Netherlands, Foundation for the Conservation of Contemporary Art, Amsterdam (2007), <http://www.sbmk.nl/uploads/inside-installations-kl.pdf> (acceso en 2018-1-1).
- 2 Polacek, R. (ed.), 'PRACTICS: a pilot project for cultural mobility' (2011), informe, http://on-the-move.org/files/PRACTICS_final_report_Nov_2011.FINAL_Version.pdf (acceso en 2017-1-7).
- 3 Vanrell, A., 'Dennis Oppenheim, Circle Puppets, 1994', en *Inside Installations. Preservation and Presentation of Installation Art*, ed. T. Scholte & P. 't Hoen, Instituut Collectie Nederland, Research – The Netherlands, Foundation for the Conservation of Contemporary Art, Amsterdam (2007) 25, <http://www.sbmk.nl/uploads/inside-installations-kl.pdf> (acceso en 2018-1-1).
- 4 Vanrell, A., 'Updating knowledge in conservation criteria. Circle Puppets case study', en *Inside e Installations: Theory and Practice in the Care of Complex Artworks*, ed. T. Scholte & G. Wharton, Amsterdam University Press, Amsterdam (2011) 131-142.
- 5 Vanrell, A., 'L'étude d'installations d'art dans le projet INCCA «Inside Installations» et leur evolution dans la mise en œuvre de protocoles d'étude des collections d'art électronique, d'installations vidéo et de net art au Département de conservation-restauration du MNCARS', en *Art d'Aujourd'hui - Patrimoine de Demain. Conservation et Restauration des Oeuvres Contemporaines*, SFIIC, Paris (2009) 230-236.
- 6 Vanrell, A. 'Proyecto Inside Installations en América Latina. 1ª fase: difusión, preparación y puesta en marcha', en *Actas de las 10ª Jornadas de Conservación-Restauration del Grupo Español de Arte Contemporáneo del IIC-GEIIC*, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid (2009) 217-221.

- 7 Vanrell, A.; Baldomá G.; Muvich, V., 'Proyecto Inside Installations en América Latina. 2ª fase: aplicación, resultados y difusión', en *Actas de las 11ª Jornadas de Conservación-Restauración del Grupo Español de Arte Contemporáneo del IIC-GEIIC*, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid (2010) 15-26.
- 8 'Symposium: Contemporary Art: Who Cares? (2010)', en *INCCA*, <https://www.incca.org/events/symposium-contemporary-art-who-cares-2010> (acceso en 2017-1-7).
- 9 Vanrell, A., 'El (nuevo) papel del conservador restaurador en la conservación y comprensión de obras de nuevas tecnologías', en *Actas del Congreso GEIIC, (Grupo Español del Instituto Internacional de Conservación)*, GEIIC, Madrid (2009) 371-377.
- 10 Vanrell, A., 'La documentation des installations d'art. La conservation des œuvres à travers leur compréhension', en *Enjeux et Pratiques Documentaires en Conservation-Restoration. Perspectives pour la Recherche*, ARAAFU, Paris (2010).
- 11 Mayer-Schönberger, V.; Cukier, K., *Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work, and Think*, Houghton Mifflin Harcourt, Boston (2013).
- 12 Vanrell, A., 'Nuevas estrategias para la conservación de colecciones de arte con elementos tecnológicos: Propuestas metodológicas de humanidades digitales', tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid, Madrid (2015), <http://eprints.ucm.es/33204/>.
- 13 *The Baroque Art Project: A Data Collection of Hispanic Baroque Painters and Paintings from 1550 to 1850*, CulturePlex, <http://baroqueart.cultureplex.ca> (acceso em 2017-01-07).
- 14 Ander-Egg, E., *Técnicas de Investigación Social*, 24.ª ed., Lumen, Buenos Aires (1995).
- 15 Novak, J. D.; Gowin D.; Otero, J. *Aprendiendo a Aprender*, Martínez Roca, Barcelona (1988).
- 16 Sancho, F., 'Bases de datos en grafo', en *Fernando Sancho Caparrini*, <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=79> (acceso en 2017-1-7).
- 17 Sancho, F., 'Topics Navigator', en *Fernando Sancho Caparrini*, <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=40> (acceso en 2017-1-7).
- 18 Mathieu, B.; Sébastien, H.; Mathieu J., 'Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks', en *The Third Annual Conference on Weblogs and Social Media*, ICWSM, San José (2009) 361-362, <https://aaai.org/ocs/index.php/ICWSM/09/paper/view/154> (acceso en 2013-12-5).

Recibido: 2016-11-30

Revisto: 2018-1-7

Aceptado: 2018-3-19

Online: 2018-5-3



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.

A cultura material do laboratório da Alfândega de Lisboa

Ignacio Suay-Matallana 

Departamento de Salud Pública, Historia de la Ciencia y Ginecología, Universidad Miguel Hernández, Campus de Sant Joan, 03550, Alicante, España
lsuay@umh.es

Resumo

Este trabalho apresenta a coleção de instrumentos científicos do laboratório da Alfândega de Lisboa, criado em 1887. Trata-se de uma coleção peculiar e valiosa, já que pertence a uma instituição relacionada com a economia (não com o ensino ou a investigação), apresenta-se em bom estado de conservação e há poucos exemplos parecidos na Europa. A coleção foi recentemente inventariada e este trabalho mostra alguns resultados preliminares relacionados com o contexto histórico e institucional do laboratório, o estado e a localização da coleção, bem como com o tipo de instrumentos existentes e o seu país de fabrico. Por isso, espera-se que este trabalho sirva para dar a conhecer a coleção a um grupo mais amplo de profissionais e que promova a realização de novos estudos no âmbito da história da ciência, do património e da museologia.

Palavras-chave

Instrumentos científicos
Cultura material
Química
Alfândega
Laboratório
Lisboa

The material culture of the customs laboratory of Lisbon

Abstract

This work presents the scientific instruments collection of the customs laboratory of Lisbon, created in 1887. It is a peculiar and valuable collection, since it is part of an institution related to the economy (not with teaching or research), it is in good conservation, and there are few similar examples in Europe. The collection has been recently inventoried, and this work shows some preliminary results related to the historical and institutional context of the laboratory, the state and location of the collection, as well as the kind of instruments conserved and their country of production. Therefore, it is expected that this work will contribute to show this collection to a wider group of professionals, and to promote further studies within the framework of the history of science, heritage and museology.

Keywords

Scientific instruments
Material culture
Chemistry
Customs
Laboratory
Lisbon

ISSN 2182-9942



Introdução

O património científico, apesar de ser pouco conhecido, é uma parte fundamental do património cultural. Este património, segundo a Carta do Rio de Janeiro sobre o Património Cultural da Ciência e Tecnologia aprovada em 2017, inclui artefactos, construções humanas e paisagens naturais, locais de observação do céu nocturno, observatórios astronómicos e geofísicos, estações meteorológicas e agronómicas, laboratórios, museus, jardins botânicos e zoológicos, e, inclusivamente, locais utilizados ou construídos com a finalidade de sediar experiências, conservar colecções científicas, promover a aprendizagem e a troca de ideias, desenvolver e produzir instrumentos, máquinas e processos relacionados com o desenvolvimento tecnológico, públicos ou privados [1]. Ou seja, é composto por uma grande variedade de espaços, colecções, instrumentos, objectos e documentos que não só estão preservados em museus mas também em laboratórios, antigos liceus, universidades e centros de pesquisa [2]. Um bom exemplo disto encontra-se na Universidade de Coimbra, com o seu valioso Gabinete Pombalino de Física (século XVIII), e na antiga Escola Politécnica de Lisboa que contém um interessantíssimo laboratório e *amphiteatro de chimica* do século XIX [3-4].

No entanto, outras instituições portuguesas – como a Autoridade Tributária e Aduaneira do Ministério das Finanças — também conservam um valioso património histórico que vale a pena conhecer e estudar. Este património inclui quer um magnífico acervo artístico, arquivístico e documental, quer edifícios monumentais (alguns deles, como a Alfândega do Porto, convertidos em museus) e importantes colecções de instrumentos científicos.

A colecção histórica do laboratório aduaneiro

Actualmente, o laboratório aduaneiro denomina-se Laboratório da Direcção de Serviços Técnicos, Análises e Laboratório (Laboratório da DSTAL) e localiza-se, desde a sua criação, no Terreiro do Trigo, em Lisboa. O grandioso monumento pombalino em que se encontra, devido ao seu grande tamanho e à sua localização preferente junto ao antigo porto de Lisboa, acolheu a Alfândega de Lisboa, o antigo Mercado Central de Produtos Agrícolas e a Direcção-Geral dos Serviços Florestais e Agrícolas (Figura 1). Até 2011 o seu nome oficial era Laboratório da Direcção-Geral das Alfândegas e dos Impostos Especiais



Figura 1. Entrada do edifício pombalino do Terreiro do Trigo, sede do laboratório da alfândega desde 1887.

sobre o Consumo (Laboratório da DGAIEC). Antes de 1911 era o Laboratório da Inspeção Geral do Serviço Técnico das Alfândegas e entre 1911 e 2011 chamava-se Laboratório da 3.^a Repartição da Direcção-Geral das Alfândegas [5]. Possivelmente devido à estabilidade institucional, bem como ao interesse dos seus funcionários em preservá-lo, o laboratório aduaneiro tem conservado grande parte do seu acervo histórico. Deste espólio faz parte uma numerosa colecção de livros científicos – muitos deles tratados franceses de química do século XIX – que se encontra na biblioteca aduaneira, mantendo estas obras o carimbo original que indica a sua pertença ao laboratório. Por outro lado, o laboratório foi acumulando progressivamente uma rica colecção de instrumentos científicos até agora quase desconhecida.

No século XIX produziu-se uma progressiva institucionalização da ciência, que, entre outras questões, implicou a criação de novas regulações e espaços para controlar a circulação e venda de alimentos, mercadorias e diversos produtos. Um exemplo desses espaços são os numerosos laboratórios municipais que foram criados em diferentes cidades europeias, centrados na análise de alimentos e bebidas e os laboratórios aduaneiros para a inspeção de mercadorias e a análise de uma grande variedade de produtos, com o fim de determinar o seu valor e aplicar os impostos ou direitos aduaneiros correspondentes [6]. Depois das reformas liberais da década de 1830, as alfândegas, vinculadas tradicionalmente ao Erário Régio, passam a fazer parte das políticas económicas criadas pela nova Fazenda Pública [7]. Estes espaços administrativos converteram-se em ferramentas importantes da política económica, para estimular a economia nacional, regular o comércio externo e participar na política industrial. As reformas das décadas de 1860 e 1880 contribuíram para modernizar o funcionamento das alfândegas, melhorar as regras e estabelecer novos controlos sobre as mercadorias importadas [8].

As instituições aduaneiras precisaram de desenvolver novos espaços e práticas de inspeção nos quais a química desempenhou um papel importante. Na década de 1880 a praga da filoxera afectou profundamente as vides francesas reduzindo a sua produção de vinho e aumentando a procura de vinho procedente de Itália, Espanha e Portugal. Estes países nem sempre exportaram vinhos de qualidade suficiente, pelo que os mercados receptores começaram a exigir mais controlos para assegurar a sua qualidade, criando-se assim, oficialmente, no ano de 1887, um laboratório no Conselho Superior das Alfândegas, adstrito à repartição de inspecção-geral do serviço *technico* [9].

Desde sua fundação em 1887, o laboratório aduaneiro adquiriu um papel crescente no contexto político português. Isto ficou a dever-se à sua utilidade para aumentar a receita fiscal do país, mas também ao prestígio dos seus funcionários e dos seus primeiros responsáveis, Fernando Mattoso dos Santos e Karl von Bonhorst. Ambos foram peritos que combinaram a

sua actividade no laboratório durante mais de vinte anos com o seu trabalho como professores no Instituto Comercial e Industrial e na Escola Industrial; tiveram também uma grande autoridade científica e social, que contribuiu para consolidar o laboratório e facilitou a sua integração nas redes científicas portuguesas e no ensino industrial. Os dois responsáveis pelo laboratório da alfândega publicaram diversos artigos e monografias sobre questões aduaneiras: por exemplo, o *Relatório do Inspector-geral do Serviço Técnico 1889* (Imprensa Nacional, 1892), de Mattoso dos Santos, que serviu de guia para o trabalho realizado pelos funcionários aduaneiros nos anos seguintes; ou os trabalhos de Von Bonhorst na Comissão Technica dos Methodos Chimico-analyticos (criada em 1895), que contribuíram para a uniformização dos trabalhos laboratoriais em Portugal.

No serviço técnico das alfândegas e no laboratório aduaneiro não só trabalhavam químicos e analistas, como também outros técnicos especializados: os verificadores. A maioria dos reconhecimentos de produtos realizados pelos verificadores eram inspecções visuais (relacionadas com o conhecimento tácito), mas por vezes podiam usar alguns instrumentos simples como, por exemplo, alcoolímetros de Delaunay ou ebuliómetros de Salleron para a determinação do grau alcoólico dos vinhos [10]. É por isso que o laboratório da alfândega também se encarregou de fornecer, rectificar e aferir os instrumentos e aparelhos científicos usados pelos verificadores das diferentes alfândegas. Nestes casos era fundamental estabelecer procedimentos padronizados que fossem aplicados da mesma forma em cidades distintas, com o objectivo de facilitar o trabalho, aumentar a rapidez e eficácia do serviço e reduzir as possíveis disputas e controvérsias. Estes esforços de standardização foram resultado de regulamentos oficiais, de iniciativas institucionais e também de instruções internas nas quais se explicava a forma de usar os instrumentos. Esta standardização também foi realizada com procedimentos menos formais, como, por exemplo, as publicações dos membros do laboratório em revistas dirigidas aos funcionários da alfândega e a outras pessoas dedicadas ao comércio. Um exemplo destes trabalhos são as *Instruções para o emprego fiscal de vinometro capillar de tubo inclinado de Delaunay*, de Mattoso dos Santos, ou os artigos *Analyse das substancias gordas por meio da refração da luz* e *Apontamentos para a investigação das fibras têxteis e tecidos* que Von Bonhorst publicou na *Revista das Alfândegas*. As explicações incluídas nestas revistas serviam para que os cientistas preparassem instruções específicas que padronizassem a recolha das amostras e estabelecessem redes de confiança (“networks of trust”) entre o laboratório e as pessoas que trabalhavam nos portos e nos armazéns portuários, para reduzir as controvérsias [11].

No âmbito da minha investigação de pós-doutoramento, fiz um inventário preliminar da colecção de instrumentos científicos existente no laboratório aduaneiro [12]. O inventário começou com um estudo *in situ* das peças que

foram medidas, fotografadas, examinadas e etiquetadas e foi complementado com pesquisa documental e entrevistas a funcionários da alfândega. Fruto desse trabalho, inventarei 217 peças e preparei uma colecção digital de fotografias e uma ficha completa para cada peça (sob a forma de um documento Excel) (Figura 2). A informação do inventário inclui os dados referentes à designação de cada instrumento, a referência atribuída (com o acrónimo LAL, de Laboratório da Alfândega Lisboa, seguido de três algarismos), os materiais que o compõem, as dimensões, a localização no laboratório, o fabricante (quando é conhecido), uma breve descrição da peça, o estado de conservação e algumas observações do estado de conservação (para a normalização e controlo terminológico dos nomes dos instrumentos utilizou-se o *Thesaurus de Acervos Científicos em Língua Portuguesa* e para a identificação de muitos instrumentos e fabricantes a *Webster Signature Database* [13-15]). Seria sem dúvida ideal que o levantamento preliminar da colecção contribuisse para a valorização das colecções científicas aduaneiras de Portugal. Neste sentido, o levantamento indicado pode servir de ponto de partida para um estudo mais aprofundado que possa contextualizar esta colecção na história social, económica e científica portuguesa, dando a conhecer o património aduaneiro conservado pela Autoridade Tributária e Aduaneira do Ministério das Finanças de Portugal.

Como foi indicado, a colecção histórica do laboratório conserva 217 peças, que, em parte, têm sido preservadas

graças à sensibilidade histórica e ao interesse por conservar o património aduaneiro demonstrado pela antiga directora deste laboratório, a Dra. Manuela Costa. Os objectos de maior valor encontram-se protegidos num grande armário de madeira e vidro situado à entrada do laboratório; outros instrumentos estão no corredor das 4.^a e 5.^a salas e outros, mais pequenos, guardam-se numa gaveta na 2.^a sala do laboratório (Figuras 3 e 4). A colecção encontra-se num estado de conservação aceitável e alguns instrumentos são ocasionalmente ainda utilizados. Apesar de acessível, a pedido, para fins de investigação, a colecção não possui legendas ou painéis identificativos ou interpretativos, sendo difícil o acesso ao público em geral.

Os instrumentos científicos do laboratório

A colecção pode ser dividida em cinco grupos de objectos: areómetros, balanças e massas, instrumentos de análises químicas, aparelhos de vidro e, finalmente, material diverso. Os objectos mais abundantes (94) são os areómetros, utilizados para determinar a densidade de líquidos. Isto explica-se pela utilidade destes instrumentos na determinação da percentagem alcoólica dos vinhos, licores e aguardentes. Estes produtos constituíam uma das exportações mais importantes de Portugal e os seus impostos estavam relacionados com o grau alcoólico. Para



Figura 2. Exemplo de duas fichas de instrumentos científicos do inventário da colecção aduaneira.



Figura 3. Armário com instrumentos científicos históricos conservados à entrada do laboratório aduaneiro de Lisboa.

além disso, também se conservam outros areómetros concebidos especialmente para analisar outros produtos como vinagre, azeite, óleo, ácido e leite.

Também existem 11 massas e 12 balanças, algumas delas utilizadas em inspecções de produtos específicos como têxteis, bem como uma balança com pesos de latão para algodão, lã e linho. Adicionalmente, conservam-se cinco balanças de Mohr-Westphal (ou hidrostáticas, utilizadas para determinar a densidade de líquidos e sólidos, baseadas no princípio de Arquimedes), quatro balanças de Roberval (com dois pratos mantidos sempre na horizontal para que o equilíbrio não seja afectado pela posição das cargas) e uma balança analítica ou de ensaio para as pesagens de maior precisão.

O terceiro grupo de objectos consiste em instrumentos científicos muito especializados. Um exemplo são os cinco ebuliómetros de Malligand (utilizados para determinar a percentagem de álcool em bebidas alcoólicas), os cinco microscópios – um deles de aquecimento (que permite observar, durante o aquecimento, as mudanças de fase) — os dois viscosímetros de Engler e o viscosímetro de Redwood (utilizados para determinar a viscosidade relativa de óleos lubrificantes, petróleos, gasolinas, etc.), o aparelho de Pensky-Martens (que mede o ponto de fulgor de uma

substância, geralmente de um óleo), o colorímetro de Duboscq (para medir a concentração de uma substância em solução) e uma lâmpada de Wood (que permita aproveitar a luminescência ou capacidade que algumas substâncias têm de emitir luz). Neste grupo, destacam-se outros instrumentos pouco frequentes em laboratórios mais gerais e que têm um grande valor histórico, já que foram concebidos especificamente para laboratórios aduaneiros. Um exemplo é o aparelho de determinação do ponto de inflamação (para a determinação do ponto de inflamação do petróleo) que tem uma inscrição na qual se indica que é um instrumento modelo do Ministério das Finanças de França, e um hidrómetro de metal (utilizado para determinar a densidade ou peso específico dos líquidos com grande precisão) que indica que foi fabricado por uma encomenda da autoridade aduaneira do Reino Unido.

Para além disso, conservam-se 14 objectos diversos de vidro, como dois tubos de ensaio, três buretas, três aparelhos de Kipp (usados para preparar pequenos volumes de gases), duas provetas, dois recipientes florentinos (usados para separar líquidos de densidades diferentes), dois frascos de Woulfe (utilizados para reacções químicas com gases), um matraz de destilação e um esguicho de água. Alguns destes instrumentos



Figura 4. Instrumentos com materiais diversos no corredor da 5.^a sala do laboratório aduaneiro de Lisboa.

têm um grande valor histórico devido à fragilidade do material e ao facto de a sua condição de objecto de uso quotidiano não facilitar a sua preservação em colecções semelhantes.

Finalmente, existe um último grupo de instrumentos diversos, alguns deles de uso científico, como termómetros, um destilador de água, uma centrífuga, um almofariz, uma prensa de rollas (ou lagarto), um moedor triturador ou um armário com reagentes e narcóticos; e outros que são exemplo do carácter oficial e administrativo do laboratório como um estandarte com bandeira da alfândega, um selo branco e duas máquinas de escrever.

O estudo da tipologia dos instrumentos que integram esta colecção ajuda a conhecê-la muito melhor, contribui para a sua preservação e facilita futuros estudos comparados com outras colecções semelhantes. No entanto, este trabalho também tem ajudado a mostrar como cada instrumento tem sua própria história individual que se pode ligar a algumas das práticas descritas nos documentos históricos indicados anteriormente. Um exemplo disso é a existência de uma balança de Roberval que ainda conserva seu antigo carimbo de chumbo de aferimento para indicar que foi revista e padronizada no laboratório aduaneiro (Figura 5). Outro exemplo é o de uma caixa de amostras de produtos vegetais

procedente da Alemanha que conserva no seu interior um documento dactilografado em português (Figura 6). Muito possivelmente este texto era utilizado para identificar as amostras, não só pelos cientistas do laboratório, mas também por outros funcionários da alfândega – como os verificadores — com menores conhecimentos técnicos e de línguas.

Para um estudo mais detalhado da colecção seria necessário contar com as facturas de compra dos instrumentos, as quais também ajudariam a datá-los com mais precisão. No entanto, foi possível identificar os países de fabrico de 45 instrumentos, o que também pode ajudar a agrupá-los em três períodos de tempo. Os países de fabrico dos instrumentos mais representados na colecção são a França e a Alemanha. Foram identificados 18 instrumentos franceses e 14 instrumentos alemães (Tabela 1). Muito provavelmente a maioria de instrumentos franceses foi comprada na primeira etapa de funcionamento do laboratório (as décadas de 1880 e 1890), enquanto a maioria dos instrumentos alemães se juntou à colecção durante a reordenação do laboratório (entre 1911 e a década de 1920). Esta ideia encaixa também com a evolução geral da indústria de instrumentos à escala internacional, já que desde finais do século XIX o prestígio dos instrumentos científicos



Figura 5. Balança de Roberval (referência LAL-071) (a) com carimbo de chumbo a indicar que foi revista e padronizada (b).

fabricados na Alemanha aumentou significativamente e estes substituíram progressivamente os elaborados pelos fabricantes franceses no mercado internacional [16]. Para além dos instrumentos procedentes desses países, outros instrumentos entraram na colecção, em momentos diferentes, provenientes de lugares como o Reino Unido, Espanha, Estados Unidos, Itália e República Checa (Tabela 1). Além disso, há também dois instrumentos fabricados em Portugal: um é da empresa Wulkex – especializada em vidraria e aparelhos científicos normalizados — e o outro é um instrumento oficial, um selo branco com o carimbo oficial do laboratório e a inscrição “CASA DA MOEDA MOD. 1949”, fabricado pela Casa da Moeda de Portugal.

Considerações finais

Sem dúvida, esta colecção de instrumentos científicos tem um grande valor histórico e constitui um excepcional exemplo da cultura material dos laboratórios aduaneiros a nível internacional, já que existem pouquíssimas colecções semelhantes. Mesmo em Portugal só existe uma pequena exposição de lanternas, máquinas de escrever, balanças, relógios, seladores e outros objectos técnicos no

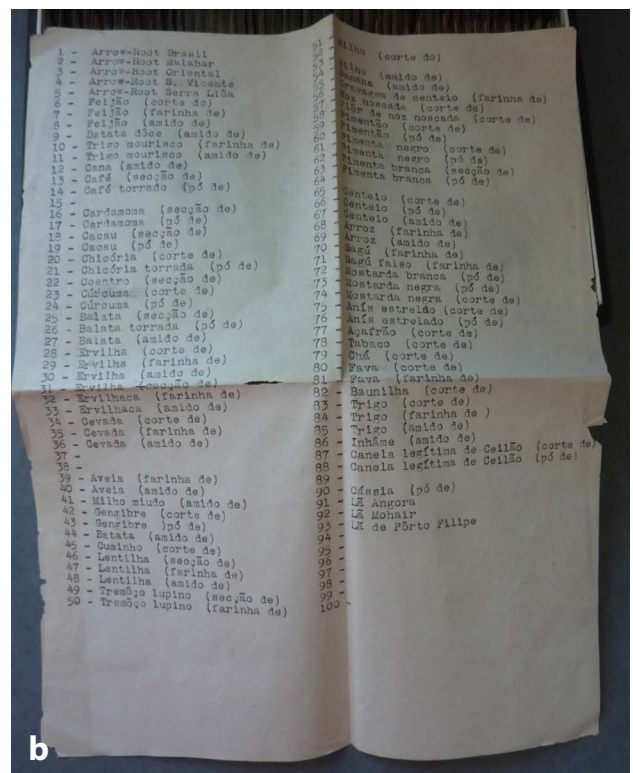


Figura 6. Caixa com 93 amostras de produtos vegetais (referência LAL-054) (a); inclui um documento dactilografado em português para identificar as amostras (b).

Tabela 1

Países e fabricantes dos instrumentos científicos da Alfândega de Lisboa

País	Número de instrumentos	Fabricantes
França	18	Alvergiat, Béénévolo, Bourdon, Breguet, Brewer, C.F., Collardeau, Exupere, Fontaine, Frères, L.E., Laurent, Luchaire, Maison Beranger, Mesoi, Nacet, Pellet, Salleron, Salleron-Dujardin
Alemanha	14	Bayer, Carl Zeiss, Dr. Vogel, F.H.L., Franz Hugershoff, G. Westphal, Gleichstrom Wechselstrom, Hugershoff, Möller, Leitz Wetzlar, Paul Bunge, Physikalisch-Technische Reichsanstalt e TLMGa
Reino Unido	5	Baird & Tatlock, Beckman, Dring & Fage, Geo Thomas & CO e Imperial
Espanha	2	Calafat e P. Selecta
Estados Unidos	2	Beckman e Pyrex
Portugal	2	Wulke e Casa da Moeda
Itália	1	Ulsol
República Checa	1	Moravia

Museu dos Transportes e Comunicações da Alfândega do Porto [7]. Quanto ao estrangeiro, só é possível encontrar alguns instrumentos antigos dispersos em laboratórios aduaneiros regionais de países como Espanha e Itália [17]. No Science Museum, de Londres, no período de 1964-1999 existia uma galeria dedicada à química que incluía a reprodução de quatro laboratórios, um deles o laboratório aduaneiro britânico. Este espaço foi reorganizado, com a intenção de modernizá-lo e melhorar a interactividade do museu, pelo que actualmente só se mostram alguns instrumentos aduaneiros [18].


Os arquivos, colecções e gabinetes científicos não estão em risco só pela sua localização fora de museus ou colecções conhecidas e vigiadas por responsáveis pelo património; também estão ameaçados pelas catástrofes naturais e outros sinistros causados pelo homem que exigem protocolos especiais de preservação, conservação e restauro [19]. Segundo os trabalhos das professoras Marta Lourenço e Ana Carneiro, o património científico português precisa de estratégias renovadas para o seu estudo e preservação que podem ser agrupadas em cinco eixos: *a)* sensibilização e debate; *b)* levantamento nacional; *c)* plano de salvaguarda; *d)* inventário nacional; *e)* acompanhamento e monitorização [20]. O estudo da cultura material do laboratório da Alfândega de Lisboa realizado neste artigo apenas é uma pequena contribuição para essa estratégia, mas pode ajudar na elaboração de novos estudos multidisciplinares que integrem a história científica, económica, política e administrativa de Portugal, com a museologia e a cultura visual. Em segundo lugar, esta valiosa colecção científica pode tornar-se conhecida dos cidadãos através de futuras publicações, informação *online*, folhetos e propaganda, e, através de exposição temporária ou da sua integração noutros fundos históricos museológicos da Autoridade Tributária e Aduaneira e do Ministério das Finanças de Portugal, poderá ser apreciada por visitantes nacionais e estrangeiros.

Agradecimentos

Agradeço muito a colaboração e interesse mostrado pela antiga chefe de serviços do laboratório aduaneiro, Manuela Costa, bem como a ajuda de Maria Isabel Silva, técnica superior do Ministério das Finanças, e de Carlota Moura, da biblioteca da mesma instituição. Agradeço também o apoio de Marta C. Lourenço, subdirectora do Museu Nacional de História Natural e da Ciência, e de Ana Pascoal e Eugénia Silva. Agradeço também a Rita Custódio pela cuidada revisão linguística do artigo. Esta pesquisa foi desenvolvida, com apoio da Universidade Miguel Hernández, no seguimento dos projectos “Experts, Institutions and Globalization (EIG)” (UID/HIS/00286/2013) e “Visions of Lisbon” (PTDC/IVC-HFC/3122/2014), do governo português, e do projecto “Vivir en un mundo tóxico” (HAR2015-66364-C2-2-P), do governo espanhol.

ORCID

Ignacio Suay-Matallana

 <https://orcid.org/0000-0003-0443-9427>

Referências

- 1 ‘Carta do Rio de Janeiro’ (2017), in *MAST*, Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro, <http://www.mast.br/index.php/ultimas-noticias/603-carta-do-riode-janeiro-sobre-patrimonio-cultural-da-ciencia-e-tecnologia.html> (acesso em 2018-1-10).
- 2 Araújo, B. de; Granato, M., ‘Entre o esquecer e o preservar: a musealização do Património Cultural da Ciência e Tecnologia’, in *Cadernos do Patrimônio da Ciência e Tecnologia: Instituições, Trajetórias e Valores*, ed. M. Granato, E. Ribeiro & B. de Araújo, Museu de Astronomia e Ciências Afins, Rio de Janeiro (2017) 231-253, http://site.mast.br/hotsite_cadernos_do_patrimonio_da_ciencia_e_tecnologia/index.html (acesso em 2018-1-10).
- 3 Pereira, G. G., ‘A reorganização do Museu Pombalino de Física da Universidade de Coimbra por Mário Augusto da Silva’, *Conservar Património* **26** (2017) 23-36, <https://doi.org/10.14568/cp2017007>.
- 4 Lourenço, M. C. (ed.), *O Laboratorio Chimico da Escola Politécnica de Lisboa. História, Colecções, Conservação e Musealização*, Museus da Universidade de Lisboa, Lisboa (2013).

- 5 Costa, M., 'O laboratório aduaneiro. O "braço científico" das alfândegas', *Alfândega – Revista Aduaneira* **67** (2009) 7-13.
- 6 Suay-Matallana, I., 'Customs laboratories, chemistry and excise: an historical introduction', *World Customs Organization News* **77** (2015) 34-37.
- 7 Alves, J. F., *Metamorfoses de um Lugar. De Alfândega Nova a Museu dos Transportes e Comunicações*, Museu dos Transportes e Comunicações, Porto (2006).
- 8 Vieira, A. N. S., *O Serviço Aduaneiro Metropolitano*, Imprensa Nacional, Luanda (1956).
- 9 'Decreto aprovando a organização das alfândegas, e do serviço marítimo da esquadilha fiscal', *Diário do Governo* **14** (1887-1-18).
- 10 'Portaria determinando quais os instrumentos e aparelhos que devem ser usados no serviço das verificações aduaneiras', *Diário do Governo* **236** (1888-10-15).
- 11 Livingstone, D. N., *Putting Science in its Place. Geographies of Scientific Knowledge*, University of Chicago Press, Chicago (2003).
- 12 Suay-Matallana, I., 'Inventário da colecção histórica de instrumentos científicos do Laboratório da Alfândega de Lisboa', documento, CIUHCT-Universidade Nova de Lisboa (2017).
- 13 *Thesaurus de Acervos Científicos em Língua Portuguesa*, <http://thesauronline.museus.ul.pt> (acesso em 2018-1-10).
- 14 *Webster Signature Database*, <http://historydb.adlerplanetarium.org/signatures/> (acesso em 2018-1-10).
- 15 Bertomeu-Sánchez, J. R.; García-Belmar, A. (ed.), *Abriendo las Cajas Negras. Colección de Instrumentos Científicos de la Universitat de València*, Universitat de Valencia, Valencia (2002).
- 16 Lourenço, M. C.; Sousa, J. P. "'Time capsules" of science: museums, collections, and scientific heritage in Portugal', *Isis* **108**(2) (2017) 390-398, <https://doi.org/10.1086/692690>.
- 17 'La storia dei laboratori chimici', in *Agenzia delle Dogane e dei Monopoli*, Roma, <https://www.agenziadoganemonopoli.gov.it/portale/-/la-storia-dei-laboratori-chimici> (acesso em 2018-01-10).
- 18 Morris, P., 'The image of chemistry presented by the Science Museum, London in the twentieth century: an international perspective', *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry* **12**(2) (2006) 215-239, https://doi.org/10.1142/9789812775856_0012.
- 19 Casanova, M. C. L., 'Mudança de paradigma na conservação e restauro após a catástrofe: o caso de estudo dos documentos gráficos', *Conservar Património* **25** (2017) 15-22, <https://doi.org/10.14568/cp2016034>.
- 20 Lourenço, M. C.; Carneiro, A. 'A propósito do Laboratório Químico do Museu de Ciência da Universidade de Lisboa: algumas reflexões sobre o património científico em Portugal', *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química* **103** (2006) 63-70.

Recebido: 2018-1-15

Revisto: 2018-3-12

Aceite: 2018-4-2

Online: 2018-6-3



Licenciado sob uma Licença Creative Commons
Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional.
Para ver uma cópia desta licença, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt>.

Normas para os autores

Princípios éticos
Tipos de manuscritos
Manuscritos
Referências bibliográficas
Submissão dos manuscritos
Avaliação dos manuscritos
Direitos

<http://revista.arp.org.pt/pt/normas.html>

Guidelines for authors

Ethical guidelines
Types of collaboration
Manuscripts
References
Submissions
Refereeing
Rights

<http://revista.arp.org.pt/en/normas.html>

