



CONSERVAR PATRIMÓNIO

ARP · Associação Profissional
de Conservadores-Restauradores
de Portugal
conservarpatrimonio.pt

Rua Fialho de Almeida,
n.º 14 – 2.º Esq.
1070-129 Lisboa

Quadrimestral
Triannual
Reg. 127342

Setembro
September
2022

41



Fotografia da capa Cover photograph

O ataúde egípcio do Museu Arqueológico do Carmo: estudo material e técnico, pp. 95-116.

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.



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>

FICHA TÉCNICA · JOURNAL INFORMATION

CONSERVAR PATRIMÓNIO

Revista académica com avaliação por pares

Academic peer-reviewed journal

Edição *Publisher*

Associação Profissional de Conservadores-Restauradores de Portugal (ARP)

Rua Fialho de Almeida, n.º 14, 2.º esq., 1070-129 Lisboa, Portugal

NIPC VAT registration number n.º 503 602 981

Periodicidade *Frequency*

Quadrimestral *Triannual*

Registo ERC

127342

ISSN

2182-9942 edição digital *digital edition*

DOI

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

Directora *Director*

ELIN FIGUEIREDO

Directores-adjuntos *Co-directors*

ANA CLARO

ANA ZÉLIA MILLER

SÍLVIA O. SEQUEIRA

TIAGO MIGUEL FERREIRA

Assistente editorial *Editorial assistant*

SALIMA REHEMTULA

Paginação *Page design*

ANA CLARO

ELIN FIGUEIREDO

SÍLVIA O. SEQUEIRA

EDITORES, COMISSÃO DE REDACÇÃO E CONSELHO EDITORIAL EDITORS, COPY EDITING BOARD AND EDITORIAL BOARD

Editores-chefes *Editors-in-chief*

ELIN FIGUEIREDO

Investigadora Auxiliar, Centro de Investigação de Materiais,
Instituto de Nanoestruturas, Nanomodelação e Nanofabricação (CENIMAT/i3N),
Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

SÍLVIA O. SEQUEIRA

Investigadora, LAQV-Requimte | CHARM – Cultural Heritage and
Responsive Materials, FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

TIAGO MIGUEL FERREIRA

Professor Auxiliar, University of the West of England – UWE Bristol, Reino Unido
Professor Auxiliar Convidado, University of Coimbra, Portugal

ANA CLARO

Investigadora Integrada, CHAM – Centro de Humanidades, Faculdade
de Ciências Sociais e Humanas, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

Editoras associadas *Associate editors*

ALEXANDRA RODRIGUES

Investigadora, VICARTE (Vidro e Cerâmica para as artes), Universidade NOVA de Lisboa,
Portugal

ÂNGELA FERRAZ

Museóloga, Tikva Museu Judaico Lisboa, Portugal
Professora Auxiliar Convidada, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade
NOVA de Lisboa, Portugal
Investigadora, Centro de Tecnologia, Restauro e Valorização das Artes (Techn&Art),
Instituto Politécnico de Tomar, Portugal

CRISTIANA NUNES

Investigadora Associada, Instituto de Teoria e Mecânica Aplicada da Academia de Ciências
da Republica Checa, Praga, República Checa

EVA MARIASOLE ANGELIN

Investigadora, Departamento de Ciências da Conservação, Deutsches Museum, Munique,
Alemanha

MÁRCIA ALMADA

Professora Associada, CECOR – Centro de Conservação-Restauro de Bens Culturais,
Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

MARIA JOÃO FERREIRA

Investigadora, CHAM – Centro de Humanidades, FCSH, Universidade NOVA de Lisboa,
Lisboa, Portugal
Técnica Superior, Museu de São Roque, Lisboa, Portugal

MARIA JOÃO FURTADO

Conservadora-restauradora & Técnica do Laboratório de Estudos Materiais,
Departamento de História de Arte, University College London, Bloomsbury - Londres,
Reino Unido

MATHILDA LARSSON COUTINHO

Investigadora, Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Portugal

THIAGO SEVILHANO PUGLIERI

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

VALENTINA PINTUS

Investigadora, Institute for Natural Sciences and Technology in the Arts – Academy of Fine
Arts Vienna, Austria

EDITORES, COMISSÃO DE REDACÇÃO E CONSELHO EDITORIAL
EDITORS, COPY EDITING BOARD AND EDITORIAL BOARD

Conselho editorial *Editorial board*

ANA ZÉLIA MILLER

Investigadora Auxiliar, IRNAS-CSIC, Sevilha, Espanha
Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Portugal

ANDRZEJ KADŁUCZKA

Professor Architect, Institute of History of Architecture and Preservation of Monuments,
Faculty of Architecture, Krakow University of Technology, Poland

CESÁREO SAIZ-JIMENEZ

Profesor de Investigación, Instituto de Recursos Naturales
y Agrobiología de Sevilla – Consejo Superior de Investigaciones
Científicas (IRNAS-CSIC), Sevilha, España

CHRISTIAN DEGRIGNY

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

M.^a JOSÉ GONZÁLEZ LÓPEZ

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

MÁRIO MENDONÇA DE OLIVEIRA

Professor, Universidade Federal da Bahia, Brasil

MATHIEU THOURY

Researcher, IPANEMA, CNRS, Ministère de la Culture
et de la Communication, Université de Versailles
Saint-Quentin-en-Yvelines, Université Paris-Saclay, France

NICOLA MASINI

Research Director and Deputy Director of CNR,
Institute of Heritage Science, Baragiano Scalo, Italy

ROSÁRIO VEIGA

Investigadora Principal com Habilitação para Coordenação Científica,
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal

SALVADOR MUÑOZ VIÑAS

Profesor, Universitat Politècnica de València, España

TOM LEARNER

Head of Science, Getty Conservation Institute, USA

VÍTOR SERRÃO

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

EDITORES, COMISSÃO DE REDACÇÃO E CONSELHO EDITORIAL EDITORS, COPY EDITING BOARD AND EDITORIAL BOARD

Comissão de redacção *Copy editing board*

ANA CLARO

Investigadora Integrada, CHAM – Centro de Humanidades, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

ELIN FIGUEIREDO

Investigadora Auxiliar, Centro de Investigação de Materiais, Instituto de Nanoestruturas, Nanomodelação e Nanofabricação (CENIMAT/i3N), Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

EMMANUELLE MEUNIER

Investigadora, Casa de Velázquez, EHEHI, Madrid, Espanha

GUILHERME PINHEIRO POZZER

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

ILENIA D'ANGELI

Investigadora, Italian Institute of Speleology, Bologna, Itália

JOSÉ CARLOS DOMINGUES

Investigador, Universidade de Coimbra, Portugal

LAURA MOURA

Investigadora, Museu Nacional de História Natural e da Ciência, Universidade de Lisboa, Portugal

NICASIO T. JIMÉNEZ-MORILLO

Investigador, MED, Laboratório HERCULES, Universidade de Évora, Portugal

RUI MAIO

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

SÍLVIA O. SEQUEIRA

Investigadora, LAQV-Requimte | CHARM – Cultural Heritage and Responsive Materials, FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Portugal

TERESA ALMEIDA

Professora Auxiliar, Faculdade de Belas Artes, Universidade do Porto, Portugal

A revista está indexada ou referenciada nas seguintes bases de dados bibliográficas internacionais:
The journal is abstracted or indexed in the following international bibliographic databases:

- AATA – *Abstracts of International Conservation Literature*, 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>
- CIRC – *Clasificación Integrada de Revistas Científicas*, EC3METRICS, <https://clasificacioncirc.es>
- Crossref, <http://www.crossref.org>
- *CWTS Journal Indicators*, Leiden University, <http://www.journalindicators.com>
- 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/publiseringsskanaler/erihplus/>
- *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>
- MIAR – *Matriz de Información para el Análisis de Revistas*, Universitat de Barcelona, <http://miar.ub.edu>
- *Microsoft Academic*, <https://academic.microsoft.com>
- *OpenAIRE – Open Access Infrastructure for Research in Europe*, <https://explore.openaire.eu>
- REDIB – *Red Iberoamericana de Innovación y Conocimiento Científico*, <http://www.redib.org>
- *Scimago*, <http://www.scimagojr.com>
- *Scopus*, Elsevier, <https://www.scopus.com>
- *Web of Science – Emerging Sources Citation Index (ESCI)*, Clarivate Analytics, <https://webofknowledge.com>

Artigos Articles

- 7 **MARIA TERESA FREIRE, ANTÓNIO SANTOS SILVA, MARIA DO ROSÁRIO VEIGA**
Caracterização de revestimentos de imitação de pedra em stucco-marmo com vista à sua preservação
Characterisation of stucco marble coatings towards their preservation
- 19 **CRISTINA MAYO CORROCHANO, DAVID SANZ ARAUZ**
Los morteros históricos del castillo de Cifuentes (Guadalajara, España)
As argamassas históricas do castelo de Cifuentes (Guadalajara, Espanha)
The historical mortars of the castle of Cifuentes (Guadalajara, Spain)
- 33 **KATRIN ALBERDI EGÜES**
Problemas y soluciones de conservación en las colecciones privadas: intervención en la colección propia del artista vasco Nestor Basterretxea
Problemas e soluções de conservação em coleções privadas: intervenção na coleção particular do artista basco Nestor Basterretxea
Conservation problems and solutions in private collections: intervention in the Basque artist Nestor Basterretxea's own collection
- 52 **NOELIA CERVERO SÁNCHEZ**
Public housing as urban heritage: experience and research approach in Spain
Habitação pública como património urbano: experiência e abordagem de investigação em Espanha
- 68 **MARÍA DEL CISNE AGUIRRE ULLAURI, MARTHA ROMERO BASTIDAS, JOHANNA RAMÍREZ BUSTAMANTE, EDISON CASTILLO CARCHIPULLA**
El ladrillo artesanal de Cuenca (Ecuador): una caracterización inicial en el marco patrimonial
O tijolo artesanal de Cuenca (Ecuador): uma caracterização inicial no contexto do património
The handmade brick of Cuenca (Ecuador): an initial characterisation within the heritage framework
- 95 **ISABEL POMBO CARDOSO, TERESA QUILHÓ, VICELINA SOUSA, SARA SANTANA DE SÁ, SUSANA FRANÇA DE SÁ, VERA MARTINS, CÉLIA PEREIRA, ROGÉRIO SOUSA**
O ataúde egípcio do Museu Arqueológico do Carmo: estudo material e técnico
The Egyptian coffin from the Archaeological Museum of Carmo: material and technical study

Intervenção Intervention

- 117 **SARA MOUTINHO, ANA VELOSA**
Caso experimental de intervenção de uma fachada de azulejos – Aveiro, Portugal
Case study of a tile facade intervention – Aveiro, Portugal

Caracterização de revestimentos de imitação de pedra em *stucco-marmo* com vista à sua preservação

Characterisation of stucco marble coatings towards their preservation

MARIA TERESA
FREIRE ^{1*} 
ANTÓNIO SANTOS
SILVA ² 
MARIA DO ROSÁRIO
VEIGA ² 

1. CERIS, Av. Rovisco Pais 1,
1049-001 Lisboa, Portugal
2. Laboratório Nacional de
Engenharia Civil, Av. do Brasil
101, 1700-066 Lisboa, Portugal
*mtfreire@gmail.com

Resumo

Os revestimentos de imitação de pedra em *stucco-marmo* constituem uma das técnicas decorativas mais representativas do período Barroco na Europa. Em Portugal, entre meados do século XVIII e meados do século XX, a sua utilização foi bastante mais frequente do que se pensava. A falta de informação relativa a estes revestimentos tem posto em perigo a sua preservação. Com vista a colmatar esta lacuna, foi feito um levantamento na literatura sobre a história e a terminologia associadas à técnica de *stucco-marmo*, identificaram-se alguns casos de estudo em Portugal e recolheram-se amostras, procedendo-se à sua caracterização mineralógica por difracção de raios X (DRX) e à determinação de algumas propriedades físicas e mecânicas, nomeadamente absorção de água por capilaridade e módulo de elasticidade dinâmico. Neste artigo, apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos, os quais permitiram concluir que a maioria das amostras é constituída por gesso e anidrite, possuindo características físicas e mecânicas muito semelhantes às dos materiais que pretendem imitar. Debatem-se, ainda, questões de terminologia. Pretende-se, assim, contribuir para a preservação destes revestimentos, de incalculável valor patrimonial.

Abstract

Stucco-marble is one of the most representative decorative techniques of the Baroque period in Europe. It intends to imitate stone architectural coatings. In Portugal, between the mid-18th century and the mid-20th century its use was much more frequent than previously thought. The lack of information regarding these coatings endangered their preservation. To fill this gap, a survey was made in the literature on the history and terminology related to stucco-marble and buildings where it was used were identified. Samples were collected and the mineralogical composition using x-ray diffraction (XRD) was determined. Physical and mechanical properties, namely capillary water absorption and dynamic modulus of elasticity, were also studied. In this paper, the results obtained are presented and discussed. They allowed concluding that most of the samples are made of gypsum-anhydrite plaster, with physical and mechanical characteristics very similar to those of the materials they intend to imitate. Terminology issues are also debated. This study aims at contributing to the preservation of a decorative technique of outstanding patrimonial value.

PALAVRAS-CHAVE

Revestimentos decorativos
Fingidos de pedra
Stucco-marmo
Gesso
Anidrite
Património arquitectónico

KEYWORDS

Decorative coatings
Imitation of stone
Stucco-marmo
Gypsum
Anhydrite
Architectural heritage

Introdução

O gesso e a cal foram amplamente usados no revestimento e decoração de edificações desde a Antiguidade, aplicados individualmente, ou em conjunto [1-2]. Ao longo dos tempos, o desenvolvimento de diferentes técnicas de aplicação e de misturas destes ligantes com outros materiais deram origem a uma enorme diversidade de resultados, tanto do ponto de vista estético, como mecânico e físico. A possibilidade de imitação de materiais mais nobres – pedra, madeira, tecido – constitui o melhor exemplo da sua infinita versatilidade [1-3].

No presente artigo é abordada a técnica do *stucco-marmo*, usada para a obtenção de revestimentos interiores decorativos de imitação de pedra, com base em gesso calcinado de elevada pureza e pigmentos amassados com “água de cola” (água à qual era adicionada uma cola de origem animal), de grande complexidade de execução e que dá origem a revestimentos de elevadíssima dureza e qualidade estética [1, 4-10]. A cola era obtida a partir da fervura maioritariamente de ossos, cartilagens e peles de animais, sendo os mais comuns os bovinos, coelhos e peixes. Tinha como funções principais retardar a presa do gesso, melhorar a sua resistência e dureza, através da redução da quantidade de água de amassadura necessária à preparação das pastas, e facilitar as operações finais de polimento das superfícies na fase final do endurecimento [4, 6, 8, 11].

A origem do *stucco-marmo* é atribuída à *scagliola*, uma técnica surgida no início do século XVI, em Florença, com o intuito de imitar a *pietre dure*, que consistia num trabalho de incrustação de pedras e outros materiais semi-preciosos, utilizado principalmente para decorar móveis e painéis, bem como criar imagens e desenhos na forma de quadros [12] (Figura 1). Na *scagliola* são usadas pastas coloridas, obtidas com gesso calcinado muito puro e pigmentos criteriosamente selecionados, sobre uma base também em gesso, onde são esculpidos os motivos a preencher com as diferentes cores. O polimento final do conjunto permite a integração de todos os elementos, eliminando completamente as juntas que os delimitam e criando superfícies de extrema beleza e perfeição, difíceis de distinguir do material que pretendem imitar. É actualmente uma técnica de execução extremamente cara e praticada por poucos profissionais [12] (Figura 1b). Concluindo, a diferença entre ambas as técnicas (*pietre-dure* e *scagliola*) reside apenas nos materiais utilizados.

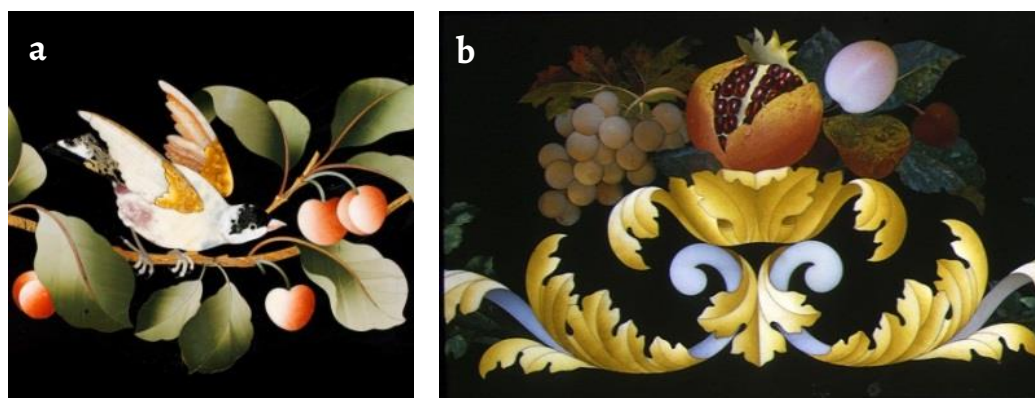


Figura 1. Exemplos de trabalhos em *pietre dure* (a) e *scagliola* (b) (imagens retiradas de [10]).

Já na *scagliola* e no *stucco-marmo* os materiais são os mesmos, mas usados de forma diferente. De facto, o *stucco-marmo* é um caso particular da técnica da *scagliola*, em que esta é usada para imitar pedras naturais, designando-se por *scagliola marmorizzata*, enquanto a imitação da *pietre dure* se designa por *scagliola intarsiata* [10]. Em Portugal, os elementos de imitação de pedra são comumente designados por *escaiolas*, independentemente de terem sido executados pela técnica de *stucco-marmo* ou pela técnica de *stucco-lustro* – pintura a óleo, ou a fresco, sobre uma camada fina de uma massa de cal [4] –, dando azo a alguns mal entendidos. Em intervenções de conservação e restauro, por exemplo, recorre-se muitas vezes a técnicas de pintura para

reparação e preenchimento de lacunas em elementos em *stucco-marmo*. Aparte questões de terminologia, sabe-se que o *stucco-marmo* foi proficuamente usado durante o período Barroco por toda a Europa, com especial ênfase no centro e no sul, e entre os séculos XVIII e XIX [1, 4, 8]. A origem desta técnica é habitualmente atribuída a mestres italianos que, em meados do século XVII, a teriam desenvolvido como resposta à falta de matéria-prima natural e a distâncias razoáveis de alguns locais [10, 13]. No entanto, esta afirmação é refutada por alguns autores, afirmando que os primeiros exemplos de *stucco-marmo* datam de finais do século XVI, encontrando-se na Munich Residenz, Palácio de Maximiliano I da Baviera, e cuja origem terá estado nas oficinas deste palácio [6-7]. Apesar de representativos de um período muito importante para as artes decorativas europeias, os revestimentos em *stucco-marmo* têm sido muito pouco estudados, sendo de realçar alguns trabalhos de levantamento histórico, técnico e artístico em Portugal [3, 14-15] e em Espanha [16-18]. Em Portugal, desconhece-se a amplitude do uso desta técnica, em parte devido à dificuldade que há em distingui-la da pedra natural, ou da própria técnica de *stucco-lustro*, uma técnica de pintura a fresco, ou a seco, sobre uma base em argamassa de cal, ou cal e gesso, acabada por polimento com colher, a pano, ou brunido com ferros quentes [1, 3, 19]. Os escassos estudos realizados sobre o tema realçam a sua importância e mostram inúmeros exemplos de trabalhos de elevada qualidade [3, 14-15]. Vieira afirma que existirão muitos exemplares de finais do século XIX e primeiras décadas do século XX, embora, neste último caso, haja indicações de que o ligante pudesse ser, por vezes, cimento branco [3, 20-21]. O conhecimento dos materiais e técnicas usadas na sua execução é fundamental para a definição de uma metodologia de conservação e restauro com base em procedimentos adequados, nomeadamente os princípios do respeito pela autenticidade e mínima intervenção, através do uso de materiais compatíveis. Um dos raros trabalhos que procurou caracterizar os materiais realmente usados neste tipo de revestimentos foi levado a cabo no âmbito do projecto europeu ENVIART, no final dos anos 90, do qual resultaram várias publicações [9, 11, 22-23]. Em Portugal, com excepção de algumas amostras analisadas no âmbito dos trabalhos de doutoramento da primeira autora (uma de imitação de mármore, do Palácio de Monserrate [24] e outra de pórfiro vermelho imperial, do Palácio de Estoi [25]) e de Vieira [15], desconhece-se a existência de outros estudos, lacuna que se estende a vários países da Europa.

O presente trabalho tem como principal objectivo identificar e caracterizar revestimentos de *stucco-marmo* existentes em edifícios da arquitectura portuguesa dos séculos XVIII a XX. Os resultados da caracterização mineralógica por difracção de raios X (DRX), observações em microscopia óptica e determinação de propriedades físicas e mecânicas (absorção de água por capilaridade e módulo de elasticidade dinâmico), realizada em 15 amostras, pertencentes a sete casos de estudo (Figura 2), são apresentados e discutidos neste artigo. Foi possível estabelecer uma relação entre composição, técnicas de aplicação e desempenho dos materiais estudados.

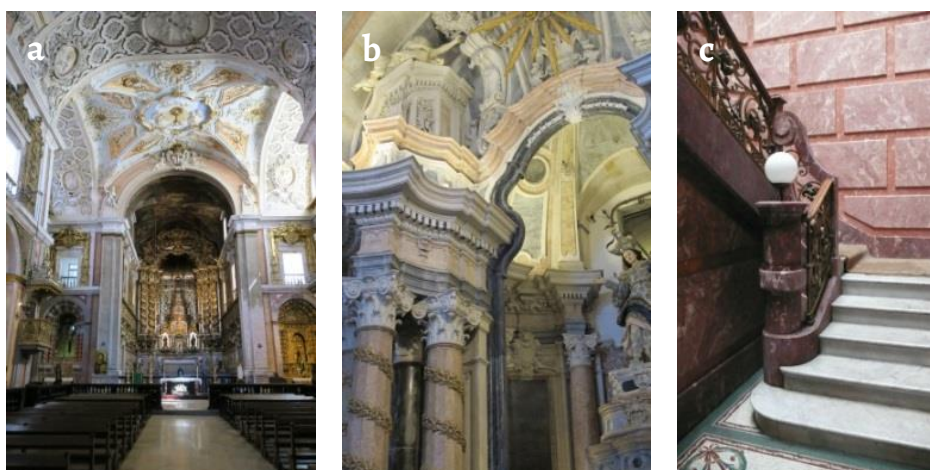


Figura 2. Exemplos de casos de estudo: a) Igreja dos Paulistas: nave, transepto e capela-mor; b) Igreja dos Clérigos: arco da capela-mor; c) Palacete Bijou: escadaria principal.

Trabalho experimental

Materiais

Na Figura 3 são apresentadas imagens de algumas das amostras de *stucco-marmo* recolhidas e na Tabela 1 é indicada a identificação das amostras analisadas e dos casos de estudo a que correspondem.

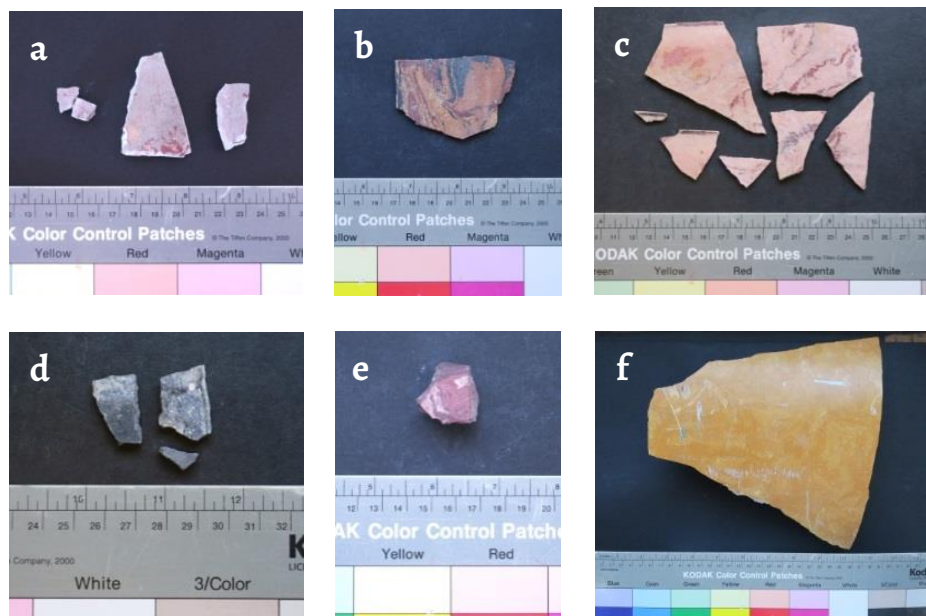


Figura 3. Imagens de amostras de *stucco-marmo* recolhidas em edifícios Portugueses: a) IP3; b) ISJ2; c) IC2; d) IC4; e) PBi1; f) PCL1.

Condições experimentais

Foi realizado o registo fotográfico das amostras, por vezes com recurso a uma lupa binocular Olympus SZH, equipada com uma câmara Olympus DP 20, para obter maior detalhe das superfícies, texturas e da estratigrafia das superfícies polidas.

As amostras foram secas a 40 °C, até atingirem massa constante, após o que foram divididas em fracções, destinadas aos diferentes procedimentos experimentais, de acordo com a quantidade disponível. Previamente à análise mineralógica por DRX, as amostras foram moídas e passadas por um peneiro com 106 µm de abertura de malha. No procedimento foi utilizado um difractómetro Philips X'Pert com fonte de radiação K α de cobalto, operando com uma tensão e corrente de filamento, respectivamente, de 35 kV e 45 mA. Os dados de difracção foram recolhidos entre 3° e 74° (2 θ), com uma velocidade de varrimento de 0,05° 2 θ /s, usando o software X'Pert Quantify. Os difractogramas foram analisados com recurso ao software X'Pert HighScore, usando os padrões de DRX do International Centre for Diffraction Data Powder Diffraction File.

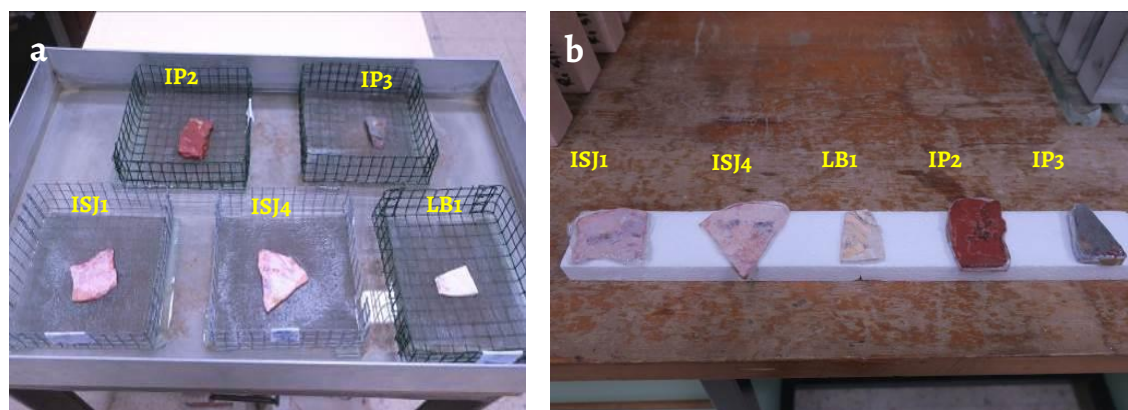
Para a preparação das superfícies polidas, as amostras foram primeiramente impregnadas com uma resina epoxídica, numa câmara de vácuo, para que todo o espaço poroso fosse preenchido. Após a impregnação, as amostras foram cortadas e as superfícies planas obtidas foram polidas com abrasivos finos, terminando com abrasivos de diamante de 6, 3, 1 e 0,25 mícron.

Os ensaios de absorção de água por capilaridade foram realizados segundo um procedimento desenvolvido especialmente para amostras irregulares e/ou friáveis [26], em ambiente controlado (23 °C e 65 % de humidade relativa) (Figura 4). Após os ensaios de absorção, as amostras foram postas a secar ao ar. Todas as faces foram cobertas com película de plástico, excepto a superfície por onde se pretendia que se desse a secagem (i.e., a mesma por onde se deu a absorção).

Tabela 1. Identificação e descrição das amostras analisadas.

Caso de estudo/ Localização/Período	Amostra	Descrição* / Estado de conservação / Espessura
Igreja dos Paulistas Sta. Catarina Lisboa Século XVIII (?)	IP1	Revestimento de parede da igreja, amarelo-torrado, com veios, bastante finos, em púrpura escuro / Superfície maioritariamente erodida / 4,5-5,5 mm
	IP2	Revestimento de parede da igreja, cor de tijolo escuro, com veios pretos, cor de laranja e amarelos / Superfície parcialmente erodida, com zonas ainda com algum polimento / 5-6 mm
	IP3	Revestimento de parede da sacristia, cinzento, com veios amarelos e vermelho escuro / Superfície em muito bom estado / 6-8 mm
Igreja de S. João Novo Porto Século XVIII (?)	ISJ1	Revestimento de parede da igreja, cor de salmão, com veios rosa escuro e pretos / Superfície com perda de brilho / 3-3,6 mm
	ISJ2	Revestimento de parede da igreja, cor de laranja escuro, com veios pretos e vermelho escuro / Superfície com deformação convexa e fendilhação causadas por cristalização de sais / 3,5-3,8 mm
	ISJ3	Revestimento de parede da capela-mor, de cor amarelo escuro (quase vermelho), com veios rosa claro, amarelos e pretos / Superfície em bom estado, com perda parcial de brilho / 5-6 mm
	ISJ4	Revestimento da mesma parede que ISJ3, salmão claro, com veios rosa, púrpura e amarelos / Superfície em bastante bom estado / 3 mm
Igreja dos Clérigos Porto Século XIX	IC1	Revestimento do teto, cor de tijolo, com veios pretos e vermelho escuro (muito semelhante a ISJ 2) / Superfície ligeiramente convexa, com brilho nas partes não riscadas / 2,4-2,7 mm
	IC2	Revestimento de parede (ou teto?), rosa claro, com veios vermelho escuro / Alguns fragmentos com ligeira convexidade, a maioria com brilho / 2,3-3,3 mm
	IC3	Revestimento de parede junto ao teto, rosa escuro (quase vermelho), com veios rosa claro, vermelho escuro e amarelos / Superfície muito erodida, com perda ligeira de material em algumas zonas / 4,2-4,9 mm
	IC4	Revestimento de parede junto ao teto, preto com pequenos pontos brancos / Superfície com alguma erosão e quase toda sem brilho / 2,5-3 mm
Palacete Bijou Porto Século XX	PBi1	Revestimento do rodapé da escada, vermelho muito escuro, com veios rosa e vermelho um pouco mais claro / Superfície em muito bom estado / 7,5-12 mm
Teatro-Circo de Braga Braga Século XX	TCB1	Revestimento de uma coluna, cor de tijolo, com veios amarelos, castanhos e pretos / Superfície com alguns riscos, mas ainda com brilho / 10-12 mm
Pavilhão Carlos Lopes Lisboa Século XX	PCL1	Revestimento de uma coluna, amarelo / Superfície com alguns riscos, mas ainda com brilho / 4-5 mm
Escola Secundária Beja Século XX	LB1	Revestimento de uma pilastra, em tons de salmão claro, bege e branco, com veios pretos / Superfície em excelente estado / 3,2-3,6 mm

* As cores indicadas referem-se ao observado nas superfícies das amostras no presente e podem não corresponder exactamente às cores originais.


Figura 4. Procedimento experimental de determinação da absorção de água por capilaridade: a) absorção; b) secagem.

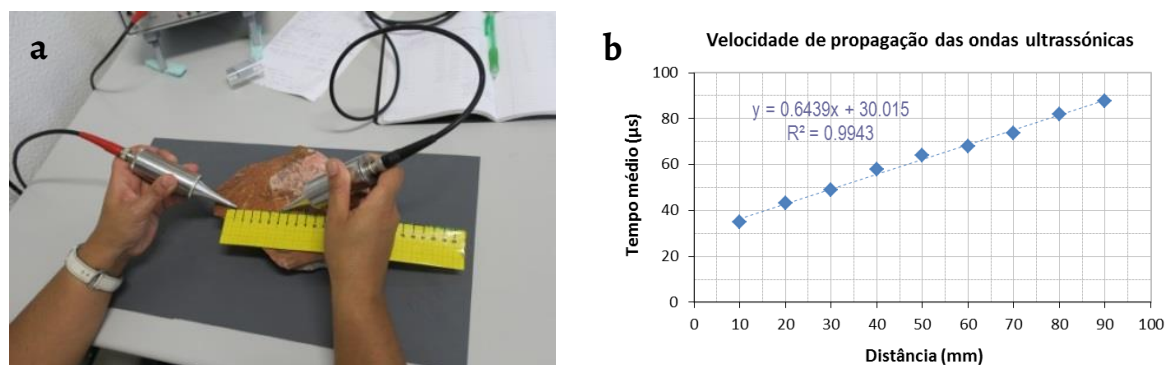


Figura 5. Determinação da velocidade de propagação de ondas ultra-sónicas: a) procedimento experimental e b) cálculo.

A massa volúmica aparente foi calculada através da pesagem e medição das dimensões das amostras (área da superfície \times espessura média).

O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pela técnica de ultra-sons, que se baseia na velocidade a que ondas sonoras de alta frequência atravessam os materiais, permitindo assim o cálculo de parâmetros elásticos [27]. Utilizou-se o equipamento Steinkamp BP-7, equipado com o software WinUltraSonic/BP-7 (Figura 5).

Resultados e discussão

Observação visual das amostras

A observação visual das amostras e das respectivas superfícies polidas na lupa binocular permitiu recolher uma série de informações, nomeadamente sobre o seu estado de conservação e a forma como os pigmentos foram usados para obter as cores pretendidas (Figura 6 e Figura 7). A observação das superfícies polidas em estratigrafia revelou uma matriz muito porosa na amostra IP1, em consonância com a dissolução parcial provocada pela extensa exposição à água, igualmente notória à superfície (Figura 6a). Já no caso da amostra IC3, onde também é visível alguma erosão superficial, a exposição à água aparenta ter sido menos severa, muito provavelmente com ciclos de molhagem e secagem menos frequentes, o que permitiu que se desse alguma recristalização à superfície, parecendo mesmo haver uma certa densificação da mesma (Figura 6d). As observações em estratigrafia vão de encontro a estas considerações, mostrando uma matriz pouco porosa e muito coesa (Figura 6e-f). Já no caso da amostra LB1, tanto a superfície como o interior revelaram encontrar-se em óptimo estado de conservação (Figura 6g-i). A presença de grãos de pigmento foi observada na maioria das amostras. Os veios púrpura da amostra IP1 resultam do uso de um pigmento azul (Figura 6a). A determinação exacta da sua composição ajudará a datar os revestimentos em *stucco-marmo* da Igreja dos Paulistas: se se tratar de azurite, um pigmento natural usado até ao século XIX, então são contemporâneos da construção da igreja e dos outros estuques decorativos; se, por outro lado, se tratar de um pigmento sintético, serão posteriores, como acontece na Igreja dos Clérigos. Grãos de pigmento azul foram observados também nos veios vermelhos escuros de outras amostras, nomeadamente a ISJ2 (Figura 7b) e a IC1. Já a cor cinzenta da amostra IP3 foi obtida pela adição de pigmento preto à pasta de gesso, sendo perceptíveis alguns grãos de maior dimensão, à superfície e no interior da amostra.

Neste tipo de revestimentos a aparência estética é o aspecto mais importante, sendo os materiais usados e a técnica de aplicação, em conjunto, determinantes. A dureza superficial e o brilho são conferidos essencialmente pelos procedimentos de desbaste e polimento, intercalados com o preenchimento dos poros, que vão assim aparecendo, com uma mistura diluída de gesso e água de cola [4-5, 8]. Turco afirma mesmo que o gesso é o ligante que permite imitar melhor os mármore [8].

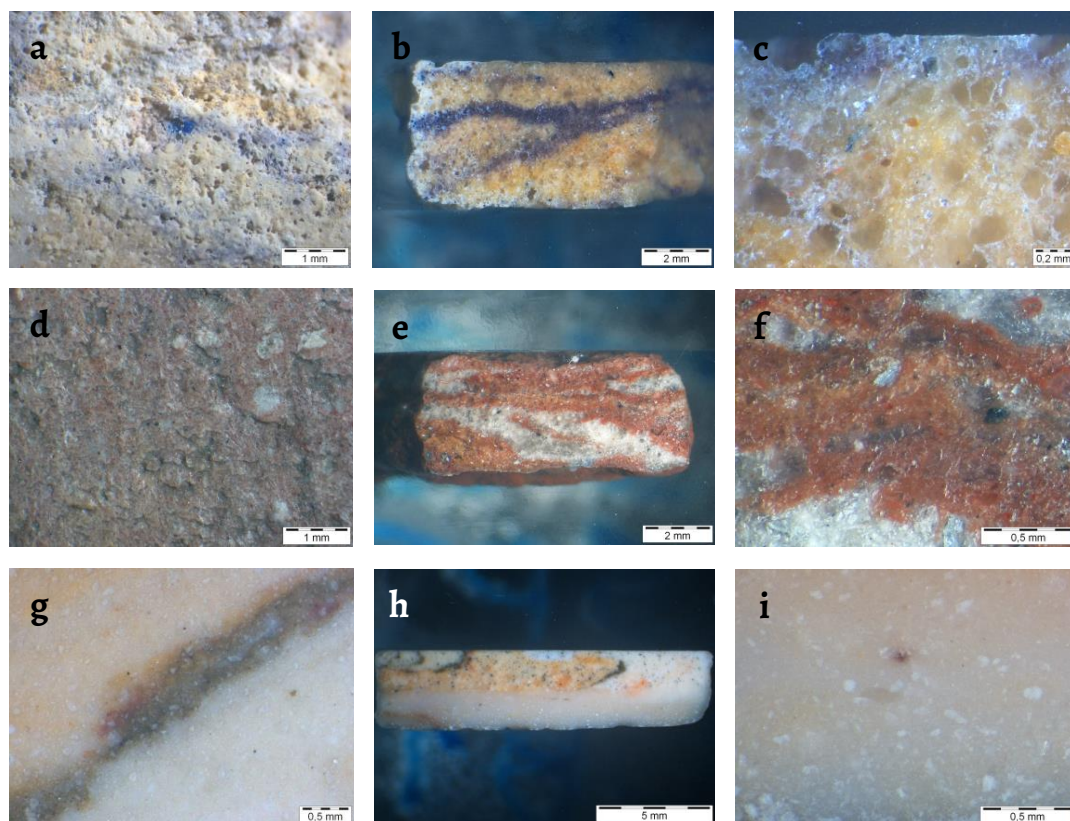


Figura 6. Imagens obtidas na lupa binocular da superfície sem tratamento e superfícies polidas com diferentes ampliações, das amostras: a-c) IP1; d-f) IC3; g-i) LB1.

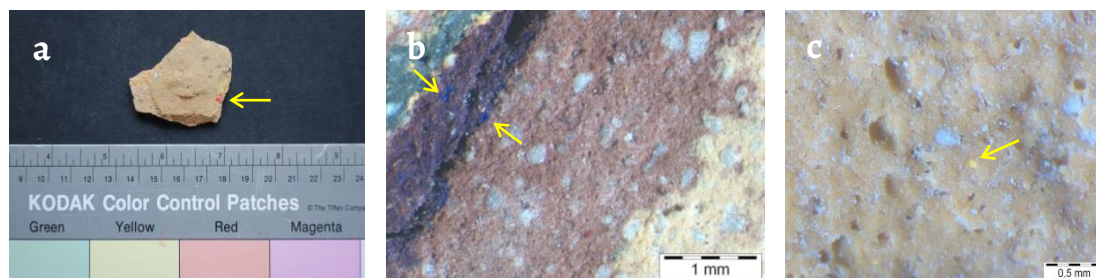


Figura 7. Grãos de pigmentos observados em algumas amostras: a) pigmento laranja (amostra IP1); b) pigmento azul (amostra ISJ2), encontrado recorrentemente em amostras com zonas púrpura escuro; c) pigmento amarelo (amostra PLC1).

Análise por DRX

A análise por DRX permitiu identificar os principais compostos cristalinos presentes nas amostras, nomeadamente ligantes e alguns pigmentos. Verificou-se que o gesso é o principal constituinte, com excepção da amostra LB1, em que a anidrite existe em maior quantidade (Tabela 2). Este composto está também presente na maioria das amostras.

Com excepção das amostras da Igreja dos Paulistas (IP1, IP2 e IP3) e uma da Igreja dos Clérigos (IC3), a quantidade de anidrite detectada está substancialmente acima do que é habitual encontrar-se em amostras de estuques antigos correntes [28]. Resultados semelhantes haviam sido obtidos em estudos de duas amostras de *stucco-marmo* pertencentes a dois palácios portugueses: uma a imitar mármore do Palácio de Monserrate [24], e outra a imitar pórfiro vermelho imperial do Palácio de Estoi [25]. A presença de anidrite (sulfato de cálcio anidro), fase cuja calcinação é realizada a temperaturas superiores às habitualmente necessárias à obtenção da fase do gesso mais comumente usada em estuques (sulfato de cálcio hemi-hidratado do tipo β , ou hemi-hidrato β), indicia o uso de um gesso multifásico. Este procedimento foi claramente intencional, uma vez que a anidrite necessita de menos água de

amassadura, permitindo obter materiais de resistência mecânica superior àqueles em que o único ligante é o hemi-hidrato β . Note-se que não foi encontrada qualquer referência na literatura ao uso de anidrite em revestimentos deste tipo. Foi ainda detectado quartzo nas amostras IC3, IC4 e PCL1. Dada a qualidade do gesso usado, tida como fundamental para o sucesso da execução da técnica de *stucco-marmo*, [4-5], deduz-se que o quartzo terá sido adicionado intencionalmente.

Tabela 2. Composição mineralógica das amostras determinada por DRX.

Amostras	Compostos cristalinos identificados				
	Gesso	Anidrite	Calcite	Quartzo	Outros
IP1	++++	-	vtg	vtg	-
IP2	+++/+	vtg	vtg/+	vtg	Hematite (vtg)
IP3	++++	?	-	-	-
ISJ1	+++/+	+	-	-	-
ISJ2	+++/+	+	-	vtg	-
ISJ3	++++	+	-	vtg	Grafite (?)
ISJ4	++++	vtg +	-	-	-
IC1	+++/+	+	-	?	-
IC3	+++/+	vtg	vtg	+	-
IC4	+++	++	-	+	Grafite (vtg)
PB1	+++	++	-	vtg	Hematite (vtg)
TCB1	+++	++/+	-	vtg	-
PCL1	+++/+	+/+	-	+	Goetite (vtg)
LB1	++	+++	-	-	-

(++++) composto predominante; (+++) proporção elevada; (++) proporção média; (+) proporção baixa; (vtg) quantidade vestigial; (-) não detectado; (?) dúbidas quanto à presença

Análise por DRX

Absorção de água por capilaridades

A absorção de água por capilaridade foi determinada em oito amostras e os resultados apresentam-se na Tabela 3 e na Figura 8.

Tabela 3. Resultados das propriedades físicas e mecânicas.

Amostra	CCC AOS 5 min (kg/m ² min ^{1/2})	MVA (kg/m ³)	Velocidade US (m/s)	MED (MPa)
IP1	0,23	1262	n.d.	n.d.
IP2	0,18	1419	2513	8065
IP3	0,32	1765	3125	15515
ISJ1	0,00	2011	2950	15750
ISJ3	0,01	1967	3289	19153
ISJ4	0,00	2040	3108	17740
IC2	0,01	n.d.	n.d.	n.d.
IC3	n. d.	1707	3172	15455
PCL1	n. d.	1889	4189	29838
TCB1	n. d.	1857	1563	4090
LB1	0,00	2008	3683	24520

(CCC) Coeficiente de capilaridade por contacto; (MVA) Massa volúmica aparente; (US) Ultra-sons; (MED) Módulo de elasticidade dinâmico; (n.d.) parâmetro não determinado devido a não adequação da amostra disponível (tamanho, forma, curvatura, etc.)

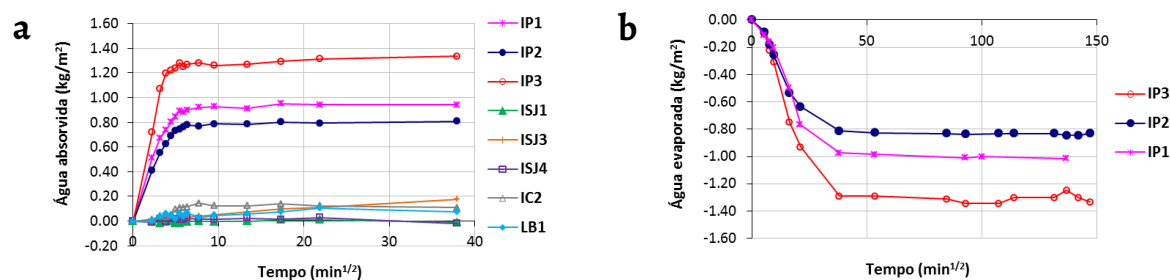


Figura 8. Curvas de absorção capilar (a) e secagem (b).

Apenas as amostras da Igreja dos Paulistas tiveram um comportamento aproximado ao que é habitual observar-se em amostras de estuques antigos correntes, tanto na absorção, como na secagem, embora os valores obtidos tenham sido bastante mais baixos [29]. A explicação para estes resultados reside no facto de estas amostras corresponderem a revestimentos preparados a partir do hemi-hidratado tipo β (e não a partir de um gesso multifásico), dando origem a matrizes menos densas e de maior porosidade, factos que são corroborados pelos respectivos valores de massa volúmica aparente (Tabela 3). O estado de conservação, tanto das superfícies (muito bom no caso da amostra IP3), como a eventual aplicação de produtos orgânicos que promovem o seu brilho (maioritariamente óleos e ceras), não são suficientes para impedir a absorção de água.

Nas amostras ISJ3, IC2 e LB1 detectou-se uma pequeníssima absorção capilar. Após a secagem, foi possível observar uma certa erosão das respectivas superfícies, o que poderá estar na origem dessa absorção. Isto provavelmente significa que as superfícies não resistiram totalmente à infiltração da água, mas as matrizes que constituem as amostras são tão densas que a absorção é insignificante. Nas restantes amostras (ISJ1 e ISJ4) esse valor é mesmo negligenciável.

Módulo de elasticidade dinâmico

Com excepção das amostras IP1 e IP2, as quais tiveram uma exposição prolongada à água, todas as outras amostras analisadas apresentaram valores de massa volúmica aparente e de módulo de elasticidade dinâmico muito superiores aos observados em amostras de estuques antigos correntes. No entanto, e uma vez mais, esses valores são da mesma ordem de grandeza dos encontrados nas duas amostras de *stucco-marmo* analisadas anteriormente [29] e são muito próximos dos do mármore natural (16000-25000 MPa) [30]. A explicação encontrada reside, uma vez mais, na natureza do ligante usado, i.e., o facto de se tratar muito provavelmente de um gesso multifásico, onde a anidrite está presente em quantidades superiores às de um gesso hemi-hidratado. Os poucos valores encontrados na literatura para amostras de *stucco-marmo* variam entre 6090 e 18620 MPa [9] e foram determinados pelo método da frequência de ressonância. Apesar de os autores não fazerem referência às fases do gesso presentes nas amostras analisadas, estes continuam a ser bastante mais elevados do que os obtidos em amostras de estuques preparados a partir de hemi-hidrato β , usando o mesmo método [31]. Middendorf e Knöfel [32] testaram misturas preparadas com 80 % de hemi-hidrato β e 20 % de anidrite e obtiveram valores de módulo de elasticidade dinâmico entre 11060 e 12780 MPa, ou seja, mais próximos dos das amostras IP3, ISJ1 e IC3, mas ainda muito abaixo dos das amostras PCL1 e LB1. Estes últimos são apenas comparáveis aos valores encontrados para gessos preparados a partir de hemi-hidrato α pelos mesmos autores (21350 MPa) e por Dalui et al. [33] (22000 MPa). O valor da amostra IP2, apesar de elevado, é cerca de metade dos das amostras IP3, ISJ1, ISJ4 e IC3, e um terço do da amostra LB1. A compacidade (Figura 6) e os principais constituintes das respectivas matrizes (Tabela 2) estarão na origem destas diferenças. Por último, o caso da amostra TCB1, que apresentou um módulo de elasticidade muito abaixo do esperado atendendo à sua composição e ao seu aparente bom estado de conservação, boa compacidade e massa volúmica aparente (Tabela 3). Como o método utilizado (método indirecto) se baseia na propagação de ondas ultra-sónicas junto à superfície dos materiais, este pode ser um indicador da presença de microfissuras, não visíveis a olho nu. De facto, nas restantes amostras este método poderá estar a inflacionar um pouco os valores obtidos uma vez que as amostras de *stucco-marmo* apresentam maior resistência junto à superfície, devido à técnica de aplicação.

Conclusões

Neste artigo abordam-se as principais questões de terminologia relativas aos revestimentos de fingidos de pedra com base em gesso, e gesso e cal, clarificando-se nomeadamente o significado da técnica de *stucco-marmo* e apresentam-se e discutem-se os resultados de ensaios de caracterização mineralógica, física e mecânica de 15 amostras de *stucco-marmo*, executadas entre os séculos XVIII e XX em edifícios Portugueses. No geral, as amostras encontravam-se em bom estado de conservação, tendo sido as exceções devidamente assinaladas e analisadas com base na observação visual em lupa binocular (dissolução parcial da matriz por exposição prolongada à água, perda de brilho superficial, riscos, deformação e/ou presença de sais). A análise mineralógica por DRX mostrou que todos os revestimentos foram executados com gesso de elevada qualidade, não se detectando praticamente impurezas. Na maior parte dos casos foi encontrada anidrite em quantidades significativas, indicando que o ligante usado (um gesso multifásico) resultou da calcinação da rocha gipsífera a temperaturas superiores às utilizadas para produzir os gessos comuns de construção (com base em sulfato de cálcio hemi-hidratado tipo β). Pensa-se que este procedimento terá sido intencional, uma vez que as pastas resultantes da amassadura deste tipo de gessos com água de cola (usada na produção de *stucco-marmo*) ficam ainda mais rijas e compactas do que as obtidas a partir de hemi-hidrato β . De facto, concluiu-se que, tanto o tipo de materiais usados (gesso, pigmentos e cola animal), como os procedimentos de aplicação das pastas obtidas, levam a um resultado final que vai muito para além da aparência estética. Pelo contrário, de todo o processo resultam materiais com características físicas e mecânicas muito aproximadas das dos materiais originais (p. ex., o mármore natural), como se pôde observar nos resultados de absorção de água por capilaridade (no geral, extremamente baixos, com coeficientes de capilaridade por contacto aos 5 minutos inferiores a $0,32 \text{ kg/m}^2\text{min}^{1/2}$), ou de módulo de elasticidade dinâmico extremamente altos (geralmente acima de 15000 MPa). No caso da absorção capilar, concluiu-se, ainda, que o tipo de fase do gesso, e conseqüente estrutura porosa da pasta resultante, influencia mais esta propriedade do que os tratamentos superficiais com produtos hidrofóbicos (óleos e ceras). Com excepção de duas amostras, onde foi encontrado quartzo, não se detectou a presença de agregados nas restantes matrizes.

Pretende-se que este conjunto de resultados contribua para aprofundar o conhecimento das técnicas e dos materiais usados na execução dos revestimentos em *stucco-marmo* em Portugal, para melhor fundamentar as tomadas de decisão em acções de conservação e restauro sobre este património e para o desenvolvimento de produtos compatíveis a usar nessas acções.

Agradecimentos

Os autores agradecem à FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento da bolsa de pós-doutoramento da primeira autora (SFRH/BPD/121034/2016) e do projecto DB-Heritage – Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial (PTDC/EPH-PAT/4684/2014). Agradecem, ainda, ao Marco Aurélio, profissional da área do restauro de estuques, à Prof^a Eduarda Vieira e à empresa Mural da História pela cedência de algumas das amostras analisadas.

REFERÊNCIAS

1. Gárate-Rojas, I., *Artes de los Yesos. Yeserías e Estucos*, Munilla-Lería, Instituto Español de Arquitectura, MRRP, Universidad de Alcalá, Madrid (1999).
2. Gárate-Rojas, I., *Artes de la Cal*, ed. Munilla-Lería, 2ª ed., Instituto Español de Arquitectura, MRRP, Universidad de Alcalá, Madrid (2002).
3. Vieira, E., *Técnicas tradicionais de fingidos e de estuques no Norte de Portugal. Contributo para o seu estudo e conservação*, dissertação de mestrado, Universidade de Évora, Évora (2002), <http://hdl.handle.net/10174/14696>.
4. Arcolao, C., *Le Ricette del Restauro*, 2ª ed., Marsilio Editore, Venezia (1998).
5. Beard, G., *Stucco and Decorative Plasterwork in Europe*, Thames and Hudson, London (1983).
6. Hayles, D., *The Magic of Scagliola*, ed. K. Whitney & B. Magill (2015).

7. Reithmeir, C., 'Scagliola or stucco marble: Restoration of the altars in the church of Lichtenfels, Bavaria', *Transactions on the Built Environment* **15** (1995) 213-223.
8. Turco, T., *Il Gesso. Lavorazione, Trasformazione, Impieghi*, 2ª ed., Editore Ulrico Hoepli, Milano (2008).
9. Wittenburg, C.; Berner, M.; Weber, J.; Kozłowski, R.; Wouters, J.; Lamens, K.; Willers, U., *Baroque Artificial Marble - Environmental Impacts, Degradation and Protection*, ENVIART, Contract N° ENV 4-CT95-0103, *Protection and conservation of European cultural heritage. Research Report N° 9*.
10. Zecchini, A., *Arte della Scagliola sul Lario*, 5ª ed., Editore Ulrico Hoepli, Milano (2001).
11. Kozłowski, R.; Wittenburg, C.; Zeunert, A., 'Stucco marble in the Dukes Chapel in Krzeszów, Poland - Microclimate and degradation mechanisms', *Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege* **6**(4) (2000) 463-480.
12. 'Opificio delle Pietre Dure', *The Museums of Florence*, http://www.museumsinflorence.com/musei/opificio_delle_pietre_dure.html (acesso em 2019-10-25).
13. Colli, D.; Garuti, A.; Pelloni, R., *La Scagliola Carpigiana e L'illusione Barroca*, Artioli, Capri (1990).
14. Aguiar, J., *Estudos cromáticos nas intervenções de conservação em centros históricos*, dissertação de doutoramento, Universidade de Évora, Évora (1999), <http://hdl.handle.net/10174/11200>.
15. Vieira, E., *Técnicas tradicionais de stuccos em revestimentos de interior portugueses. História e tecnologia. Aplicação à conservação e restauro*, dissertação de doutoramento, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (2008).
16. Martínez Fuentes, R., *El estuco. Técnica, conservación y restauración. Aplicación a la reintegración del mármol*, dissertação de doutoramento, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (2003).
17. Báez, M. I.; García, M. J.; Vidal, L., 'Los estucos-mármol del Palacio del Congreso de los Diputados de Madrid. Parte II: Estudio técnico de los cuatro escritorios', *Pátina* **II**(13-14) (2006) 199-212.
18. Báez, M. I.; García, M. J.; Vidal, L., 'Los estucos-mármol del Palacio del Congreso de los Diputados de Madrid. Parte I: Estudio documental del salón de conferencias y los escritorios', *Pátina* **II**(13-14) (2006) 113-126.
19. González Yunta, F.; González Cortina, M.; Lasheras Merino, F., 'Influencia del tratamiento a fuego en las características del estuco tradicional con cal', *Informes de la construcción* **67**(537) (2015) 1-8, <https://doi.org/10.3989/ic.13.016>.
20. Füller, J., *Manual do Formador e Estucador*, 2ª ed., Livrarias Aillaud e Bertrand, Lisboa (n.d.).
21. Segurado, J. E. S., *Acabamentos das Construções*, Livrarias Aillaud e Bertrand, Lisboa (n.d.).
22. Wouters, J.; Van Bos, M.; Lamens, K., 'Baroque stucco marble decorations. I. Preparation of laboratory replicas and establishment of criteria for analytical evaluation of organic materials', *Studies in Conservation* **45**(2) (2000) 106-116, <https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.2.106>.
23. Wouters, J.; Van Bos, M.; Lamens, K., 'Baroque stucco marble decorations. II. Composition and degradation of the organic materials in historical samples and implication for their conservation', *Studies in Conservation* **45**(3) (2000) 169-179, <https://doi.org/10.2307/1506763>.
24. Freire, T.; Silva, A. S.; Veiga, M. R.; Brito, J., 'The 19th century revivalisms in the Portuguese architecture: Characterization of the interior plaster coatings of Monserrate Palace in Sintra', in *Proceedings of the 4th Historic Mortars Conference HMC2016*, ed. I. Papayianni, M. Stefanidou & V. Pachta, Laboratory of Building Materials, Department of Civil Engineering, Aristotle University of Thessaloniki, Santorini (2016) 187-194.
25. Freire, M. T.; Silva, A. S.; Veiga, M. R.; Brito, J.; Schluetter, F., 'Natural or artificial? Multi-analytical study of a scagliola from Estoi Palace simulating imperial red porphyry', *Microscopy and Microanalysis* **22**(6) (2016) 1281-1303, <https://doi.org/10.1017/S1431927616011909>.
26. Veiga, M. R.; Magalhães, A.; Bosiljkov, V., 'Capillarity tests on historic mortar samples extracted from site. Methodology and compared results.', in *13th International Brick and Block Masonry Conference*, ed. D. Martens & A. Vermeltfoort, Eindhoven, Technische Universiteit Eindhoven (2004).
27. NP EN 12504-4:2007, 'Ensaio de betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons', Instituto Português da Qualidade, Lisboa (2007).
28. Freire, M. T.; Silva, A. S.; Veiga, M. R.; Brito, J., 'Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: Mineralogy and microstructure', *Construction and Building Materials*, **196** (2019) 512-529, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.037>.
29. Freire, M. T.; Veiga, M. R.; Silva, A. S.; Brito, J., 'Studies in ancient gypsum based plasters towards their repair: Physical and mechanical properties', *Construction and Building Materials*, **202** (2019) 319-331, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.214>.
30. Sousa, R.; Sousa, H., 'Stability evaluation of marble stone cladding affected by bowing and wind pressure - A case study', in *Proceedings IRF2018: 6th International Conference Integrity-Reliability-Failure*, ed. J. F. Silva Gomes & S. A. Meguid, Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial, Lisboa (2018) 679-688.
31. Freire, M. T., 'Restoration of ancient Portuguese interior plaster coatings: Characterization and development of compatible gypsum-based products', dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa (2016).
32. Middendorf, B.; Knöfel, D., 'Characterization of historic mortars from buildings in Germany and The Netherlands', in *Conservation of Historic Brick Structures*, eds. N. S. Baer, S. Fitz & R. A. Livingston, Routledge, London (1998) 178-196.
33. Dalui, S. K.; Roychowdhury, M.; Phani, K. K., 'Ultrasonic evaluation of gypsum plaster', *Journal of Materials Science* **31**(5) (1996) 1261-1263, <https://doi.org/10.1007/BF00353105>.

RECEBIDO: 2020.9.26

REVISTO: 2021.4.2

ACEITE: 2021.5.4

ONLINE: 2021.11.13



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>.

Los morteros históricos del castillo de Cifuentes (Guadalajara, España)

As argamassas históricas do castelo de Cifuentes (Guadalajara, Espanha)

The historical mortars of the castle of Cifuentes (Guadalajara, Spain)

CRISTINA MAYO
CORROCHANO* 
DAVID SANZ ARAUZ 

ETS, Arquitectura, Universidad
Politécnica de Madrid, España

*cristina@estudiomayo.com

Resumen

En el presente artículo se exponen los resultados de los análisis de caracterización mineralógica y petrográfica de los morteros de las fábricas y revestimientos del Castillo de Cifuentes. Este consta de cinco torres y un patio de unos 400 m² con una puerta de influencia islámica. Con el paso del tiempo ha sufrido diversas modificaciones hasta su actual estado de abandono. Englobado en un estudio más amplio de materiales y estado de conservación, este estudio nos permite diferenciar varios tipos de morteros que se corresponden con diferentes etapas constructivas: un núcleo de la fábrica del patio con mortero de yeso posiblemente de origen musulmán; la construcción principal del castillo, con morteros de cal y arena con impurezas arcillosas y fragmentos cerámicos; una etapa de reparación con morteros de cal que recrecen el núcleo central del muro del patio; y un último revestimiento con mortero de cal y yeso acabado con mortero de yeso gris.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados das análises de caracterização mineralógica e petrográfica das argamassas de alvenaria e de revestimento do Castelo de Cifuentes. O castelo é composto por cinco torres e um pátio de cerca de 400 m² com um portal de influência islâmica. Ao longo do tempo, sofreu várias modificações até ao seu estado atual de abandono. Como parte de um estudo mais amplo dos materiais e estado de conservação, este estudo permitiu distinguir vários tipos de argamassas que correspondem a diferentes fases de construção: um núcleo do pátio com argamassa de gesso, possivelmente de origem muçulmana; a construção principal do castelo, com argamassa de cal e areia com impurezas argilosas e fragmentos cerâmicos; uma fase de reparação com argamassa de cal que recria o núcleo central da parede do pátio; e uma cobertura final com argamassa de cal e gesso acabada com argamassa de gesso cinzento.

Abstract

This paper analyses the results of the mineralogical and petrographic characterization of the rendering and masonry mortars from Cifuentes Castle. The castle has five towers, a 400 m² courtyard and an Islamic influence main door. During the centuries several modifications have been done, reaching nowadays a state of almost abandonment. As part of a broader study of the materials and conservation state of the castle, this study allows us to differentiate several types of mortars that correlate with different construction periods of the monument: the core of the masonry of the courtyard wall made with gypsum mortar, and possibly with an Islamic origin; the main construction period of the castle, that used lime mortars with clay impurities and ceramic fragments; a reparations period with lime mortars that get thicker the core masonry of the courtyard; and a final rendering with lime and gypsum mortar finished with a layer of grey gypsum mortar.

PALABRAS-CLAVE

Morteros históricos
Morteros de yeso
Morteros hidráulicos
Fortificaciones

PALAVRAS-CHAVE

Argamassas históricas
Argamassas de gesso
Argamassas hidráulicas
Fortificações

KEYWORDS

Historic mortars
Gypsum mortars
Hydraulic mortars
Fortifications

Introducción

Los ensayos de caracterización de muestras de morteros históricos es una parte indispensable en los proyectos de intervención en patrimonio. Por una parte, ayudan a establecer una cronología relativa de las distintas fases constructivas, complementando los trabajos arqueológicos. Por otra parte, clarifican el diagnóstico sobre el estado de conservación. Estos datos de composición y estado de conservación orientan las decisiones de intervención, en especial las relacionadas con los materiales a emplear, que han de ser los de mayor compatibilidad con los existentes.

Pese a que la caracterización de morteros históricos es un campo científico bien establecido y con gran desarrollo en las últimas décadas [1-3], su aplicación práctica continúa presentando dificultades. La intervención en fábricas históricas con argamasas de unión y/o revestimientos de cal o yeso ha planteado severos problemas debido a la falta de conocimiento de la mayoría de los proyectistas sobre las técnicas y los materiales empleados en épocas históricas y a la escasa compatibilidad de los morteros basados exclusivamente en cementos de tipo portland con los materiales de las fábricas antiguas [4-5].

En muchos casos los materiales encontrados en las fábricas históricas tienen mejores prestaciones y un comportamiento más satisfactorio que las soluciones actuales, estando adaptados a los sistemas constructivos propios de cada caso y al ambiente [6].

En los últimos años se han publicado numerosos estudios sobre la metodología de caracterización de los morteros históricos [7-8]; y sobre los requerimientos estéticos y funcionales para los que deben estar preparados los morteros de reparación diseñados ad hoc [9-11], todo ello en especial relación con el comité de RILEM TC 167-COM *Caracterización de morteros antiguos con respecto a su reparación*, que ha venido operando sobre este tema en los últimos años y que han dado lugar a cinco conferencias internacionales sobre morteros históricos: Historical Mortar Conference, Lisboa 2007, Praga 2010, Glasgow 2013, Santorini 2016, Pamplona 2019.

En general con estos trabajos ha quedado bien establecido que se debe procurar la compatibilidad de los nuevos morteros con las estructuras preexistentes, actuando desde el nivel más abstracto (filosofía de la intervención) al más práctico (diseño de materiales). Cualquier intervención debe estar guiada por varios principios: filosofía de la restauración, requerimientos conceptuales, requerimientos funcionales y técnicos [10].

El caso de los morteros históricos de yeso –muy abundantes en el patrimonio español– tiene una problemática particular. Tras la pérdida de su empleo como material de revestimiento fue un material que prácticamente cayó en el olvido por la industria debido a la aparición de los cementos tipo Portland de mayor facilidad de trabajo para mano de obra no especializada. Este tipo de material ha tenido una investigación muy ligada al entorno geográfico en donde la presencia de morteros de yeso es más intensa debido a la abundancia geológica de depósitos de yeso natural. Las zonas con mayor incidencia en Europa occidental son: España, Francia, Alemania, Italia.

Los estudios sobre los morteros de yeso comienzan con trabajos relacionados con la decoración y la aplicación tecnológica [12-13] reseñando algunos casos concretos [14-16]. En Alemania la investigación se intensifica en los años noventa con varias publicaciones [17-23] y recientemente los trabajos de Vinzenzina, Cardoso y Freire.

Sobre la caracterización de morteros específicamente en castillos y fortalezas se han realizado diversos trabajos de interés aplicando distintas técnicas analíticas en base a técnicas petrográficas [24], siguiendo esta línea de investigación, en España se han publicado estudios similares sobre castillos medievales [25-27].

A las citadas técnicas petrográficas se ha sumado el análisis digital de imágenes, que permite determinar de un modo semicuantitativo la porosidad, a la vez que se observa su morfología, al igual que también estimar la relación entre las fracciones inertes y los

conglomerantes a partir de la misma muestra en lámina delgada. En este artículo nos hemos basado en los trabajos de Lindqvist y Sandström [28] y de Middendorf, Schade y Krauss [29].

En este trabajo se han caracterizado morteros a base de cal y a base de yeso a través de la secuencia de análisis: Difracción de Rayos X, Estereomicroscopía de secciones pulidas, Microscopía Óptica de Polarización y análisis de la porosidad mediante el análisis digital de imágenes de láminas delgadas; lo que ha permitido describir los aspectos compositivos y texturales de las muestras.

Breve historia del Castillo de Cifuentes

El castillo, cuya construcción original se fecha en las primeras décadas de 1300 según informes arqueológicos recogidos en la memoria [30], se sitúa en un cerro en forma de meseta al este del pueblo de Cifuentes. Esta localización se escogió por motivos militares de alta visibilidad y abundancia de surgencias de agua. Se pueden distinguir tres espacios defensivos: el recinto amurallado, el albacar y el castillo propiamente dicho con su foso.

El castillo en sí consta de cinco torres (Figura 1), una de ellas más prominente –la torre del homenaje– y de planta pentagonal al exterior y cuadrada al interior, que junto con su puerta en doble codo permiten suponer una influencia de la arquitectura defensiva medieval musulmana. Otra de las principales torres es un torreón circular macizo que acompaña a la torre del homenaje en el flanco este del castillo [30].

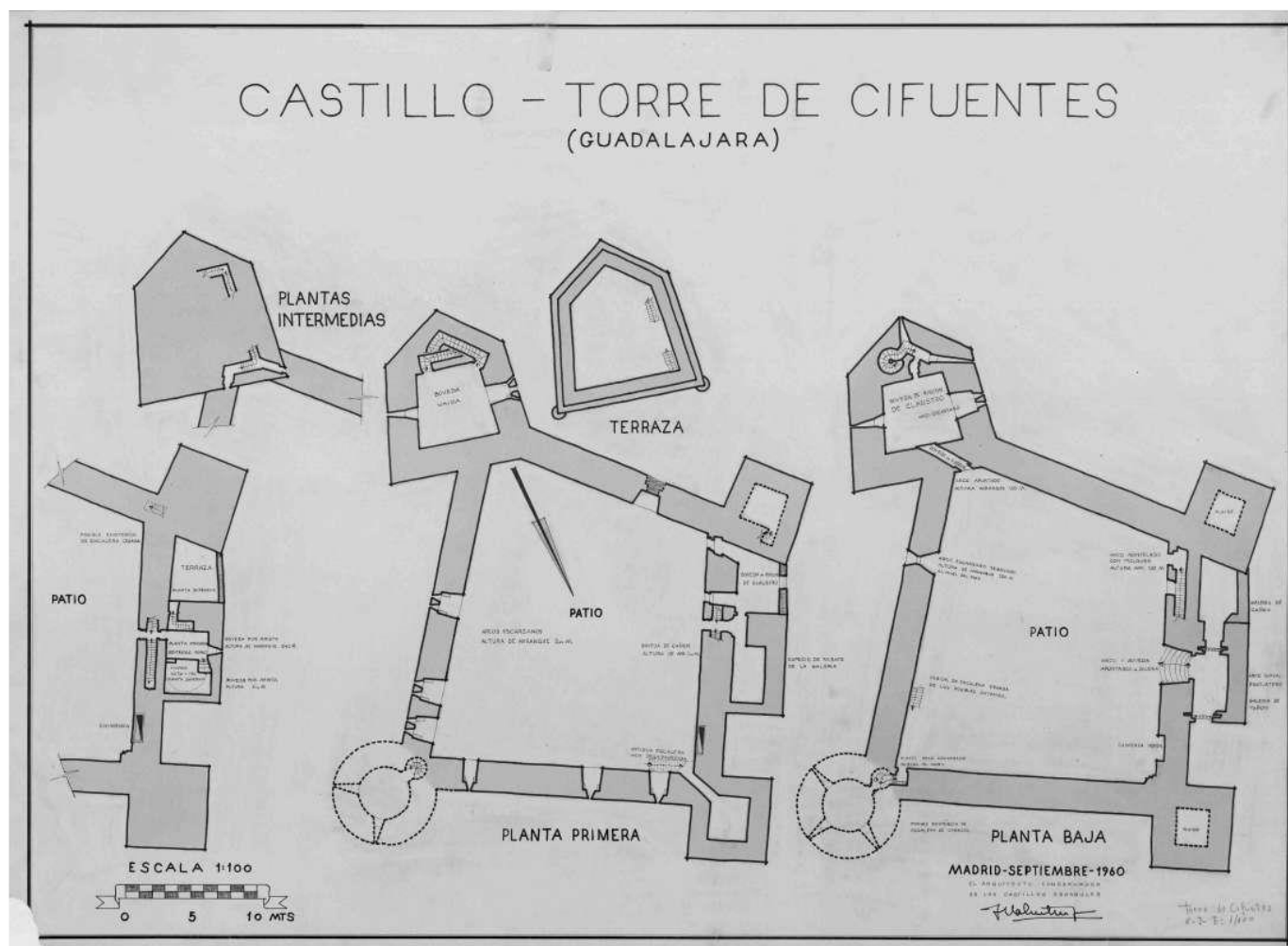


Figura 1. Plano de las plantas baja y primera del Castillo de Cifuentes realizado por Valentín Gamazo en 1960 (Planoteca del Instituto de Patrimonio Nacional de España, recogido en Maruri [30]).

Materiales y métodos

Muestras

Con el objeto de valorar el estado de conservación de los materiales empleados en los distintos sistemas constructivos se tomaron diez muestras de cada ubicación seleccionando la más significativa para realizar los ensayos en el laboratorio (Tabla 1 y Figura 2).

Difracción de Rayos X

El equipo empleado para la obtención de los datos de difracción de rayos X es un difractorómetro Bruker modelo D8 ADVANCE. Los diagramas de difracción de polvo para caracterizar la mineralogía de las muestras se han obtenido en un intervalo angular de 2 a 65 °, un tamaño de paso de 0,02 ° y un tiempo por paso de 1 s.

El análisis mineralógico y la determinación de las proporciones relativas de cada fase (análisis semicuantitativo) se ha realizado siguiendo el método de Chung [31-32] y utilizando el *software* EVA de Bruker.

Microscopía óptica

Para este estudio se ha empleado un microscopio óptico digital Crenova UC012C que nos permite cubrir un rango de zoom de 20 × a 300 ×. Esto nos permite observar en una primera aproximación a bajas ampliaciones la estructura de las muestras, porosidad y granulometría.

Tabla 1. Muestras tomadas en el castillo de Cifuentes, Guadalajara, España.

Muestra	Ubicación	Elemento constructivo: mortero
MP1	Muro / Patio interior del castillo / Zona más exterior	De junta
MP2	Muro / Patio interior del castillo / Zona media	De junta
MP3	Muro / Patio interior del castillo / Zona interior	De junta
MP4	Muro del patio interior	De revestimiento exterior
MP5	Muro del patio interior	De revestimiento exterior
MB1	Forjado primero del torreón	De revestimiento interior
MB2	Forjado primero del torreón	De junta
MF1	Torreón	De junta
MT1	Escalera que da acceso al torreón	De junta
MA1	Forjado primero del adarve	De revestimiento interior
MA2	Escalera del adarve	De junta

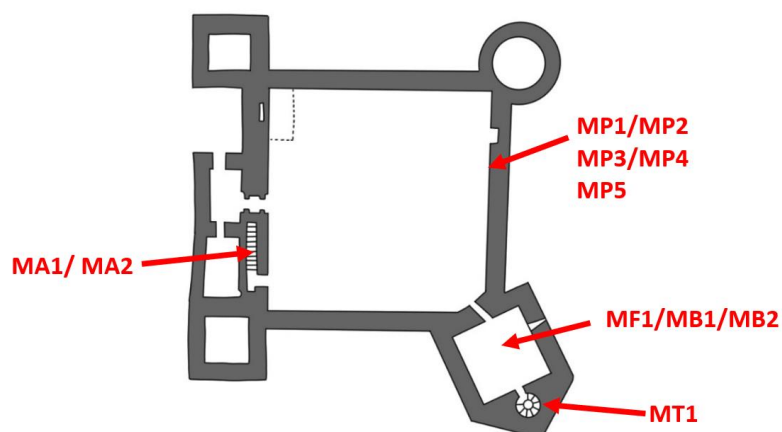


Figura 2. Planta del castillo de Cifuentes. Localización de las muestras tomadas.

Microscopía petrográfica

Para este estudio se ha empleado microscopios petrográficos ZEISS Primotech operado con un *software* Matscope del Centro de Apoyo a la Investigación de Técnicas Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid. Los objetivos utilizados en el estudio han sido los de 50 × y 100 × aumentos.

Análisis digital de imágenes

El análisis digital de imágenes ha sido sobradamente empleado en otros sectores científicos para el diagnóstico, conteo de partículas, medición y análisis estadístico [33-34].

Mediante un mapeado de las láminas delgadas se analizan los espacios vacíos y del sistema poroso de las muestras. La descripción de los espacios vacíos se realiza dentro de su contexto textural, es decir relacionándolos con el resto de los componentes sólidos del mortero.

Así mismo se realiza un análisis cuantitativo del volumen poroso o de parámetros del sistema poroso. En este caso las determinaciones se realizan a partir de imágenes bidimensionales. Los espacios vacíos (poros y fisuras) son considerados como un componente más del mortero y se pueden cuantificar sus elementos texturales (tamaño, forma, entre otros) de forma similar a como se realiza para los restantes componentes.

Para este estudio se ha empleado un microscopio óptico digital conectado a un ordenador, lo que nos permite directamente almacenar las imágenes obtenidas y poder fácilmente procesarlas con *software* de tratamiento de imágenes.

Con la idea de tener un mayor tamaño de muestra a analizar de cada mortero, se realiza un mapeado completo de cada lamina delgada. Para ello tomamos fotografías secuencialmente de toda la lámina delgada con el microscopio óptico para posteriormente, mediante *software* especializado en el tratamiento de imágenes, unir todas las imágenes y recomponer la sección completa. De este modo obtenemos un mapa completo de la lámina delgada con una resolución de 8000 × 14000 píxeles que nos permiten alcanzar mayor detalle en el análisis.

Una vez obtenida la imagen completa, esta es analizada mediante el programa ImageJ con el que podemos analizar la porosidad, proporción árido/conglomerante y distribución granulométrica.

La porosidad puede ser fácilmente analizada con los histogramas, más aún si se emplea una tinción azul en la resina de la lámina delgada. Esto ayuda al *software* a discernir entre poro y muestra:

$$\text{Porosidad (\%)} = \frac{S_p}{S_s}$$

S_p : Numero de píxeles de poro

S_s : Numero de píxeles de toda la sección

Para establecer la relación árido/conglomerante y la distribución granulométrica del mortero se requiere un pre-procesado de la imagen. Muchos áridos no se diferencian claramente del conglomerante por tener un color similar, por lo que es necesario marcarlos cuidadosamente en el *software* de imagen.

Otro problema a tener en cuenta es la separación de los granos; ya que si la muestra tiene una gran cantidad de agregado es difícil de analizar. Si los granos están muy juntos, el programa ImageJ no puede separarlos y percibe dos granos como uno. Esta conexión debe cortarse cuidadosamente con el *software* de imagen.

En consecuencia, la relación árido/conglomerante y el análisis granulométrico de los áridos de los morteros mediante análisis digital de imágenes requieren un complejo pre-procesado de las imágenes previo a su interpretación mediante ImageJ:

$$\frac{V_{\text{Arido}}}{V_{\text{Conglomerante}}} = \frac{S_{\text{Arido}}}{S_{\text{Conglomerante}}}$$

S_{Arido} : Numero de píxeles de áridos

$S_{\text{Conglomerante}}$: Numero de píxeles del conglomerante

Resultados y discusión

Para una correcta caracterización de los materiales empleados en el castillo se han realizado una secuencia de análisis en el laboratorio a todas las muestras extraídas.

Difracción de Rayos X (DRX)

Analizando los resultados obtenidos observamos como el muro de fábrica del patio interior del castillo presenta una argamasa de mortero de yeso en el interior del muro (MP3) (Figura 3). Y como ese núcleo fue revestido a posteriori por un mortero de cal y arena con impurezas arcillosas y fragmentos cerámicos (MP1 y MP2) (Figura 4).

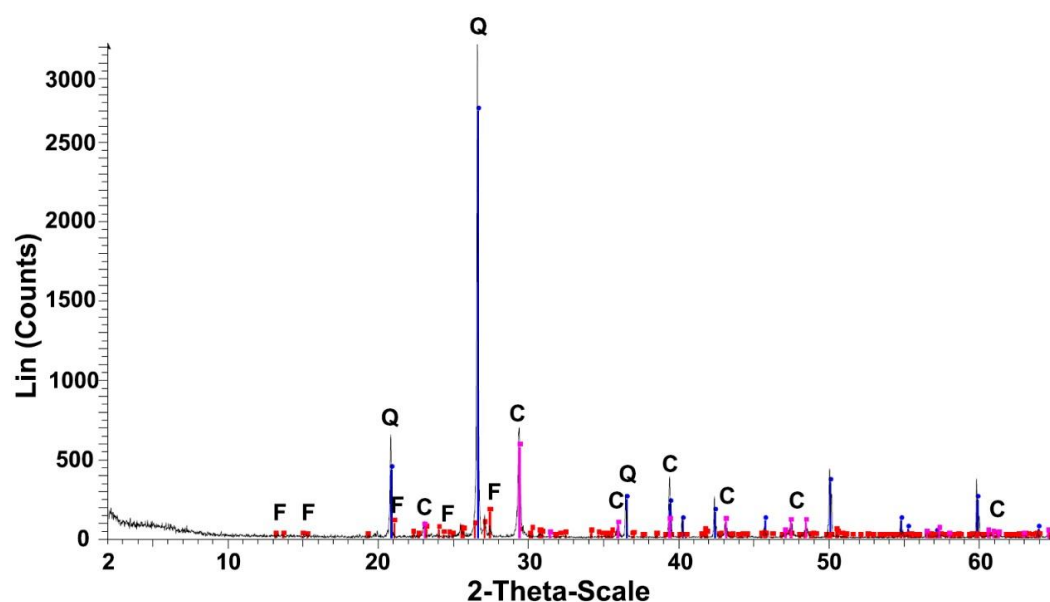


Figura 3. Difractograma de la muestra MP1 en el que se pueden identificar las líneas de difracción correspondientes a la calcita (C) (color rosa en el diagrama), al cuarzo (Q) (azul) y a la microclina (feldespato) (F) (rojo).

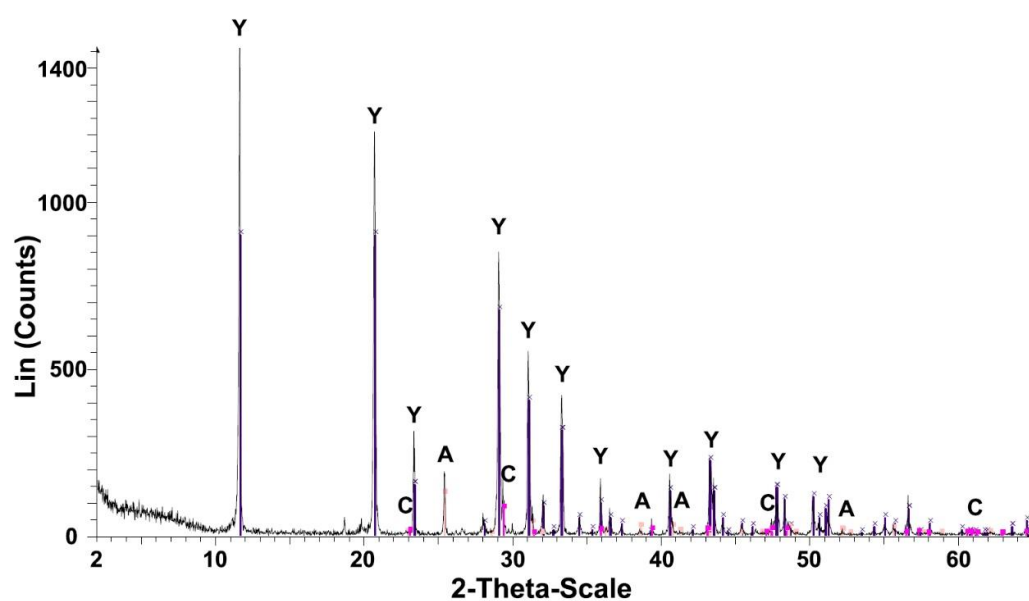


Figura 4. Difractograma de la muestra MP3 en el que se identifica yeso (Y) como principal constituyente (color morado en el diagrama), con anhidrita (A) no rehidratada (salmón) y calcita (C) como mineral complementario (rosa).

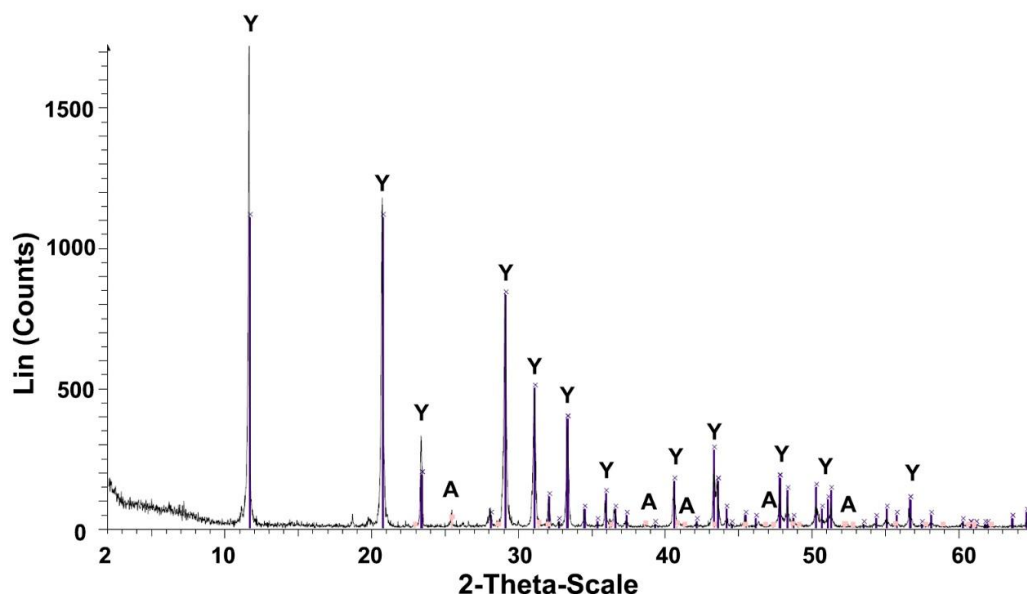


Figura 5. Difractograma de la muestra MP5. Mortero de yeso (Y) (color morado en la gráfica) con restos de anhidrita no rehidratada (A) (salmón).

Por último, dicha fábrica fue revestida con un mortero de trabadillo de cal y yeso (MP4) acabada con un mortero de yeso gris (MP5) (Figura 5) muy similar al mortero de revestimiento inferior del forjado primero encontrado en el torreón.

Por otro lado, se observan morteros de cal y arena muy similares en el torreón (MB2, MF1 y MT1) y en el adarve (MA1 y MA2) (Figura 6). Así mismo los morteros de junta de las distintas áreas presentan pequeñas diferencias (Figura 6).

Microscopía óptica

Se observan numerosos fragmentos cerámicos en los morteros de cal (MP1, MP2, MB2, MF1, MT1, MA1 y MA2) (Figura 7), ausentes en los morteros de yeso del interior del muro y de revestimiento del forjado del torreón y de dicho muro.

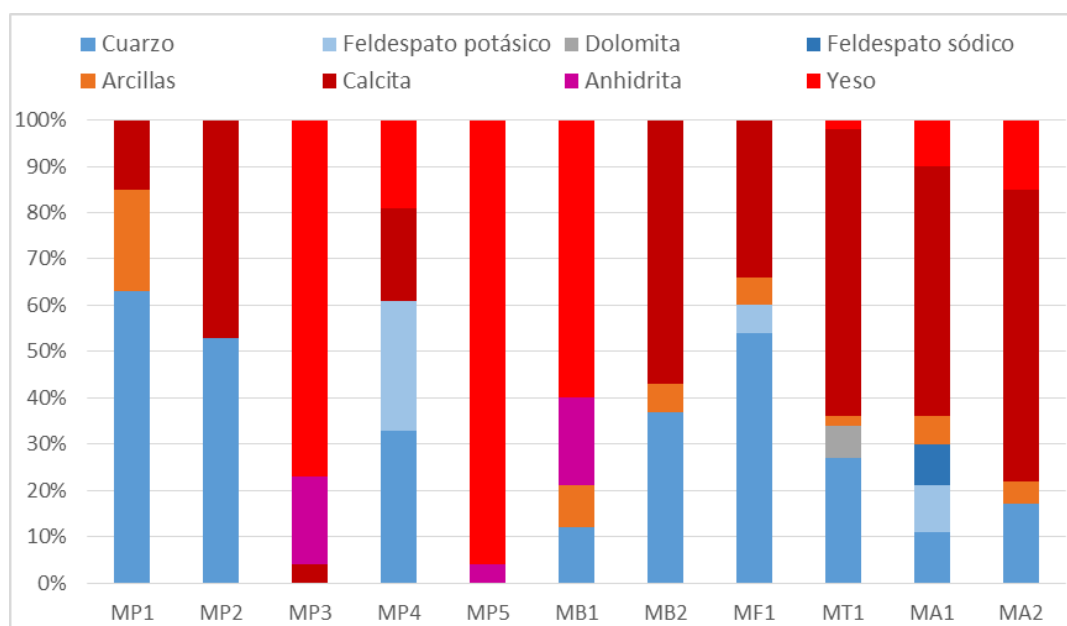


Figura 6. Comparativa de los resultados obtenidos en los análisis de DRX de las diferentes muestras.

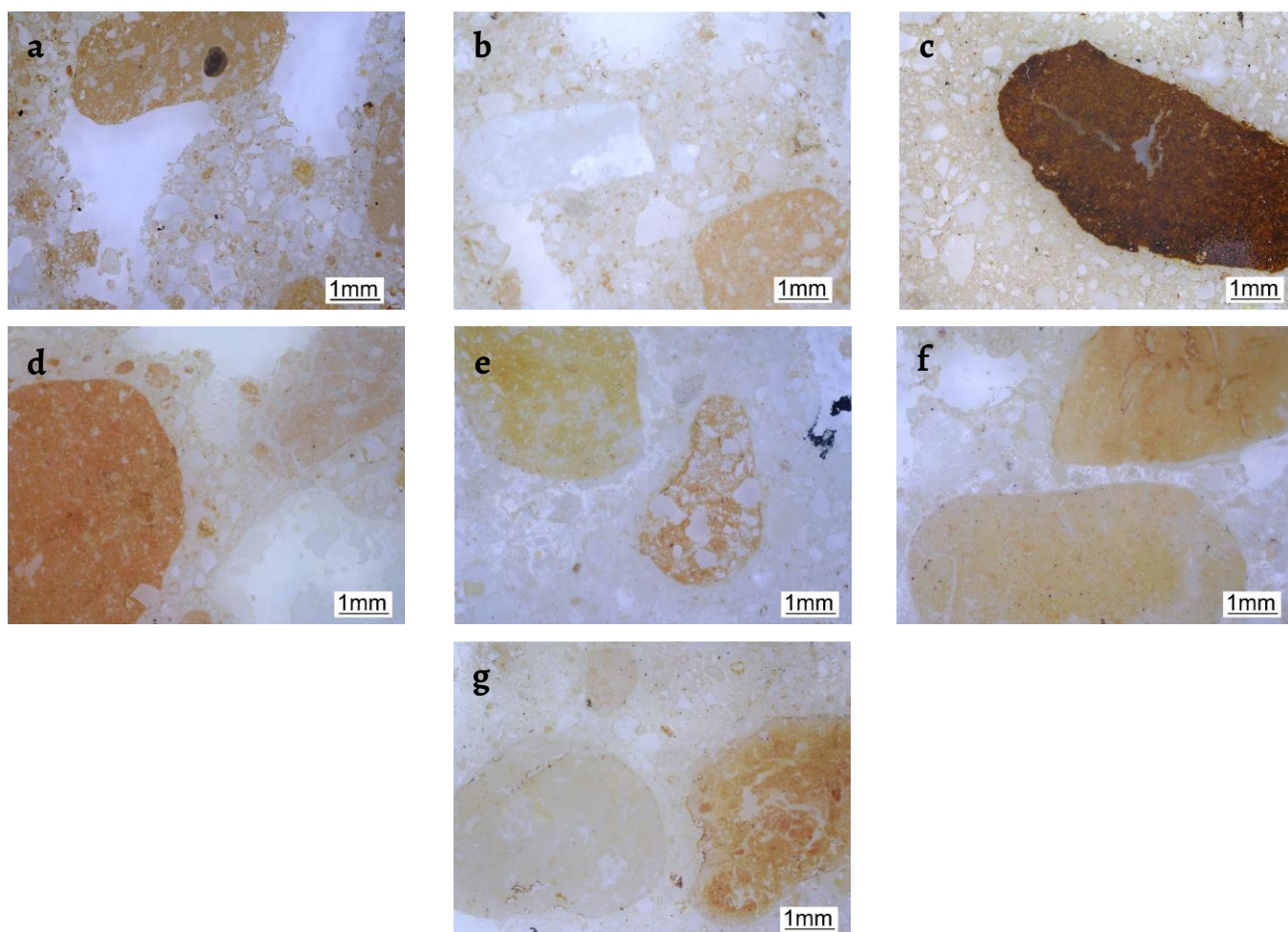


Figura 7. Detalle de fragmentos cerámicos encontrados en los morteros: a) MP1; b) MB2; c) MB2; d) MF1; e) MT1; f) MA1; g) MA2.

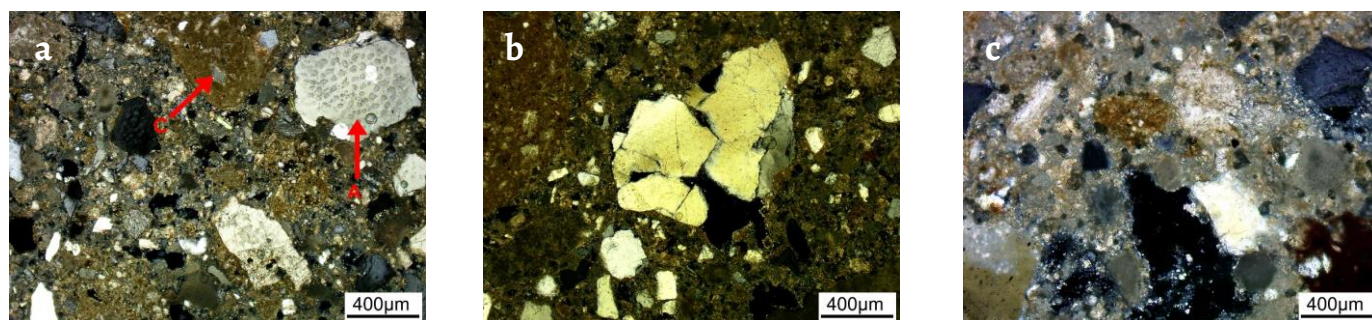


Figura 8. Imágenes del microscopio petrográfico (50 × nicoles cruzados): a) Muestra MP1, zona con presencia de fragmentos cerámicos (C) y áridos calizos de origen orgánico (A); b) Muestra MP2, detalle de un cristal de cuarzo de gran tamaño; c) Muestra MP2, detalle de una de las zonas con arcillas y se observan cristales de belita no hidratada en la matriz del mortero.



Figura 9. Imágenes del microscopio petrográfico: a) Muestra MP3, detalle de fragmento cerámico; b) Muestra MP3, detalle de cristales de anhidrita parcialmente rehidratada; c) Muestra MP5, muestra la presencia de cristales de anhidrita.

Microscopía petrográfica

Se han observado, no solo la presencia de fragmentos cerámicos, sino también la presencia de áridos de cuarzo de gran tamaño (Figura 8b), feldespatos y calizos de origen orgánico (Figura 8a). Así mismo se observan cristales de belita no hidratada en la matriz como resultado de la presencia de impurezas arcillosas en los morteros de cal (Figura 8c).

En el caso de los morteros de yeso, se observan también fragmentos cerámicos, aunque de menor tamaño y frecuencia (Figura 9a), así como cristales de yeso y anhidrita propios de los morteros de yeso tradicionales (Figura 9b y 9c).

Los morteros de junta de fábrica tanto del patio como del adarve, son morteros de cal y arena con una cantidad importante de arcilla y fragmentos cerámicos muy visibles al microscopio, tanto en estereomicroscopía, como en microscopía petrográfica. Estos fragmentos no parecen ser añadidos artificiales para lograr una mayor hidráulica dada su forma subredondeada, lo que descartaría un origen por machaqueo de una cerámica previa [34]. En cambio, la similitud formal entre zonas arcillosas mezcladas con carbonatos poco cristalinos y las manchas cerámicas sugiere un origen en la cocción de calizas con impurezas para la fabricación de la cal [35].

Análisis de la porosidad y granulometría

A partir de los resultados obtenidos observamos como, aun teniendo una porosidad cuantitativamente similar en todas las muestras, cualitativamente presentan ciertas diferencias (Tabla 2).

Los morteros de yeso (MP3, MP5 y MB1) tienen diferentes porosidades debido a su aplicación constructiva. Mientras que el mortero MP3 es un mortero de junta de interior del muro que requiere cierta fluidez de la pasta para su puesta en obra, los morteros MP5 y MB1 son revestimientos que precisan menos cantidad de agua, por lo tanto presentan menor porosidad y además han sido trabajados en superficie por repretado lo que elimina parte de los poros.

Los morteros de cal y arena más antiguos por su posición estratigráfica (MP1 y MP2) tienen una porosidad relativamente alta y muy parecida entre ellos tanto en poros totales como en distribución paramétrica por tamaños. El resto de muestras presentan una porosidad menor a excepción del mortero MA1 que muestra signos de una ejecución de menor calidad.

Por otro lado, examinando los resultados obtenidos del análisis digital de imagen de la granulometría de las muestras se observa cómo en los morteros de yeso empleados como recubrimiento (MP5 y MB1) existe una cantidad de material inerte (impurezas-áridos) propia de los yesos tradicionales con un diámetro no superior a 1 mm, lo que pudo permitir la ejecución de un acabado más fino.

El mortero MP4 es un mortero mixto de cal y yeso con baja relación árido/conglomerante dado su carácter ornamental como acabado del patio en una determinada época histórica.

El mortero MA1, aun siendo un mortero de revestimiento, presenta una relación árido/conglomerante alta con un elevado porcentaje de áridos gruesos (> 4mm). Esto posiblemente se debe a que se encuentra en una zona de paso entre dos de las torres de vigilancia de la fachada oeste, lejos de las zonas nobles del castillo.

En cuanto a los morteros de junta de las diferentes zonas del castillo, estos muestran una relación árido/conglomerante mayor, lo que aumenta su resistencia mecánica. No obstante, ninguno de los morteros de junta analizados contiene un árido con un tamaño mayor de 4 mm de diámetro (Tabla 3).

Tabla 2. Cartografía y análisis digital de imagen de las láminas delgadas. Estimación de la porosidad (P (%)) como relación en superficie de los poros frente a la parte compacta de cada muestra. Distribución de los poros de las muestras teniendo en cuenta el sumatorio de las áreas de los poros con unos diámetros de Feret determinados (> 4mm, > 2mm, > 1mm, > 500µm, 250 µm, 125 µm, 63 µm y resto).

	P (%)	Ø de los poros	Porosidad
MP1	22,4		
MP2	22,5		
MP3	17,0		
MP4*	16,7		
MP5*	8		
MB1*	8,1		
MB2	4,8		
MF1	6,2		
MT1	13		
MA1*	23,2		
MA2	8,1		

Tabla 3. Cartografía y análisis digital de imagen de las láminas delgadas. Estimación de la proporción árido/conglomerante (A/C) como relación en superficie de los áridos (o fragmentos inertes) frente a la parte del conglomerante de cada muestra. Distribución granulométrica de las muestras teniendo en cuenta el sumatorio de las áreas de los áridos con unos diámetros de Feret determinados (>4mm, >2mm, >1mm, >500µm, 250 µm, 125 µm, 63 µm y resto).

	A/C	Granulometría	Áridos
MP1	0,58		
MP2	1,12		
MP3	0,32		
MP4*	0,39		
MP5*	0,08		
MB1*	0,06		
MB2	0,11		
MF1	0,37		
MT1	0,27		
MA1*	1,06		
MA2	0,25		

Conclusiones

Los datos obtenidos permiten alcanzar algunos resultados respecto a la composición, textura y porosidad de los morteros del Castillo.

Desde el punto de vista compositivo, constructivo y estratigráfico se aprecian cuatro grandes grupos de morteros:

- Morteros de junta de yeso: MP3;
- Morteros junta de cal y arena: MP1, MP2, MB2, MF1, MA2 y MT1;
- Morteros de revestimiento de cal y arena con un contenido en yeso como impureza y/o adición: MP4 y MA1;
- Morteros de revestimiento exclusivamente de yeso: MP5 y MB1 (revestimiento interior de yeso tradicional con impurezas arcillosas y restos de anhídrita sin hidratar), situados cronológicamente y estratigráficamente sobre todos los demás. Considerando el MP5 por su composición y características petrográficas como el más moderno de todos.

El mortero MP3 se encuentra en el centro del muro del patio (Figura 2), lo que permite suponer que está en la zona más antigua de la construcción. Teniendo en cuenta que en Castilla en el 1300 y debido a las guerras con los reinos musulmanes se levantan y refuerzan fortificaciones sobre antiguos establecimientos militares y se generaliza una tipología con torres y almenas [30], es posible que esta muestra nos indique un posible núcleo musulmán de yeso. Es un mortero de yeso histórico, identificado con claridad por la presencia de grandes cristales de termoanhídrita no rehidratada (Figura 9b). El mortero MP5 tiene la misma composición, pero se trata de un mortero de revestimiento situado cronoestratigráficamente como última capa de la fábrica.

Sobre este núcleo se produciría la construcción del resto del Castillo, datada históricamente y atribuida al Conde Don Juan Manuel, que correspondería con los morteros del Torreón: MB2, MF1 y MT1, que a su vez son coincidentes en composición, textura y propiedades con el mortero de junta (MA2) y de revestimiento (MA1) encontrado en el Adarve. Aquí tendríamos la etapa de mayor importancia en la construcción del Castillo, con morteros de junta que guardan grandes similitudes en composición, relación árido/conglomerante, y porosidad.

Finalmente se puede identificar una última fase en la que se revestirían algunas zonas con un mortero de yeso de textura similar: MB1, en la torre y MP5 en el patio. Ambos morteros presentan una porosidad muy baja del 8 % y una baja relación árido/conglomerante (0,06 - 0,08) con un porcentaje mayoritario de áridos con un diámetro no superior a 1mm que permiten obtener un acabado más fino durante su aplicación.

Desde el punto de vista metodológico se comprueba la utilidad del análisis digital de imágenes como complemento a los estudios petrográficos. También conviene resaltar la importancia de la microscopía óptica como medio idóneo para discernir dudas que presenta la difracción de rayos X o los métodos químicos en general. El papel de la porosidad y las relaciones árido/conglomerante, así como la forma de los áridos y la textura de las matrices permiten reconocer mejor similitudes y diferencias entre grupos complejos de morteros.

REFERENCIAS

1. Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Moundoulas, P.; Aggelakopoulou, E., 'Reverse engineering: a proper methodology for compatible restoration mortars', in *Proceedings of International RILEM Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry*, Delft (2005) 278-291, <https://www.rilem.net/images/publis/proo067-025.pdf> (acceso en 2021-12-08).
2. Apostolopoulou, M.; Aggelakopoulou, E.; Bakolas, A.; Moropoulou, A., 'Compatible mortars for the sustainable conservation of stone in masonries', in *Advanced Materials for the Conservation of Stone*, eds. M. Hosseini & I. Karapanagiotis, Springer, Cham (2018) 97-123, https://doi.org/10.1007/978-3-319-72260-3_5.
3. Kumar, D. N.; Pancharathi, R. K., 'Material Characterization of Ancient Mortar and Renovation of Heritage Structures for Sustainability—A State-of-the-Art Review', in *Advances in Sustainable Construction Materials* 68 (2020) 43-58, https://doi.org/10.1007/978-981-15-3361-7_4.

4. Schueremans, L.; Cizer, Ö.; Janssens, E.; Serré, G.; Van Balen, K., 'Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects. Research and practice', *Construction and building materials* **25**(12) (2011) 4338-4350, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.01.008>.
5. Papayianni, I., 'The longevity of old mortars', *Applied Physics A* **83** (2006) 685-688, <https://doi.org/10.1007/s00339-006-3523-2>.
6. Hughes, D.C.; Weber, J.; Kozłowski, R., 'Roman Cement for the Production of Conservation Mortars', in *2nd Conference on Historic Mortars - HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop*, RILEM Publications SARL, Praga (2010) 1043-1050.
7. Veiga, R.; Aguiar, J.; Santos Silva, A.; Carvalho, F., 'Methodologies for characterization and repair of mortars of ancient buildings', in *Proceedings of the 3rd International Seminar Historical Constructions*, Universidade do Minho, Guimarães, (2001) 353-362.
8. Hees, R.; Binda, L.; Papayianni, I.; Toumbakari, E., 'Characterisation and damage analysis of old mortars', *Materials and Structures* **37** (2004) 644-648, <https://doi.org/10.1007/BF02483293>.
9. Van Balen, K.; Papayianni, I.; Van Hees, R.; Binda, L.; Waldum, A., 'Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars', *Materials and Structures* **38** (2005) 781-785, <https://doi.org/10.1007/BF02479291>.
10. Veiga, R.; Velosa, A.; Magalhes, A., 'Experimental applications of mortars with pozzolanic additions: Characterization and performance evaluation', *Construction and Building Materials* **23**(1) (2009) 318-327, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.12.003>.
11. Baronio, G.; Binda, L., 'Study of the pozzolanicity of some bricks and clays', *Construction and Building Materials* **11**(1) (1997) 41-46, [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(96\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(96)00032-3).
12. Bustamante, R.; González, F.; Lasheras, F.; Sanz-Arauz, D., 'Revestimiento de los patios madrileños, soluciones y alternativas', in *Actas de las Jornadas de Investigación en Construcción, Madrid* (2005) 191-198.
13. Livingston, R.; Wolde-Tinsae, A.; Chaturbahai, A., 'The use of gypsum mortar in historic buildings', *Structural repair and maintenance of historical buildings II 1* (1991) 157-165.
14. Luxan, M. P.; Dorrego, F.; Laborde, A., 'Ancient gypsum mortars from St. Engracia (Zaragoza, Spain): Characterization. Identification of additives and treatments', *Cement and Concrete Research* **25**(8) (1995) 1755-1765, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00171-9](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00171-9).
15. Raymond, M., 'El enlucido exterior de yeso en las rehabilitaciones de las fachadas de París', *Informes de la construcción* **38**(382) (1986) 35-39, <https://doi.org/10.3989/ic.1986.v38.i382.1740>.
16. Association ouvrière des Compagnons du Devoir, *La plâtrerie, le staffet et le stuc*, Librairie du Compagnonnage, Paris (1994).
17. Genestar, C.; Pons, C., 'Ancient covering plaster mortars from several convents and Islamic and Gothic palaces in Palma de Mallorca (Spain). Analytical characterization', *Journal of Cultural Heritage* **4**(4) (2003) 291-298, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2003.02.001>.
18. Lucas, G., 'High-temperatures gypsum plaster on historic exteriors. A plea for gypsum', *ZKG International* **56**(8-9) (2003) 54-65.
19. Lucas, G., 'The special features of high-temperatures gypsum mortar as a building material', *ZKG International* **56**(8-9) (2003) 78-85.
20. Middendorf, B., 'Physico-mechanical and microstructural characteristics of historic and restoration mortars based on gypsum: current knowledge and perspective', *Geological Society London, Special Publications* **205** (2002) 165-176, <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.205.01.13>.
21. Zier, H.; Auras, M., *Gipsmörtel im historischen Mauerwerk und an Fassaden*, Wissenschaftlich-Technische aplege, München (2008).
22. Arens, P., *Untersuchung und Entwicklung von Gipsmörteln für den Außenbereich unter besonderer Berücksichtigung der Wasserresistenz*, Disertación doctoral, Universität Siegen. (2002), <https://dspace.uni-siegen.de/handle/ubsi/141> (acceso en 2021-12-08).
23. Karoglou, M.; Bakolas, N.; Kouloumbi, A.; Moropoulou, A., 'Reverse engineering methodology for studying historic buildings coatings: The case study of the Hellenic Parliament neoclassical building', *Progress in Organic Coatings* **72**(1-2) (2011) 202-209, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.01.008>.
24. Ponce-Antón, G.; Cruz Zuluaga, M.; Angel Ortega, L.; Agirre Mauleon, J., 'Petrographic and Chemical–Mineralogical Characterization of Mortars from the Cistern at Amaiur Castle (Navarre, Spain)', *Minerals* **10**(4) (2020) 311-327, <https://doi.org/10.3390/min10040311>.
25. Parra, S. J. D.; Sanz-Arauz, D. S., 'El Castillo de Overa. Simbiosis de cal y yeso', in *Décimo Congreso Nacional y Segundo Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción*, Instituto Juan de Herrera, Madrid (2017) 427-436.
26. Villanueva, L.; Sanz-Arauz, D.; Mora, S., 'La construcción medieval y renacentista en las puertas del conjunto amurallado de Moya (Cuenca)', in *Actas del Cuarto Congreso Nacional de Historia de la Construcción*, Instituto Juan de Herrera, Madrid (2005) 1115-1121.
27. Lindqvist, J.; Sandström, M., 'Quantitative analysis of historical mortars using optical microscopy', *Materials and Structures* **33** (2000) 612-617, <https://doi.org/10.1007/BF02480600>.
28. Middendorf, B.; Schade, T.; Kraus, K., 'Quantitative Analysis of Historic Mortars by Digital Image Analysis of Thin Sections', *Restoration of Buildings and Monuments* **23**(2) (2017) 83-92, <https://doi.org/10.1515/rbm-2016-0011>.
29. Maruri, A., *Castillo de Cifuentes. Análisis y estado de conservación*, Trabajo fin de grado en Arquitectura, Departamento Construcción y Tecnología Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid (2019), <https://oa.upm.es/55884/> (acceso en 2021-12-08).
30. Chung, F., 'Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. I. Matrix-flushing method for quantitative multicomponent analysis', *Journal of Applied Crystallography* **7** (1974) 519-525, <https://doi.org/10.1107/S0021889874010375>.
31. Chung, F., 'Quantitative interpretation of X-ray diffraction patterns of mixtures. II. Adiabatic principle of X-ray diffraction analysis of mixtures', *Journal of Applied Crystallography* **7** (1974) 526-531, <https://doi.org/10.1107/S0021889874010387>.
32. Mertens, G.; Elsen, J., 'Use of computer assisted image analysis for the determination of the grain-size distribution of sands used in mortars', *Cement and Concrete Research* **36**(8) (2006) 1453-1459.
33. Middendorf, B.; Schade, T.; Kraus, K., 'Quantitative analysis of historic mortars by digital image analysis of thin sections', *Restoration of Buildings and Monuments* **23**(2) (2017) 83-92, <https://doi.org/10.1515/rbm-2016-0011>.

34. Gonzalez Cortina, M.; Villanueva Domínguez, L., 'Aired-time and chamotte hydraulic mortars', *Materiales de Construcción* **52**(266) (2002) 65-76, <https://doi.org/10.3989/mc.2002.v52.i266.335>.
35. Leslie, A. B.; Hughes, J. J., 'Binder microstructure in lime mortars: implications for the interpretation of analysis results', *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* **35**(3) (2002) 257-263, <http://dx.doi.org/10.1144/1470-923601-27>.

RECIBIDO: 2021.5.20

REVISTO: 2021.6.14

ACEPTADO: 2021.12.11

ONLINE: 2022.1.20



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivados 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

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

Problemas y soluciones de conservación en las colecciones privadas: intervención en la colección propia del artista vasco Nestor Basterretxea

Problemas e soluções de conservação em coleções privadas: intervenção na coleção particular do artista basco Nestor Basterretxea

Conservation problems and solutions in private collections: intervention in the Basque artist Nestor Basterretxea's own collection

KATRIN ALBERDI
EGÜES 

Facultad de Bellas Artes de la Universidad del País Vasco, UPV-EHU, Grado de Conservación y Restauración de Bienes Culturales, Departamento de Pintura, Bizkaia, España
katrin.alberdi@ehu.eus

Resumen

En esta investigación se presenta un plan de conservación integral de la colección privada y propia del artista vasco Nestor Basterretxea. Las obras se encuentran guardadas en su caserío, que carece tanto de controles climáticos como de almacenaje. Para el planteamiento de una propuesta integral de conservación para la colección hay que tener en cuenta los recursos limitados de un particular y adecuar los planes a las posibilidades reales del espacio garantizando la conservación. En el proceso del almacenaje se suceden diferentes necesidades sobre las obras marcadas sobre todo por las exposiciones en museos y galerías. Se valora la necesidad o no de intervenciones de conservación curativa o tratamientos de restauración reflexionando sobre el estado de la cuestión de los criterios de restauración en el arte contemporáneo.

Resumo

Esta investigação apresenta um plano de conservação abrangente para a coleção particular do artista basco Nestor Basterretxea. As obras encontram-se armazenadas na sua casa de campo, que carece de controles climáticos e sistema de armazenamento. Para o planeamento de uma proposta abrangente de conservação do acervo é preciso levar em conta os recursos limitados de um particular e adequar os planos às reais possibilidades do espaço, garantindo a conservação. No processo de armazenamento, surgiram diferentes necessidades para as obras marcadas sobretudo por exposições em museus e galerias. Avalia-se a necessidade ou não de intervenções de conservação curativa ou tratamentos de restauro, refletindo sobre o estado da arte dos critérios de restauro na arte contemporânea.

Abstract

This research presents a comprehensive conservation plan for the private and own collection of the Basque artist Nestor Basterretxea. The works are stored in his farmhouse, which lacks climate controls and storage system. For the planning of a comprehensive conservation proposal for the collection, the limited resources of a particular must be taken into account and the proposals must be adapted to the real possibilities of the space, guaranteeing the conservation of the collection. During the storage process, different approaches on how to treat the artworks emerged during the development of the conservation plan, especially marked by exhibitions in museums and galleries. The need for curative conservation interventions or restoration treatments is decided according to the criteria of restoration in contemporary art.

PALABRAS-CLAVE

Conservación preventiva
Evaluación de riesgos
Recursos
Colección privada
Arte contemporáneo
Catalogación

PALAVRAS-CHAVE

Conservação preventiva
Avaliação de riscos
Recursos
Coleção privada
Arte contemporânea
Catalogação

KEYWORDS

Preventive conservation
Risk assessment
Resources
Private collection
Contemporary art
Cataloguing

Contextualización del proyecto

Nestor Basterretxea Arzadun (Bermeo –Bizkaia- 1924; Hondarribia –Gipuzkoa- 2014) ha formado parte de los más importantes episodios que el arte vasco desarrolló en la segunda mitad del siglo XX. Fue un artista transversal, abarcando prácticamente todas las disciplinas artísticas, además de muy prolífico, presentando una trayectoria de más de 70 años de producción. Presenta obras emblemáticas como las esculturas de la *Serie Cosmogónica Vasca* o las *Estelas*; pinturas en la cripta de la basílica de Aránzazu en Oñate (Gipuzkoa) y las pinturas de la serie *Gernika*; o como *Ama Lur*, largometraje dirigido junto con Fernando M. Larruquert. Además, junto a Jorge Oteiza, Eduardo Chillida y Remigio Mendiburu entre otros, convivieron en Gaur, grupo del que nace el movimiento de la Escuela Vasca en 1966.

A la hora de abordar la conservación de una colección particular, tenemos que tener en cuenta que disponemos de unos recursos también particulares y privados. Y en estos casos hay que plantear la cuestión de un modo realista e individual, de acuerdo con las condiciones y las posibilidades de la entidad privada. Pocos son los estudios publicados que han afrontado la problemática desde este punto de vista. Lo que parece evidente es que hay que estudiar cada caso concreto, y no parece que haya una solución específica.

Idealmente, los planes de conservación deberían de tener un respaldo institucional para poder abordarlos con la intervención de un equipo profesional con cierta infraestructura económica. Pero en el caso de la colección del artista Basterretxea, el proyecto de implantación del plan de conservación integral se llevó a cabo con una colaboración directa entre artista y conservador, a nivel totalmente privado e individual. Uno de los mayores condicionantes que marcarán las propuestas de posibles soluciones será el financiero; cuanto menor sean los recursos, mayor tendrá que ser el esfuerzo por parte de los técnicos de conservación para intentar implantar medidas más o menos ingeniosas para poder garantizar la correcta conservación de los bienes [1]. La excepcional situación de la colaboración directa entre artista y conservadora permitirá también ajustar criterios con el creador de las obras.

En la colección de Basterretxea las obras se encontraban guardadas en su vivienda, que carecía de controles climáticos y de sistemas de almacenaje. El inmueble se encontraba en una zona con un alto índice de humedad relativa (HR) y cambios bruscos de temperatura. Se trata de una colección compuesta por más de un millar de obras muy heterogéneas en formato, tipología y materiales; encontramos entre otras, esculturas de metal y de madera de gran formato, maquetas de proyectos de volumetrías arquitectónicas en madera y cartón, obra pictórica sobre soporte de tabla y lienzo, mobiliario de diseño, fotografías, y, sobre todo, obra gráfica, como dibujos, collages y obras seriadas. Al inicio del proyecto, muchas de las obras se encontraban en un estado crítico de conservación. El proyecto se organizó con una serie de priorizaciones comenzando con el rescate de las obras que se encontraban en riesgo y posteriormente se empezó a organizar y clasificar las obras según la técnica y el tamaño. Una vez que se consiguió catalogar gran parte de la colección, ya se intuía la colección y las necesidades de las obras según sus sensibilidades. En ese momento se planteó la creación de las salas dentro de salas, un sistema de almacenaje para espacios sin posibilidad de rehabilitación.

Durante el proceso de catalogación y almacenaje, se sucedían también otras acciones que interrumpían las prioridades de actuación. Había que intervenir y tratar obras para prepararlas para las exposiciones por requerimiento del artista; hubo que afrontar ataques de xilófagos en la estructura del inmueble; continuas filtraciones de agua; problemas con el sistema eléctrico; incluso derrumbamiento del techo de uno de los espacios. Todas estas complicaciones se fueron solventando según se iba avanzando en la propuesta de almacenaje de la colección.

Finalmente, el proyecto culminó con la implementación de la base de datos digitalizado donde quedaron todas las obras catalogadas y localizadas en su nuevo almacenaje.

Las circunstancias de esta colección son una realidad que comparten muchas otras colecciones. Los artistas no tienen la inquietud, el tiempo, o los conocimientos para conservar

su obra, y lo mismo ocurre cuando el legado traspasa una generación tras el fallecimiento del artista. Es una situación más habitual de lo que se piensa pero son datos difíciles de conseguir, ya que no existe documentación sobre ellas. Sin duda existen colecciones donde se han implantado planes de conservación, pero en todos ellos participan de recursos financieros de entidades públicas que marcarán la distancia al caso estudiado.

Objetivos

El objetivo principal es la salvaguarda del legado. Conseguir una correcta conservación para las obras de arte con los recursos disponibles.

Durante el desarrollo del plan de conservación se tienen que alcanzar diversos hitos transcurriendo diferentes etapas; empezando por el estudio del espacio de almacenamiento de las obras, identificación de los factores de deterioro y recuperación de las obras del estado de emergencia. Esta primera etapa nos lleva a otra, que es la necesidad de inventariar y catalogar las obras que se van descubriendo en ese proceso de recuperación. Una vez organizadas las obras, se establecen las necesidades de la colección y se crean las medidas adecuadas a los requisitos y sensibilidades de cada material. Se lleva a cabo una propuesta de almacenaje basado en el principio de salas dentro de salas, una solución al control climático en espacios sin posibilidad de aislamiento.

El conocimiento de las obras permite conocer el estado de conservación en el que se encuentran, abordando la problemática de las intervenciones sobre ellas y reflexionando sobre los aspectos necesarios a tener en cuenta para la realización o no de tratamientos. El análisis de los casos concretos de los tratamientos realizados con las obras de este artista procura aportar otro dato de estudio más para una reflexión más general en las intervenciones de arte contemporáneo, que es un momento en el que se están marcando nuevos conceptos y nuevos criterios en la restauración y conservación.

Este planteamiento pretende además realizar una aportación a otros artistas contemporáneos o colecciones de particulares que carecen de medios o recursos para implantar un plan museístico de almacenaje en sus talleres y almacenes.

Estado de conservación general del caserío y de la colección

Para poder entender el estado en el que se encontraban las obras en el caserío del artista, primero debemos analizar el contexto de la edificación. Como indica Sánchez [2], el análisis tiene que ir de lo general a lo particular; de fuera hacia dentro. Hay que examinar las características del entorno, empezando por la ubicación, para conocer las particularidades climáticas, hasta llegar a los niveles descriptivos más elementales, como las características estructurales del edificio, los materiales con los que están contruidos, el análisis interior de los espacios, los elementos de almacenaje y, por último, el estado de conservación de las obras en general y uno a uno en particular (Figura 1).

El primer referente tenemos que buscarlo en el clima. La ubicación del inmueble en una zona climática condiciona todo lo demás; desde la estructura del edificio, los ambientes interiores y todo el control que conlleva en materia de humedad, temperatura, fluctuaciones de las mismas, contaminantes atmosféricos, y en cierta medida, las plagas biológicas y la iluminación.

El caserío (Figura 2), situado en las faldas del monte Jaizkibel, en Hondarribia, provincia de Gipuzkoa, se encuentra en un entorno natural de gran humedad. Con una precipitación anual de alrededor de 1500 mm, la HR varía entre 50 % - 85 % según fluctuaciones estacionales y con picos de temperatura que pueden llegar a oscilar entre mínimas de -4 °C hasta máximas de 38 °C [3].

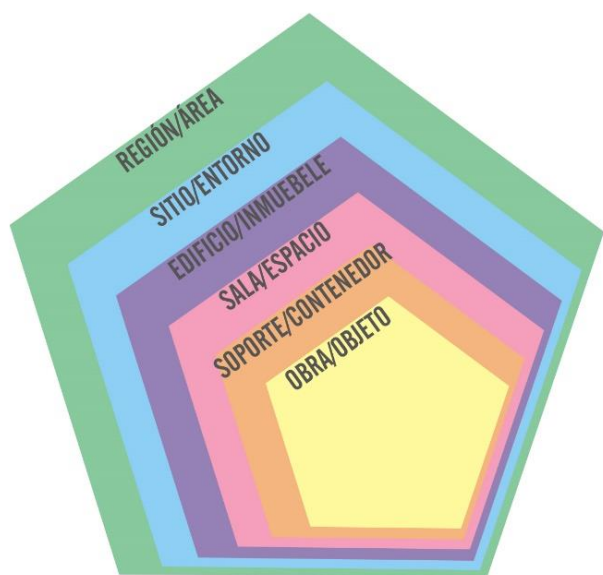


Figura 1. Contexto espacial.



Figura 2. Vista general del caserío Idurmendieta, en Hondarribia, Gipuzkoa.

Se trata de un edificio con estructura de madera y piedra con añadidos posteriores realizados con materiales como el ladrillo y tejado de revestimiento de placas metálicas. El caserío se divide en dos plantas de 250 m² útiles cada una, siendo la planta baja casi diáfana. La vivienda se encuentra situada en la parte de arriba y en la zona de abajo, donde se encuentra almacenada la obra en propiedad del artista, carece de controles climáticos de ningún tipo. En la parte de estructura de piedra, las ventanas y puertas originales de madera, deterioradas por falta de mantenimiento, no ejercen su función de estanqueidad. Esto supone que la temperatura y la HR del interior no difieran prácticamente la del exterior. Los controles puntuales de mediciones tomadas en el lugar así lo indican. En la parte añadida posteriormente, existen filtraciones de agua entre las placas metálicas del techo y humedades en las paredes de cemento y ladrillo. El espacio presenta además falta de ventilación; instalaciones eléctricas deficientes; goteras y filtraciones (Figura 3) y presencia de ataque biológico a diferentes niveles, entre otros.

El control de la temperatura y la HR es un factor transcendental en la preservación de una colección. La problemática generada alrededor de los efectos ambientales en las obras es muy amplia, como los estudios realizados acerca de ello. Encontramos referencias [4-5] que analizan las condiciones ambientales incorrectas o que fluctúan y cómo pueden estos conllevar un daño irreparable a las obras de arte. Altas temperaturas y altos niveles de humedad pueden iniciar reacciones químicas que pueden llevar al deterioro de las obras, pueden causar cambios físicos, promover la corrosión o permitir al moho crecer. Cuando la HR es muy alta causará un aumento de la actividad biológica. Los mohos se generan a partir de una HR por encima del 65-70 %, y las plagas de insectos se empiezan también a desarrollar a partir de ese porcentaje de HR. Uno de los autores más representativos en este campo, Stefan Michalski, que durante casi cuatro décadas ha sido experto técnico en museos y galerías durante su toma de decisiones sobre el control ambiental [6] analiza las categorías en el que entran los tipos de HR incorrecta. Según el autor, la calidad de “húmedo” comienza a partir del 75 % HR, y de ahí para arriba la clasificación será cada vez más incorrecta, y cuanto mayor sea el porcentaje, menos tiempo de actuación habrá.



Figura 3. Vistas de zonas con filtraciones de agua afectando directamente a la obra.

Respecto a las fluctuaciones de la HR, hay que tener en cuenta diversas consideraciones [7]. Por una parte, existe el “valor establecido” que se refiere al valor que se pretende mantener. Por otra, la “fluctuación permisible”, supondrá la variación a corto plazo que será permitida sin que produzca ningún daño. Por último, la “variación estacional”, que se dan dentro de las variaciones climáticas anuales causadas por las estaciones y que serán permisibles siempre y cuando no alteren el rango de valores establecidos. El riesgo proviene no tanto del valor total de la HR, sino las fluctuaciones que presenta. Lo difícil es determinar el porcentaje exacto de las fluctuaciones permisibles en la HR, esto es, la variación a corto plazo que será permitida garantizando que no cause ningún daño. En el caso de nuestro inmueble, lo que estaba claro es que la HR era uno de los problemas más graves. El rango de HR estaba por encima del rango crítico, más del 70 %. Además de eso también había fluctuaciones, tanto estacionales como diarias. De hecho, las obras estaban húmedas al tacto.

En lo que se refiere a la temperatura, al estar directamente relacionado con la HR, su control se vuelve necesario al igual que en la HR. Cualquier cambio en el contexto supone una necesidad de aclimatación que, si no se realiza correctamente, puede llegar a causar deterioros importantes: las altas temperaturas aceleran la velocidad de muchos mecanismos de deterioro; las bajas en cambio, contraen algunos materiales y se hacen más frágiles [8].

En el caso de la colección de Basterretxea se hace difícil determinar unos parámetros determinados de HR y temperatura, ya que se trata de una colección formada por diversos materiales. Encontramos obras de papel, cartón, madera, piedra, lienzo y metales como el hierro y el acero. Y aunque resulte difícil encontrar un ideal ambiental para todos ellos, se puede afirmar que la realidad del espacio de almacenaje que alcanzaba los 70 % de HR resultaba nocivo para todos los materiales constitutivos.

Respecto al biodeterioro, según define Egidio [9], están íntimamente relacionados con altos rangos de humedad, con la estructura de madera del inmueble, y la localización en el campo. La temperatura también contribuye a la instalación de las plagas. Incluso el tipo de madera y las características de la superficie influyen consideradamente junto con la ventilación, o la ausencia de ella más concretamente. Finalmente, la falta de mantenimiento del edificio y la limpieza escasa o nula, contribuyen al deterioro y hace que incluso micromamíferos se sumen al grupo de agentes biológicos que pueden causar daños irreparables en las colecciones [10]. Entre estos últimos encontramos roedores, murciélagos, aves, insectos y microorganismos como bacterias, algas, hongos y líquenes. Estos provocan alteraciones químicas y mecánicas en las colecciones. En nuestro caso encontramos ejemplares de todos los tipos que menciona Pinniger [11] en su análisis de pestes y plagas.

“El momento en el que más peligro corre una obra de arte es durante su manipulación” [12]. La incorrecta manipulación y el mal almacenaje causan daños a las obras. Tratándose de una colección privada, no hay personal especializado y la afluencia de personas que desconocen los protocolos de manipulación y manejan obras a su antojo son muchas. El riesgo de provocar daños inmediatos por golpes al ser transportados es alto. También, un objeto puede deformarse al estar expuesto durante un largo tiempo a algún tipo de fuerza o presión, por ejemplo, si una pieza ha sido almacenada con un soporte inadecuado o si se han apilado o amontonado varios objetos unos sobre otros. La mayoría de las piezas que forman parte de una colección son vulnerables a este tipo de fuerzas físicas directas [13].

La limpieza no parece merecer tanta atención a priori, pero resulta un agente primordial sobre todo cuando se carece de ella. El polvo y la suciedad que se deposita sobre los estantes y los objetos contienen sustancias altamente perjudiciales que son los que proporcionarán la clave para potenciar otros agentes nocivos como los biológicos. Además, es un foco de acidez que modificará químicamente los materiales constitutivos de los objetos. La planificación y gestión de la limpieza interna en edificios antiguos será imprescindible para ayudar en la conservación de los objetos [14].

A pesar de los esfuerzos del artista por salvaguardar su colección, su estado de conservación general presenta un deterioro visible en muchas de las obras. Esta apreciación no está basada

en determinación estadística alguna, sino en una visión global de las obras almacenadas. La [Tabla 1](#) y las [Figuras 4-7](#) presentan e ilustran el estado general de la colección propia del artista.



Figura 4. Obra gráfica con deformación por su inadecuado almacenaje.



Figura 5. Obra fotográfica con presencia de hongos y deformaciones y maqueta de metacrilato de la obra pública La paloma de la paz, 1988, totalmente destruido.

Tabla 1. Descripción de las degradaciones más comunes encontradas en la colección del artista.

Estado de las obras	Degradación
Almacenamiento incorrecto	Deformaciones y roturas sobre todo en obra gráfica
Obras sometidas a filtraciones y a altas condiciones de HR y temperatura	Esto afecta a todos los materiales: Oxidación de las obras metálicas Agrietamientos en las obras de madera Degradación biológica avanzada, humedad al tacto y moho en obra gráfica
Suciedad superficial y polvo	Alteración estética de toda la colección Propicia fenómenos de biodeterioro
Presencia de agentes biológicos	Deposiciones directas sobre las obras Destrucción de obras (roedores que comen obra gráfica para la generación de nidos)


Figura 6. Sin título, 1965, óleo sobre lienzo con pérdida de policromía y deformación en el soporte.

Figura 7. Sin título, 1959. Escultura de pizarra y cartulina con suciedad superficial, pérdida de soporte y grietas en el soporte.

La creación de las salas dentro de salas y su impacto en la conservación de las obras

La lógica de la secuencia metodológica de las etapas de intervención no siempre es factible seguirlas: detectar, evitar, bloquear, responder, recuperar/tratar [15]. Y lo cierto es que la realidad de nuestro caso no sucedió de forma ordenada y cronológica. El dilema clásico en que, si los recursos de tiempo y dinero deben de ser enfocados a los tratamientos de conservación curativa, a intervenciones de emergencia o centrarse en los controles ambientales y métodos de almacenamientos mejorados hacían preguntar sobre la priorización de las acciones [16-17]. Fue un proceso largo y a veces atropellado, y los criterios muchas veces fueron marcados por la necesidad del artista. Las emergencias fueron apareciendo de forma desordenada y puntual y también hubo altos por preparación de obras para las exposiciones, con intervenciones de restauración que podrían de otra manera haber esperado y priorizado otros tratamientos.

En el caso del caserío Idurmendieta, era inviable la remodelación del edificio y su estructura. Era necesario un planteamiento de bajo coste que solventara las necesidades mínimas para la correcta preservación de la colección. En este punto fue cuando surgió la idea de la realización de cubos exentos como almacén dentro del almacén (Figura 8). Estos espacios plantean una solución adecuada para los edificios históricos en su conversión en espacios modernos de exposición o espacios de almacenamiento, ya que se pueden crear ambientes apropiados sin tener que intervenir en los elementos estructurales.



Figura 8. Vista general de los cubos.



Figura 9. Detalle de los elementos del sistema de almacenaje.

Los cubos de madera se construyeron con materiales aislantes térmicos de fibra de vidrio en sándwich entre paneles de placas de yeso laminadas entre dos capas de cartón, patines de 10 cm elevando del suelo para evitar la filtración de humedad y puertas correderas para un mejor aprovechamiento del espacio interior (Figura 9). También se dejó un margen desde el techo para facilitar la ventilación del aire. Se construyeron dos cubos, uno de unos siete metros cuadrados y otro un poco más pequeño, de unos seis metros cuadrados acondicionados por dentro con sistemas de bandejas y baldas.

Teniendo en cuenta la cantidad de obra almacenada, estos dos contenedores no eran suficientes para abarcar la totalidad de la colección, así que hubo que hacer un estudio previo para la valoración de materiales más sensibles y de menor tamaño. En la colección del artista encontramos obras realizadas en diferentes soportes y tamaños por lo que se hizo una clasificación previa dejando fuera las obras menos sensibles a los cambios climáticos como las esculturas de piedra. También hubo obras que tuvieron que quedarse fuera dada sus grandes dimensiones, a las que, en principio, por sensibilidad matérica les correspondería un mayor control. Para el interior de los cubos se diseñaron dos tipos de mobiliario que pudiera albergar diferentes soportes de obras. En uno de los cubos se planteó un sistema de bandejas de madera para poder almacenar prácticamente toda la obra gráfica y fotográfica en propiedad del artista.

Se sabe que la madera puede producir daños por migraciones de algunos de sus componentes. La madera sin cubrir daña a los objetos manchándolos cuando los componentes volátiles entran en contacto directo; por reacción de las emisiones de los compuestos volátiles y por procesos mecánicos que tiene que ver con el acabado y el estado de la superficie de la madera. Asumiendo estas condiciones por estar atribuida a una decisión económica, se forraron todas las bandejas con papel barrera Canson con reserva alcalina para evitar la acidificación de las obras por contacto con la lignina adhiriéndolas con cinta de polietileno de Tyvek (Figura 10).



Figura 10. Proceso de colocación y forrado de baldas.

Una vez almacenada toda la obra seleccionada en estos nuevos contenedores (Figura 11), se aplicó un control de HR emplazando un deshumidificador que iría absorbiendo paulatinamente toda la humedad excesiva que contenían las obras, acumulada a lo largo de los años. Los primeros dos meses el cambio del depósito fue constante, 50 litros por semana (Figura 12), pero en cuatro meses se consiguió eliminar todo el excedente de humedad de las obras hasta llegar a unas condiciones razonables de HR de 55 % - 60 %. No fue necesario implantar un sistema de calefacción ya que los aislantes del habitáculo fueron suficientes para mantener una temperatura estable alrededor de los 20 °C. Los parámetros de temperatura y HR se regulan programando los deshumidificadores al 50 % de HR. Cuando el aparato detecta una subida de HR se pone automáticamente en marcha para eliminar el exceso de humedad en el ambiente.



Figura 11. a) Vista parcial del interior de uno de los cubos de almacenaje, con sistema de bandejas para la obra gráfica; b) Vista parcial del interior del otro cubo, con sistema de baldas para almacenar piezas de otras tipologías y tamaños.

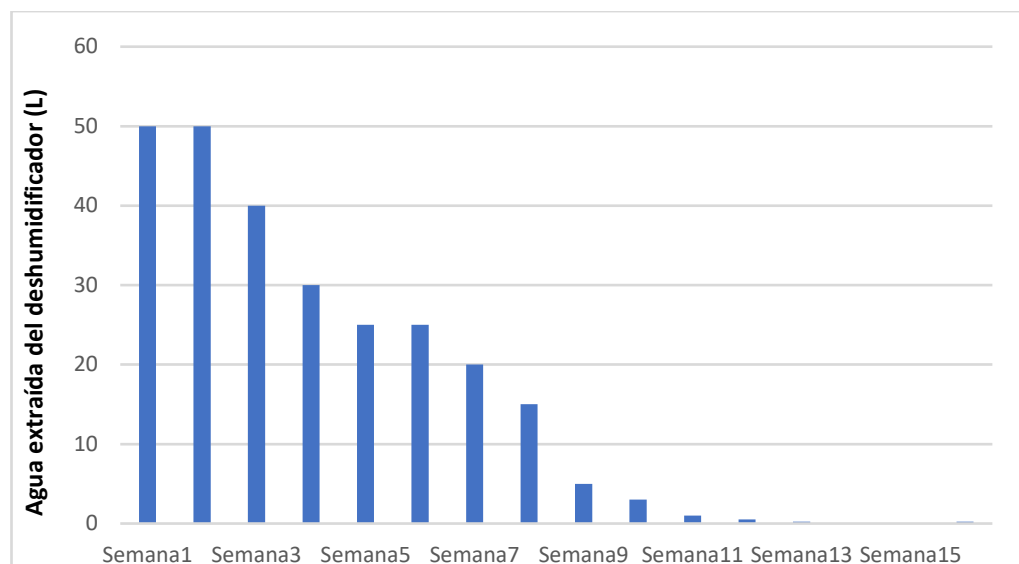


Figura 12. Proceso de eliminación de la humedad del almacén interno hasta conseguir el parámetro de los 55% de HR.

Se considera que estos parámetros son los estándares para colecciones mixtas que contienen diferentes soportes [18], como es el caso de las obras almacenadas, que podemos encontrar además de una gran mayoría de obra gráfica, fotografías, obras con soporte de madera contrachapada y aglomerada, cartón, esculturas de pequeño formato de madera, metal y piedra, y pinturas sobre lienzo o sobre paneles de madera.

Nos encontramos con una propuesta probada que ha dado resultados satisfactorios a la hora de proporcionar un mejor entorno y unas condiciones de conservación y almacenaje adecuados a obras que se encontraban incorrectamente almacenadas y en unas condiciones con un exceso de humedad. Esto afectaba sobre todo a obra gráfica, que se encontraba húmeda al tacto. La estanqueidad de la sala prefabricada permite implantar un control climático viable dando una solución ante la imposibilidad de una reforma integral. Es evidente que no se ha dado una solución de almacenaje definitivo. De momento, la intervención prioritaria ha sido dar solución al control climático estabilizando el exceso de humedad en el ambiente y los cambios de temperatura, que era lo que estaba llevando a la obra a su destrucción. Una vez frenado este proceso de deterioro, será el momento de plantear futuras mejoras. Habría que estudiar la utilización de contenedores metálicos, o plantear un cambio de emplazamiento de las obras, fuera del edificio, en un almacén de dimensiones menores y con mejor posibilidad de control.

Intervenciones en obras

Durante el proceso de catalogación y de almacenaje, se sucedían también las intervenciones que había que priorizar para las exposiciones. Hubo tratamientos curativos, sin incidir sobre la obra, pero también fueron necesarias intervenciones de restauración que estuvieron marcadas por intereses expositivos que de otra forma no se hubieran priorizado. En esta línea se generan muchos debates, ya que los criterios marcados por Cesare Brandi (1906-1988) ya no son suficientes en el arte contemporáneo que hay que tener en cuenta además de la materia el concepto.

Los criterios de los tratamientos estuvieron marcados por varios factores. Por una parte, el tiempo, indivisible junto al presupuesto, que marcan las intervenciones sobre las obras. Y por otra, la presencia del artista como autor y propietario. Como remarca Macarrón [19] el artista tiene el derecho moral sobre la obra desde el punto de vista legal, reconocido por las leyes de

propiedad Intelectual. También tiene el derecho de la reproducción, distribución o transformación de sus obras, llamado el *copyright*, lo que marca una nueva dirección en las intervenciones de conservación y restauración. En este punto la línea Brandiana de los criterios tradicionales se desvanece abriendo nuevos caminos sin explorar. Y es que el artista podría repintar la obra, restaurarla él mismo introduciendo algunos cambios o, retirarla e incluso destruirla, como consecuencia del proceso de creación y del envejecimiento natural o incluso forzado de los materiales constituyentes.

En esta cuestión, hubo intervenciones generadoras de debate. Es el caso de las obras de la serie de crucifixión de la década de los cincuenta, que el comisario Xabier Saenz de Gorbea pretendía mostrar en la exposición en el Koldo Mitxelena de Donostia (“Néstor Basterretxea, El peso de la primera memoria”, Koldo Mitxelena Kulturunea en Donostia-San Sebastián (Gipuzkoa), del 20 de noviembre 2014 al 14 de febrero de 2015). El propio artista había repintado sus obras unos treinta años después de su creación porque el contraste le parecía demasiado dramático. Se le planteó eliminarlas, y el artista aceptó. Si el artista no estuviera vivo, entraría el clásico debate de si es repinte o repolicromía, porque resulta una reinterpretación de la obra del propio artista, la aportación del artista que decidió cambiar la obra. ¿Qué hubiera sucedido si el artista ya hubiera fallecido? ¿Hubiera sido igual de lícito su eliminación?

En esta situación encontramos también el caso de la serie “Homenaje a la América primera” (1992) (Figura 13a), esculturas en color que el propio artista mandó a lacar en blanco para la exposición en la Galería Kur de San Sebastián (28 de enero-28 de abril del 2010) (Figura 13b). El artista, en ese derecho del *copyright*, quiso y pudo transformar sus obras cambiándoles el aspecto policromado. Pero lo cierto es, que, desde un punto de vista historicista y conservacionista, esta acción supuso un verdadero quebradero de cabeza. Con esta mutación las esculturas que fueron el resultado de varios años de investigación sobre las culturas azteca y maya y que hacían referencia a la era precolombina, perdieron su naturaleza y con ella, su significancia. En esos momentos el comisario Peio Aguirre, trabajaba en la preparación de la exposición “Néstor Basterretxea, Forma y Universo”, en el Museo de Bellas Artes de Bilbao (Bizkaia), del 25 de febrero al 19 de mayo de 2013 y necesitaba las piezas en su contexto original para su exposición.

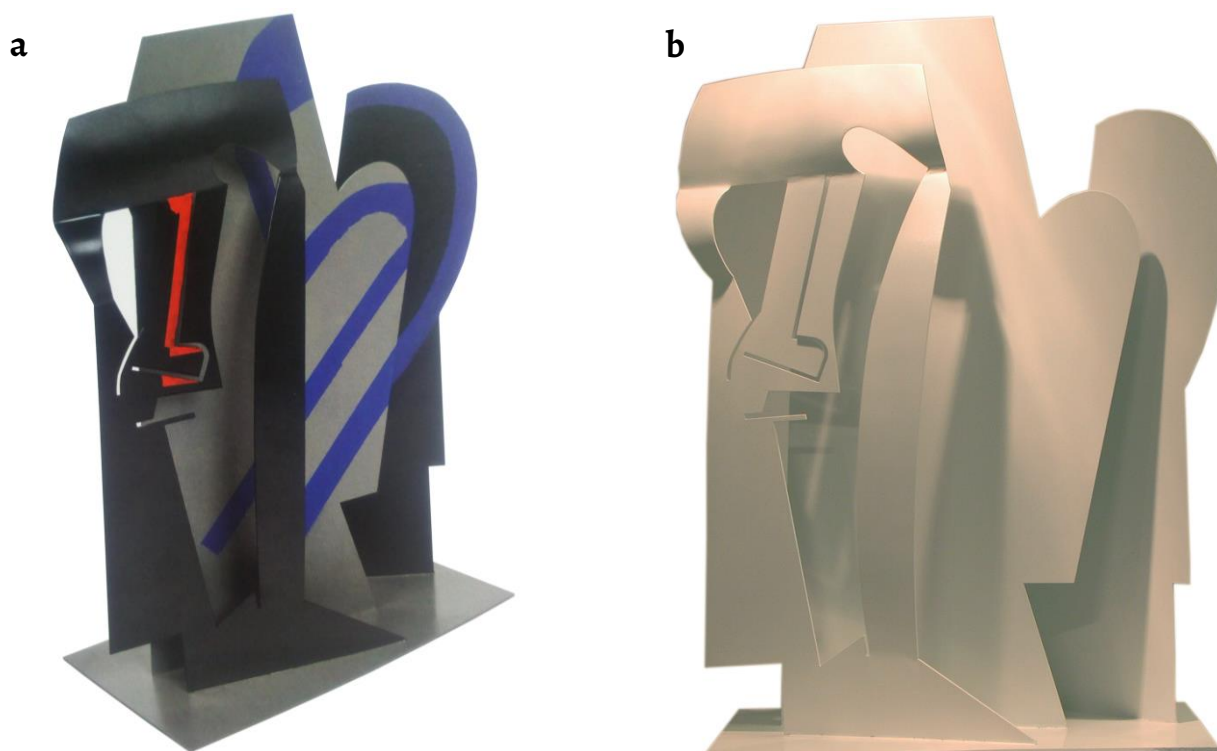


Figura 13. Make pascuak (1992) de la Serie Homenaje a la América primera, hierro pintado, 80 × 62 × 30 cm: a) color original); b) lacado en blanco para la exposición en la Galería Kur de San Sebastián.

Para la recuperación de la “originalidad” de estas obras, no se puede hablar de una intervención tradicional de restauración. Ya no existen reglas sistematizadas, y las problemáticas específicas derivadas ya no sólo por los nuevos materiales y las tipologías de las obras, sino que sobre todo la percepción del propio soporte como simple vehículo para la comprensión de la idea, posibilita ciertas intervenciones totalmente censuradas en otras visiones más tradicionalistas. Según Scicolone [20], el autor podría suponer en un principio una ayuda para el conservador-restaurador para identificar los valores y los significados de la obra. Sin embargo, debemos ser precavidos ante la información directa de los artistas, ya que como comenta Schinzel [21], la visión del artista cambia y se puede ver modificada sobre una obra perteneciente a un periodo anterior de su evolución artística. Esta es la línea que defienden tanto Moreira [22], como Mensi [23], que ven claro la imposibilidad del artista a resistir la tentación de reinterpretar la obra. Esta postura supone una contradicción y está bastante lejos de la exigencia respetuosa de la obra tan defendida en el ámbito de la conservación-restauración.

Hay que tener en cuenta otros factores también como el valor añadido a una obra de arte, que se escapa al terreno exclusivo del artista, o la intención y el mensaje conceptual de su obra, la experiencia artística y la emoción buscada o transmitida a través de su creación. Las teorías de restauración existentes tratan de objetos físicos, los códigos visuales que acompañan la obra, de modo que no alteren el mensaje. Sin embargo, hoy en día, el arte, en muchos casos ya no tiene una apariencia física, es decir, deja de ser un objeto material y pasa a ser procesual o conceptual. Se plantea la inmaterialidad de la obra de arte contemporánea, así como la superioridad de las ideas y la intención artística por encima de la conservación material del arte. Prevalen la producción de ideas por encima de la realización física del mismo [24]. Tendremos que dejar de lado la idea del objeto único con valor de culto, la concepción Brandiana de los valores estéticos e históricos, y valorar la posibilidad de la re-edición, de la actualización y cambio continuo del objeto contemporáneo, y estudiar de qué manera podrá afectar a la autenticidad del patrimonio [25-26].

Para conseguir el equilibrio entre el significado de la obra y la materialidad de la misma, es necesaria una colaboración entre el conservador-restaurador y el artista. En este tándem, se llegó a un acuerdo entre los criterios artísticos y los criterios de conservación para que las repintara siguiendo la referencia de catálogos anteriores. Se vuelve imprescindible el aprovechamiento del artista como fuente de información para garantizar un análisis completo de la obra de arte antes de su intervención [27]. Conocer el significado de la obra, conocer tanto la estructura material como la conceptual, tener capacidad de análisis de las nuevas problemáticas aportados por las obras, y ser capaz de revisar los criterios de intervención. En este proceso, se vuelven fundamentales las contribuciones hechas por el artista sobre su creación, intención y concepto que marcarán los criterios de futuras actuaciones de conservación y restauración. En la “Teoría contemporánea de la Restauración” Muñoz afirma que “Una buena Restauración es aquella que hiere menos a un menor número de sensibilidades – o la que satisface más a más gente” [28]. El sentido común se volverá el pilar de la teoría contemporánea de la restauración.

Creación de la base de datos

Para saber lo que debemos conservar, cuál es su estado de conservación, qué factores de riesgo presenta y cómo se interrelaciona con el resto del fondo, se considera imprescindible la articulación de un sistema de documentación [29]. Citando a García “Conocer mejor es, como ya sabemos, la base para poder conservar mejor” [30].

La necesidad de documentar la colección surgió de forma espontánea, como condición indispensable para la conservación de la obra. Como indica González [31] las acciones de conservación preventiva comienzan precisamente por adquirir el conocimiento de los objetos

que se salvaguardan, realizándose a través de los catálogos e inventarios de bienes culturales. Estos deberían considerarse siempre un primer paso en la mediación de la protección para garantizar la correcta conservación y gestión de los bienes culturales. Fue necesario conocer primero la cantidad y las características materiales para así poder establecer las necesidades de las obras y crear las pautas de almacenaje y ubicación en base a los criterios de conservación preventiva.

Junto a los autores Clark [32] y Ballart [33] se refuerza la idea de la documentación como archivo histórico y herramienta activa en la organización y comunicación de procedimientos y prioridades de conservación. La documentación de las colecciones son una herramienta fundamental para la evaluación de riesgos de deterioro y la información que se recoge en las bases de datos correspondientes debe reflejar las particularidades de cada objeto en relación a su naturaleza y características materiales, su historia material, su estado de conservación, su vulnerabilidad, su significancia, su ubicación y su modo de manipulación y protección en caso de emergencia.

Para la selección del programa más adecuado a la hora de informatizar la colección es necesaria la realización de un estudio previo del volumen de la misma, de su naturaleza y características. La metodología para el tratamiento de datos de almacenamiento y transmisión de grandes volúmenes han experimentado una evolución extraordinaria en los últimos años. Desde hace años la informatización de los sistemas de documentación de colecciones se ha impuesto con éxito rotundo en la mayoría de los museos del mundo. Algunos grandes museos poseen sistemas informáticos propios de documentación y gestión de colecciones, originados en la misma institución por equipos mixtos de expertos informáticos y conservadores. Sin embargo, como menciona Ballart en su "Manual de Museos" [34], para muchas instituciones es más conveniente acudir al mercado para adquirir paquetes informáticos muy completos y flexibles, por tanto, adaptables a las necesidades de los museos particulares. Pero tanto el coste inicial como el de mantenimiento de estos programas se escapan al alcance de colecciones pequeñas o privadas que no se pueden permitir una inversión semejante. Para ellos existen programas más asequibles auto gestionados de fácil manejo y aprendizaje que permiten un uso independiente. El programa de gestión de base de datos FileMaker Pro se adhiere a los estándares establecidos por el Servicio de Datos de Artes Visuales del Servicio de Datos de Artes y Humanidades para el archivo de medios electrónicos y la exportación de información de bases de datos [34]. Este ha sido el programa seleccionado para la realización de la base de datos para la colección del artista Néstor Basterretxea.

La realización de la catalogación también permite el movimiento y desplazamiento de la colección a cualquier otro lugar con una garantía de control. La catalogación se convierte en una herramienta de base para su conservación. A partir de ahí, la implementación de medidas de conservación preventiva se hace viable, incluso en los casos con menos recursos, permitiendo así mejorar sustancialmente el estado de conservación de los bienes culturales y con ello minimizar el deterioro, y evitar la pérdida progresiva de una parte importante del patrimonio cultural [35]. Esta premisa se puede implementar a cualquier colección. La importancia de un correcto almacenamiento y control parte de una buena documentación.

Por otro lado, gracias al trabajo de catalogación se han posibilitado vías de investigación con carácter histórico artístico (Figura 14). Los comisarios Peio Aguirre y Xabier Saenz de Gorbea no hubieran podido realizar las exposiciones si no hubiera existido este proyecto de conservación porque no hubieran podido acceder a las obras, ni física ni documentalmente.

Figura 14. Ejemplo de ficha catalográfica. Obra: Atlándida, 2001. Proyecto de museo de las ciencias para la central nuclear de Lemoiz, Bizkaia. Maqueta de cartón, cartulina, plástico y pintura sobre base de tablero, 44 × 171 × 72,5 cm.

Conclusiones

El objetivo principal que se planteó de garantizar la conservación de la colección se puede decir que se ha cumplido, aunque no de manera permanente, se han establecido unas bases que garantizan una conservación temporal; a partir de aquí se necesita un mantenimiento por parte de los responsables.

La conservación preventiva no es una acción puntual, tiene que ser continuado en el tiempo. Por ello la importancia de transmitir el valor de la conservación preventiva a los responsables de la colección, que en este caso resultan ser ajenos a la profesión. Además de eso, para que el trabajo que se ha llevado a cabo con la colección propia de Basterretxea sea viable en el tiempo, se vuelve imprescindible darle un enfoque más amplio e implantar un plan de gestión que garantice la salvaguarda de sus obras.

El mantenimiento de almacenamiento continuado de una colección se vuelve muy costoso en manos solamente privadas. Pero además de eso, si una colección permanece guardada, y no se muestra al público, corre el riesgo de olvido por parte de la sociedad. No solo se trata de mantener la estabilidad de la humedad relativa; la conservación la tenemos que entender como algo más global, desde una mirada mucho más amplia; la gestión de patrimonio será la que aporte esta perspectiva completa. Dentro de las líneas de gestión de patrimonio se plantean diversas fases, como la de conocer, planificar, controlar y difundir. Todas ellas tienen que entenderse como una acción conjunta, no podemos desarrollar solo una parte de manera individual. Lo que parece estar claro es que llega un momento en el que la intervención de las instituciones públicas se vuelve imprescindible, la carga que supone la responsabilidad de la salvaguarda de todo un legado necesita el apoyo público.

Para evitar el olvido de la colección en los almacenes, se vuelve necesaria la búsqueda de fórmulas de gestión de patrimonio. Lo que está claro es que se necesita un proyecto de gestión y ayuda de las instituciones públicas para garantizar la salvaguarda a largo plazo de la colección. Si no, no resulta sostenible en el tiempo y el esfuerzo que se ha hecho no habrá servido para mucho.

Otra de las conclusiones establecidas ha sido que tanto el análisis del entorno como el análisis de las obras se vuelven fundamentales a la hora de establecer un plan de conservación específica. En el caso del análisis de las obras resulta esencial conocer el contenido de la colección y sus sensibilidades, marcando los criterios para la realización de un planteamiento de almacenaje. El sistema de almacenaje que se ha generado ha estado condicionado por las circunstancias y recursos de los que se disponía, y no se presentan como almacenaje definitivo. Pero la definición del planteamiento de almacenaje ha tenido un punto de partida marcado por las sensibilidades de los materiales constitutivos de las obras analizadas.

Respecto a la catalogación como base de toda la propuesta de conservación se demuestra que ha sido el eje de todo el proyecto. Volvemos a lo más básico, que es que si no sabemos lo que hay no vamos a poder conservarlo. Suena simplista y a la vez categórico, pero resulta fundamental. La catalogación es el principio de todo y es lo que permitirá darle continuidad al proyecto también.

Respecto a las intervenciones realizadas, queda demostrada la necesidad de intervenir directa o indirectamente sobre la obra en el caso de presentar deterioro para frenarlo y garantizar así su preservación. Esta premisa se vuelve válida en el caso del artista Nestor Basterretxea, que abogaba por la conservación de su obra, en otro caso habría que estudiar la postura del artista respecto a la conservación de su obra. Pero respecto a las intervenciones de restauración, las que inciden directamente sobre la apariencia de la obra, pero no necesariamente sobre su estabilidad, las conclusiones son más controvertidas. La ausencia de criterios unificadores respecto a las intervenciones en el arte actual puede tener graves consecuencias. Es todavía un reto sin respuesta evidente, aunque existen cada vez más reflexiones al respecto. Sí que parece haber una tendencia en la metodología que se basa en la documentación, la investigación y la mínima intervención, buscando la unidad potencial, pero buscando la idea o la intencionalidad del artista más que en el objeto físico. Se vuelve así imprescindible saber para quién restauramos, puesto que la respuesta determinará los criterios de intervención. La conclusión más importante es que las intervenciones de restauración contemporáneas se realizan en un momento preciso con unas condiciones concretas, en una realidad específica y el restaurador interviene con el máximo respeto posible. También destacar que resulta fundamental la experiencia directa del artista en el arte contemporáneo para establecer los criterios de conservación y restauración de cara a un futuro que el artista no esté.

Por último, se demuestra que el planteamiento que se ha seguido en el caso Basterretxea es extrapolable a cualquier otra colección, tanto de artistas como de coleccionistas particulares que carecen de medios o recursos para la implantación de un plan museístico de almacenaje en sus propiedades. Se han trasladado los conocimientos y experiencia de los estándares museísticos de arte contemporáneo a un espacio privado con capital reducido. Se demuestra que, con pocos recursos, pero con los conocimientos necesarios se puede garantizar una correcta conservación.

REFERENCIAS

1. Appelbaum, B., *Preserve, Protect, and Defend. A Practical Guide to the Care of Collections*, Barbara Appelbaum Books, New York (2018).
2. Sánchez Hernamperez, A., *Políticas de conservación en bibliotecas*, Arco Libros, Madrid (1999).
3. 'Resúmenes climatológicos. País Vasco', in *Agencia Estatal de Climatología*, http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes?w=1&datos=-1&n=3&k=pva (acceso en 2021-01-12).
4. García Fernández, I., *La conservación preventiva de bienes culturales*, Alianza Editorial, Madrid (2013).
5. Vaillant Callol, M.; Doménech Carbó, M.T.; Valentín Rodrigo, N., *Una mirada hacia la conservación preventiva del patrimonio cultural*, Editorial Universidad Politécnica de Valencia, Valencia (2003).
6. Michalski, S., 'Sharing Conservation Decisions: Tools, Tactics, and Ideas', in *Sharing Conservation Decisions: Current Issues and Future Strategies*, eds. A. Heritage & J. Copithorne, ICCROM, Rome (2018) 183-204.
7. Michalski, S., 'Climate Guidelines for Heritage Collections: Where We Are in 2014 and How We Got Here', in *Proceedings of the Smithsonian Institution: Summit on the Museum Preservation Environment*, eds. S. Stauderman y W.G. Tompkins, Smithsonian Institution Scholarly Press, Washington (2016) 7-32.

8. García Fernández, I.; Rodríguez Antón, D.; Blázquez Rodríguez, M.E., *Museografía y conservación*, Editorial Síntesis, Madrid (2019).
9. AA.VV., 'Prevención del biodeterioro en archivos y bibliotecas. Instituto del Patrimonio Histórico Español 24-25 de junio de 2004', *Bienes Culturales: revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español* 5 (2005) 1-48.
10. Valentín, N., 'Análisis de biodeterioro. Infestaciones y su erradicación', *Bienes culturales: revista del Instituto del Patrimonio Histórico Español* 2 (2003) 175-186.
11. Pinniger, D., *Integrated Pest Management in Cultural Heritage*, Archetype Publications, London (2015).
12. Rotaeche González de Ubieta, M., *Transporte, depósito y manipulación de obras de arte*, Editorial Síntesis, Madrid (2007).
13. Powell, B. A., *Collection care: an illustrated handbook for the care and handling of cultural objects*, Rowman Littlefield, Lanham (2016).
14. Lloyd, H.; Lithgow, K., 'Planning and managing housekeeping', in *The National Trust Manual of Housekeeping: The Care of Collections in Historic Houses Open to the Public*, eds. K. Lithgow, H. Lloyd, J. Parry, S. Staniforth y N. Seeley, National Trust–Elsevier Butterworth-Heinemann, London–Oxford (2006) 114-123.
15. Goren, S., *Manual para la preservación del papel. Nueva era de la Conservación Preventiva y su aplicación actualizada*, Alfagrama, Buenos Aires (2010).
16. García, P. M.-C., 'La casa por el tejado: ¿Es posible implementar el plan de conservación preventiva del museo sin redactarlo?', in *Actas del VI Congreso GeIIC ¿Y después? Control y mantenimiento del Patrimonio Cultural, una opción sostenible*, Grupo español IIC, Madrid (2018) 48-57.
17. Keene, S., *Managing Conservation in Museums*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford; Boston (2002), <https://doi.org/10.4324/9780080510866>.
18. Michalski, S., 'Care and preservation of collections', in *Running a Museum: a Practical Handbook*, ed. P. J. Boylan, ICOM (2004) 51-90.
19. Macarrón, A., *Conservación del Patrimonio Cultural. Criterios y normativas*, Editorial Síntesis, Madrid (2008).
20. Scicolone, G., *Restauración de la pintura contemporánea*, Translated by Ariadna Viñas, Editorial Nerea, Hondarribia (2002).
21. Schinzel, H., *Touching Vision: Essays on Restoration Theory and the Perception of Art*, Ghent University, Faculty of Arts and Philosophy – VUB University Press, Ghent, Brussels (2004).
22. Moreira, J. C., 'La teoría en la práctica de la conservación/restauración del arte contemporáneo', in *Conservación de Arte Contemporáneo 9^o Jornada*, Grupo español IIC, Museo Nacional Centro de Arte Reina Sofía, Madrid (2008) 209-218.
23. Mensi, L., 'Working with living artists', in *What's Changing: Theories and Practices in the Restoration of Contemporary Art*, eds. M. C. Mundici y A. Rava, Skira, Milano (2013) 247-252.
24. Farias de Carvalho, H., 'Uma metodologia de Conservação e Restauro para Arte Contemporânea', in *Seminário Internacional: Arte Contemporânea: Preservar o quê?*, ed. C. Freire, Museo de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo, São Paulo (2014) 17-30.
25. Llamas-Pacheco, R., 'El artista contemporáneo ante la transformación de su obra. El paso del tiempo y su efecto sobre la significación de la materia', *Arte, Individuo y Sociedad* 28(2) (2016) 297-309, https://doi.org/10.5209/rev_ARIS.2016.v28.n2.48436.
26. Santabárbara Morera, C., 'La conservación del arte contemporáneo: ¿un desafío para la teoría de la restauración crítica?' in *Actas del seminario internacional Conservando el pasado, proyectando el futuro. Tendencias en la restauración monumental en el siglo XXI*, Diputación de Zaragoza, Institución "Fernando el Católico", Zaragoza (2013) 141-157.
27. Stigter, S., 'The artist interview as a conservation tool for process-based art by Sjoerd Buisman', in *The Artist Interview: for Conservation and Presentation of Contemporary Art: Guidelines and Practice*, eds. L. Beerkens, P.'t Hoen, I. J. Hummelen, V. van Saaze, T. Scholte, y S. Stigter, Jap Sam Books, Heijningen (2012) 68-77.
28. Muñoz Vinãs, S., *Teoría contemporánea de la Restauración*, Editorial Síntesis, Madrid (2003).
29. Gil Romero, R., *Plan de Conservación Preventiva. Museos del Cabildo de Gran Canaria. Colecciones de Bienes Culturales Muebles*, Las Palmas de Gran Canaria (2012).
30. García Cuetos, M.P., *El patrimonio cultural. Conceptos básicos*, Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza (2012).
31. González-Varas, I., *Conservación de bienes culturales. Teoría, historia, principios y normas*, 6^a ed., Ediciones Cátedra, Madrid (2008).
32. Clark, J., 'Conservation documentation at the National Museums of Scotland', in *ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 20-27 September 2002*, ed. R. Vontobel, James & James (Science Publishers), London (2002) 269-274.
33. Ballart Hernández, J., *Manual de museos*, Editorial Síntesis, Madrid (2007).
34. Burnstock, A.; Morgan, S., 'A database of artists' materials from painting examined at the Courtauld Institute of Art', in *ICOM Committee for Conservation 13th Triennial Meeting Rio de Janeiro 20-27 September 2002*, ed. R. Vontobel, James & James (Science Publishers), London (2002) 261-268.
35. Herráez Ferreiro, J. A., 'La conservación preventiva como método de trabajo integrador', in *El conservador-restaurador de patrimonio cultural: la conservación preventiva de la obra de arte*, Universidad de León, León (2015) 19-23.

RECIBIDO: 2022.1.11

REVISTO: 2022.6.12

ACEPTADO: 2022.6.24

ONLINE: 2022.12.30



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

Para ver una copia de esta licencia, visite

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

Public housing as urban heritage: experience and research approach in Spain

Habitação pública como património urbano: experiência e abordagem de investigação em Espanha

NOELIA CERVERO
SÁNCHEZ 

University of Zaragoza, EINA,
Department of Architecture,
Zaragoza, Spain
ncervero@unizar.es

Abstract

International conservation policies have incorporated the urban dimension of heritage, which considers the city as a historical *continuum* connected with the territory. However, the social housing complexes built in Europe throughout the second half of the 20th century lack legal entities and tools for their protection. Urban rehabilitation policies have substituted the initial demolition-replacement processes, by way of combining and coordinating protective measures. The rehabilitation of the Caño Roto Housing Estate (Madrid 1994-2004), as a precursor of a type of intervention widespread in Spain, is analysed with the aim of finding the actors, tools and decisions, so that the model can be optimised in future operations. The heritage dimension involves the development of the necessary means to make possible the conservation and functional updating of the buildings, as well as the development of new cultural, socioeconomic and environmental values, in order to add sustainability to the urban environment.

Resumo

As políticas internacionais de conservação têm incorporado a dimensão urbana do património que considera a cidade como um *continuum* histórico ligado ao território. No entanto, os complexos habitacionais sociais construídos na Europa ao longo da segunda metade do século XX carecem de entidades jurídicas e de instrumentos para a sua proteção. As políticas de reabilitação urbana substituíram os processos iniciais de demolição-substituição através da combinação e coordenação de medidas de proteção. A reabilitação do Conjunto Habitacional de Caño Roto (Madrid 1994-2004), precursora de um tipo de intervenção comum em Espanha, é analisada neste estudo com o objetivo de identificar atores, instrumentos e decisões para que o modelo de intervenção possa ser otimizado no futuro. A dimensão patrimonial abrange o desenvolvimento dos meios necessários para possibilitar a conservação e atualização funcional dos edifícios, bem como o desenvolvimento de novos valores culturais, socioeconómicos e ambientais a fim de melhorar a sustentabilidade do ambiente urbano.

KEYWORDS

Public housing
Heritage
Urban rehabilitation
Housing estate
Caño Roto
Madrid

PALAVRAS-CHAVE

Habitação pública
Património
Reabilitação urbana
Património habitacional
Caño Roto
Madrid

Introduction

In recent years, a variant of the broad concept of heritage, which acknowledges the need to define cultural traditions and identities, has made necessary a professional and institutional system of preservation within an urban dimension. As a reaction to the anti-historicist and functionalist vision of the Modern Movement, new lines of thought added cultural, socioeconomic and environmental objectives for historical and artistic preservation. Based on them, several international conservation policies have been developed, surpassing the limited scope of the traditional city and incorporating a concept of heritage that considers the city as a historical continuum connected with the territory [1].

However, some urban environments, such as the social housing estates developed by the public administrations of different European countries in the second half of the twentieth century, have usually been oblivious to any conservation policy. Their role in the growth of the cities as semiautonomous colonizers of the periphery has been documented by the administration and specialized literature. Despite this, their historical nature is not recognized, due to their relatively recent construction. In general terms, their artistic or cultural value is not taken into account. They often lack uniqueness or an exemplary character and have been built with scarce means, which determine a questionable quality. From a socioeconomic point of view, their low habitability conditions have led to abandonment and degradation processes. As a result, the environmental value of the building and the intermediate spaces has also been diminished, which explains the low sustainability of these urban areas.

The difficulty of turning these housing complexes into a new category of heritage lies not only in their general lack of protection policies, but also in the distance from the established cultural scale of values. The incomprehension of their architectural and urban interest, by the inhabitants and public managers, leads to a lack of definition in the criteria that guide the rehabilitations necessary for their upgrading. This situation makes it necessary to analyse the factors that have determined these operations and the effects they have triggered, so that they can be reconsidered in the future.

This paper analyses the urban rehabilitation of a representative work of the Spanish Modernity, the Caño Roto Housing Estate (*Poblado Dirigido de Caño Roto*), located in Madrid, which was built between 1957 and 1963, and rehabilitated between 1994 and 2004. This case study is considered appropriate as it is a pioneering urban intervention on a territorial scale and provides important contributions to the policy that supports it [2]. The fact that it is completed and the time that has elapsed, make it possible to assess the true consequences of each action.

The research will also explore the approaches taken in the intervention and those that should be taken for the general regeneration of the public housing estate. It is, therefore, a revision of the traditional concept of heritage to incorporate new mechanisms capable of bringing together the improvement of the habitability and the population rate, with the protection of the original characteristics that underpin their intrinsic values.

Theoretical framework: Public housing estates as urban heritage

In the European context, the long list of problems affecting social housing estates, with increasing physical, social and economic deterioration [3], has tended to be considered as an inherent consequence of the negative effect of the massive and homogeneous architecture on the population [4]. As a reaction to a period of widespread demolitions, since the late 1990s (and before that date in some cases), there has often been a debate about "urban renewal", facing the need for new conservation policies that would incorporate the heritage status and the social factor.

Considering the housing estates within the context of heritage provides a perspective that links with the concept of “historic urban landscape” set out in the Vienna Memorandum [5], to review and update the modern paradigm of urban conservation. Although this concept is under debate, it addresses some of the limitations of a conventional approach and it is an instrument capable of identifying new values and tools for the conservation of the city in this century. Its main contribution, drafted in Paris in 2011 and ratified in 2019, consisted in understanding the tangible and intangible urban heritage, as a primary resource to improve cultural, socioeconomic and environmental aspects, essential in territorial policy:

The historic urban landscape is the urban area understood as the result of a historic layering of cultural and natural values and attributes, extending beyond the notion of historic centre or ensemble to include the broader urban context and its geographical setting. [6]

Despite the progress outlined in these International Charters for Heritage, which represent an evolution in the categories of protection towards large-scale and complex environments, social housing estates are not explicitly included. The consideration of these residential areas as a historical urban heritage could lead to a conceptual, methodological and, therefore, normative extension of their conservation. However, the legal and urban protection, especially of the sets built in the second half of the 20th century, is controversial in various European countries that often lack effective tools for action [7].

Several countries share a recent consideration of the value of massive post-war estates, with similar scale and construction characteristics, although very different management systems [8]. In the United Kingdom, post-war public housing was included in the late 1980s as a specific category in a campaign for the state protection of key twentieth-century buildings. Since the 1990s, outstanding mass housing projects have been included; in some cases, under the threat of disappearance or insensitive reparation, but the most representative ensembles of the period have been neglected [9]. In the Netherlands, after decades of programs focused on the demolition-replacement of the existing housing estates, there has been a paradigm shift. The adoption of conservation criteria, insufficient to preserve post-war ensembles, was complemented in 2011 by a selection of neighbourhoods that the Cultural Heritage Agency of the Netherlands considered of national interest due to certain distinctive qualities that included their social value [10]. In France, the threat of successive public intervention programmes based on mass demolition operations has also come to a halt [11]. Despite their stigmatization, a small number of *Grands Ensembles* (1950-1970) have recently been identified as urban areas of heritage interest [12]. These outstanding policies in Europe show the beginning of the implementation of a series of criteria and action tools whose generalization is still in process.

Spain has begun to incorporate conservative urban planning instruments developed by some city councils, although they generally lack effective protection measures. The rehabilitation of the public housing states began to be promoted in 1983, when the National Law Royal Decree 2329/83 on Rehabilitation of the Residential and Urban Heritage (*Real Decreto 2329/83 sobre Rehabilitación del Patrimonio Residencial y Urbano*) extended the protection of the built heritage of urban centres and historical-artistic sites to any area with buildings over ten years old, which were renamed as Integrated Rehabilitation Area (*Área de Rehabilitación Integrada*).

In Madrid, the results obtained previously in a housing demolition-replacement program applied to the entire periphery, such as the permanence of the inhabitants and access to a good quality dwelling, were considered basic when setting the criteria for intervention. The 1985 Local Development Framework (LDF) (*Plan General de Ordenación Urbana*) determined the protection of the historic Housing Estates (*Colonias históricas*) as heritage because of a movement that, since the 1970s, supported the high-quality non-emblematic architecture of the nineteenth and twentieth centuries. The primary objective of the LDF was the preservation

and improvement of the whole city, so the maintenance of the buildings (for economic reasons) was given priority in most public estates.

After a first phase that involved the privatization of 7700 public dwellings, in 1994 the rehabilitation of urban areas was promoted by the signing of a protocol of cooperation between the State, Regional and Local Administrations, to act in seven Areas for Preferential Rehabilitation (*Áreas de Rehabilitación Preferente*) with the conservation of the built heritage, the urban space and the socioeconomic conditions of the residents. The 1997 LDF, currently in force, abandoned the safeguarding of the city as a whole and awarded protection to several public housing estates as "Homogeneous Estates".

This evolution in the Spanish Legislation and the Madrid Ordinances allowed the rehabilitation of the Caño Roto Housing Estate, with an important boost from the Administration for its promotion. However, the lack of an adequate regulatory system has made it difficult to apply conservation and heritage restoration criteria, as discussed below.

Case study: The rehabilitation of the Caño Roto Housing Estate

Origin and architectural value

The Caño Roto Housing Estate constituted, in the words of Juan Daniel Fullaondo [13], "the pinnacle of Madrid's social experience". Its construction took place between 1957 and 1963 by the architects José Luis Íñiguez de Onzoño and Antonio Vázquez de Castro who, in tune with the rest of Housing Estates, provided a new architecture and urban project up to that time [14]. It is a group of 1606 dwellings and community services in an area of 19.46 Ha, which constituted a unitary set adapted to both the environment and the needs of the population [15-16] (Figure 1).

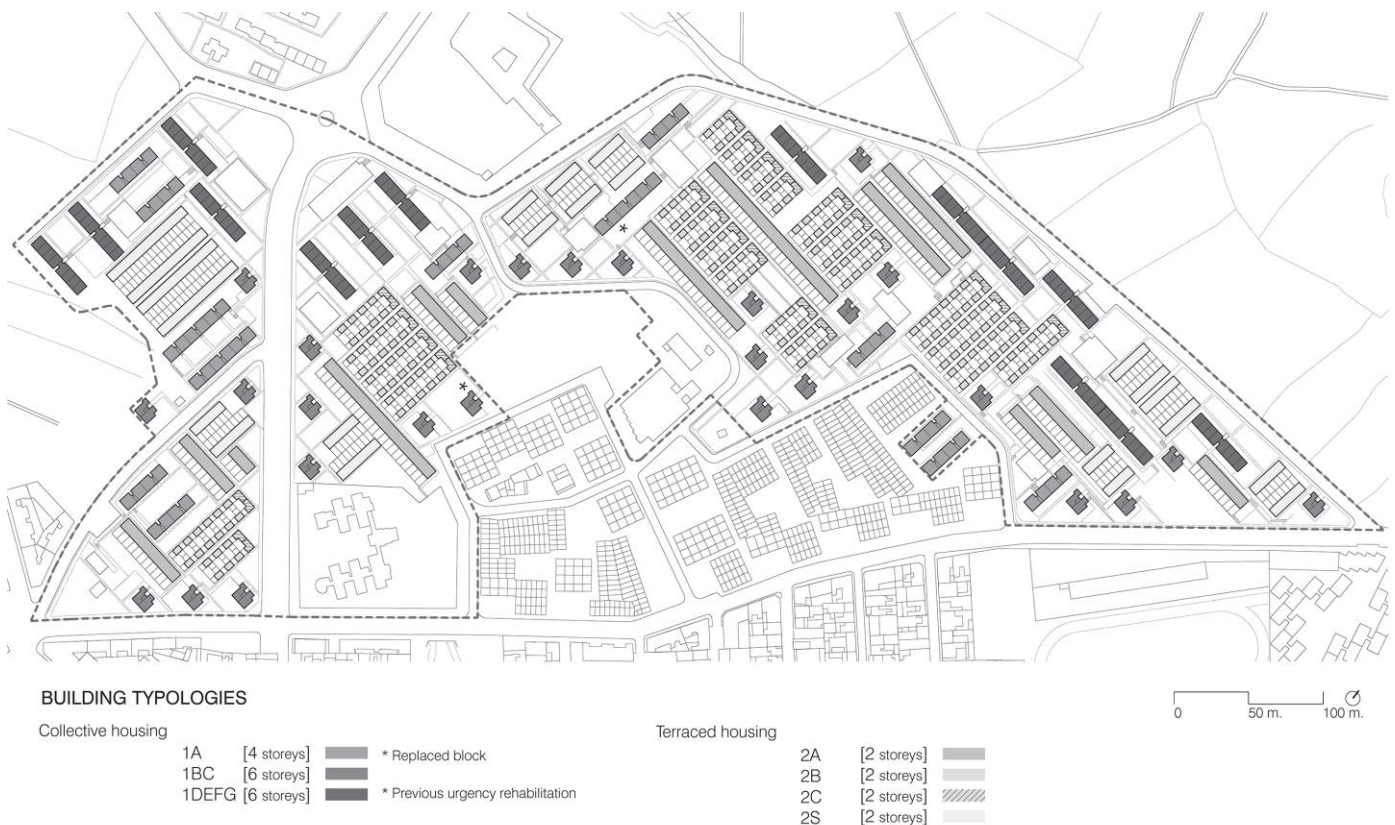


Figure 1. Caño Roto Housing Estate. General plan and situation of the building typologies. Drawing by the author.



Figure 2. Caño Roto Housing Estate. Aerial view, 1960. (Source: Centro de Documentación de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid).

It was designed in continuity with a temporary housing complex (*Poblado de Absorción*), meaning to create a joint and self-sufficient unit. The ordering of the buildings, on a plot of great complexity due to its uneven topography, followed a criterion of harmony with the territory. The architecture was intended to represent the Modern Movement, taking into account the local requirements through a variety of volumes and material uniformity that provided the complex with a high degree of abstraction.

The construction is mixed, formed by 43 linear blocks (680 dwellings), 27 towers (324 dwellings) and 602 terraced houses (single-family dwellings). The six-storey linear blocks are arranged in the lower and exterior areas limiting the views into the distance to separate the public space from the surroundings. The terraced houses are grouped in compact series situated in the interior, from where the views are determined by four-storey blocks that provide an intermediate scale, and six-storey towers that are arranged on the higher ground areas favouring the views and acting as a backdrop to the perspective (Figure 2).

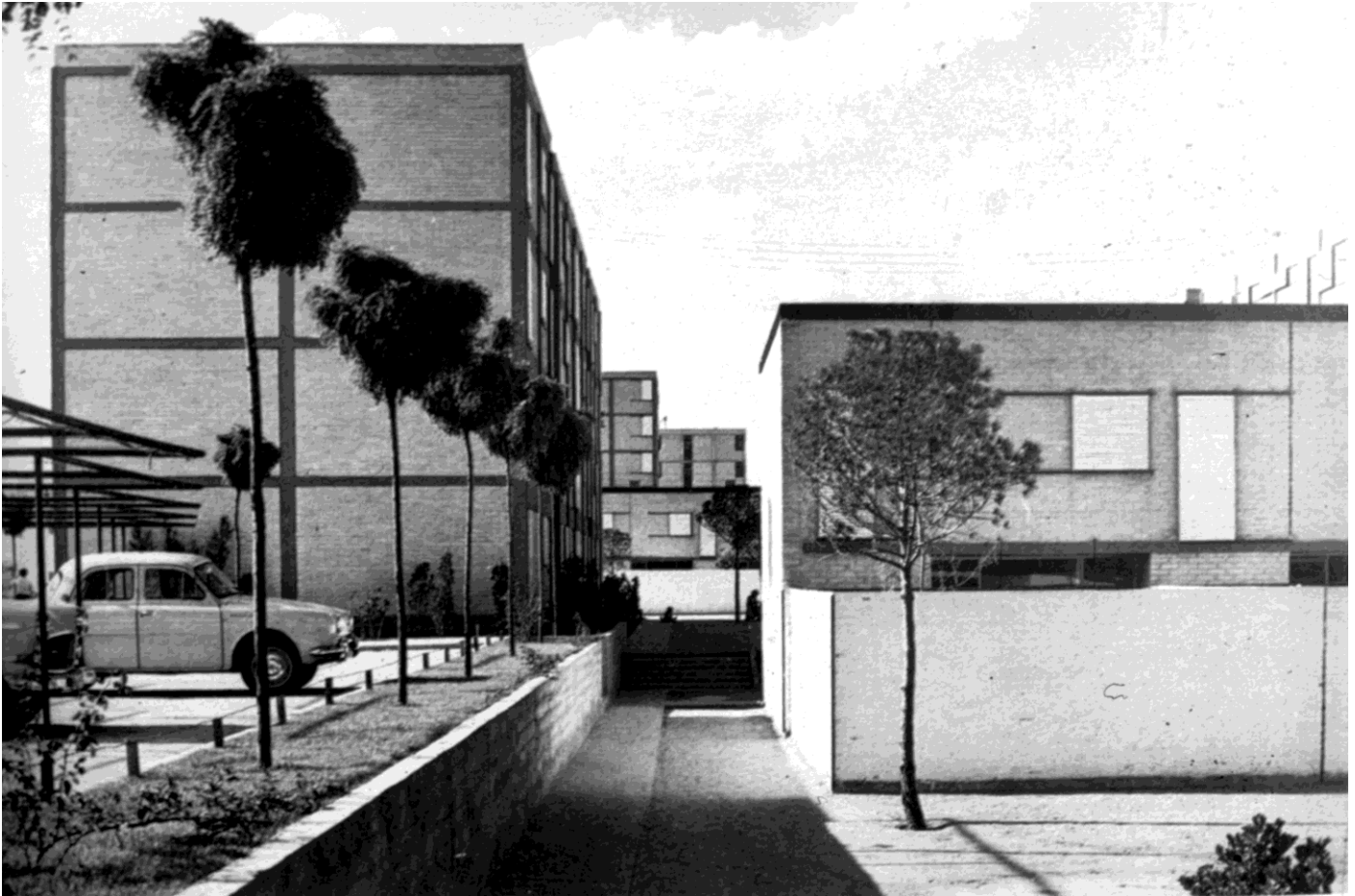


Figure 3. Caño Roto Housing Estate. Building and public area, 1960. (Source: *Centro de Documentación de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid*).

The arrangement of this variety of buildings generates several intermediate spaces, with a variety of open areas in contrast with narrow pedestrian streets, keeping a close relationship between the scale of the built volumes and the free spaces. Antonio Vázquez de Castro called these areas “measured open spaces” [17], as they are of a limited scale manageable by humans, evoking the vernacular public spaces of England, Northern Europe or Italy. These are dynamic spaces of variable size, partially constrained by different building types – which form fragmented and stratified backgrounds – and by diverse materials, whose combination of textures contributes to providing character and control of the scale (Figure 3).

The dwellings adhered to the 1954 low-income standards (*Renta Limitada*) (1486 dwellings), and social standards (*Tipo Social*) (120 dwellings), with twelve different types that offered an alternative to the proposed participative process involving the residents in the project (Figure 4). This typological laboratory provided some of the most brilliant innovative housing types, not only for the Housing Estates but also for all the public housing projects built during the time.

The housing variety combines functionalist schemes aiming to optimize the surface area with others that have a wider scope of comfort and leisure. From the constructive point of view, they provide a basic quality within the technological level allowed by the regulations, heavily focused on economy and rationality. It was an essential requirement that the construction of the estate could be carried out by a non-specialized labour force. Such circumstances caused them to eschew technology in favour of traditional systems for which modern innovative types of composition were created.

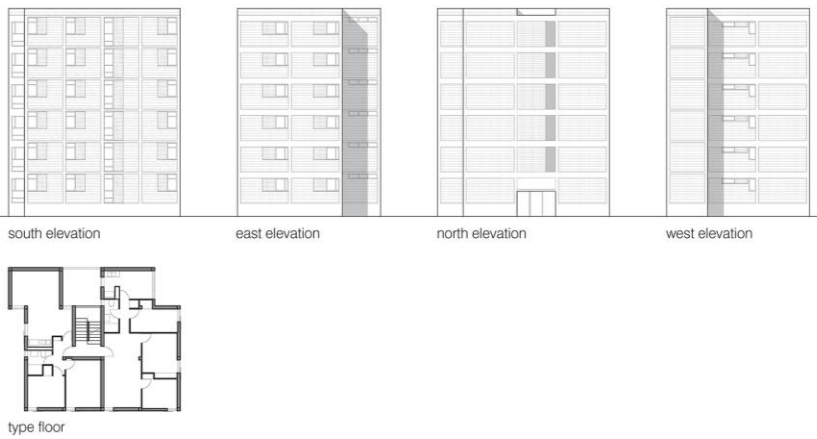
BLOCK 1A



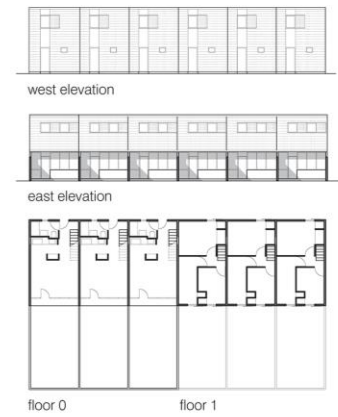
TERRACED HOUSES 2A



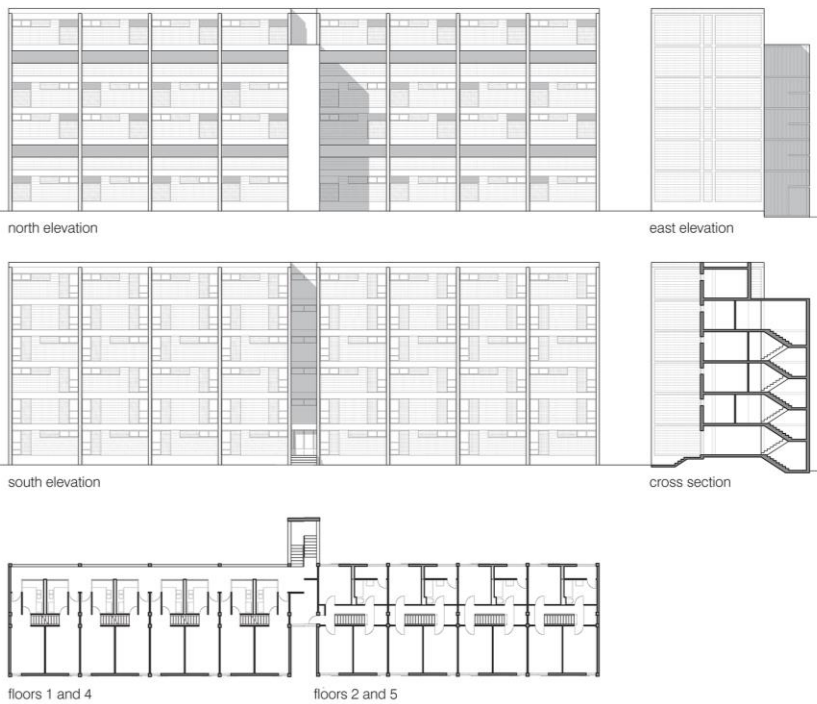
TOWER 1BC



TERRACED HOUSES 2S



BLOCK 1DEFG



TERRACED HOUSES 2BC

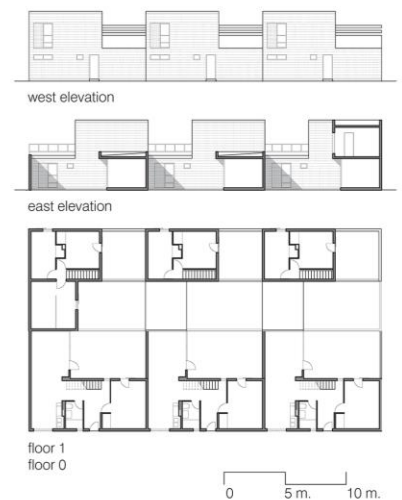


Figure 4. Caño Roto Housing Estate. Plans and elevations of the building typologies according to the original project. (Source: Drawing by the author).

Thus, the Caño Roto Housing Estate, as a result of the 1950s research that incorporated Modernity into the Spanish reality, constitutes an unquestionable work with urban, historic and architectural value. Evidence of the interest it has aroused ever since its construction is found in the Spanish media, which began to discuss it assiduously in journals such as *Arquitectura* (1959), *Hogar y Arquitectura* (1964) and *Nueva Forma* (1973 and 1974). Likewise, in foreign media, with articles in *L'Architecture d'Aujourd'hui* (1959), *Werk* (1962), *Arquitectura: Revista de arte y construção* (1963), *Zodiac* (1965) or *Baumeister* (1967). In addition, it has become a work that, individually or as part of the architecture of the Housing Estates, continues to be analysed by experts and critics of Architecture up until today. Photographed extensively by Kindel, Carlos Flores [18] included it in *Arquitectura española contemporánea: 1950-1960*, a compilation of the most estimable works carried out by Spanish architects in recent decades. It was the most widely covered project, highlighting the value assigned to it within the Spanish panorama. Years later, together with Eduardo Amann [19] he stated that in addition to its spatial and volumetric features, “the greatest significance of this work unquestionably lies in the design approach, so innovative at the time”. His opinion was shared by Luis Moya [20], who emphasized how its urban and architectural quality “denotes a serious commitment to research, both regarding the housing typologies and the urban morphology”. Its complexity, which stands out in comparison with the other Housing Estates, has been praised by, to state a few examples, Luis Fernández Galiano, Justo F. de Isasi and Antonio Lopera [21] in *La Quimera Moderna*, and by Antón Capitel [22] in *Arquitectura española: años 50-60*.

This recognition of the interest in the project as an urban and architectural work was reinforced by the mention awarded by the Madrid Official College of Architects (COAM) Prizes in 1972 and its inclusion in the catalogue of the DOCOMOMO Ibérico. Although it is listing as a heritage site since 1977 [23] did not have great relevance or official value, it allowed the Administration to plan its rehabilitation according to its unitary character.

Urban Rehabilitation

The urban rehabilitation of the Caño Roto Housing Estate – declared Area for Preferential Rehabilitation – was carried out between 1994 and 2004. To get the operation started, the initiative of the residents, with continued protests led by the Neighbourhood Association, which intensified in 1990, was essential. The population put together socioeconomic and urban demands with those arising from the living conditions of the dwellings.

In the 1980s, the proliferation of marginal settlements in the surrounding plots became an important factor of urban exclusion, due to their links to criminal and illicit activities, which created a climate of great insecurity. The population, of humble condition, included a high percentage of pensioners, who had lived in the estate since the origin, and a sector under 30 years old, with little training and difficult access to the labour market, which was sometimes involved in the conflicts of the district. A sign of the vulnerability of the complex is the gradual deterioration of the public spaces, due to situations of abandonment and reduction of commercial and local business activity, which limited the access to basic products and the resident community interaction. Likewise, the lack of infrastructures, with deficiencies such as health facilities, recreational and cultural centres and public security services were denounced.

Throughout the thirty years that elapsed until the rehabilitation, the buildings were conditioned by the action of the users and by frequent pathologies in this type of low-cost construction. The residents performed individual and uncoordinated actions that altered the distribution of dwellings and the composition of the facades, with changes in the size of the fenestration and interventions in stairwells and courtyards. These actions resulted in an aesthetic disorder of the buildings and an alteration of the resistance to the brickwork that caused its degradation. The extreme budget constraints under which the complex was built and its lack of maintenance, caused significant degradation in the early 1970s, which by the 1990s developed into a generally precarious situation (Figure 5).



Figure 5. Caño Roto Housing Estate. Building and public area before rehabilitation, 1994.

With evidence of the bad structural condition of the buildings and the great media and political pressure exerted by the residents, the Madrid Housing Institute (*Instituto de la Vivienda de Madrid*) commissioned two technical studies that coincided in the feasibility of the rehabilitation, considering the replacement of three blocks. This action was consistent with the classification of the estate by the 1985 LDF as "urban land regulated by Zonal Standard 3, with maintenance of the buildings" [24].

For its development, a special planning figure (*Estudio de Detalle*) was necessary, which exclusively concerned the high-rise buildings. Its purpose was the planning of extensions to improve the accessibility and increase the built area within the established margins, and substitutions due to ruinous state, maintaining position, surface and use. The rehabilitation of single-family dwellings was carried out after the approval of the 1997 LDF. Its declaration as a homogeneous complex with volumetric protection allowed the following types of intervention: conservation, typological recovery, conditioning and demolition. In these works, materials and techniques should be respectful of the values for which it was catalogued (art. 4.4.7).

The intervention area included the entire estate and therefore affected all the residential buildings, except for a tower previously replaced, totalling 1594 dwellings [25]. It began with a systematic and planned informative campaign of the actions and an economic forecast of the works. In the high-rise buildings, the similarity of the pathologies homogenized the actions by adjusting them to the initial estimate. However, in single-family dwellings, the impossibility of knowing the magnitude of the works due to greater structural damages made these

preliminary studies very difficult to carry out. Although the participation of the owners of both typologies was similar, 1165 dwellings took part, all of the high-rise buildings, and 30 % of the single-family dwellings [26].

The operation was carried out through a mixed financial model, led by the Administration, which constituted a stable body with economic capacity. The development and management of the process were performed by a management entity, composed of the Administration and a representation of the dwellings' owners, run by a private company. Funding was raised, after tough negotiations between the Neighbourhood Association and policymakers, with a joint subsidy from the State, Regional and Local Administrations, which contributed approximately 50 % of the investment.

The organizational system guaranteed assembly participation of the Homeowner Associations, with communication and decision-making capacity. In both the diagnostic and intervention phases, the technical and administrative aspects of each project were considered and analysed for subsequent approval by a majority of affected residents. Two of the factors that conditioned most of the intervention were: that the process should be carried out without the need to resettle the residents during the process and that the updating of the buildings should attend, if possible, to the regulations for new constructions.

It consisted of the adequacy of the elements and common spaces of the buildings, taking into account the structural and functional spheres (Figure 6) and the adaptation of the public space, with the re-urbanization and improvement of the infrastructures.

The structural retrofit was considered with the aim of providing firmness and solidity to the buildings by stabilizing the foundations, which required micro-piles and repair, as did the concrete structures and loadbearing walls that were stabilized with reinforcements.

The functional renovations were centred on improving the general systems, the insulation and waterproofing of the roofs and facades, and the accessibility. The most complex intervention was the sanitation and drainage, because of the leaks that aggravated the low loadbearing resistance of the soil. The water-tightness and insulation of the buildings' envelope were updated with new finishes on facades and roofs. This measure was intended to improve thermal comfort and efficient energy use, with a consequent reduction in the heating demand, primary energy consumption and emissions. Furthermore, it contributed to changing the estate's image with a new single-layer mortar façade finish that replaced the silicic-lime brickwork with externally visible concrete structure. It also involved the rearrangement of the enclosures, which were reunified by removing the alterations that the residents had introduced, to recover a composition inspired by the original, of Modern inspiration, but which lacked the nuances and variations that it had brought to the building (Figure 7). The improvement of the accessibility to the high-rise buildings was achieved by making accesses for disabled residents and installing elevators in the six-storey buildings, as had been demanded. The criterion was to maintain the original staircase and add prefabricated steel cores that held the elevators and contributed to changing the careful initial volumetry.

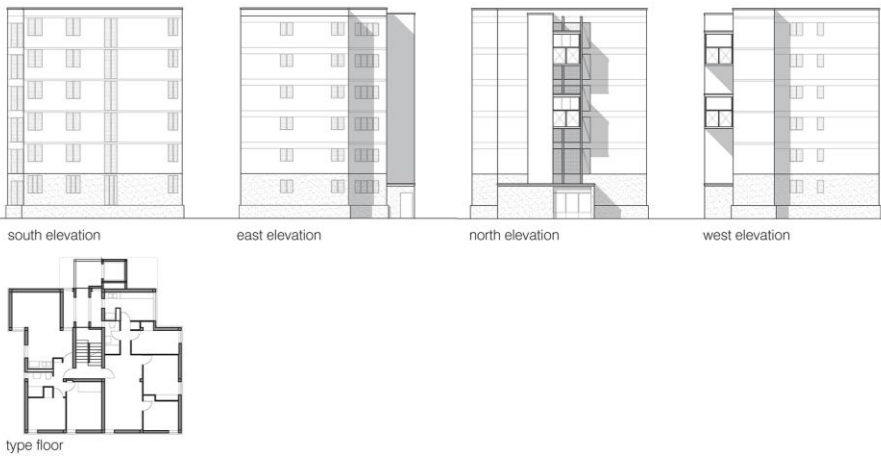
The intervention in the public spaces was realized at the same time as the main building works and consisted of an improvement of the estates' common facilities, infrastructures, roads and open spaces. The renovation improved its functionality and accessibility, but it increased the green spaces without proper maintenance and changed the materials employed, erasing any connections with the avant-garde nature of the original complex (Figure 8).

These actions were carried out following the project of the technicians hired by the Neighbourhood Association, who prioritized the security and habitability requirements in force at the time of the intervention, under strict economic settings. The visual impact of the measures of functional adequacy was based on the modification of the materials and compositions and the alteration of the volumes. The estate was stripped of the aesthetic values that made it part of the history of Modern Spanish Architecture.

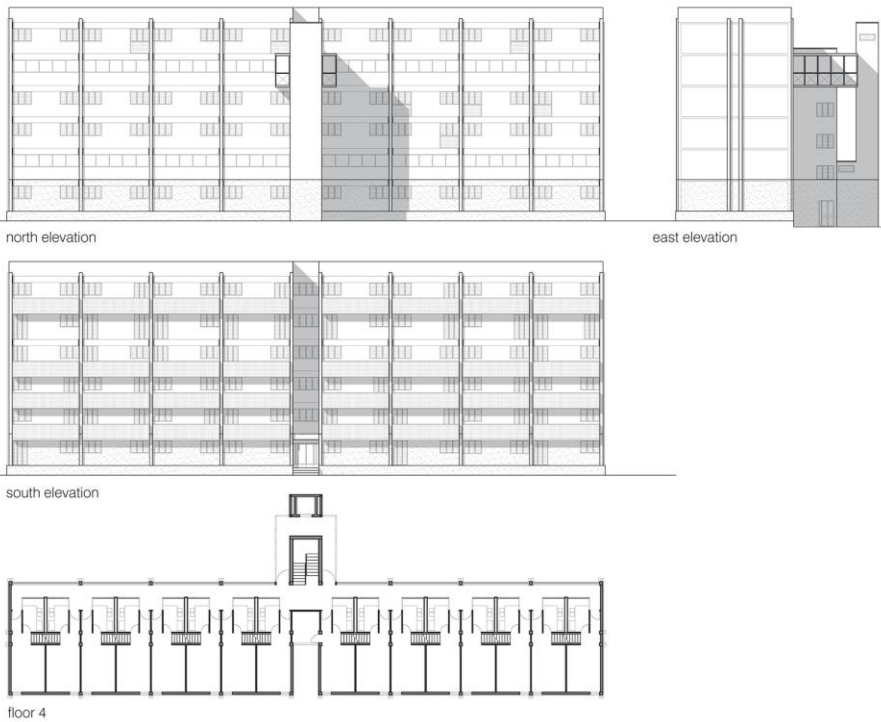
BLOCK 1A



TOWER 1BC



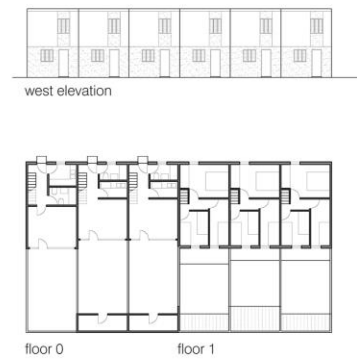
BLOCK 1DEFG



TERRACED HOUSES 2A



TERRACED HOUSES 2S



TERRACED HOUSES 2BC

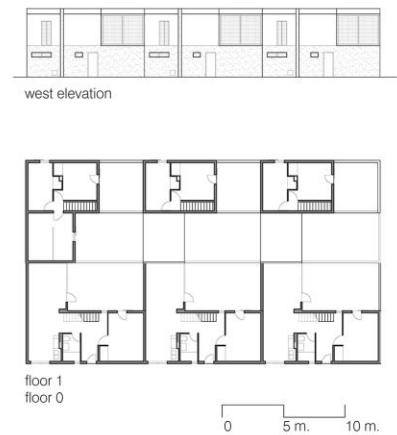


Figure 6. Caño Roto Housing Estate. Plans and elevations of the building typologies after rehabilitation. (Source: Drawing by the author).



Figure 7. Caño Roto Housing Estate. Building and public area, 2021. (Source: Photograph by the author).



Figure 8. Caño Roto Housing Estate. Building and public area, 2021. (Source: Photograph by the author).

The functional principles defended by the neighbours prevailed over the proposals of the General Directorate of Architecture (DGA) (*Dirección General de Arquitectura*) of the Regional Administration that, in collaboration with the architects that authored the original project, put the architectural interest first. DGA, which during the three years leading up to rehabilitation

tried to be an active part of the project, argued that the intervention could not be conceived as "a consolidation-repair, but respect for the original architecture was essential". DGA, therefore, considered of great interest the participation of the architects of the estate, still active, beyond the exclusive relationship with the owners of the dwellings and issues outside the project, which over-conditioned the outcome of the operation. In the opinion of Antonio Vázquez de Castro [27], the strength of the Neighbourhood Association required from the Administration a "tailored" operation in payment for the conditions under which their homes had been for years. As it was a private intervention, despite the subsidies, the Regional Administration ended up giving in to the pressure from the population and the media, continuing a type of non-conservative policy that since the 1980s had led to renew -with a large number of demolitions- the outskirts of the city. Its approach to the intervention on the estate would have been one that, providing it with the conditions of habitability according to the time, was respectful of the original composition and materiality.

Results

The urban rehabilitation of the Caño Roto Housing Estate resulted in an upgrade of the buildings and open spaces. The treatment applied, although focused on producing a unitary image for the urban complex, on occasions did not anticipate the repercussions of functional solutions that removed its initial conception. Safeguarding this type of property should combine adequate conditions of habitability, efficiency and accessibility, with a value of the urban image of the complex.

When the operation was planned, the option of the rehabilitation of the buildings was taken rather than their replacement because of political, urban and constructive reasons, leaving aside any considerations regarding heritage. This exclusive consideration for matters that ignore the architectural interest of the estate demonstrates the need to respect, when making decisions, a proper articulation with history through an appreciation of its origin and identity.

The approval of the intervention projects by the City Council involved compliance with the regulations of the 1985 LDF. In its ninth title, dedicated to the safeguarding of urban aesthetics, it requests (art. 9.11.3) "the defence of the urban image and the promotion of its valuation and improvement". The Administration considered that the action was convenient and appropriate without questioning whether the complex could demand a more conservative treatment or related to its original values. This flexibility in the application of the regulations reveals the lack of awareness of the aesthetic values that should be protected.

Both the requests of the residents and the objectives defined for the Areas for Preferential Rehabilitation included actions on the physical condition of the estate and on aspects related to the urban complexity and social conflicts. The operation, however, focused on the built environment and did not consider aspects linked to the relationship of the estate with the surroundings, the profile of the population and the urban complexity. These factors are part of the definition of historical urban heritage and have proved to be decisive for the evolution of the complex to the present day. That is why they highlight the need to evaluate, not only the physical factors but those that identify the urban area as a habitat and guarantee a good articulation with the city.

The initiative of the process came from the residents, who had a unique promoter-manager led by the Administration, an economic forecast and an important public subsidy, issues that favoured that the operation could be successfully developed and completed.

Through the Neighbourhood Association, as a representative body, the residents managed to realize this type of intervention, despite the resistance of the Administration. Advised by their own technicians, they achieved advantageous economic conditions and acquired representativeness throughout the process. This reveals the importance of a pre-structured organization with the capacity to dialogue with the rest of the stakeholders involved. However,

in this case, the activist and imposing attitude of the residents, which makes sense in a particular political context, needs to be nuanced and weighed, until a balance with the technical and administrative criteria is struck. An evolution of the model that channels the residents' participation is, therefore, necessary to make their contribution positive for project decision-making and sensitive to heritage issues.

Conclusions

The case of the urban rehabilitation of the Caño Roto Housing Estate is representative of a type of intervention demanded in the international scene that, due to its lack of consolidation, is subject to reflection and evaluation.

Like other mass housing complexes, such as the Dutch post-war neighbourhoods or French Grands Ensembles, the legitimacy as heritage of the Spanish Housing Estates is under construction. The identification and protection of these ensembles have been hindered. They are stigmatized urban areas, in which the community and the Administration have not recognized their architectural, urban or social values. However, there is a long road ahead for these estates to become heritage, due to a lack of consolidation of their legitimacy, and the criteria of protection. Therefore, before considering social housing as heritage, the process that social housing complexes must undergo should be discussed. Following socially accepted values and expectations of conservation, this process should include their cataloguing through a legal declaration and urban protection.

The fledgling acceptance of post-war ensembles as heritage coincides with a generalization of public functional and energy rehabilitation programmes, necessary to provide adequate levels of habitability and efficiency. Hence the need to simultaneously and co-ordinately implement rehabilitation and protective measures, adapting the preservation of the architectural and urban quality of the existing buildings to the compliance with contemporary regulations. The protection of the estates must not only be understood as a way to preserve the past, but to update the urban heritage with criteria of comfort and values that connect it to the city.

Given the diversity of factors involved in these processes, it is of great importance to compensate for the leadership of the Administration with the collaboration of the citizens through local partners and long-term agreements. The aim is to achieve inter-administrative cooperation through the integration of a vertical policy, between National, Regional and Local Administrations, and a horizontal policy, between the residents and the public and private sectors. The vertical policy manages the level of public resources that are committed to undertaking the operation and regulates the instruments of urban planning, heritage protection and building regulations. The owners, as beneficiaries of the intervention strategy, are largely responsible for its viability. Active participation, channelled by appropriate means, is the most effective protection of the built heritage.

The incorporation of criteria, policies and intervention processes implies a conceptual, normative and methodological extension, which must be realized for the correct administration in the protection of post-war ensembles. The knowledge of these urban areas, their origin and their contribution to today's Architecture and way of life, is considered a preliminary step in reaching a global awareness that, linked to the concept of historical urban heritage, triggers an extension of the ways of protection. The documents derived from the 2005 *Vienna Memorandum* and the 2011 *Paris Recommendations* show an important evolution of the heritage criteria, by setting out new starting points for their recognition as inhabited and dynamic urban environments.

The articulation of urban heritage with the history and the city opens new lines of reflection necessary to define, in the future, principles and practices of conservation. The state of review to which this discipline is subjected responds to a flexible way of understanding heritage, as

part of a city in constant need of adaptation. In this context, the conservation of post-war social housing complexes opens up to new objectives involving habitability, social balance, economic activity, environmental efficiency and sustainability [28]. The challenge affects the nature of heritage, with an integrated and territory-linked conservation approach.

Acknowledgements

This research has been developed within the project PID2019-104871RB-C21: Multi-criteria methodology for the evaluation of local strategies for the rehabilitation of collective housing in Zaragoza from the perspective of Life Cycle, with the Grant of the State Investigation Agency (R+D+i Projects of the State Program for Research, Development and Innovation oriented to the Challenges of Society, Call 2019).

REFERENCES

1. Bandarin, F.; Van Oers, R., *The historic urban landscape: managing heritage in an urban century*, Wiley-Blackwell, Chichester (2012).
2. Martínez, M. A., 'Squatters and migrants in Madrid: Interactions, contexts and cycles', *Urban Studies* **54**(11) (2017) 2472-2489, <https://doi.org/10.1177/0042098016639011>.
3. Sanderson, E.; Wilson, I., 'Does locality make a difference? The impact of housing allowance reforms on private landlords', *Housing Studies* **32**(7) (2017) 948-967, <https://doi.org/10.1080/02673037.2017.1291911>.
4. Hall, P., 'Regeneration policies for peripheral housing estates: inward- and outward-looking approaches', *Urban Studies* **34**(5) (1997) 873-890, <https://doi.org/10.1080/0042098975862>.
5. UNESCO, 'Vienna Memorandum', in *International Conference World Heritage and Contemporary Architecture. Managing the Historic Urban Landscape*, Vienna (2005), <https://whc.unesco.org/en/documents/5965> (accessed 2022-03-21).
6. UNESCO, 'Recommendation on the Historic Urban Landscape', in *Report of the Second Consultation on its Implementation by Member States*, Paris (2019), <https://whc.unesco.org/en/hul/> (accessed 2022-03-21).
7. Díez de Pablo, A.; Moya González, L., 'Iniciativas de patrimonialización de conjuntos de vivienda social en Europa', *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales* **58**(190) (2016) 643-654.
8. Van Kempen, R.; Dekker, K.; Hall, S.; Tosics, I. (eds.), *Restructuring large housing estates in Europe*, Policy Press, Bristol (2005).
9. Pendlebury, J.; Townshend, T.; Gilroy, R., 'Social Housing as Heritage: The Case of Byker, Newcastle upon Tyne', in *Valuing Historic Environments*, L. Gibson; J. Pendlebury (eds.), Ashgate, Farnham (2009) 179-200.
10. Havinga, L.; Colenbrander, B.; Schellen, H.M., 'Heritage attributes of post-war housing in Amsterdam', *Frontiers of Architectural Research* **9**(1) (2020) 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.04.002>.
11. Berland-Berthon, A., *La démolition des immeubles de logements sociaux. Histoire urbaine d'une non-politique publique*, Certu, Lyon (2009).
12. Gaudard, V.; Margo-Schwoebel, F.; Pouvreau, B., 1945-1975 *Une histoire de l'habitat: 40 ensembles de logements Patrimoine du XXe siècle*, Beaux Arts, Paris (2010).
13. Fullaondo, J.D., 'José Luis Íñiguez de Onzoño', *Nueva Forma* **37** (1969) 33-40.
14. Calvo del Olmo, J.M., 'La arquitectura residencial en la España de posguerra: del tradicionalismo a la modernidad', in *Proceedings VI Congreso para la Defensa del Patrimonio Industrial y la Obra Pública en España*, The International Committee for the Conservation of the Industrial Heritage - TICCIH, Madrid (2013) 279-286.
15. Vázquez de Castro, A.; Íñiguez de Onzoño, J.L., *Proyectos de Primera y Segunda Fase and Proyectos Adicionales de Ejecución del Poblado Dirigido de Caño Roto*, Instituto de la Vivienda de Madrid, Madrid, Signaturas: 10797; 10798; 10800; 10801 (1958, 1961).
16. Vázquez de Castro, A.; Íñiguez de Onzoño, J.L., *Plan Parcial de Ordenación Urbana del Poblado*, Archivo de la Consejería de Transportes, Vivienda e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid, Madrid, Acuerdo 135.70 (1968).
17. Cánovas Alcaraz, A.; Ruiz Bernal, F., *Caño Roto: Vázquez de Castro, Íñiguez de Onzoño*, Ministerio de Fomento-CEDEX, Madrid (2013).
18. Flores López, C., *Arquitectura española contemporánea: 1950-1960*, Aguilar, Madrid (1961).
19. Flores López, C.; Amann, E., *Guía de la Arquitectura de Madrid*, Artes gráficas Ibarra, Madrid (1967).
20. Moya González, L., *Barrios de Promoción Oficial. Madrid 1939-1976*, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid (1983).
21. Fernández-Galiano, L.; Isasi, J.; Lopera, A., *La Quimera Moderna*, Hermann Blume, Madrid (1989).
22. Capitel, A., *Arquitectura Española: Años 50- años 80*, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid (1983).
23. Díez de Pablo, A., *La vivienda social como patrimonio urbano. Análisis de la patrimonialización de tres Barrios de Promoción Oficial madrileños*, Doctoral dissertation, Polytechnic University of Madrid (2015).
24. Urban Planning Standards (*Plan General de Ordenación Urbana*), Madrid (1985) art. 11.3.1 to 11.3.10.
25. López Delgado, J.L.; Hernández Fernández, E.; Ruíz Palomeque, G., *Proyectos de rehabilitación del Poblado Dirigido de Caño Roto (1994-2001)*, consulted in CREA Arquitectos Studio, Madrid.
26. Ruiz Palomeque, L.G., 'Rehabilitación integral del Poblado Dirigido de Caño Roto, Madrid. Un modelo de intervención en grandes conjuntos urbanos', in *Premios Calidad Arquitectura y Vivienda. Comunidad de Madrid 99+98*, Comunidad de Madrid (2001) 146-151.
27. Vázquez de Castro, A.; Íñiguez de Onzoño, J.L., *Estudio sobre Alternativas de Intervención en el Poblado Dirigido de Caño Roto, Madrid*, Centro de documentación especializada de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid (1994).

28. Campos-Sánchez, F.S.; Abarca-Álvarez, F.J.; Domingues, A., 'Sustainability, planning and urban development. Looking for a critical integration through the study of recent cases', *ACE: Architecture, City and Environment* **12**(36) (2018) 39-72, <https://doi.org/10.5821/ace.12.36.5145>.

RECEIVED: 2022.3.26

REVISED: 2022.7.5

ACCEPTED: 2022.7.7

ONLINE: 2022.12.30



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>.

El ladrillo artesanal de Cuenca (Ecuador): una caracterización inicial en el marco patrimonial

O tijolo artesanal de Cuenca (Equador): uma caracterização inicial no contexto do património

The handmade brick of Cuenca (Ecuador): an initial characterisation within the heritage framework

M. C. AGUIRREULLAURI^{1,2,*} 

M. ROMERO BASTIDAS³ 

J. RAMÍREZ

BUSTAMANTE³ 

E. CASTILLO

CARCHIPULLA⁴ 

1. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

2. Universidad Católica de Cuenca, Cuenca, Ecuador

3. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Quito, Ecuador

4. Investigador independiente

* maguirreu@ucacue.edu.ec

Resumen

El ladrillo cerámico como material de construcción es usado en muchas civilizaciones a nivel mundial. En el caso del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador) se remonta a la época colonial y se mantiene como determinante de la identidad local. No obstante, más allá de la tradición productiva, sus condiciones técnicas de conocimiento, uso y conservación son limitadas. En este contexto, la presente investigación recurre a técnicas analíticas para caracterizar la materia prima y ladrillo macizo procedente de sitios históricos de producción y abastecimiento. Se determina que, existen variaciones significativas en cuanto a composición, comportamiento físico, mecánico y durabilidad. Así, la baja resistencia a la compresión ($\bar{x} = 5,87$ MPa) y flexión ($\bar{x} = 0,13$ MPa), alta porosidad abierta (36-37 %) y absorción de agua (17-20 %), abren una importante discusión sobre las condiciones de conservación de los numerosos inmuebles patrimoniales construidos en ladrillo, así como sobre las implicaciones en el proceso de producción artesanal.

Resumo

O tijolo cerâmico é utilizado em muitas civilizações a nível mundial como material de construção. No caso do Centro Histórico de Cuenca (Equador), remonta aos tempos coloniais e continua a ser um factor determinante da identidade local. Contudo, para além da tradição produtiva, as suas condições técnicas de conhecimento, uso e conservação são limitadas. Neste contexto, a presente investigação recorre a técnicas analíticas para caracterizar a matéria-prima e o tijolo sólido de locais históricos de produção e abastecimento. Determinou-se existirem variações significativas relativamente à composição, ao comportamento físico e mecânico e à durabilidade. Assim, a baixa resistência à compressão ($\bar{x} = 5,87$ MPa) e à flexão ($\bar{x} = 0,13$ MPa), a alta porosidade aberta (36-37 %) e a absorção de água (17-20 %), originam uma importante discussão sobre as condições de conservação dos numerosos edifícios patrimoniais construídos em tijolos, bem como sobre as implicações no processo de produção artesanal.

Abstract

Ceramic brick as a building material is used in many civilizations worldwide. In the case of the Historic Center of Cuenca (Ecuador), it dates back to colonial times and remains as a determining factor in local identity. However, beyond the productive tradition, its technical conditions of knowledge, use, and conservation are limited. In this context, the present research resorts to analytical techniques to characterize the raw material and solid brick from historical production and historical supply sites. It is determined that there are significant variations in composition, physical and mechanical behavior and durability. Thus, the low compressive strength ($\bar{x} = 5.87$ MPa) and low bending strength ($\bar{x} = 0.13$ MPa), high open porosity (36-37 %) and water absorption (17-20 %), open an important discussion on the conservation conditions of the numerous heritage buildings built in brick, as well as on the implications for the artisanal production process.

PALABRAS-CLAVE

Ladrillo cerámico

Caracterización

Propiedades físico-químicas

Análisis de materiales

Diagnóstico y conservación

Durabilidad

PALAVRAS-CHAVE

Tijolo cerâmico

Caracterização

Propriedades físico-químicas

Análise de materiais

Diagnóstico e conservação

Durabilidade

KEYWORDS

Ceramic brick

Characterization

Chemical and physical properties

Material analysis

Diagnosis and conservation

Durability

Introducción

El ladrillo cerámico o bloque de arcilla cocida es un material de construcción de uso extendido a nivel mundial debido a la fácil disponibilidad de sus materias primas [1]. En Sudamérica se usó en varios edificios monumentales de regiones secas [2], pero en Cuenca (Ecuador) es relativamente nuevo; las primeras edificaciones datan de la primera mitad del siglo XVIII [2-3] y el auge asociado a su adaptación e innovación tomó varias décadas.

En este proceso, los vínculos entre los materiales y la funcionalidad técnica, igual que entre objeto técnico y objeto de arte, surgen a través de las fuerzas que los primeros pueden llevar [4], por lo que, cuantitativamente el ladrillo es menos representativo que materiales como la tierra, incluso al reconocer los siguientes particulares. El primero, a partir del siglo XX el ladrillo artesanal fue ampliamente utilizado, y definió la imagen icónica del Centro Histórico de Cuenca (CHC) (Figura 1), declarado como Patrimonio Cultural de la Humanidad en el año de 1999. Y, segundo, en las últimas cuatro décadas, el ladrillo es el material predominante en la envolvente de las edificaciones de tipo residencial [5].

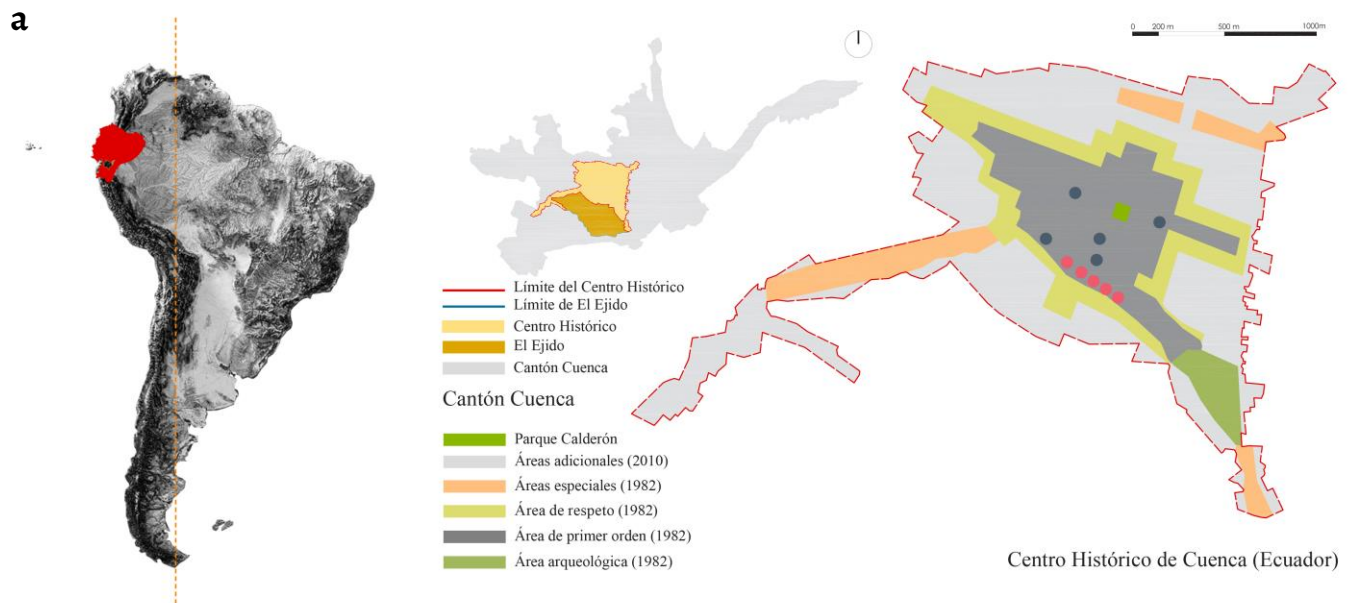
Conforme lo previo, el ladrillo presenta un marco de uso sostenido, y a su vez, de transformación, ya que al igual que otros materiales el contexto de su producción ha cambiado. Por otra parte, en el caso de edificios patrimoniales el material ha sufrido alteraciones por la temperatura extrema, la radiación solar, la humedad, las soluciones salinas, los gases atmosféricos y el biodeterioro, lo cual demanda conocer los procesos de deterioro involucrados, así como el desarrollo y aplicación de tratamientos de conservación acordes con esta nueva realidad. Así, el ladrillo es vulnerable por sus características intrínsecas, ya sea por las propiedades físicas, como la composición mineralógica de la materia prima, la temperatura de cocción [6] u otros parámetros que incluyen la composición del mortero [7], por lo que, las variables de transformación se incrementan. Como es cada vez más evidente, esta situación ha sido tratada ampliamente en el contexto internacional, posicionando a la caracterización de materiales como un campo científico establecido y con gran desarrollo; aunque no deje de experimentar dificultades [8], es útil para comprender ciertas transformaciones del material y ofrecer respuestas para reducirlas.

Otras investigaciones se han ocupado del ladrillo, ya sea en cuanto a su morfología, dimensiones, composición mineralógica o clasificación geológica según el tipo de arcilla usada [1], entre otros aspectos. En el tema que atañe a la presente investigación, se sabe que, la porosidad y el tamaño de los poros de los ladrillos son factores que afectan a la durabilidad y resistencia mecánica debido a la susceptibilidad a la cristalización de sales y a los ciclos de congelación y descongelación [1, 9]. A su vez, en las transformaciones mineralógicas producidas durante la cocción [10]. Por tanto, afectan a las propiedades físicas y durabilidad.

La aplicación de este tipo de análisis evidencia cómo mediante la identificación de los parámetros físicos y mecánicos de los materiales constitutivos de la mampostería patrimonial, es posible establecer una fuente científica para obtener ladrillos adecuados para las aplicaciones de restauración [11]. Asimismo, permite predecir los avances en las fases químico-mineralógicas, la sinterización y el comportamiento mecánico del sistema constructivo [12], y también disminuye las intervenciones excesivas bajo la previsión de buscar soluciones modernas a los materiales históricos, la desaparición de revestimientos y otros acabados originales, y la incompatibilidad funcional debido a las diferencias en las propiedades físicas, mecánicas y de composición mineralógica [1].

Por su parte, en Cuenca y el Ecuador, según las bases documentales existentes, la práctica de la caracterización de materiales y el diagnóstico en edificios patrimoniales u otros, es mínima. Por ejemplo, según el Sistema Nacional de Contratación Pública (SERCOP), en Cuenca entre 2008 y 2019 en 16 intervenciones de bienes patrimoniales se realizaron requerimientos de ladrillo artesanal [13], cuya identificación incluye de manera reiterada la geometría, sin otro requerimiento técnico asociado. Es decir, existe la necesidad de conocimiento en cuanto a la dimensión pragmática o de funcionalidad técnica del material, que se complementa con la

dimensión simbólica de la construcción [14], principalmente cuando es artesanal, y existe una participación activa y significativa en cada fase del proceso [15].



● Edificios patrimoniales: uso y estética histórica del material



● Edificios patrimoniales: nuevo uso y estética del material

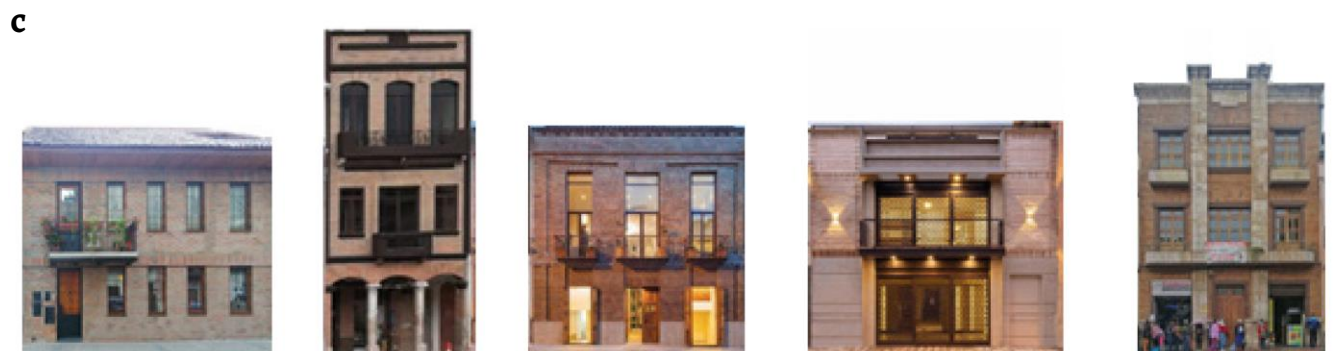


Figura 1. El ladrillo en la arquitectura patrimonial del Centro Histórico de Cuenca: a) Macro y micro localización; b) Edificios de uso y estética histórica; c) Edificios de uso y estética actual [13, 16].

En este contexto, la presente investigación pretende describir las condiciones técnicas de la materia prima y el ladrillo artesanal macizo usado históricamente en la construcción, y potencialmente aplicado en la rehabilitación de edificios patrimoniales del CHC a partir de técnicas analíticas destructivas. Esta aproximación es necesaria debido a la ausencia de información científica que permita la toma de decisiones en actuaciones de conservación y limite sus efectos adversos. En oposición, existen múltiples indagaciones sobre la amenaza medioambiental asociada a la producción del ladrillo, el consumo intensivo de energía no renovable, la emisión de gases de efecto invernadero [17-18] y las afecciones a la salud de los trabajadores involucrados. Dichos temas no se consideran en la presente investigación, pese a su interés. Otros temas como el reciclaje de diversos materiales de desecho [18] o el enfoque de género se enmarcan en futuras investigaciones.

Antecedentes

El ladrillo: referencias históricas, uso y producción local

La presencia del ladrillo se remonta a las más antiguas civilizaciones en América, pero en el Ecuador y en Cuenca es reciente; el material logra uso a partir de la colonia, pero despunta en el siglo XVIII [2]; antes, cuando el Ecuador pasa a formar parte del Imperio Inca, el ladrillo no es protagonista en la construcción, ya que lo es la piedra [19], aunque también se usó la paja y la madera. Por su parte, las cerámicas se constituyen como parte del tributo al Estado, y se concentra a los alfareros en lugares donde existían minas de arcilla [20]. Es decir, la arcilla cocida como forma más próxima al ladrillo, es el producto destacable; como constancia de ello, en la provincia del Azuay (Austro del Ecuador) excavaciones arqueológicas han identificado restos de objetos de época prehispánica en el período formativo medio y tardío (1500 y 1200 a.e.c.) en el sector de Challuabamba [21], al noreste del CHC.

Durante la colonia la inclusión de nuevas técnicas constructivas posicionó a la teja y al ladrillo a partir de las transformaciones en las prácticas de alfarería y cerámica [22]. El registro más antiguo de su presencia data de 1565 y estaba vinculado a las construcciones erigidas por las órdenes religiosas [2], mientras la producción estaba a cargo de los indígenas [22-23], pero por razones económicas y facilidad de trabajo, la tierra se continuó usándose mayoritariamente en la arquitectura [24]. Desde entonces, y a lo largo del siglo XVII, por disposición administrativa se motivó el uso de teja en cubiertas [22]; de manera progresiva, también se insertaron construcciones en ladrillo [3], no obstante, la incursión de la urbe en el mercado mundial a partir de la segunda mitad del siglo XIX significó una lenta transformación apoyada por la disponibilidad del material, mano de obra campesina y hornos o tejares, principalmente localizados en la parroquia de San Sebastián y Sinincay [22].

Esta primera aspiración modernizadora también encontró en el travertino local a otro aliado que, con la llegada del Hermano Juan Stiehle (1874) consolida [25] la imagen urbana y arquitectónica insertando y adaptando los edificios al estilo neoclásico [3] (Figura 1). Obras de centros educativos, edificios público o puentes, también demandaron el uso de dicho material, por lo que el ladrillo y la teja se volvieron cada vez más comunes, al punto de que, se usó como una de las referencias para elaborar el catastro [22].

En el siglo XX los paradigmas de la arquitectura europea incitan una nueva transformación, aunque con el uso de los mismos materiales [26]. La imitación de modelos lleva a adaptaciones y a sus propias experimentaciones dando como resultado nuevas técnicas de construcción [3]. Para 1950 Cuenca llega con múltiples construcciones (públicas y privadas) de ladrillo, que hacían gala de este material simbólicamente superior a la tierra [22], acentuando la producción en varios sectores de San Sebastián y Sinincay. Hacia 1960, la dinámica edificatoria inserta el hormigón como material insignia. Esto no implica que el uso del ladrillo haya declinado; varios autores indican que, en su defecto, aumentó [27-28]. Hacia 1970, la mayoría de las construcciones de adobe reemplazaron el material [29], y desde entonces, a la fecha, el 80 % de

edificios de baja altura usan ladrillo [30], ya sea como mampostería no reforzada, mampostería con vigas de atado perimetral o mampostería confinada [29].

En la actualidad y como consecuencia de las dinámicas históricas previas, los sitios de producción de ladrillo y aprovechamiento de tierra se localizan en diversas zonas urbanas y rurales (Figura 2), logrando la consolidación de grandes ladrilleras cuya actividad se mantiene y conforman el capital simbólico de dichos asentamientos. Asimismo, los productos cerámicos representan uno de los principales rubros de la economía y la construcción local.

Por su parte, la producción del ladrillo y sus formas tienen plena definición como consecuencia de la tradición histórica y la sinergia entre la técnica artesanal, la autoconstrucción y la tecnificación. Desde 1960 y la creación de la primera fábrica llamada LACESA [31], la actividad producción se ha incrementado, y en el territorio es posible reconocer tres tipos; la artesanal, la semiindustrial y la industrial [32], aunque las primeras han seguido desplazándose conforme ha crecido la ciudad [22] y se consume la materia prima. A su vez, entre los tipos más significativos se encuentran el ladrillo sólido, macizo o panelón; se trata de un material usado principalmente para la estructura y fachada de las edificaciones, pavimentos y otros elementos arquitectónicos. De hecho, este tipo es el más común en Cuenca [33], y seguramente, se corresponde con el usado en las edificaciones patrimoniales. Otros tipos de ladrillo son el hueco, el perforado, el tubular y el de pieza especial [33-34]. Esta variedad tipológica deriva en la diversidad de aparejos, cuyo estudio en términos históricos o actuales no se ha desarrollado de manera significativa. También se sabe que, a partir del 2008 se intensificó el uso del ladrillo hueco hasta llegar a la relación 60-40 en comparación al panelón [5], y que, por tradición histórica, cada ladrillera se especializa en la elaboración de ciertos tipos de ladrillo según su acondicionamiento tecnológico (Figura 3).

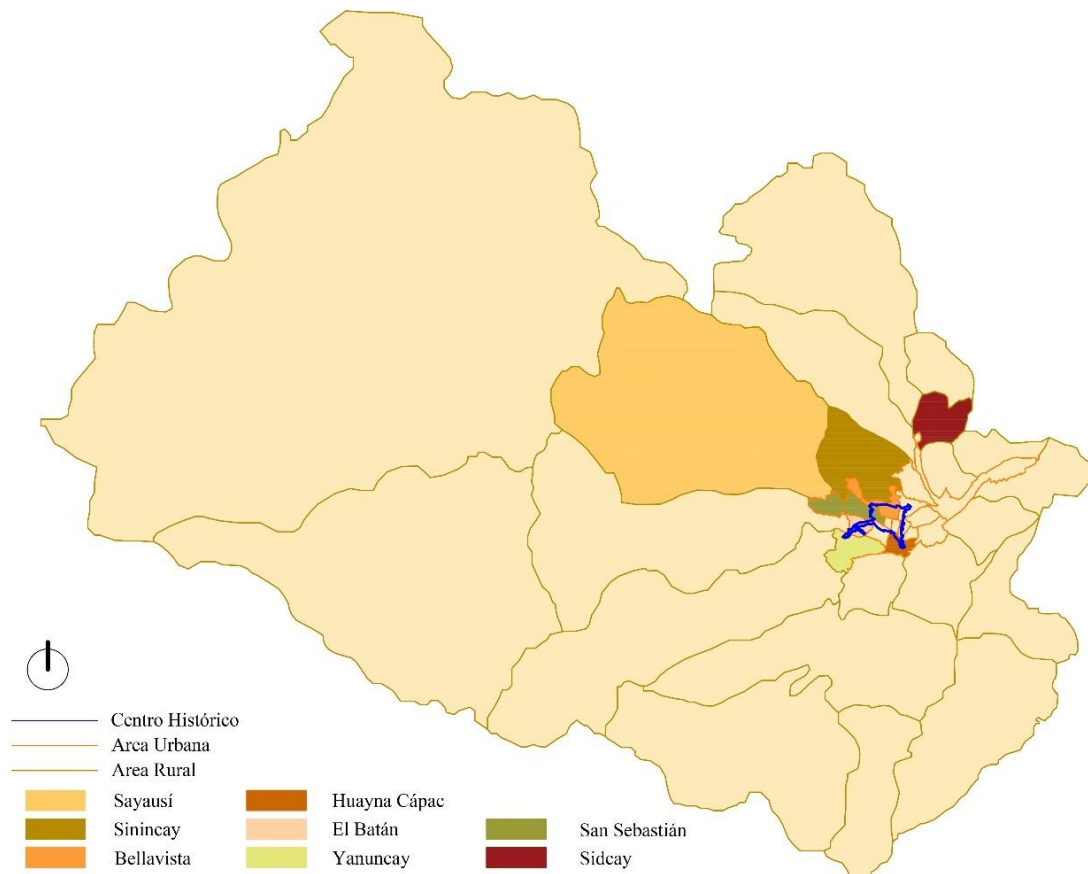


Figura 2. Ladrilleras en la ciudad de Cuenca [13, 32].

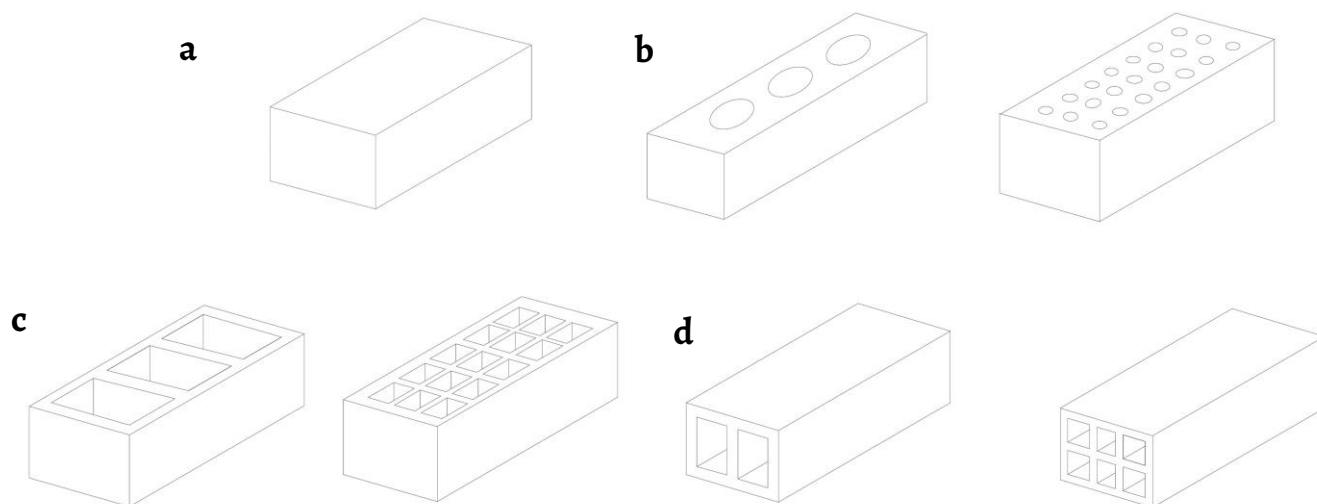


Figura 3. Tipos de ladrillo que se producen en Cuenca: a) ladrillo macizo o panelón; b) ladrillo hueco; c) ladrillo perforado; d) ladrillo tabular [33-36].

Se sabe que, para 1975 en el sector Alisos de la parroquia Sinincay existían 200 ladrilleras, aproximadamente [22], mientras que, en el año 2010 se registraron 40 ladrilleras semi industriales, 499 artesanales y cinco industriales. De la misma manera, se determinó la existencia de 53 hornos y cuatro secaderos. El total asciende a 601 fábricas [35], con clara predominancia de las artesanales. Según la organización Swisscontact y la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) [36] existen 488 ladrilleras, mientras el Directorio de Empresas y Establecimientos (DIEE) asociado al Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censos (INEC) reportó al año 2015, 164 microempresas que se encargan de la fabricación de ladrillo. Asimismo, se sabe que existen estructuras arquitectónicas enmarcadas en las distintas tipologías productivas previas, las cuales presentan diferentes grados de interés patrimonial y protección; a saber, alto valor patrimonial y protección absoluta (ocho), valor patrimonial y protección parcial (40) e interés patrimonial y protección condicionada (una) [22].

Pese a las divergencias, el escenario es próspero y la actividad una constante histórica en el territorio; esta tradición marca la iconografía propia de la imagen urbana y el paisaje histórico [32]. Además, está ligada al medio físico y su capacidad de proveer materia prima de buena calidad, lo cual amerita ampliar el panorama de producción y conocimiento desde la visión multidisciplinar [11]. Sobre lo último, pretende aportar la presente investigación.

Metodología

Como primera aproximación a la caracterización del material artesanal de Cuenca, para este estudio se priorizó el ladrillo, como uno de los elementos más importantes de la industria de la construcción [18], y su materia prima procedente de las zonas históricas de producción y abastecimiento (Figura 2), es decir, El Tejar en la parroquia urbana de San Sebastián (Oeste del CHC) y Racar y El Chorro de Sinincay en la parroquia rural de Sinincay (Norte del CHC). Con estos orígenes, se estudian tres grupos de ladrillo macizo o panelón y el material usado en su producción. Esta selección obedece a: 1) la continuidad de la producción del material en los 3 sitios desde época colonial, 2) el uso actual del material procedente de los 3 sitios en la ciudad, 3) la disponibilidad de ladrillos en concordancia a los requerimientos normativos y, 4) la posibilidad de acceder a la materia prima usada en la producción de los ladrillos analizados.

A partir de la selección se aplican dos planes analíticos (Figura 4). El primero conformado por ensayos de composición química, mineralógica y granulométrica sobre la materia prima

para la identificación del tipo de arcilla y otros componentes, así como la distribución de áridos finos. Estos aspectos se asocian a la manufactura del ladrillo ya que, la técnica mantiene el mezclando de los recursos vírgenes de cada territorio, formando manualmente los ladrillos usando moldes rectangulares humedecidos, luego son secados al sol y cocidos en hornos [25] durante varios días [17, 37], es decir, bajo el histórico método de barro blando [18]. Los antiguos civiles reconocían que el ladrillo cocido era más duradero y resistente a la intemperie, por lo tanto, era más favorable que el ladrillo secado al sol [17, 37] o adobe.

A partir del segundo plan analítico se caracteriza el ladrillo macizo o panelón mediante ensayos de composición mineralógica, densidad, absorción de agua, porosidad, resistencia a la flexión y compresión, y durabilidad. La composición mineralógica se puede estimar una temperatura de cocción, lo cual permite ampliar el conocimiento sobre el proceso producción. También se busca relacionar la mineralogía con la densidad, porosidad y resistencia mecánica, acorde a las normativas correspondientes, así como con la durabilidad. El último aspecto se desarrolla a través de ensayos de envejecimiento acelerado, heladicidad y cristalización de sales que buscan aproximarse al escenario de deterioro por efecto de los agentes atmosféricos o antrópicos [38].

Este proceso incluye la exposición a factores antrópicos, la presencia de humedad y sales, la contaminación del aire, los cambios de temperatura, las cargas dinámicas, los asentamientos del suelo y el uso de los edificios [39]. Es decir, la acción conjunta de factores de deterioro resulta relevante para evaluar, y potencialmente, predecir el comportamiento de los ladrillos tradicionales frente al ambiente, ya que no se desconoce que, al no haberse modificado la forma de fabricarlos durante siglos [18], seguramente se trata de materiales asociados a la arquitectura patrimonial por diseño o intervención.

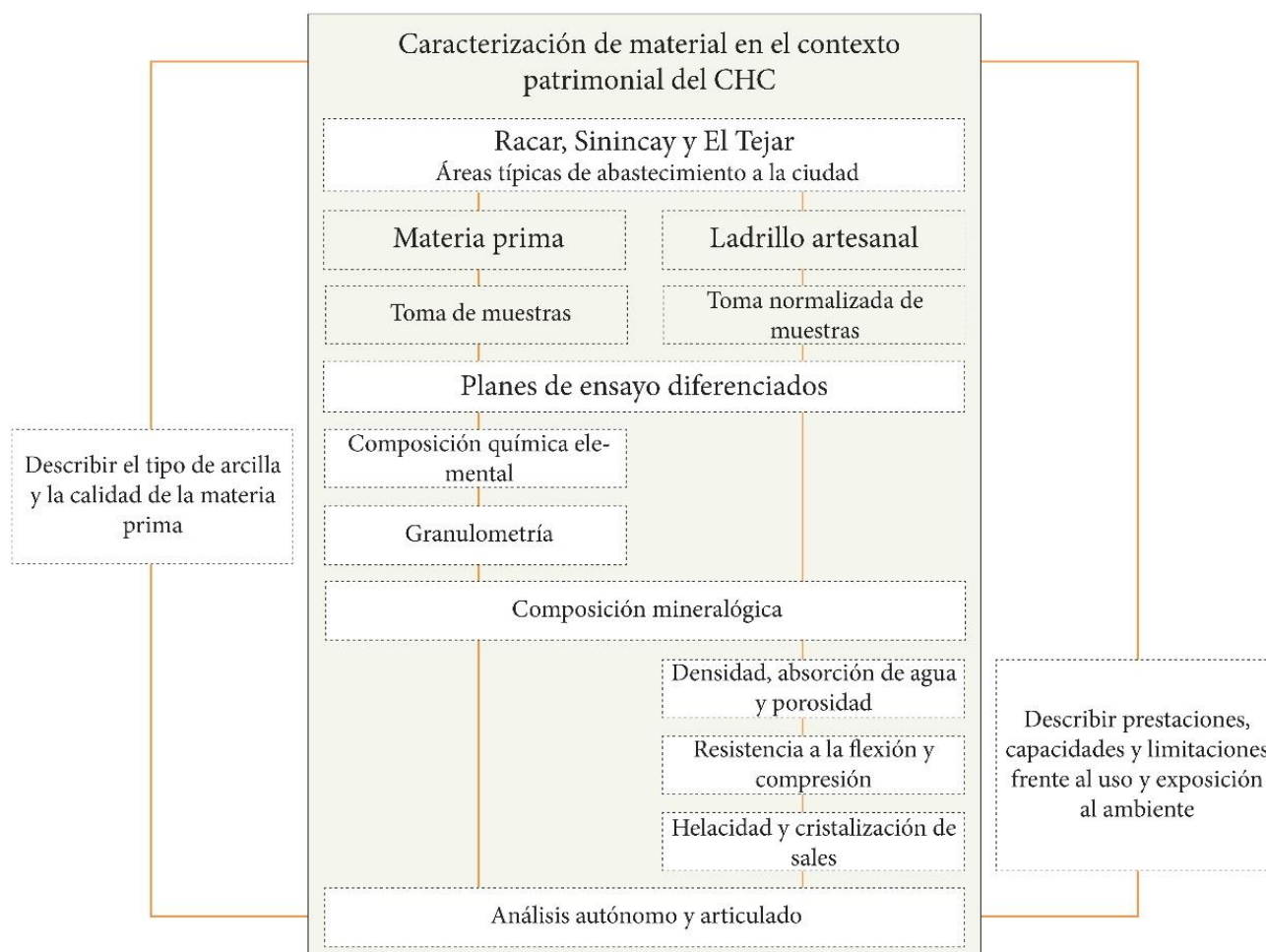


Figura 4. Estructura general de la investigación.

Composición química elemental y mineralógica

Para determinar la composición química elemental de la materia prima (Figura 4), se realizó cuarteo, molienda y homogenización de las muestras. Posteriormente en una prensa neumática (Restch FR 0551) se elaboraron tres pastillas de cada muestra, con el objetivo de cubrir una mayor área de análisis. Para el ladrillo se realizó una molienda, cuarteo y homogenización, luego se elaboró tres pastillas de cada ladrillo. En ambos casos para cada pastilla se realizaron cinco mediciones en diferentes puntos con un microscopio electrónico de barrido JEOL IT 300, acoplado con un detector de energía dispersiva de rayos X (Oxford X-MAX-20) (SEM-EDS) y con baja magnificación para conseguir la mayor área posible de análisis. Las condiciones de analíticas fueron: voltaje de aceleración: 20 kV, corriente del haz de 25 mA, bajo vacío: 40 Pa y distancia de trabajo de 10 mm.

Para obtener la composición mineralógica se realizó un tratamiento de la materia orgánica con peróxido de hidrógeno al 30 % en las muestras previamente homogenizadas. A continuación, se redujo el tamaño de partícula en un micronizador (Restch MM400) hasta un tamaño inferior a 0,075 mm. El análisis se realizó en un equipo Bruker D8 Advance. Para asegurar la orientación totalmente al azar con respecto al haz incidente, se hace girar la muestra dentro del haz de rayos X durante la exposición, bajo las siguientes condiciones: voltaje 35 KV, corriente 35 mA, *steps* 0,6 s, *2theta* desde 5 ° hasta 72 ° con incrementos de 0,02 °. El *software* de identificación de las fases cristalinas es el Difracción Suite EVA y para la cuantificación de las fases se usó el *software* Topas

Granulometría

La determinación del tamaño de partícula o granulometría de la materia prima (Figura 4), se realiza con base en la norma ASTM D-422 usando un juego de tamices (N° 40, 60, 100 y 200), a fin de conocer la distribución de las fracciones arcilla, limo, arena y grava usadas en la fabricación de ladrillos artesanales de los tres sitios. Por su parte, el análisis de distribución de la fracción fina retenida en el tamiz N° 200, se realiza mediante la norma ISO 13320 [40] en un equipo de Difracción Láser Horiba LA-950V2, las muestras se midieron a 25±2 °C y se usó agua destilada como medio de dispersión. Para realizar la medición se aplica agitación y ultrasonido por cinco minutos para asegurar la separación de las partículas finas; este método se realiza con el fin de obtener la distribución granulometría y la superficie específica de las partículas finas.

Densidad, absorción de agua y porosidad abierta

Sobre los ladrillos artesanales, la determinación de absorción de agua se aplica según la norma técnica ecuatoriana INEN 296 [41], ya que una es de las escasas normas vigentes que consideran la condición artesanal de la producción del ladrillo y sus implicaciones potenciales en el ámbito patrimonial. La densidad se aplica según la norma UNE EN 772-3-99 [42], la cual consiste en obtener la densidad en las piezas, a partir de la relación del pesado de la masa seca y la masa saturada con agua.

Para la porosidad abierta se usa la norma UNE 993-1 [43], cuyo objetivo es determinar la cantidad de poros abiertos en los que puede ingresar agua al ladrillo. Estas pruebas buscan entender el comportamiento del agua en el ladrillo según su uso visible en las fachadas de Cuenca, pero particularmente en las edificaciones del CHC (Figura 1) y, por tanto, en la arquitectura patrimonial expuesta a procesos de deterioro [13], que afectan la durabilidad de los atributos físicos e inmateriales. Esta situación debe destacarse, ya que limita la posibilidad de que la población sea capaz de reconocerse en ellos desde su identidad cultural y conviva de manera armónica con el entorno [44]. También limita la conservación articulada y la permanencia de la cultura constructiva popular [45].

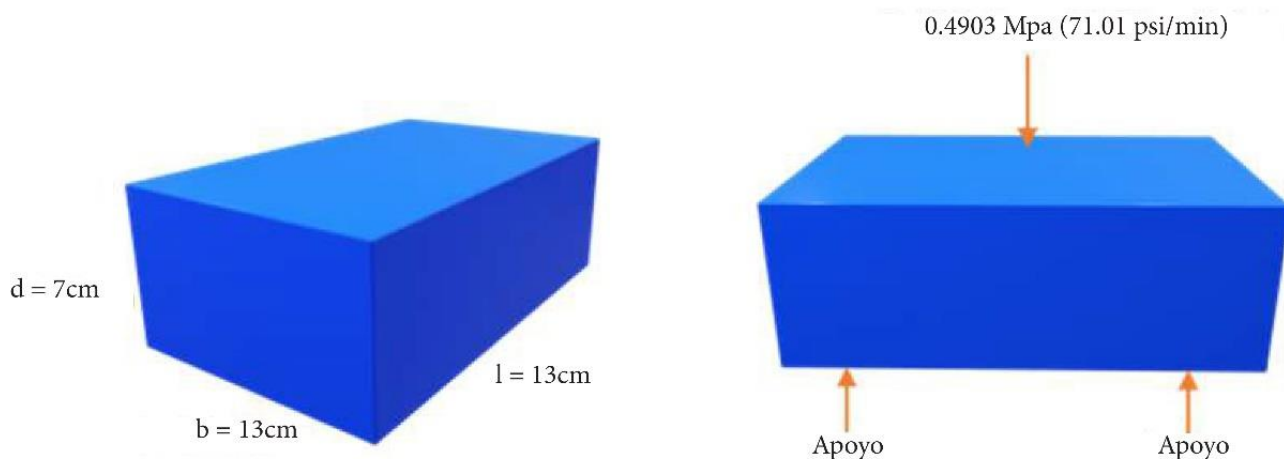


Figura 5. Modelos generales para el ensayo a flexión [13].

Resistencia a la compresión y flexión

En los ladrillos, y a diferencia de la materia prima (Figura 4), el estudio de las propiedades mecánicas de compresión y flexión se basa en las normas UNE 772-1:2011+A1 [46], UNE 67042-88 [47] e INEN 295 1977-05 [48] (Figura 5), sin desconocer que estas no tienen la orientación hacia el patrimonio cultural como otras, y que combinan la visión europea y la ecuatoriana. Además, se usa una prensa Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X en las siguientes condiciones; velocidad 0,5 MPa/s para la resistencia a compresión y 0,05 MPa/s para la resistencia a flexión.

A detalle, las probetas usadas se corresponden con la descripción de la Tabla 1. Para el caso de los ensayos de flexión el formato se corresponde con el modelo típico de la producción local y trabajo artesanal, el cual experimenta variaciones dimensionales ($\leq 6 \text{ mm} \geq 28 \text{ mm}$ por lado) que se registran individualmente. Por su parte, para los ensayos de compresión se procede a la preparación de las probetas bajo la norma UNE-EN 1052-1/1999; se usa una cortadora mecánica simple y se obtienen probetas con variaciones dimensionales significativas ($\leq 14 \text{ mm}$ por lado) debido a la conformación irregular interna de las piezas [13] originales, y con ello, potencialmente debido a la calidad de la materia prima.

Durabilidad

Los ensayos de envejecimiento acelerado para observar la durabilidad se aplican a los ladrillos, no así a la materia prima (Figura 4), y se componen por dos tipos de pruebas: heladicidad y cristalización de sales. Estos se realizan de manera secuencial conforme se han enunciado y mediante las normas UNE 67028 EX/97 [49] y UNE 67029 EX/95 [50], respectivamente.

Tabla 1. Características de los ladrillos artesanales según procedencia.

Muestras	Número	Ensayo	Dimensiones (mm) (\bar{x})	Aspecto referencial
Sinincay	5	Resistencia a la compresión	70×70×70	
Racar	5			
El Tejar	5			
Sinincay	6	Resistencia a flexión	250×130×70	
Racar	6			
El Tejar	6			

El tamaño de las probetas y los ciclos para cada ensayo se adaptaron a las capacidades técnicas disponibles en el laboratorio. Se realizan cortes a los especímenes para tener dimensiones de $13 \times 7,5 \times 8$ cm para los dos ensayos, asegurando que exista mínimo cuatro caras originales del ladrillo. Cada ciclo de heladicidad consta de 24 horas en el interior de una cámara frigorífica a una temperatura de -8 °C, y las siguientes 24 horas en una bandeja de deshielo a temperatura ambiente, en el caso del laboratorio de 20 ± 2 °C.

Por otro lado, cada ciclo de cristalización de sales consiste en 8 horas sumergido en una solución al 14 % de sulfato de sodio y las siguientes 16 horas en una estufa a 100 °C. El proceso incluye la documentación fotográfica de especímenes en los diferentes procesos a fin de facilitar el análisis.

Resultados y discusión

A partir del estudio de la materia prima y los tres conjuntos de ladrillos provenientes de los sitios históricos de aprovisionamiento (Sinincay, Racar y El Tejar), se determinan características significativas autónomas y articuladas (materia prima-ladrillo artesanal). Se priorizan las implicaciones técnicas sobre las estéticas, no obstante, no se desconoce la relevancia de las primeras en la arquitectura patrimonial y sus atributos inmateriales.

Materia prima

Composición química elemental y mineralógica

Al caracterizar el material de los sectores de estudio se determina que, la composición química elemental promedio no presenta mayor dispersión. Los elementos mayoritarios son silicio (Si), aluminio (Al) y hierro (Fe) que se relacionan con los aluminosilicatos y óxidos de hierro. También se evidencian elementos minoritarios como potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na), calcio (Ca) y titanio (Ti). Los cuatro elementos iniciales se consideran fundentes y podrían influenciar durante la quema del ladrillo [51] (Tabla 2). En la composición mineralógica, las fases cristalinas predominantes son el cuarzo, caolinita, ilita, feldespatos potásicos y plagioclasas, acompañados de anatasa y óxidos de hierro (Tabla 3).

Tabla 2. Composición química elemental expresada en porcentaje de óxidos, obtenida por SEM-EDS.

Muestra	Componente (% de óxido)							
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	FeO
Racar	0,38	0,91	24,21	64,55	2,10	0,74	0,78	6,32
Sinincay	0,61	0,70	24,44	62,22	2,14	0,64	0,87	8,37
El Tejar	0,35	1,05	26,40	59,86	1,70	0,74	1,10	8,79

Tabla 3. Composición mineralógica, obtenida por difracción (Suite EVA y Topas).

Muestra	Composición mineralógica (%)								
	Cuarzo (SiO ₂)	Plagioclasas [(Na,Ca)(Si,Al),O ₃]	Feldespatos de potasio (KAlSi ₃ O ₈)	Caolinita [Si ₂ O ₅ Al ₂ (OH) ₄]	ilita (KAl ₂ (Si,Al)O ₆ (OH) ₂)	Anatasa (TiO ₂)	Hematita (Fe ₂ O ₃)	Gibbsita Al(OH) ₃	
Racar	46,03	5,87	7,91	13,60	20,70	1,65	1,75	2,49	
Sinincay	47,99	13,74	6,08	16,07	12,92	1,30	1,90	-	
El Tejar	35,74	13,38	5,53	36,01	6,45	1,44	1,44	-	

El contenido de SiO_2 en las muestras de Sinincay y Racar es ligeramente superior a las muestras de El Tejar. Al considerar los valores teóricos de sílice en una pasta de ladrillo (45-55 %) [52-53], se deduce que los ladrillos de los tres sectores podrían tener un descenso de su resistencia mecánica en seco debido a este particular. Posterior a la cocción pueden presentar una mayor contracción durante el enfriamiento con riesgo de roturas. En contraposición, destaca el contenido de K_2O , que describe un rango entre los valores ideales (1,5-7 %), lo cual favorece la vitrificación durante la cocción, al disminuir la temperatura de fusión de la mezcla [54].

El contenido de arcillas (caolinita e ilita) es variable (Tabla 3 y Figura 6), de allí que, es importante su presencia en las propiedades mecánicas, durabilidad y, por tanto, en la calidad de los ladrillos, pero además en el proceso de producción porque al otorgarle manejabilidad a la mezcla, también se incluyen fundentes, especialmente Na, Ca y Mg, que disminuyen la temperatura de fusión durante la cocción [52] para producir una fase vítrea duradera que actúa como aglutinante de la matriz cerámica.

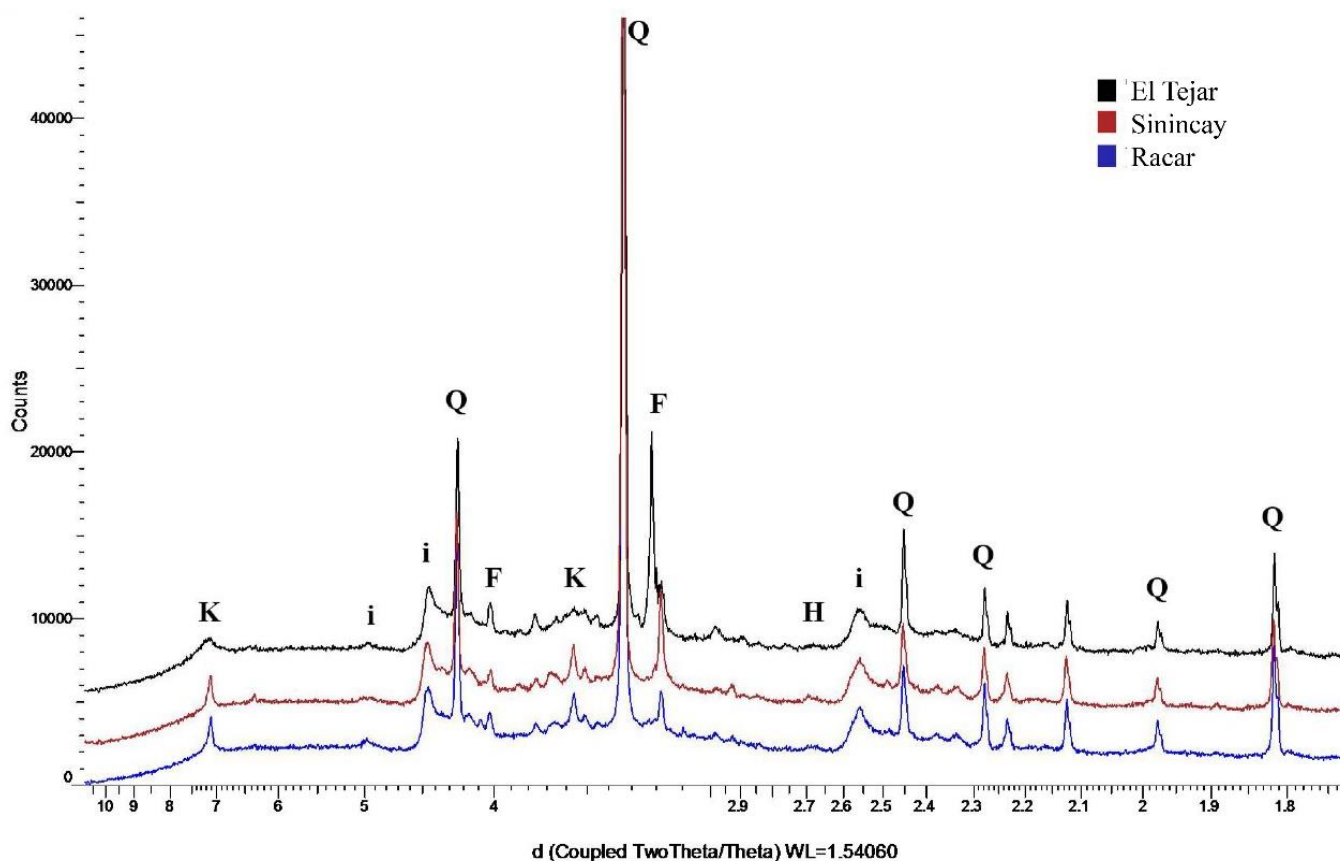


Figura 6. Difractogramas de las materias primas de los casos de estudio (Q: cuarzo; F: feldespatos; K: caolinita; i: ilita y H: hematita), obtenidos con Difracción Suite EVA.

Granulometría

Los resultados del análisis del tamaño de partícula por tamizado en seco y por difracción láser (Tabla 4). Se muestra la proporción relativa entre los diferentes grupos de partículas primarias, según sus diámetros de partícula; la fracción arcillosa es la más importante en la fabricación de los ladrillos, e incluye principalmente a los filosilicatos y otros minerales como feldespatos, cuarzos, entre otros, debido a su tamaño. Se considera como la fracción más fina ($\leq 2\mu\text{m}$) del suelo [55-56] y es responsable de los fenómenos fisicoquímicos y de la cantidad de agua utilizada

durante el amasado. En contraparte, las otras fracciones son partículas más gruesas que ayudan a disminuir la retracción [57]. En el caso del material proveniente de Racar y Sinincay, el porcentaje de arcilla es similar (20 %). Teóricamente se sabe que, una mezcla debe contener arcilla entre 20 y 30 % para garantizar la manejabilidad; porcentajes menores provocan dificultades durante el moldeo, como debe ocurrir con la materia prima de El Tejar, debido al bajo contenido de arcilla, y, por ende, baja plasticidad en la pasta [58-59].

La distribución del tamaño de partícula de las fracciones de limo y arcilla se observa en la Figura 7. Los limos y arcillas confieren a las pastas alta superficie específica; mientras más alto es el valor, la interacción con el agua aumenta [60-61] (Tabla 4). Así, la materia prima de Sinincay posee la mayor superficie específica, debido a su alto porcentaje de arcilla; posee 16 % de caolinita y 12,9 % de ilita (Tabla 3). La caolinita, si bien es una arcilla de baja superficie específica, adsorbe gran cantidad de agua y su superficie específica aumenta, favoreciendo la interacción y otorgándole plasticidad a la mezcla [60]. Por su parte, la materia prima de Racar posee una superficie específica importante (6928,4 cm²/cm³), por la presencia de ilita (20,7 %) y caolinita (13,6 %) que debe otorgar una plasticidad intermedia con respecto a los otros dos tipos de materia prima (Figura 7). Por último, la materia prima de El Tejar posee la menor superficie específica; 36 % de caolinita y 6% de ilita. Este valor bajo es concordante con el alto contenido de caolinita, una arcilla de área superficial baja en comparación con otros minerales arcillosos [61].

Conforme al diagrama de Winkler, usado para definir la plasticidad de un producto con buenas características a partir del contenido de arcilla, limo y arena de la pasta [62-63], se establece que, la materia prima de Sinincay es la única que encaja entre los valores de la región Z1, destinada a obtener un producto con buenas características técnicas en ladrillos macizos [64] (Figura 8). Caso contrario sucede en el material proveniente de El Tejar y Racar, por lo cual, existe la posibilidad de pérdidas durante el secado y la necesidad de mejorar las formulaciones [64-65]. Además, para el caso de los ladrillos artesanales, este proceso de formulación es de difícil control; en muchos casos la plasticidad de la pasta se da principalmente por el conocimiento ancestral, por lo tanto, los porcentajes de la fracción fina y gruesa puede variar de unidad en unidad [66].

Tabla 4. Resumen de la caracterización granulométrica por tamizado.

Muestra	Distribución granulométrica (%)				Superficie específica (cm ² /cm ³)
	Grava (> 2 mm)	Arena (2-0.02 mm)	Limo (0,02-0,002 mm)	Arcilla (< 0.02 mm)	
Sinincay	29,84	32,87	15,29	21,99	9194,8
Racar	52,98	20,15	7,22	19,65	6928,4
El Tejar	50,26	25,40	8,27	16,07	6175,1

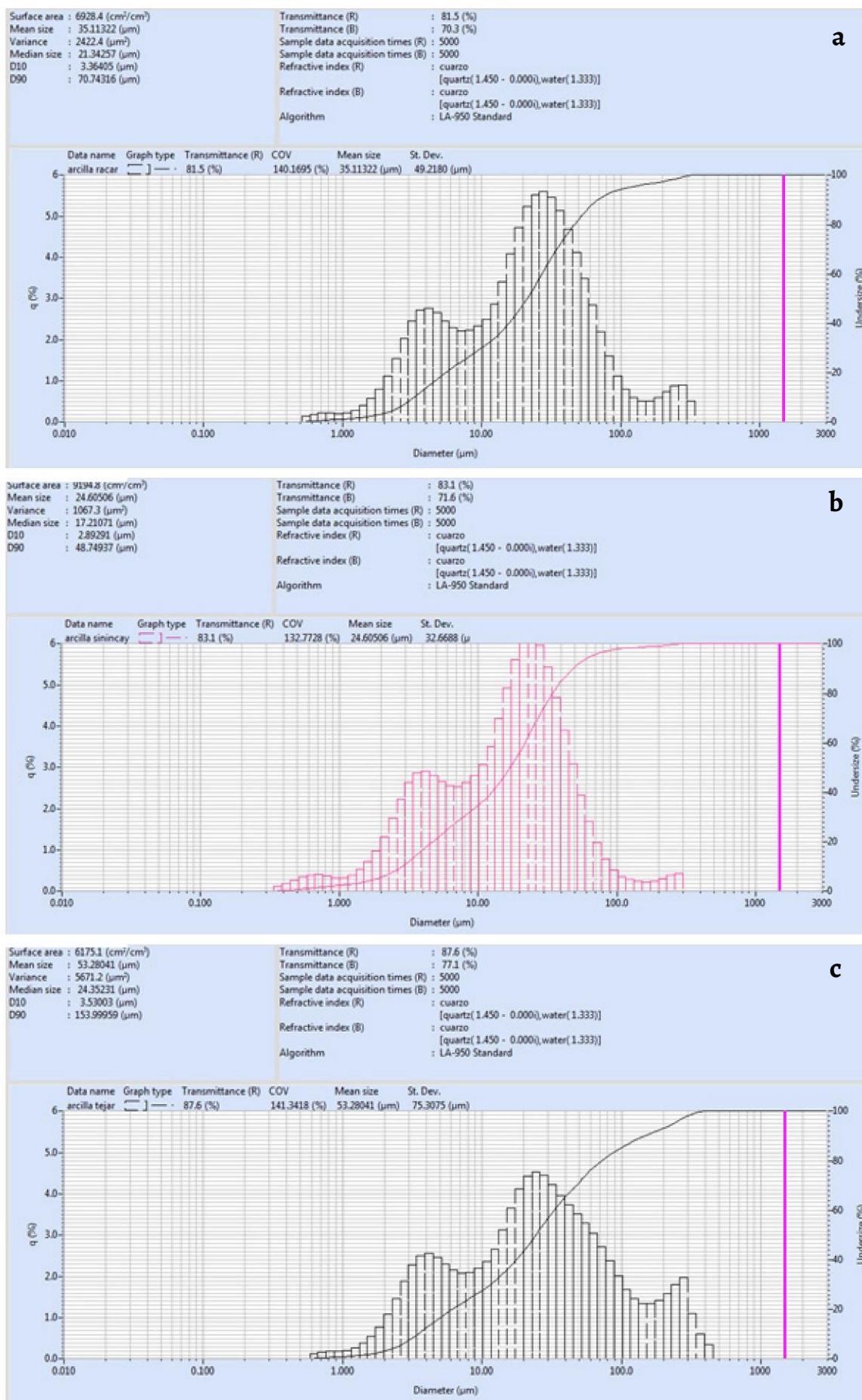


Figura 7. Distribución de tamaños de partículas de limo y arcilla, obtenida por difracción (Láser Horiba LA-950V2): a) Racar; b) Sinincay; c) El Tejar.

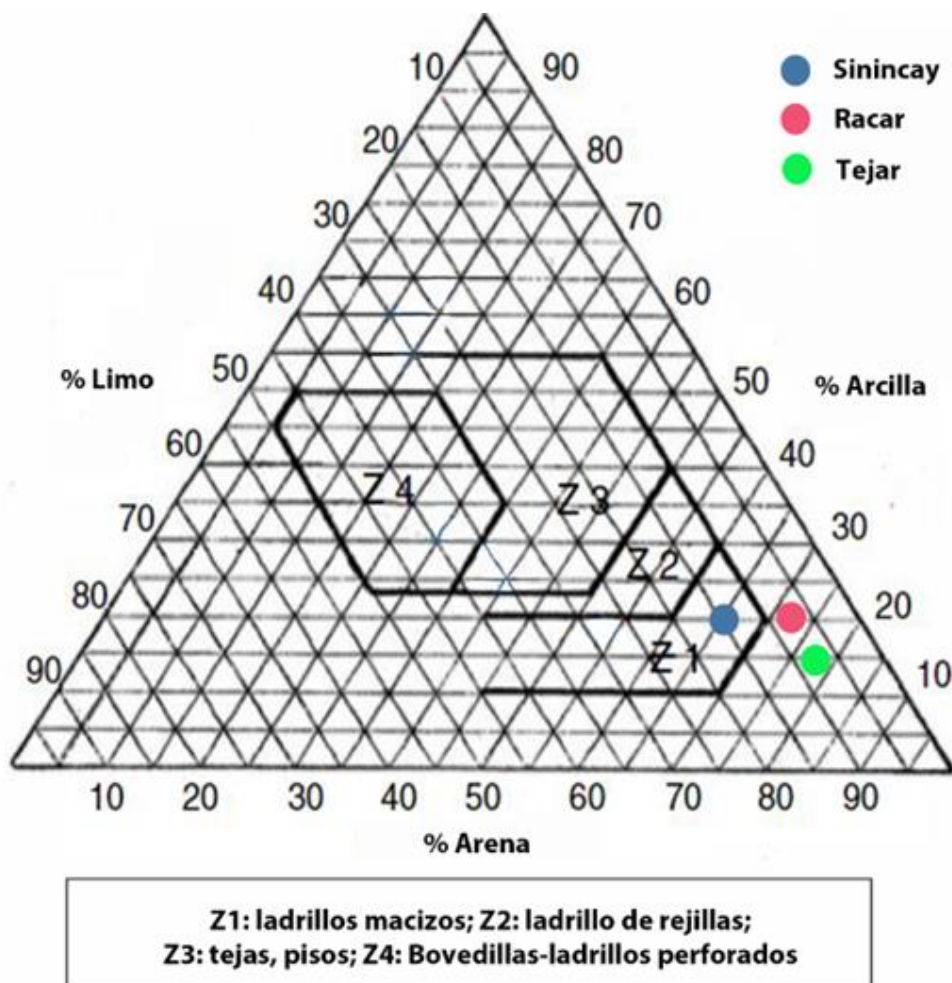


Figura 8. Diagrama de Winkler [64] para la materia prima de los casos de estudio.

Ladrillo macizo o panelón

Al considerar los ejemplares estudiados son evidentes las variaciones entre cada grupo y, por ende, entre cada proceso de producción artesanal y materia prima (Figura 9). En el caso del ladrillo de Sinincay la morfología es regular, con pequeñas imperfecciones superficiales e internas (con presencia visible de granos de áridos) y sonido metálico o sordo al golpe, lo que indica un nivel moderado o alto de porosidad o vacíos internos [1]. La coloración es típicamente naranja, propia de la condición estética deseada y asociada a la presencia de óxido férrico [66-67].

En el caso del ladrillo de El Tejar, la morfología presenta variaciones significativas, es decir, el amasado, el moldeado y secado son de menor calidad. También presenta coloración irregular en sentido decreciente exterior – interior e irregularidad granulométrica significativa. A su vez, en el ladrillo de Racar la irregularidad es la más significativa de los tres (Figura 9), así como la coloración pálida atípica en los ladrillos históricos y más bien, acorde a la contemporánea y creciente tendencia de uso (Figura 1).



Figura 9. Secciones transversales de los ladrillos: a) Sinincay; b) El Tejar; c) Racar.

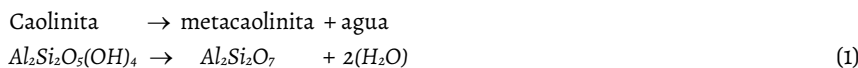
Tabla 5. Composición mineralógica, obtenida por difracción (Suite EVA y Topas).

Muestra	Composición mineralógica (%)								Temperatura de cocción (°C)
	Cuarzo (SiO ₂)	Mullita (Al ₆ Si ₂ O ₁₃)	Espinel (Si ₃ Al ₄ O ₁₂)	Plagioclasas ((K,Na,Ca)(Si,Al) ₃ O ₈)	Ilita (KAl ₂ (Si,Al)O ₁₀ (OH) ₂)	Hematita (Fe ₂ O ₃)	Anatasa (TiO ₂)	Otros	
Sinincay	41,40	9,59	-	28,85	-	5,52	0,78	13,61 (tridimita)	> 1000
Racar	59,21	18,72	10,96	3,98	-	5,34	1,80	-	> 1000
El Tejar	52,23	-	-	21,70	16,18	3,15	1,82	4,93 (cloritoide)	900-1000

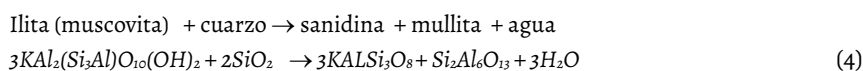
Composición mineralógica

Los resultados del análisis mineralógico se muestran en la [Tabla 5](#). Las fases cristalinas identificadas son cuarzo, feldespatos, hematita y anatasa; estas estructuras están en concordancia con el análisis de las materias primas ([Tabla 3](#)), pero también se encuentran fases cristalinas (mullita y espinel) de alta temperatura en los ladrillos de Racar y Sinincay, las cuales confieren dureza y resistencia. Estas últimas, se forman por la transformación a temperaturas superiores a 1000 °C [54] de las arcillas (ilita y caolinita) presentes en la materia prima. Por su parte, el ladrillo del Tejar tiene ilita, es decir, que la arcilla presente en la materia prima, aún no se ha transformado por acción de la temperatura en otras fases cristalinas; aspecto que influye directamente en la porosidad y la durabilidad del ladrillo [68-69].

Se toma como referencia los resultados de un estudio previo de transformación térmica de las arcillas [51], en los cuales se identifican las temperaturas de cocción de media y alta temperatura en arcillas de Cuenca y otros sectores del país. A partir de esto, se logró estimar la temperatura de cocción de los ladrillos. La ausencia de caolinita en el difractograma revela que los ladrillos se quemaron a temperaturas superiores a 600 °C, por la formación de una fase hidratada conocida como metacaolinita. Cuando la temperatura supera los 1000 °C, aparece una nueva fase, la mullita en coexistencia con cristobalita [54], las cuales se observan en los ladrillos de Racar y Sinincay. Estas reacciones se presentan a continuación:



A detalle, el ladrillo de El Tejar reporta ilita entre las fases cristalinas mayoritarias, lo cual es un indicativo de temperatura de cocción entre 900 y 1000 °C. Esta estimación se basa en el hecho de que, la ilita se amorfiza modificando su estructura cristalina a temperaturas superiores a 1000 °C, por lo que desaparecen los picos principales [51] ([Figura 8](#)). En el caso de los ladrillos de Sinincay y Racar las fases cristalinas mayoritarias (mullita y espinel) son típicas de alta temperatura [51]; sugieren temperaturas de quema superiores a 1000 °C. También se debe considerar que, la presencia de feldespatos de potasio favorece la aparición de estas fases, por su efecto fundente, y que, a su vez, le confieren al ladrillo un comportamiento refractario, reduciendo la porosidad y ganando resistencia a compresión y cizallamiento [68, 70]. Los filosilicatos (ilita) conforme aumenta la temperatura se transforman en nuevas fases, como la sanidina y la mullita [71-72], según la siguiente reacción:



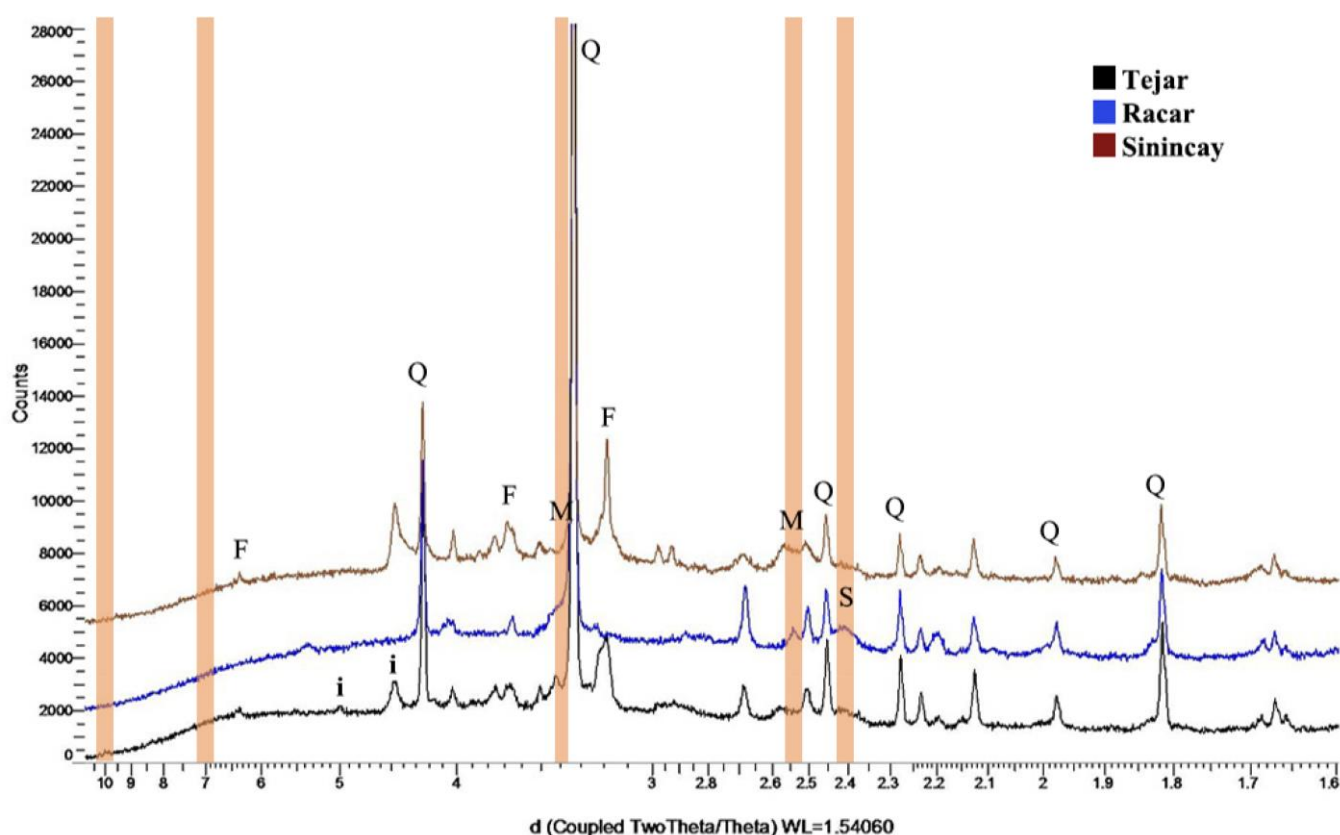


Figura 10. Difractogramas comparativos de los casos de estudio (Q: cuarzo; F: feldespatos; M: mullita; i: ilita; C: cloritoide; H: hematita; S: espinel), obtenidos con Difracción Suite EVA y Topas.

Densidad, absorción de agua y porosidad abierta

La cantidad de agua que absorbe un ladrillo afecta directamente a la durabilidad y robustez, ya que, los poros funcionan como capilares [72]. Los ladrillos deben ser porosos, pero no en exceso, ya que, los valores más altos de absorción de agua causan expansiones, eflorescencias y contracciones se provocan agrietamientos y fisuras [73]. En los ladrillos estudiados existe un porcentaje de absorción de agua similar (Tabla 6) y acorde a la normativa ecuatoriana NTE INEN 297 [74] de fabricación artesanal en ladrillos macizos, es decir, cumple con el 25 % de absorción de agua máximo para un ladrillo tipo C [75].

En la Figura 11 se observan las microestructuras de los ladrillos. El de Racar presenta microfisuras, grietas y poros irregulares que se forman por una baja presión de prensado durante su producción, dando como resultado baja densificación [10]. Estas características se asocian a valores altos de absorción de agua y bajas temperaturas de cocción [76]. Por su parte, los ladrillos de Sinincay y El Tejar presentan microfisuras con tamaños característicos de los ladrillos elaborados con un prensado homogéneo, por lo tanto, presentan valores menores en la absorción de agua con temperaturas de cocción más altas. Como consecuencia, conforme a la relación con la resistencia mecánica y la durabilidad, por la temperatura de cocción no se identifica material vidriado, el cual cierra los poros pequeños y reduce el volumen del sólido a altas temperaturas [77].

Tabla 6. Determinación de densidad y absorción de agua por inmersión.

Muestras	UNE-EN 772-3	INEN 296	UNE-EN 993-1
	Densidad aparente (g/cm ³)	Absorción de agua (%)	Porosidad abierta (%)
Sinincay	1,59	18,23	37,17
Racar	1,46	19,96	36,15
El Tejar	1,65	17,06	36,93

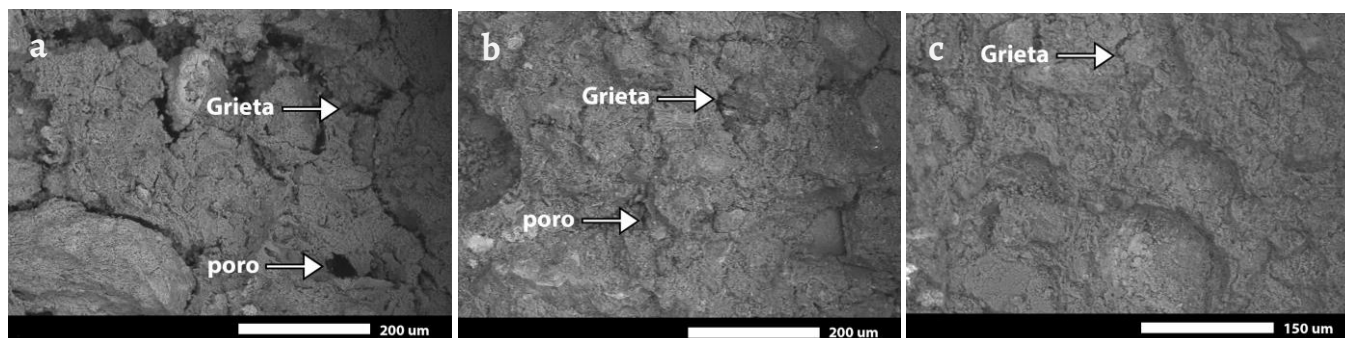


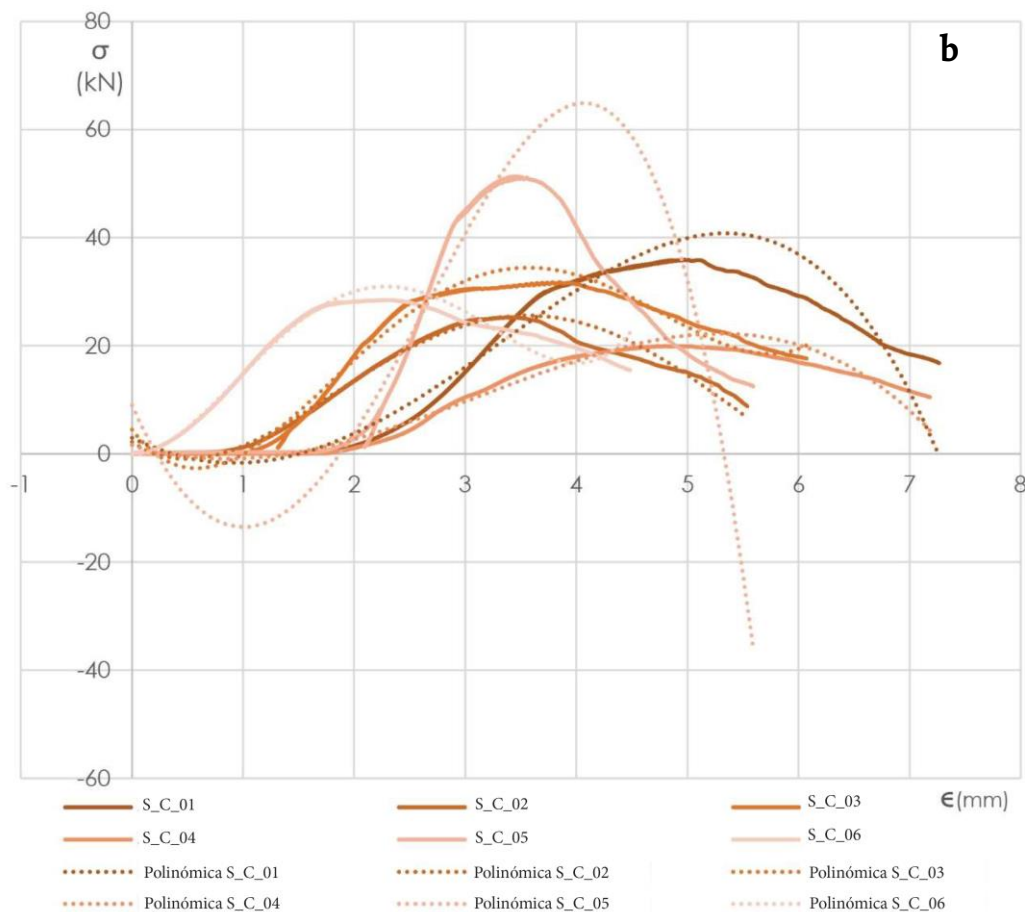
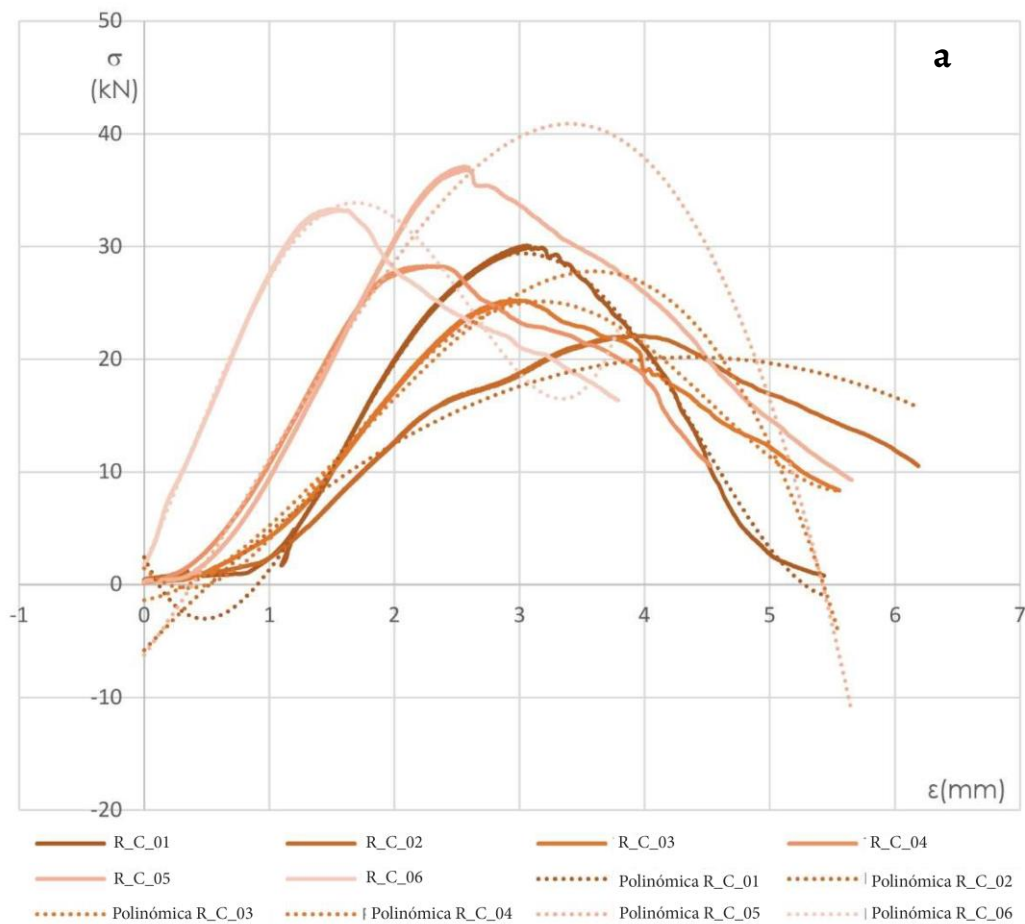
Figura 11. Imágenes microscópicas, obtenidas con microscopio electrónico de barrido JEOL IT 300, de la microestructura de los ladrillos, en la que se observa las microfisuras y tamaño de poros: a) Racar, b) Sinincay y c) El Tejar.

Resistencia mecánica (compresión y flexión)

Desde la caracterización físico-mecánicas, según los condicionantes de las normas internacionales aplicadas, existen comportamientos dispersos. Las prestaciones físicas a compresión indican que, el promedio de carga máxima se encuentra entre 37,10 y 51,33 kN, lo cual depende de la procedencia del material y con seguridad también incide el proceso artesanal de producción. Esto a su vez es directamente proporcional con la resistencia a la compresión distribuida entre 3,10 y 9,50 MPa. A nivel específico, el material con mejores condiciones es el proveniente de Sinincay, ya que resiste entre el 10 y 20 % más que el de El Tejar y Racar (Tabla 7), y a su vez, se asocia con la presencia de cuarzo, mullita y espinel, así como con la maleabilidad que le confieren a la masa, no así a la densidad, absorción de agua y porosidad.

Desde el punto de vista estructural, la resistencia a la compresión en la unidad de ladrillo determina su idoneidad para la edificación [78], por ello, además deben soportar una carga de 4 y 3 MPa [79] con disposición perpendicular al plano del muro [80]; este comportamiento se adapta a las características de los ensayos propuestos y vigentes por ser materiales fabricados a mano y tener imperfecciones en su composición exterior y variación de rectitud en las aristas de hasta 8 mm. En términos de obra nueva, son de relevancia otras normas ecuatorianas [74, 79, 81] a fin de seleccionar cada elemento según el requerimiento en la edificación, no obstante, a efectos de arquitectura patrimonial la aplicación es limitada y los estudios son inexistentes. Tal es el punto que, la mayoría de edificios patrimoniales fueron construidos sin control de calidad o cumpliendo normas de construcción [30], por lo que, las grandes variaciones confirman la particularidad de cada dosificación de la materia prima, moldeado y quema (Tabla 7).

A detalle, en el conjunto de los ladrillos provenientes de El Tejar, la resistencia máxima soportada se encuentra entre 3,10 y 7,14 MPa, y $\bar{x} = 5,38$ MPa. Estos son valores lejanos a cumplir con las normas nacionales NTE INEN 0294 [78] y NTE INEN 297 [80]; estas establecen que, para el tipo de ladrillo tipo A, debe cumplir en promedio de cinco unidades un valor de 25 MPa. Así, los ladrillos de Sinincay (3,41 y 9,50 MPa, $\bar{x} = 6,37$ MPa) y Racar (4,32 y 7,35 MPa, $\bar{x} = 5,84$ MPa) reportan valores significativamente inferiores. Además, existen casos con comportamientos particulares (T_C_01 y R_C_01), ya que pasan por un proceso de plastificación previo al colapso, contrario al resto de muestras que sufren una rotura frágil (Tabla 7 y Figura 12).



(cont.)

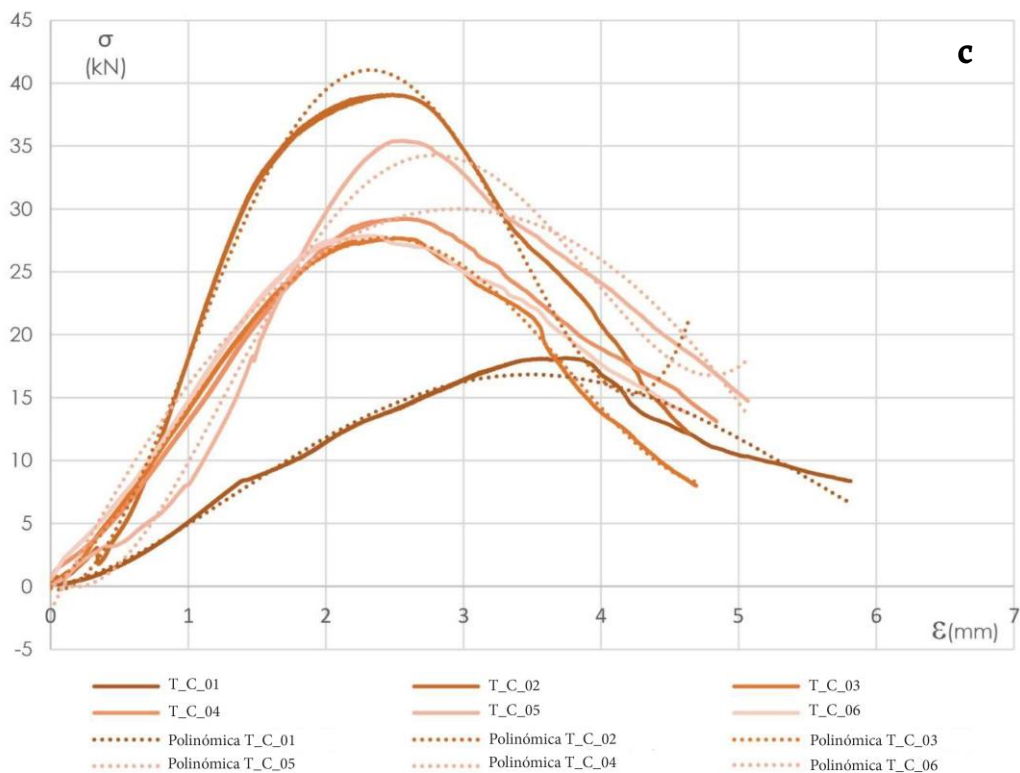


Figura 12. Comportamiento a compresión, obtenido con Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X: a) Racar, b) Sinincay; c) El Tejar.

Tabla 7. Reporte de comportamiento a compresión simple, obtenido con Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X.

Muestras		Características				
		Carga Máxima (kN)	Resistencia (MPa)	Varianza	Desviación estándar	Coef. de variación
El Tejar	T_C_01	18,13	3,10	28,26	±8,62	1,17
	T_C_02	39,10	7,146	152,15	±12,33	1,17
	T_C_03	27,69	5,264	74,32	±8,62	1,17
	T_C_04	29,22	4,993	84,71	±9,20	1,12
	T_C_05	35,41	7,125	126,58	±11,25	1,37
	T_C_06	27,87	4,70	78,29	±8,84	1,27
Sinincay	S_C_01	35,97	7,13	92,90	±9,64	1,45
	S_C_02	25,30	5,89	52,04	±7,21	1,29
	S_C_03	31,77	6,13	84,48	±9,19	1,32
	S_C_04	19,96	3,41	22,38	±4,73	1,55
	S_C_05	51,33	9,50	234,08	±15,30	1,24
	S_C_06	28,48	6,17	79,72	±79,72	1,18
Racar	R_C_01	30,10	5,72	82,88	±9,11	1,08
	R_C_02	22,09	4,32	43,05	±6,56	0,98
	R_C_03	25,23	5,30	58,02	±7,62	1,06
	R_C_04	28,26	5,85	77,10	±8,78	1,17
	R_C_05	37,10	7,35	131,73	±11,48	1,14
	R_C_06	33,33	6,52	115,72	±10,75	1,16

Tabla 8. Reporte de comportamiento a la flexión, obtenido con Hydraulic Universal Testing Machines Shimadzu Concreto 2000X.

Muestras	Características					
	Carga Máxima (kN)	Resistencia (MPa)	Varianza	Desviación estándar	Coef. de variación	
El Tejar	T_F_01	1,32	0,08	0,12	±0,35	0,77
	T_F_02	2,75	0,16	0,87	±0,93	0,95
	T_F_03	7,20	0,45	6,50	±2,54	0,62
	T_F_04	1,43	0,09	0,34	±0,58	0,98
	T_F_05	0,87	0,05	0,21	±0,46	0,99
Sinincay	S_F_01	1,22	0,08	0,10	±0,32	0,78
	S_F_02	2,32	0,16	0,50	±0,71	0,91
	S_F_03	1,74	0,11	0,29	±0,54	0,90
	S_F_04	1,54	0,10	0,65	±0,80	1,06
	S_F_05	1,41	0,09	0,30	±0,55	0,93
Racar	R_F_01	1,14	0,07	0,16	±0,40	0,89
	R_F_02	0,66	0,04	1,51	±1,23	1,92
	R_F_03	1,53	0,09	0,16	±0,40	0,77
	R_F_04	1,23	0,07	0,13	±0,37	0,86
	R_F_05	4,88	0,29	1,89	±1,37	0,42

Por su parte, a flexión se determina que, el rango de la resistencia oscila entre 0,04 y 0,454 MPa, con valores promedio de 0,171, 0,114 y 0,113 MPa que corresponden a las muestras de Tejar, Sinincay y Racar, respectivamente. A su vez, la norma ecuatoriana [48, 62] bajo los ensayos característicos determina como mínima una resistencia de 2 MPa en el promedio de los ladrillos cerámicos ensayados [34, 62], es decir, ninguno es admisible para uso, debido a diversas condiciones como el tipo de amasado y la quema (Figura 9 y Tabla 8). Pese a ello, el material de mejores condiciones es el de Sinincay, cuya carga promedio es 0,114 MPa.

Por otro lado, debido al bajo nivel tensional de las mamposterías [82], asociado a la calidad de la materia prima, la elasticidad, salvo que hubiese un alto deterioro como en algunos bienes del CHC, está condicionada a la resistencia y a la densidad. De ello, los ladrillos de Sinincay presentan las mejores condiciones, mientras que, en los de Racar la mayor absorción de agua, menor temperatura de cocción y fracturación interna, los hace altamente vulnerables, es decir, se incrementa la posible deformación de los ladrillos en el sistema de mampuestos. Además, a pesar de ello, en muchos casos los materiales encontrados en las fábricas históricas tienen mejores prestaciones y un comportamiento más satisfactorio que las soluciones actuales [83], por lo que, el optar sistemáticamente por alguno de estos materiales, puede ser no necesariamente idóneo. En el CHC, este particular resulta significativo, ya que la ubicación geográfica y los condicionantes sísmicos refieren un riesgo latente [82, 84].

Durabilidad

Las propiedades físicas, como determinantes de la calidad, resistencia longevidad y estabilidad de los bienes deben evaluarse [1] desde los agentes de deterioro. En el caso del ladrillo, los mayores están relacionados con la calidad de la arcilla cruda, es decir, la materia prima y las condiciones de fabricación, además del ambiente y el factor antrópico [85]. De hecho, se ha reconocido que, como ocurre con la mayoría de los materiales de albañilería, varios procesos pueden actuar para alterar las propiedades físicas y químicas del ladrillo cocido [69], y el grado de alteración depende normalmente de la exposición a la intemperie, del ataque químico y de un diseño estructural inadecuado, el cual se enmarca en las características de la arquitectura patrimonial del CHC [82, 84].

En el ensayo de heladicidad, método por el cual se determina la durabilidad de los ladrillos, se reproduce el efecto de la variación cíclica de la cristalización del hielo en el interior saturado

en agua, se reveló que, los ladrillos de El Tejar y Sinincay presentan cambios evidentes a simple vista, con formación de lascas, fisuras, grietas y pérdida de rugosidad (Figura 13). Este fenómeno está relacionado con las características de porosidad, la facilidad de movimiento de los fluidos al interior del ladrillo y la saturación del agua en el sistema poroso. En los dos casos, se genera expansión en el volumen cuando el agua cambia a hielo en un 9 % [86], y se observa en la cantidad de agua que se absorbe.

En contraste, los ladrillos de Racar presentan grandes fisuras, pérdida de material y desplazados (Figura 13), lo cual se relaciona con el proceso de fabricación artesanal; las piezas presentan variaciones de unidad en unidad, principalmente cuando se realiza con rapidez el secado y causa la formación de grietas y fisuras [66, 87]. Asimismo, los efectos agresivos que tiene la heladicidad se entienden al relacionar el alto porcentaje de absorción de agua con las imperfecciones del proceso artesanal, y, por lo tanto, determinan la menor durabilidad en relación a los otros ladrillos estudiados.

En el caso del ensayo de cristalización de sales, se observa al final de los ciclos la formación de eflorescencias, pérdida de material en la superficie y el aumento del porcentaje de absorción de agua (Figura 13 y Tabla 9). Esto se debe a que, cuando la disolución rica en sales ingresa al sistema poroso, generalmente por capilaridad, las sales solubles sufren disolución y precipitación favorecida por los cambios de temperatura y humedad [66]. A su vez, el efecto nocivo de la cristalización de sales está relacionado con el empuje de los cristales al crecer de tamaño y la generación de tensiones que superan la resistencia del ladrillo y generan estas eflorescencias [69].

De otro lado, también se observa que, la durabilidad no depende de la materia prima y la temperatura de cocción alcanzada, sino a los procesos de producción en su totalidad, particularmente el secado, amasado y moldeado [87]. Un claro ejemplo es el ladrillo de Racar; pese a exponer la temperatura de cocción más alta y la buena calidad de materia prima, presenta mayor desgaste (Figura 13).

En todos los casos, la afección de las prestaciones físicas, y estéticas derivadas, bajo procesos que cuestionan su solvencia y se aproximan a la realidad de la arquitectura patrimonial y sus materiales, también se traduce en disminución de valores patrimoniales. El detrimento estético, limitaciones funcionales y disminución de confort afectan al empoderamiento ciudadano a partir del reconocimiento de tales valores; esta visión no es individual, se asocia al vecindario, la familia, los amigos, por lo que, se trata de una perspectiva multi actoral, que determina una visión más integral de los valores existentes y una mayor implicación en los temas patrimoniales [88]. Es decir, el estado de conservación de la estética patrimonial trasciende de una aspiración narcisista [89], implica la puesta en valor de los materiales [13] en un nivel tan relevante como el de la arquitectura en general, como parte de la atmósfera [90] de los espacios, en este caso, el paisaje urbano histórico de Cuenca y las personas que se encuentran ahí, en sus disposiciones relativas y en los sentimientos que evocan.

Tabla 9. Porcentaje de absorción de agua antes y después del ensayo de cristalización de sales.

Muestra	Absorción de agua antes del ensayo (%)	Absorción de agua después del ensayo (%)
Sinincay	18,23	28,02
Racar	19,96	29,47
El Tejar	17,06	26,65

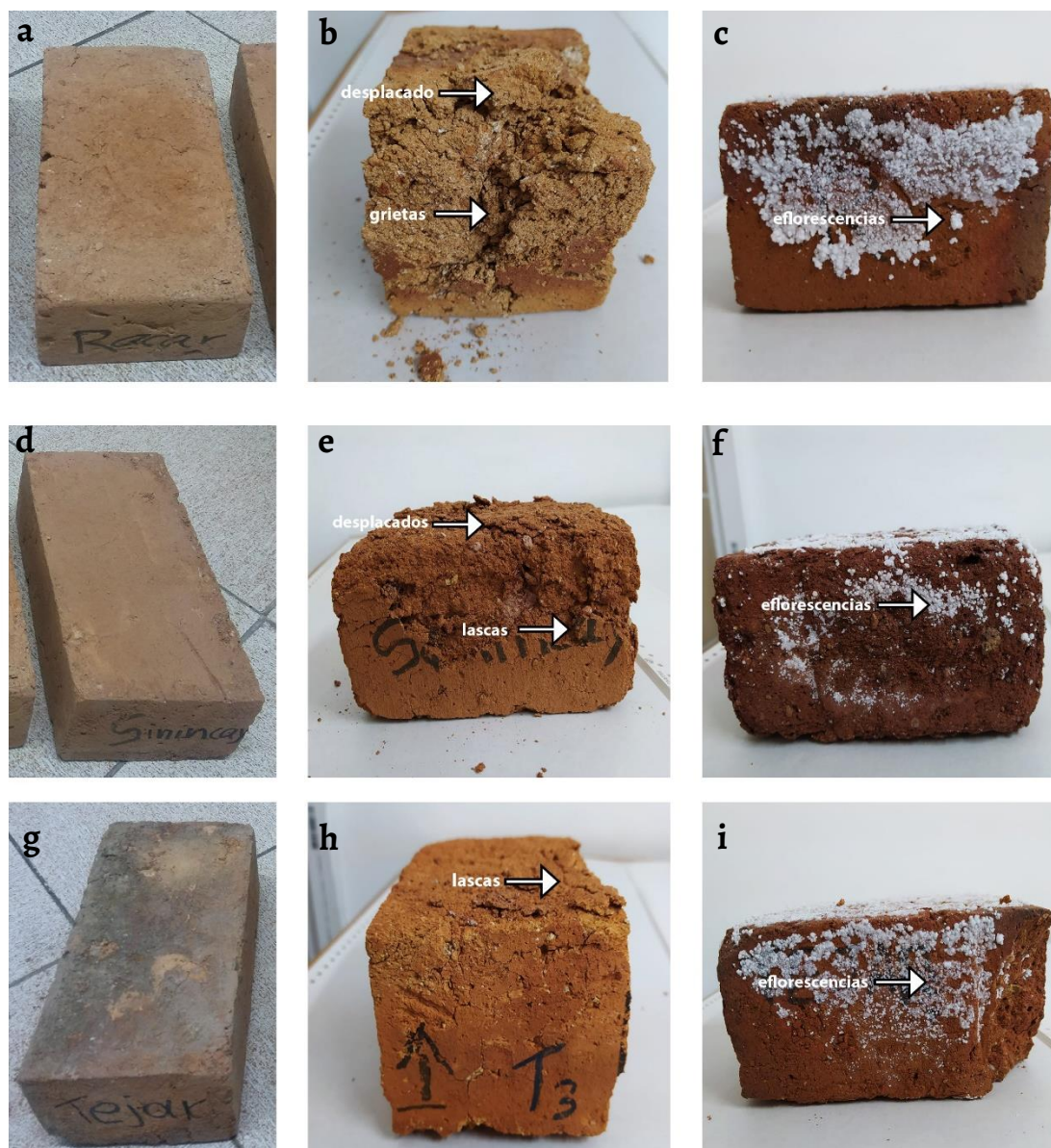


Figura 13. Reporte de ensayos de durabilidad: En los ladrillos de Racar: *a*) sin tratamiento; *b*) posterior al ensayo de heladicidad; *c*) posterior al ensayo de cristalización de sales; En los ladrillos de Sinincay: *d*) sin tratamiento; *e*) posterior al ensayo de heladicidad; *f*) posterior al ensayo de cristalización de sales; En los ladrillos de El Tejar: *g*) sin tratamiento; *h*) posterior al ensayo de heladicidad; *i*) posterior al ensayo de cristalización de sales.

Conclusiones

El uso del ladrillo artesanal en Cuenca es una condición significativa del territorio; está asociado tanto a las prácticas edificatorias cuanto, a los saberes ancestrales de su producción, lo cual lo posiciona como el material local predilecto, es decir, como un recurso atemporal de la construcción y la identidad. A pesar de lo anterior, el proceso de producción y uso presentan vulnerabilidad intrínseca establecida desde la caracterización de las muestras. La variación significativa de las propiedades químicas, mineralógicas, físicas y de durabilidad disminuyen el potencial de uso del ladrillo artesanal, frente al industrial o semi industrial, generalmente sujetos a procesos de control de calidad que disminuyen dicha problemática.

A detalle, las semejanzas y diferencias encontradas en los análisis de caracterización muestran relaciones diversas. Las semejanzas entre la materia prima de Racar, Sinincay y El Tejar son propias de las características geológicas del territorio, mientras que las diferencias en la granulometría, superficie específica y plasticidad están dadas por los procesos de producción de cada ladrillera. La materia prima de Sinincay que tiene un mayor contenido de la fracción

arcilla, por tanto, mayor área de superficie y la única que cumple las condiciones de calidad para ser usadas en la elaboración de ladrillos macizos, según el diagrama de Winkler. A su vez, en el caso de los ladrillos, se evidenció que la composición mineralógica está estrechamente ligada con el proceso de quema y las propiedades físicas resultantes. Así, los ladrillos de Racar y Sinincay exhibieron los rangos de temperatura de quema más altos (> 1000 °C) favoreciendo la fusión de los minerales y provocando el rellenado de los poros con la consiguiente disminución de la porosidad y aumento de densidad y permeabilidad. Estas características les otorgan las mejores propiedades de durabilidad.

De otro lado, el conocimiento de la vulnerabilidad de los ladrillos a los ciclos de hielo-deshielo y a la cristalización de sales posibilitarán la mejora de un material altamente aceptado por la sociedad y permitirá proyectar múltiples acciones técnicas. Por ello, se deben orientar operativamente los resultados reportados hacia los procesos de producción artesanal, evaluar la compatibilidad de las acciones y establecer protocolos técnicos sobre el ladrillo artesanal de producción contemporánea usado en los bienes patrimoniales.

Finalmente, es claro que, la situación de la calidad y capacidad del ladrillo artesanal a partir de la materia prima y el proceso de producción, alcanza a la conservación patrimonial y acentúa la utilidad de la investigación a la hora de evaluar y priorizar materiales compatibles para las labores de intervención. También se posiciona nuevas rutas de investigación, como las siguientes; a) el análisis particularizado de la arquitectura de hornos y tejares en zonas que, como San Sebastián y Sinincay, han acogido dicha actividad y pueden enmarcarse en categorías como el patrimonio de la producción artesanal y pre industrial; b) la evaluación de tratamientos de conservación aplicados a edificios patrimoniales, cuya eficacia o problemática pueda trascender a los profesionales, productores y administración pública para regular su uso y; c) la dinámica del trabajo familiar como motor de la producción histórica de ladrillo artesanal en Cuenca, y por tanto, parte del patrimonio inmaterial local.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Católica de Cuenca y al Instituto Nacional de Patrimonio Cultural por el apoyo para la ejecución del proyecto denominado Los materiales en el estudio histórico – constructivo - ambiental de los conjuntos histórico. El caso de Cuenca. ETAPA 2. Dicho proyecto se realizó bajo convenio interinstitucional entre el año 2019 y el año 2021.

REFERENCIAS

1. Kumar Mishra, A.; Mishra, A.; Anshumali, 'Geochemical characterization of bricks used in historical monuments of 14-18th century CE of Haryana region of the Indian subcontinent: Reference to raw materials and production technique', *Construction and Building Materials* **269** (2021) 121802, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121802>.
2. Vele, J., 'Cathedral of Immaculate Conception of Cuenca: Building and process of materials', Trabajo de Maestría, Universidad de Lovaina, Lovaina (2015).
3. Sanmartín, F.; Tuba, M., 'Análisis y determinación de los costos de la explotación, procesamiento, acabado y comercialización de ladrillo y teja de los diferentes talleres de la parroquia rural de Sinincay, cantón Cuenca año 2014', Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2014), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/21877>.
4. Zarankin, A., 'Arqueología de la Arquitectura. Another brick in the Wall', *Revista do Museu de Arqueología e Etnología. Suplemento* **3** (1999), 119-128, <https://doi.org/10.11606/issn.2594-5939.revmaesupl.1999.113463>.
5. Torres-Quezada, J.; Torres, A.; Isalgue, A.; Pages-Ramón, A., 'The evolution of embodied energy in andean residential buildings. Methodology applied to Cuenca-Ecuador', *Energy and Buildings* **259** (2022) 111858, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111858>.
6. Cultrone, G.; De La Torre, M. J.; Sebastián, E. M.; Cazalla, O.; Rodríguez-Navarro, C., 'Behavior of brick samples in aggressive environments', *Water, Air, and Soil Pollution* **119** (2000) 191-207, <https://www.proquest.com/openview/ebeabf36d37c6bcd6ed8do2d3f24c190/1.pdf?pq-origsite=gscholar&cbl=54157>.
7. Lourenço, P.; Van Hees, R.; Fernandes, F.; Lubelli, B., 'Characterization and damage of brick masonry', in *Structural Rehabilitation of Old Buildings, Building Pathology and Rehabilitation*, eds. A. Costa, J. Guedes, H. Varum, Vol. 2, Springer, Berlín (2014) 109-130, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39686-1>.
8. Mayo Corrochano, C.; Sanz Arauz, D., 'Los morteros históricos del castillo Cifuentes (Guadalajara, España)', *Conservar Património*, in press, <https://doi.org/10.14568/cp2020061>.

9. Marras, S. I.; Ihtiaris, I. A.; Hatzitrifon, N. K.; Sikalidis, K.; Aifantis, E. C., 'A Preliminary study of stress-assisted penetration in ceramic bricks', *Journal of the European Ceramic Society* **20** (2000) 489-495, [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(99\)00186-7](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(99)00186-7).
10. Cultrone, G.; Sidraba, I.; Sebastián, E., 'Mineralogical and physical characterization of the bricks used in the construction of the "Triangul Bastion", Riga (Latvia)', *Applied Clay Science* **28**(1-4) (2005), 297-308, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2004.02.005>.
11. Benici, H.; Binici, F.; Akcan, M.; Yardin, Y.; Mustafaraj, E.; Corradi, M., 'Physical-Mechanical and Mineralogical Properties of Fired Bricks of the Archaeological Site of Harran, Turkey', *Heritage* **3**(3) (2020) 1018-1034, <https://doi.org/10.3390/heritage3030055>.
12. Vandiver, P., 'The Role of Materials Research in Ceramics and Archaeology', *Annual Review of Materials Research* **31** (2001) 373-385, <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.31.1.373>.
13. Aguirre Ullauri, M., 'Materiales históricos, lectura histórico constructiva y caracterización. El caso de Cuenca (Ecuador)', Tesis Doctoral, Departamento de Composición Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (2021), <https://oa.upm.es/69331/>.
14. Yahya, H. A.; Abdul Samad, M., 'The role of building materials in architectural design', *Applied Mechanics and Materials* **679** (2014) 6-13, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.679.6>.
15. Carta de Machu Picchu, Ciudades Históricas. Congreso Internacional de Arquitectos y Técnicos en Monumentos Históricos, Cuzco (1977), <http://mec-edupaz.unam.mx/index.php/mecedupaz/article/view/75301/66664>.
16. Villavicencio, P., 'Intervención en fachadas de ladrillo visto y activación económica. Estudio arquitectónico en el Centro Histórico de Cuenca (Ecuador)', Protocolo de trabajo de titulación de pregrado, Universidad Católica de Cuenca, Cuenca (2020).
17. Venta, George J.; Eng., P., *Life cycle analysis of brick and mortar products*, The ATHENATM Sustainable Material Institute, Ottawa (1998), https://calculatelca.com/wp-content/themes/athenasoftware/images/LCA%20Reports/Brick_And_Mortar_Products.pdf.
18. Shakir, A.; Mohammed, A., 'Manufacturing of Bricks in the Past, in the Present and in the Future: A state of the Art Review', *International Journal of Advances in Applied Sciences* **2**(3) (2013) 145-156, <http://doi.org/10.11591/ijaas.v2.i3.pp145-156>.
19. Dean, C., *A Culture of Stone: Inka. Perspectives on Rock*, Duke University Press, Durham (2010).
20. Sjoman, L., *Cerámica Popular. Azuay y Cañar*, Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares, Cuenca (1991), <http://documentacion.cidap.gob.ec:8080/handle/cidap/351>.
21. Gomis, D., 'Chaullabamba, una ventana abierta hacia nuestro pasado', *Catedral Salvaje* **24** (1989) 4-5.
22. Orellana, F., 'Inventario, caracterización y expediente técnico de las ladrilleras y tejares del cantón Cuenca', *Consultoría contratada por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural*, Dirección Técnica Zonal 6, Cuenca (2014).
23. Arteaga, D., *El artesano en la ciudad colonial (1555-1670)*, Centro Interamericano de Artesanías y Artes Populares y Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo del Azuay, Cuenca (2000).
24. Averardo, M., *Cátedra Introducción a la tecnología Área de la Tecnología y la producción. El ladrillo: Orígenes*, Universidad Nacional del Nordeste, Resistencia (2009), <https://arquitectologicofau.files.wordpress.com/2012/02/el-ladrillo-2009.pdf>.
25. Espinoza, P.; Calle, M., 'La cité cuencana: el afrancesamiento de Cuenca en la época republicana (1860-1940)', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2002), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/5992>.
26. Molina Prieto, F.; Hinojosa de Parra, R., 'De la mampostería colonial al ladrillo a la vista. Los chircales de Bogotá y su impronta en la arquitectura y el desarrollo urbano, periodo 1810-1920', *Revista Nodo* **10**(5) (2011) 91-112, <https://core.ac.uk/download/pdf/236383144.pdf>.
27. García, D.; Guartazaca W., 'Capacidad sísmica de las Estructuras de Mampostería del Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad del Azuay, Cuenca (2019), <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9424>.
28. Chérres, M.; Peñafiel, C., 'Determinación del índice de vulnerabilidad de las edificaciones de la ciudad de Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2000).
29. Jiménez, J.; Cabrera, J.; Sánchez, J.; Avilés, F., 'Vulnerabilidad sísmica del patrimonio edificado del centro histórico de la ciudad de Cuenca: Lineamientos generales y avances del proyecto', *Maskana* **9**(1) (2018) 59-78, <https://doi.org/10.18537/mskn.09.01.07>.
30. García, H.; Degrande, G., 'Performance and seismic vulnerability of a typical confined masonry house in Cuenca-Ecuador', in *Proceedings of 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE*, Curran Associates, Inc., Santiago Chile (2017) 1-12, <https://www.wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-4206.pdf>.
31. Llivisaca Mejía, J. (2020), 'Influencia del grado de simetría y la disposición equidistante de los pilares sobre los modos de vibración de una estructura de mampostería no reforzada típica del Centro Histórico de Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2020), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34725>.
32. Gómez, P., 'Estudio y Análisis de nuevas tipologías de ladrillos introducidos en cuenca para la aplicación en la Autoconstrucción', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2013), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4743>.
33. Avecillas, K., 'Residuos de ladrillo y vidrio líquido como elementos expresivos para el diseño interior', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad del Azuay, Cuenca (2016), <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5925>.
34. Rosas, C.; Torres, A., 'Utilización del ladrillo en acabados. Cuenca', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2014), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20869>.
35. Tenesaca, G.; Rasco, J., 'Diseño de un modelo de negocios para el sector ladrillero artesanal del cantón Cuenca período 2017-2019', Trabajo de titulación de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2018), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28536>.
36. Swisscontact; Comisión de Gestión Ambiental. *Proyecto Eficiencia Energética en ladrilleras artesanales*. Informe de Levantamiento de catastro y sistematización de encuestas de línea base. Cuenca (2010).
37. Allen, E.; Hallon, R., *Fundamental of residential construction*, 3^{era} edición, John Wiley & Sons, San Francisco (2011).

38. Xavier, G. C.; Saboya, F.; Maia, P. C.; Alexandre, J., 'Durabilidad de ladrillo cerámicos reforzados con polvo de granito', *Materiales de Construcción* **62**(306) (2012) 213-229, <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4242809>.
39. Fernández, R., 'Conservar o Restaurar ¿posiciones encontradas?', in *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles*, Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla (2006) 10-15.
40. Norma ISO 13320:2020. *Particle size analysis – Laser diffraction methods*. Technical Committee ISO/TC 24/SC 4. Particle characterization, Geneva (2020).
41. Norma INEN 296, *Ladrillos cerámicos. Determinación de absorción de humedad*, Quito (1977).
42. Norma UNE-EN 772-3, *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería, Parte 3: Determinación del volumen neto y del porcentaje de huecos por pesada hidrostática de piezas de arcilla cocida para fábrica de albañilería*, AENOR, Madrid (1999).
43. Norma UNE 993-1:2018 (Ratificada), *Métodos de ensayo para productos refractarios conformados densos, Parte 1: Determinación de la densidad aparente, de la porosidad abierta y de la porosidad total (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en enero de 2019)*, Comité Técnico Nacional 61 - Material refractario, Madrid (2019).
44. Instituto do Patrimonio Historico e Artístico Nacional, *Carta de Cabo Frio*, Brasilia (1989), <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Carta%20de%20Cabo%20Frio%201989.pdf>.
45. Orlando-Ratti, J.; Contreras-Escandón, C.; Véliz-Párraga, J., 'Cultura constructiva y vivienda progresiva. El caso de "Los Almendros", Portoviejo – Ecuador', *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación* **4**(8) (2021) 19-45, <https://doi.org/10.46296/ig.v4i8.0022>.
46. Norma UNE-EN 772-1:2011+A1:2016, *Métodos de ensayo de piezas para fábrica de albañilería. Parte 1: Determinación de la resistencia a compresión*, Comité técnico 41/SC1 – Edificación, Temas Generales, Madrid (2016).
47. Norma UNE-EN 67042:1988, *Piezas cerámicas de arcilla cocida de gran formato. Determinación de la resistencia a la flexión*, Comité técnico 136, Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción, Madrid (2015).
48. Norma INEN 295 1977-05, *Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la flexión*, Subcomité Técnico CO 02.07, Ladrillos Cerámicos. Quito (1976).
49. Norma UNE 67028 EX/97, *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de heladicidad*, Comité Técnico Nacional 136, Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción, Madrid (2015).
50. Norma UNE 67029 EX/95, *Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Ensayo de eflorescencia*, Comité Técnico Nacional 136, Materiales cerámicos de arcilla cocida para la construcción, Madrid (2015).
51. Ramírez, J., *Estudio de las transformaciones de las fases cristalinas de las arcillas en el proceso de quema de la cerámica*, Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito (2019), <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20116>.
52. Linares, J.; Huertas, F.; Capel, J., *La arcilla como material cerámico*, Universidad de Granada, Granada (1983).
53. Mamani, R., 'Estudio y evaluación de formulaciones de mezclas para la obtención de ladrillos de arcilla en la ciudad de Cusco', Tesis de pregrado, Escuela Profesional de Ingeniería de Materiales, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (2015), <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2918>.
54. Monatshebe, T.; Mulaba-Bafubandi, A.; Kasongo, D., 'Mechanical properties and mineralogy of artisanal clay bricks manufactured in Dididi, Limpopo, South Africa', *Construction and Building Materials* **225** (2019) 972-982, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.247>.
55. Murad, E.; Wagner, U., 'Pure and impure clays and their firing products', *Hyperfine Interactions* **45**(1-4) (1989) 161-177, <https://doi.org/10.1007/BF02405878>.
56. Moore, D. M.; Reynold, R. C., *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*, Oxford University Press, Inc., New York (1989).
57. Santos, J. D.; Malagón, P. Y.; Córdoba, E. M., 'Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander', *DYNA* **78**(167) (2011) 50-58, <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25762>.
58. Zea, N., *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala (2005).
59. Ghale, D. B.; Bohara, N. B.; Duwal, N.; Bhattarai, J., 'Investigation on the mineralogical phase of ancient brick samples Of Kathmandu Valley (Nepal) using XRD and FTIR analysis', *Rasayan Journal of Chemistry* **12**(2) (2019) 402-408, <http://dx.doi.org/10.31788/RJC.2019.1224034>.
60. Parrado-Morera, B. J.; Toloza-Calderón, J. T., 'Determinación de la superficie específica en suelos caoliniticos y bentoniticos mediante la técnica de adsorción de agua destilada aplicando diferentes gradientes térmicos', Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá (2017), <http://hdl.handle.net/10983/14454>.
61. Murray, H., *Applied clay mineralogy*, Elsevier, Indiana (2007).
62. García León, R.; Bolívar León, R., 'Caracterización hidrométrica de las arcillas utilizadas en la fabricación de productos cerámicos en Ocaña, Norte de Santander', *INGE CUC* **13**(1) (2017) 53-60, <https://doi.org/10.17981/ingecuc.13.1.2017.05>.
63. Fernández Martínez, A.; Sánchez, C. J.; Porras, J.; Acosta, A., 'Caracterización tecnológica de las materias primas Cerámicas de La Sagra (Toledo)', *Geogaceta*, **20**(3) (1996) 713-716, <http://hdl.handle.net/10272/12256>.
64. Alvarez, D.; Sánchez, J.; Corpas-Iglesias, F.; Gelves, J., 'Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia)', *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio* **57**(6) (2018) 247-256, <https://doi.org/10.1016/j.bscev.2018.04.002>.
65. Rodrigues Barbosa, V. H.; Soares Marques, M. E.; Rodrigues Guimarães, A. C., 'Caracterização mineralógica de um solo do Acre visando à produção de agregados artificiais de Argila Calcinada para uso em pavimentos', *Matéria (Rio de Janeiro)* **23**(3) (2018) 1-11, <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0515>.

66. Cultrone, G., 'Ladrillos', in *Programa de normalización de estudios previos aplicado a bienes inmuebles*, Junta de Andalucía, Consejería de Cultura y Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla (2006) 146-159, <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/iaph/servicios/publicaciones/detalle/78682.html>.
67. Sandford, F.; Liljegren, B., 'La formación de color en ladrillos rojos y amarillos', *Materiales de Construcción* **14**(113) (1964) 40-48, <https://doi.org/10.3989/mc.1964.v14.i113.1792>.
68. Karaman, S.; Ersahin, S.; Gunal, H., 'Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks', *Journal of Scientific and Industrial Research* **65** (2006) 153-159, <https://n9.cl/4d768>.
69. Hewat, J., 'Approaches to the Conservation of Salt Deteriorated Brick', Tesis de maestría, Universidad de Pensilvania, Filadelfia (1996), https://repository.upenn.edu/hp_theses/278.
70. Frandes-de-la-Noval, J.; Sánchez-Hernández, E.; Linares-Alonso, A.; Casanova-Gómez, A.; Solís-Escalona, N., 'Obtención de cerámica estructural por sinterización reactiva con materia prima nacional', *Revista Cubana de Química* **28**(1) (2016) 431-443, <http://scielo.sld.cu/pdf/ind/v28n1/ind07116.pdf>.
71. Cultrone, G.; Rodríguez-Navarro, C.; Sebastian, E.; Cazalla, O.; De La Torre, M., 'Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing', *European Journal of Mineralogy* **3**(13) (2001) 621-634. <https://doi.org/10.1127/O935-1221/2001/0013-0621>.
72. Afanador, N.; Guerrero, G.; Monroy, R., 'Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos macizos cerámicos para mampostería', *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* **2**(1) (2012) 43-58, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=Soi124-81702012000100003.
73. Torraca, G., *Porous building materials: materials science for architectural conservation*, ICCROM, Rome (2005), https://www.iccrom.org/sites/default/files/2018-02/2005_torraca_porous_building_eng_106444_light.pdf.
74. Norma NTE INEN 297, *Ladrillos cerámicos, Requisitos*, Quito (1977).
75. Zúñiga Suárez, A., 'Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente', Tesis Doctoral, Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid (2018), https://oa.upm.es/52643/1/ALONSO_ZUNIGA_SUAREZ.pdf.
76. Thormann, P., 'Una contribución a la determinación y la influencia de la adherencia entre ladrillos sílico-calcáreos y morteros', *Materiales de Construcción* **21**(141) (1971) 61-73, <http://dx.doi.org/10.3989/mc.1971.v21.i141.1520>.
77. Betancourt, D.; Martirena, F.; Day, R.; Diaz, Y., 'Influencia de la adición de carbonato de calcio en la eficiencia energética de la producción de ladrillos de cerámica roja', *Revista de Ingeniería de Construcción* **22**(3) (2007) 187-196, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732007000300005>.
78. Bravo, D.; Flores, L., 'Análisis estático no lineal de paredes de ladrillo de las casas de Cuenca', Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca, Cuenca (2015), <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23119>.
79. Norma NTE INEN 0294 (1978), *Ladrillos cerámicos. Determinación de la resistencia a la compresión*, Quito (1977), <https://ia802907.us.archive.org/12/items/ec.n.te.0294.1978/ec.n.te.0294.1978.pdf>.
80. Código de Práctica Ecuatoriano, CPE INEN 5, *Código Ecuatoriano de la Construcción. Mampostería de Ladrillo*, Quito (1984).
81. Norma NTE INEN 0297, *Ladrillos cerámicos. Requisitos*, Quito (1977), <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/297.pdf>.
82. Jiménez-Pacheco, J.; Quezada, R.; Calderón-Brito, J.; Ortega-Guamán, E.; García, H., 'Characterization of the built heritage of historic centres oriented to the assessment of its seismic vulnerability: The case of Cuenca, Ecuador', *International Journal of Disaster Risk Reduction* **71** (2022) 102784, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102784>.
83. Hughes, D.C.; Weber, J.; Kozłowski, R., 'Roman Cement for the Production of Conservation Mortars', in *2nd Conference on Historic Mortars - HMC 2010 and RILEM TC 203-RHM final workshop*, RILEM Publications SARL, Praga (2010) 1043-1050.
84. Zamora, G.; Aguirre Ullauri, M., 'Consideraciones sobre la vulnerabilidad del patrimonio arquitectónico. Estudio de caso: la iglesia de El Sagrario, Cuenca, Ecuador', *Intervención* **1**(21) (2020) 257-327, <http://200.188.19.41/index.php/intervencion/article/view/6299>.
85. Benavente, D.; Linares-Fernández, L.; Cultrone, G.; Sebastián, E., 'Influence of microstructure on the resistance to salt crystallisation damage in brick', *Materials and Structures* **39** (2006) 105-113, <https://doi.org/10.1617/s11527-005-9037-0>.
86. Konrad, J. M., 'Physical processes during freeze-thaw cycles in clayey silts', *Cold Regions Science and Technology* **16**(3) (1989) 291-303. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(89\)90029-3](https://doi.org/10.1016/0165-232X(89)90029-3).
87. Barranzuela, J., 'Proceso productivo de los ladrillos de arcilla producidos en la Región Piura', Tesis de Grado, Universidad de Piura, Piura (2014), <https://hdl.handle.net/11042/1755>.
88. Heras, V.; Moscoso Cordero, M.; Wijffels, A.; Tenze, A.; Jaramillo, D., 'Heritage values: towards a holistic and participatory management approach', *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development* **9**(2) (2019) 199-211, <https://doi.org/10.1108/JCHMSD-10-2017-0070>.
89. Smith, L., 'El "Espejo Patrimonial" ¿Ilusión Narcisita o Reflexiones Múltiples?', *Antípoda* **12** (2011) 39-63, <https://doi.org/10.7440/antipoda12.2011.04>.
90. Ingold, T., *La vida de las líneas*, Colección Antropología, Ediciones Universidad Alberto Hurtado, Santiago (2018).

RECIBIDO: 2022.4.5

REVISTO: 2022.6.26

ACEPTADO: 2022.7.19

ONLINE: 2022.10.24



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional.

Para ver una copia de esta licencia, visite

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

O ataúde egípcio do Museu Arqueológico do Carmo: estudo material e técnico

The Egyptian coffin from the Archaeological Museum of Carmo: material and technical study

**ISABEL POMBO
CARDOSO**^{1*} 

TERESA QUILHÓ² 

VICELINA SOUSA² 

SARA SANTANA DE SÁ¹ 

SUSANA FRANÇA DE SÁ¹ 

VERA MARTINS¹

CÉLIA PEREIRA³

ROGÉRIO SOUSA⁴ 

1. Departamento de Conservação e Restauro e LAQV-REQUIMTE, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa, Caparica, Portugal

2. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

3. Museu Arqueológico do Carmo, Lisboa, Portugal

4. Centro de História, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal

*isabel.pombocardoso@gmail.com

Resumo

O estudo material e técnico do ataúde antropomórfico (Nº Inv. MAC/MUM.1) pertencente ao Museu Arqueológico do Carmo, em Lisboa, Portugal, realizado por uma equipa interdisciplinar procurou completar o estudo textual e iconográfico existente sobre o mesmo ataúde, bem como retificar e completar os dados de um outro estudo técnico parcial. De acordo com estudos anteriores o ataúde terá sido produzido entre a Época Baixa e o início do período ptolemaico (séculos VI-II AEC), possivelmente em Akhmim. O presente trabalho apresenta resultados relativos ao suporte em madeira, à policromia do ataúde, bem como ao seu atual estado de conservação. Tal envolveu o exame macro e microscópico do objeto bem como o estudo analítico de amostras (por XRF, Raman, FTIR-ATR e por SEM). Os materiais identificados tanto na policromia como na produção do suporte indicam a utilização de materiais de uso tradicional durante o Egípto faraónico.

Abstract

The material and technical study of the anthropomorphic coffin (No. Inv. MAC/MUM.1) belonging to the Archaeological Museum of Carmo, in Lisbon, Portugal, carried out by an interdisciplinary team, sought to complete the existing textual and iconographic study on the same coffin, as well as rectify and complete the data from another partial technical study. According to previous studies, the coffin was produced between the Low Period and the beginning of the Ptolemaic period (6th to 2nd centuries BCE), possibly in Akhmim. This work presents results regarding the coffin's wooden support and polychromy, as well as its current state of conservation. It involved the macro and microscopic examination of the object and the analytical characterization of micro-samples by XRF, Raman spectroscopy, FTIR-ATR, and SEM. The materials identified both in polychromy and in the production of the support indicate the use of materials traditional from the Pharaonic Egypt.

PALAVRAS-CHAVE

Ataúde egípcio

F. sycomorus L.

Camadas de preparação

Policromia

Pigmentos

Goma vegetal

KEYWORDS

Egyptian coffin

F. sycomorus L.

Ground layers

Polychromy

Pigments

Vegetal gum

Introdução

O ataúde egípcio pertencente ao Museu Arqueológico do Carmo (MAC) (Lisboa, Portugal) integra o enorme corpus documental constituído por “recipientes para corpos” policromados, onde se integram sarcófagos (feitos em pedra), ataúdes ou caixões (produzidos maioritariamente em madeira) e cartonagens (invólucros produzidos em linho recoberto de pasta de cré ou gesso). O número substancial destes artefactos que chegou aos nossos dias, reflete a importância que a preservação do corpo detinha para a civilização egípcia e para as representações relacionadas com a vida após a morte [1-3]. Graças às boas condições de conservação asseguradas pelo clima seco do Egipto, estes artefactos oferecem uma oportunidade única para o estudo material e técnico relativo à sua produção. Assim, a presente investigação sobre o ataúde egípcio do MAC foi realizada por uma equipa interdisciplinar que inclui historiadores, conservadores e biólogos. Os objetivos consistiram na caracterização do objeto, dando a conhecer os materiais e as técnicas empregues na produção do suporte e decoração policroma, bem como conhecer o seu atual estado de conservação.

Dois dos três estudos sobre este artefacto são da autoria do egiptólogo Luís Araújo, publicados em 2002 e 2005, os quais constituem um estudo alargado do objeto [4-5]. Para além da discussão dos aspetos iconográficos e textuais, entre outros, o estudo indica que este ataúde terá sido produzido entre a Época Baixa e o início do período ptolemaico (séculos VI-II AEC), com base na presença de alguns elementos decorativos distintivos que surgem na Época Baixa, como é o exemplo da serpente *uroboros* (termo helenizado que designa a serpente Mehen, uma entidade primordial que envolvia e protegia a criação). No ataúde é representada de ambos os lados da arca, para simbolizar a proteção conferida à múmia e assegurar a regeneração e a ressurreição do defunto [5] que surge na decoração de ataúdes a partir da XXVI dinastia, e no pormenor dos lábios mais acentuados e pintados de vermelho, que remete já para o período ptolemaico (Figura 1) [5]. Esta proposta foi confirmada através da datação por radiocarbono realizada pelo Investigador Monge Soares e incluída num dos estudos [5]. É igualmente sugerida a atual região de Akhmim como a provável localização da oficina de produção - justificada pela referência a este local nas colunas de texto ainda legíveis no objeto, por ser considerado um local de intensa produção de caixões, especialmente durante a Época Baixa, e por ter sido intensamente saqueado durante o século XIX, o que terá “proporcionado milhares de sarcófagos, muitos deles vendidos a antiquários, museus e a particulares” [5, p. 342]. O ataúde do MAC possui ainda no seu interior a múmia, referida como provavelmente de uma mulher. No entanto, dado o estado de conservação do objeto, através do estudo do texto inscrito foi impossível extrair mais informações acerca do nome e demais elementos referentes ao proprietário do ataúde [5].

De acordo com Araújo [5], o ataúde sofreu sucessivas mudanças de local após ter sido retirado do seu local de enterramento original, das quais apenas se conhecem em Portugal a sua aquisição pela casa de antiguidades e leilões “Casa Liquidadora (antigo Bazar *Catholico*) de Maria Guilhermina de Jesus”, e a subsequente entrada no MAC, em 1930, quando foi doado por Maria Guilhermina de Jesus. No MAC, o ataúde ocupou diferentes espaços expositivos. Esteve durante muitos anos exposto na sala correspondente à antiga capela-mor da igreja do Convento do Carmo sujeito a condições muito adversas porque, apesar de protegido por uma vitrina, permanecia exposto à luz solar direta. Mais tarde, foi transferido para o salão nobre de reuniões da Associação dos Arqueólogos Portugueses, por se considerar que este local estaria sujeito a menos variações climáticas aí permanecendo temporariamente inacessível aos visitantes [5]. Desde a remodelação do Museu finalizada em 2002, o ataúde encontra-se em exposição na sala 4 do MAC e, desde 2019, dentro de uma vitrina especificamente desenhada para o efeito.

Existe ainda um estudo material e técnico de uma das peças constituintes deste ataúde, a face da cabeceira. O estudo da autoria da engenheira Isabel Ribeiro e bióloga Lília Esteves do Laboratório José de Figueiredo (LJF) consta de um relatório de 1983 e de uma publicação da autoria da conservadora Elsa Murta do LJF de 2012, que inclui igualmente esses resultados [6-7].

Esta última publicação apresenta também algumas referências à condição desta peça e à intervenção de conservação e restauro realizada. Importa referir que em ambas as fontes apenas são mencionados os materiais identificados sem referência à metodologia utilizada ou disponibilização de eventuais resultados analíticos. Assim, os estudos reportam a identificação do suporte de madeira, "*Ficus carica* L. (figueira)", e dos materiais utilizados na policromia: cré e cola animal para a camada de preparação; para a carnação (e como pigmento branco), o branco de chumbo, o ocre e o carvão; para a cor preta do olho, o carvão e o vermelhão; para o vermelho do lábio, o vermelhão; e para o cinzento do toucado, o branco de chumbo, o carvão e o "corante azul". O ligante é referido como sendo têmpera, exceto na cor preta, onde é referida uma mistura de têmpera e óleo.



Figura 1. Elemento decorativo distintivo, lábios mais acentuados e pintados de vermelho.

Existe ainda um estudo material e técnico de uma das peças constituintes deste ataúde, a face da cabeceira. O estudo da autoria da engenheira Isabel Ribeiro e bióloga Lília Esteves do Laboratório José de Figueiredo (LJF) consta de um relatório de 1983 e de uma publicação da autoria da conservadora Elsa Murta do LJF de 2012, que inclui igualmente esses resultados [6-7]. Esta última publicação apresenta também algumas referências à condição desta peça e à intervenção de conservação e restauro realizada. Importa referir que em ambas as fontes apenas são mencionados os materiais identificados sem referência à metodologia utilizada ou disponibilização de eventuais resultados analíticos. Assim, os estudos reportam a identificação do suporte de madeira, “*Ficus carica* L. (figueira)”, e dos materiais utilizados na policromia: cre e cola animal para a camada de preparação; para a carnação (e como pigmento branco), o branco de chumbo, o ocre e o carvão; para a cor preta do olho, o carvão e o vermelhão; para o vermelho do lábio, o vermelhão; e para o cinzento do toucado, o branco de chumbo, o carvão e o “corante azul”. O ligante é referido como sendo têmpera, exceto na cor preta, onde é referida uma mistura de têmpera e óleo.

Tendo-se verificado alguma discordância entre estes resultados e os obtidos no presente estudo, os resultados relativos à face do ataúde são aqui revistos e complementados com os dos materiais e técnicas utilizadas na produção das restantes peças do ataúde. Estes dados são ainda discutidos no contexto do atual conhecimento sobre madeiras e policromias egípcias destas cronologias.

Época de produção do ataúde

O período histórico correspondente à suposta época de produção deste artefacto, séculos VI-II AEC, é considerado um período de ressurgimento político, económico e cultural do Egipto. Em suma, no início da Época Baixa, Psamético I (664-610 AEC) teria conseguido reunificar o Egipto repelindo os ocupantes assírios e cuchitas, abrindo caminho a artesãos e comerciantes gregos e fenícios que terão estimulado a economia. A autonomia do Egipto teria sido, no entanto, novamente colocada em causa com os babilónios e persas, que também ambicionavam controlar esta região [8]. O período ptolemaico (305-30 AEC), inserido na Época Greco-Romana (332 AEC-323 EC) que se inicia com a expulsão dos persas do Egipto por Alexandre o Grande (332-323 AEC), é caracterizado como a maior dinastia “não egípcia” da qual resultou uma grande estabilidade política e uma simbiose entre as duas culturas (grega e egípcia nativa), que se manifestou ao longo da primeira metade deste período. Reflexo disso terá sido a integração da elite sacerdotal egípcia por parte dos governantes ptolemaicos, bem como das tradições locais no seu próprio sistema de governação [9].

A análise da literatura material e técnica existente permite identificar algumas alterações na utilização de materiais entre as duas cronologias em que supostamente o ataúde poderá ter sido produzido. Exemplo disso são os pigmentos branco de chumbo e vermelhão, ambos identificados no ataúde do MAC no estudo de 1983 [6], e cuja introdução na paleta egípcia se supõe consequência das relações mais intensas estabelecidas com o mundo Helenístico [10]. As implicações da presença destes pigmentos nestas cronologias sublinham a relevância da revisão e aprofundamento do estudo material e técnico do ataúde do MAC.

Metodologia

Complementarmente à pesquisa de estudos publicados sobre este ataúde realizaram-se igualmente entrevistas e consultas do arquivo fotográfico do MAC e da Biblioteca do LJF, com o objetivo de conhecer as condições expositivas, assim como os materiais e as metodologias utilizadas nas suas intervenções de restauro.

Para a documentação do estado de conservação atual do ataúde realizou-se o mapeamento das suas patologias, onde se identificam as áreas de lacuna de suporte e de policromia. Dada a inexistência de relatórios de intervenção esta documentação foi realizada apenas com base na

observação detalhada e na recolha fotográfica. É importante referir que o ataúde se encontra deitado e, dada a fragilidade da peça e a manutenção da múmia no seu interior, não foi possível realizar o mapeamento da arca do ataúde.

Paralelamente realizou-se um estudo analítico sobre os materiais e as técnicas de execução deste ataúde com o objetivo de completar os dados já existentes e ainda, por comparação com dados referidos em bibliografia técnica, da qual se realizou uma revisão de literatura, concluir se se tratam de técnicas e materiais tradicionais para estas cronologias no Egito. Este estudo envolveu a documentação das técnicas de encaixe do suporte, a recolha de amostras de madeira do suporte, bem como de policromias, seguido da sua caracterização com auxílio de diferentes técnicas analíticas.

Recolha e preparação de amostras do suporte

A seleção da zona de amostragem de madeira incluiu a observação das diferentes peças de madeira constituintes do ataúde, que verificaram semelhantes entre si, a captação de imagens da madeira do ataúde através do microscópio digital Dino-Lite Edge modelo AM7915MZTL (Figura 2a) e a recolha da amostra com bisturi de uma zona em destaque, impercetível para quem observa a peça em exposição. Não foram recolhidas amostras de madeira dos elementos de união - cavilhas e espigas – por dificuldade de acesso.

As amostras de madeira ($\approx 20 \text{ mm}^2$) para identificação foram observadas primeiramente à lupa, Leica MZ76, nas três secções da madeira, transversal, tangencial e radial. Para melhor visualização da estrutura da madeira, as amostras foram preparadas manualmente com uma lixa de papel p2000. As imagens foram captadas a partir de uma câmara digital Leica DFC 320 acoplada à lupa e adquiridas com recurso ao *software* Leica Qwin V 3.5.0. (Figura 2b-d).

As mesmas amostras foram de seguida analisadas com o microscópio eletrónico de varrimento de bancada Hitachi TM 3030 Plus, a 5 kV, em diferentes ampliações e as imagens obtidas de cada umas das três secções da madeira adquiridas em formato digital (Figura 3).

Procedeu-se também à preparação das amostras para observação com microscópio ótico, Leica DM LA. Dada a reduzida dimensão e fragilidade das amostras, estas tiveram de ser incluídas em polietilenoglicol 1500 [11], antes de serem seccionadas no micrótopo rotativo MediotomeM530. Obtiveram-se cortes com $17 \mu\text{m}$ de espessura, que foram posteriormente corados com Safranina, desidratados em diferentes concentrações de álcool (90° , 96° e álcool absoluto) e montados em Eukitt. As fotomicrografias foram realizadas com uma câmara digital, Nikon DS-Fi1c (Figura 4a-d).

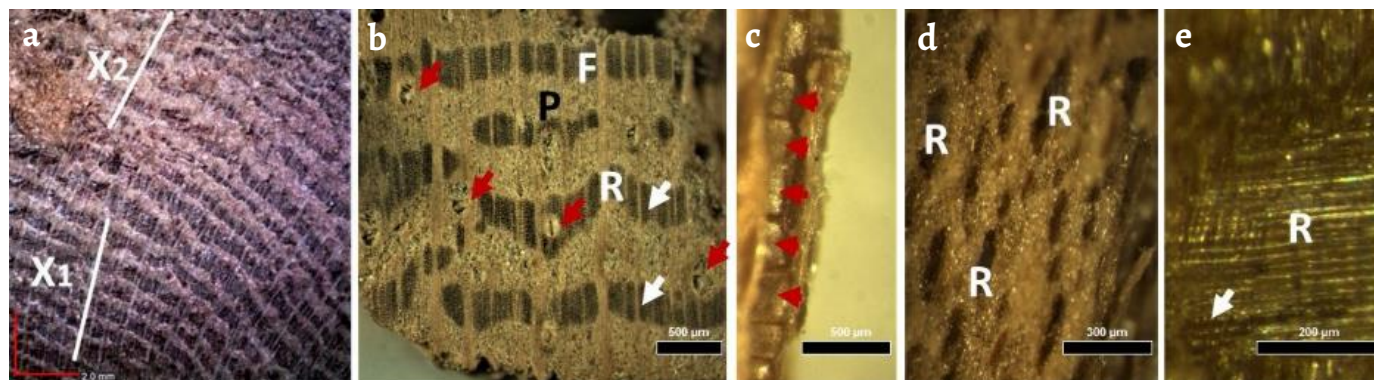


Figura 2. Amostra de madeira observada com o Dino-Lite: a) Progressiva alteração da largura das faixas de parênquima axial e fibras na camada de crescimento (faixas estreitas de parênquima axial X1, para faixas mais largas X2); e à lupa: b) Poros isolados e agrupados (seta vermelha); raios largos (R) e raios mais finos (seta branca); faixas largas de parênquima axial (P), mais de três células em altura, que alternam com faixas de fibras (F), em secção transversal; c) Elementos vasculares (seta vermelha) em secção tangencial; d) Raios (R) observados em secção tangencial; e) Raio com tubos taniníferos (seta) observado em secção radial.

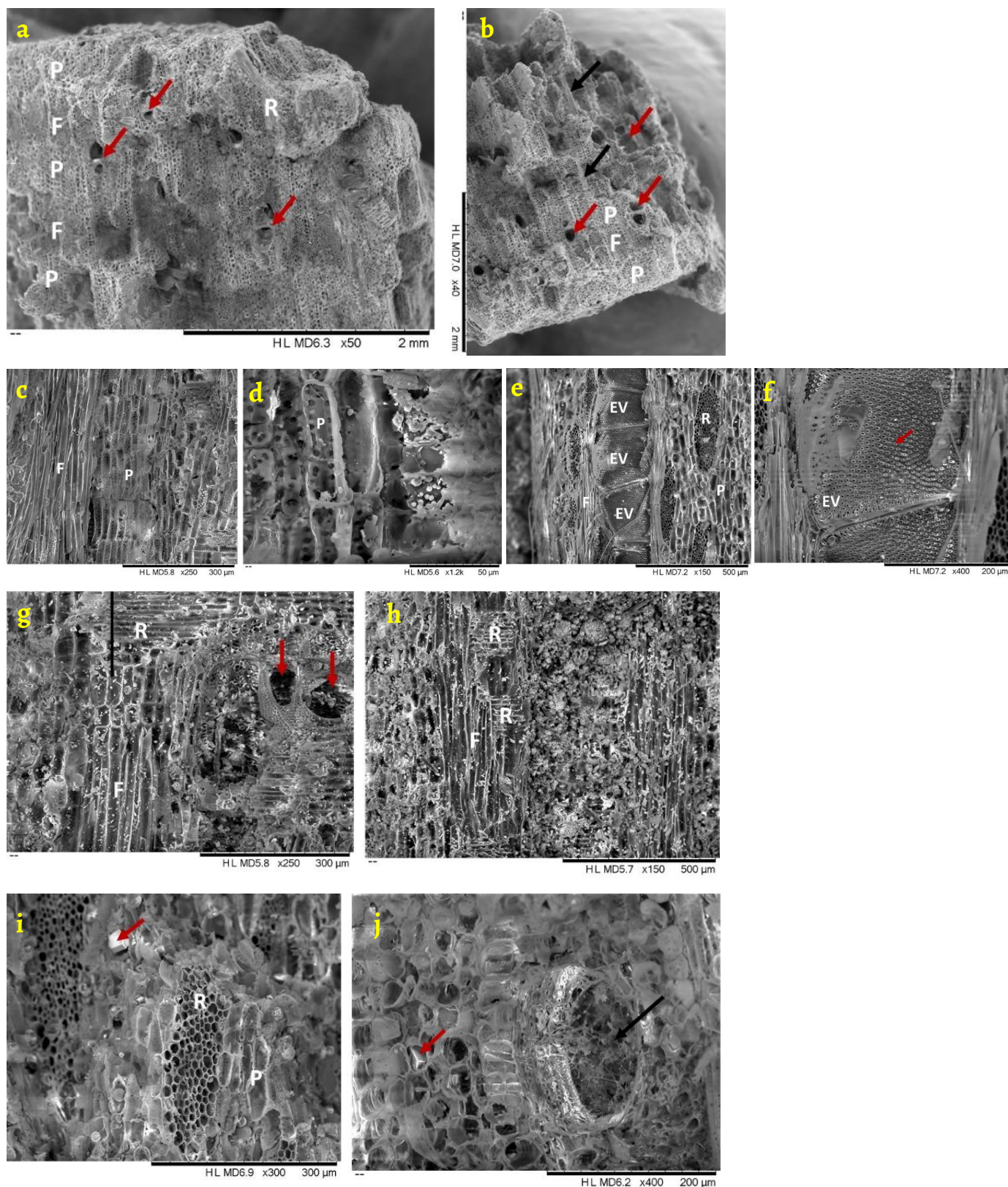


Figura 3. Observação com microscópio eletrónico da amostra de madeira. **a) e b)** Secção transversal (com diferentes ampliações): alternância de faixas de parênquima axial largas (P) com faixas largas de fibras (F); parênquima vasicentrico; a porosidade é difusa e os poros (seta vermelha) são isolados ou agrupados radialmente (2-3); raios (R); as setas pretas indicam os raios em **b)**; **c) a f)** Secção tangencial: **c)** Alternância de faixas de fibras (F) com faixas parênquima axial largas (P); **d)** Células de parênquima axial (P) muito pontuadas; **e)** Elementos vasculares (EV), fibras (F), células de parênquima axial (P) e raios (R); **f)** Elemento vascular com pontuações intervasculares alternas a opostas (seta); **g) e h)** Secção radial: **g)** Perfuração simples dos elementos vasculares (setas); fibras (F), raio heterocelular com células prostradas e quadradas e eretas nas margens (R); **h)** Raios (R) e fibras (F); **i) e j)** Cristal prismático: **i)** na célula de parênquima axial (seta), raio multisseriado (R), células de parênquima axial (P) em secção tangencial; **j)** solitário na célula de parênquima axial (seta) e um poro com inúmeras hifas (seta) evidenciando o estado de degradação da madeira, em secção transversal.

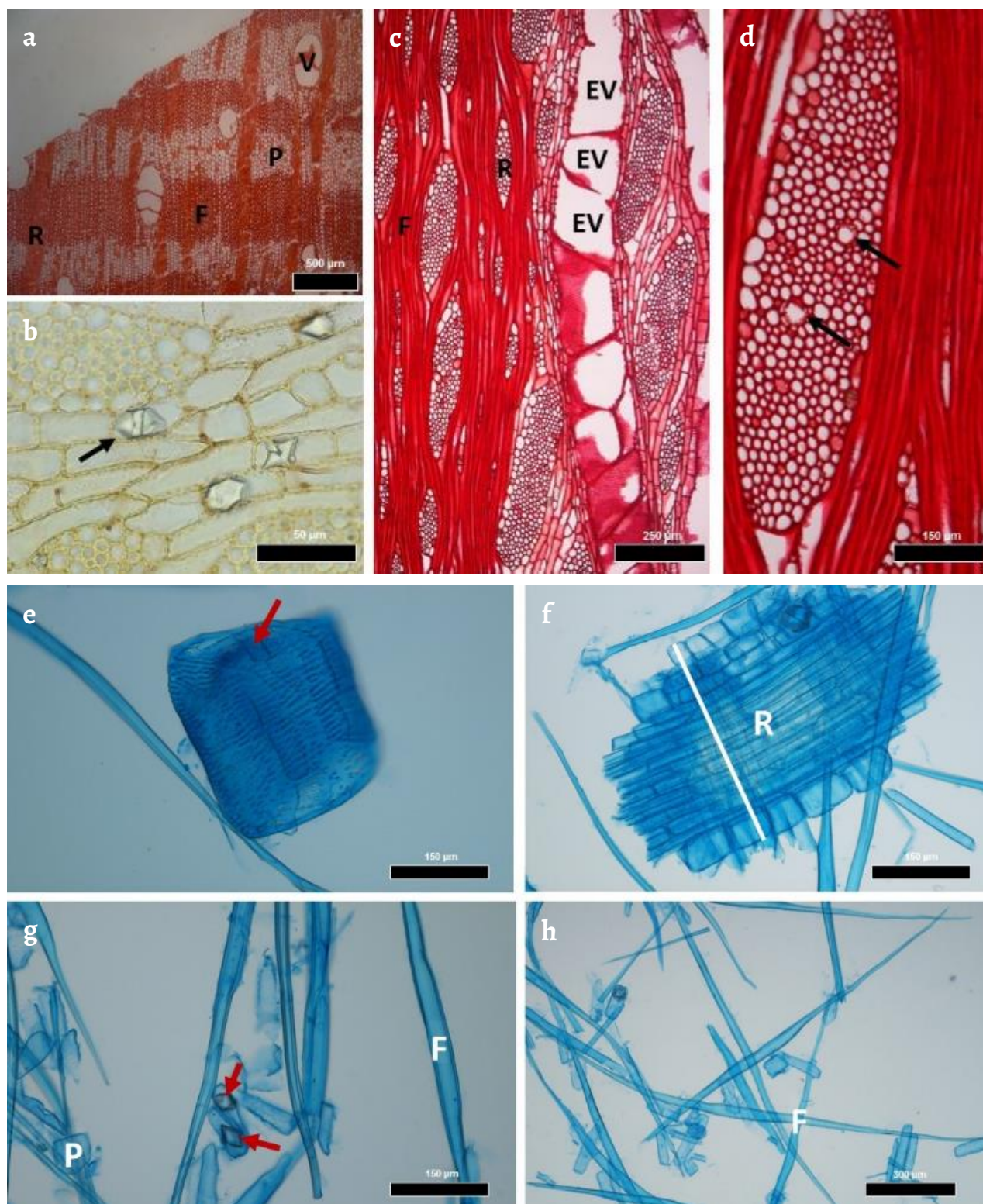


Figura 4. Observação ao microscópio ótico da amostra de madeira: em secção transversal: *a*) Vasos (V) parênquima axial (P), raio (R) e fibras (F); em secção tangencial: *b*) Cristais em célula de parênquima axial (seta); *c*) Elementos vasculares (EV) parênquima axial (P), raio (R) e fibras (F); *d*) Raios multisseriados com tubos taniníferos (setas); e das células individualizadas da madeira: *e*) Elementos de vaso com perfuração simples (setas); *f*) Raio heterocelular (R) com células prostradas e células quadradas e eretas nas margens; *g*) Células de parênquima (P) com um cristal grande (setas); *h*) Fibras (F).

Por fim, com algum material restante procedeu-se à dissociação de pequenos fragmentos da madeira numa solução 1:1 de 30 % H_2O_2 (peróxido de hidrogénio) e CH_3COOH (ácido acético glacial) numa estufa a 60 °C durante 48 horas. O material foi observado ao microscópio ótico e fotografado com uma camara digital, Nikon DS-F11c (Figura 4e-h).

Foram feitas algumas determinações quantitativas a partir do *software* Leica LAS v 4.2.0 acoplado à lupa. Nas amostras analisadas, quando possível, foi determinado o diâmetro, o comprimento dos elementos vasculares e a dimensão das pontuações intervasculares, por serem parâmetros de importância para a identificação da madeira.

Para a identificação da madeira seguiram-se as normas da Associação Internacional dos Anatomistas da Madeira [12] tendo-se também recorrido a base de dados [13] e bibliografia de referência [14-16].

Recolha e preparação de amostras de policromia

A observação minuciosa da superfície policromada do ataúde, com recurso a lentes de ampliação e a um microscópio digital Dino-Lite, permitiu mapear as diferentes zonas de cor existentes e assim selecionar as zonas a amostrar. Com bisturi foram recolhidas cerca de três amostras ($\approx 0,5 \text{ mm}^2$) representativas de cada cor, posteriormente montadas em secção transversal em resina de poliéster (AROPOL FS 1973) para observação e análise.

As amostras de policromia foram examinadas num microscópio de luz refletida Zeiss Axioplan 2, sob luz polarizada cruzada, e sob radiação ultravioleta. As imagens foram capturadas com o equipamento fotográfico digital Nikon DXM1200F, acoplado ao microscópio, e a sua aquisição e tratamento efetuados com o *software* ACT-1.

A análise elementar por μ -Espectroscopia de fluorescência de raios-X dispersiva de energias (μ -EDXRF) de cada zona de cor utilizou um espectrómetro portátil Bruker – ArtTAX Pro, operando com uma ampola de raios X com ânodo de molibdénio, sistema de policapilares para focagem do feixe de excitação e um detetor de silício com uma resolução de 160 eV para 5,9 keV (Mn-K α). O sistema de posicionamento preciso e o sistema de focagem do feixe de excitação permitem uma pequena área de radiação primária na amostra, $\approx 70 \mu\text{m}$ de diâmetro. Como condições de aquisição utilizou-se uma diferença de potencial 25 kV, intensidade de corrente de 300 μA e 100 s de tempo de aquisição. As análises foram realizadas sob atmosfera de hélio. Estes parâmetros foram programados através do *software* ArtTAX, versão 4.9.5.1, associado ao equipamento.

As análises de espectroscopia de μ -Raman foram realizadas num espectrómetro LabRaman 300 (Horiba Jobin Yvon) equipado com um microscópio, laser interno HeNe 632,8 nm e laser externo de 532 nm. Vários espectros de cada uma das diferentes zonas a caracterizar foram adquiridos usando objetiva Olympus de 50 \times e 100 \times , com resolução espacial de $\approx 4 \mu\text{m}$. A potência dos lasers foi controlada através do uso de filtros e o tempo de exposição foi entre 5 e 10 segundos por acumulação (com um total de acumulações entre 10 e 30). A linha de base dos espectros obtidos não foi corrigida.

Para o estudo dos ligantes utilizou-se a espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier com reflexão total atenuada (FTIR-ATR). Os espectros foram adquiridos com o espectrofotómetro Handheld 4300 Agilent, equipado com um divisor de feixe ZnSe, um interferómetro Michelson e um detetor DTGS termoelectricamente arrefecido. Importa referir que os espectros foram adquiridos com uma interface de reflexão total atenuada (ATR) com um cristal de diamante, 128 varrimentos e uma resolução de 4 cm^{-1} .

Resultados e Discussão

Estudo material e técnico

Suporte do ataúde

As [Figura 2](#), [3](#) e [4a-d](#) representam a estrutura do fragmento de madeira analisada com o microscópio digital Dino-Lite, à lupa, ao microscópio ótico e microscópioeletrónico e as [Figura 4e-h](#) ilustra as células individualizadas da madeira observadas ao microscópio ótico. A partir da

análise das imagens das [Figura 2 a 4](#) foi possível o registo das seguintes características anatómicas:

- Porosidade difusa; poros isolados ou agrupados radialmente (2-3); perfuração simples entre os elementos vasculares, pontuações intervasculares alternas a opostas redondas e poligonais de pequena dimensão, com valor médio de 4 (3-5) μm ; alguns poros com tilos;
- Elementos vasculares (elementos de vaso) visualizados com diâmetro médio de 165 (100-232) μm e o comprimento médio de 255 (187-315) μm ;
- Fibras não septadas de parede pouco espessada e comprimento médio 1402 (1068 - 1687) μm e dispostas em faixas tangenciais que alternam com faixas de parênquima axial;
- Parênquima em faixas largas tangenciais (mais de três células em altura);
- Raios heterocelulares de células prostradas e eretas ou quadradas nas margens; duas classes de raios multisseriados uns de 2-4 células e outros mais largos de 4 -10 células ou > 10 células em largura;
- Tubos taniníferos nos raios;
- Alguns cristais prismáticos isolados em células normais de parênquima axial e radial (nascélulas marginais).

A estrutura da madeira analisada enquadra-se no género *Ficus* sp. pertencente à família Moraceae [17]; duas espécies pertencentes a este género são assinaladas para a construção de ataúdes no Egipto, frequentemente a espécie *F. sycomorus* L. [18-24] que inclui árvores de grande porte podendo atingir os 20 m de altura [25] e menos referenciada a *F. carica* L. [26] representando árvores menores com 4-6 m de altura [16].

A estrutura anatómica das duas espécies assemelha-se em muitos aspetos, nomeadamente no que se refere a características qualitativas como o tipo de porosidade, o agrupamento e a disposição de poros (secção transversal do elemento de vaso), a placa de perfuração dos elementos vasculares (elementos de vaso), a distribuição do parênquima axial e das fibras no plano lenhoso, a natureza dos raios, entre outros.

A distinção de camadas de crescimento é um aspeto estrutural que diferencia as duas espécies. As camadas de crescimento não foram facilmente identificadas nos fragmentos de madeira analisados em laboratório, dada a pequena dimensão da amostra; contudo, através de imagens captadas pelo Dino-Lite numa superfície do ataúde, foi possível verificar diferenças na largura das faixas de parênquima axial e fibras ([Figura 2a](#)). As camadas de crescimento são descritas como distintas em *F. carica* L. e indistintas ou dificilmente distintas em *F. sycomorus* L. [13-14] sendo neste caso, marcadas pela progressiva alteração da largura das faixas de parênquima axial e fibras, no planolenhoso [14].

Na amostra em estudo, observaram-se faixas de parênquima axial, na maioria superiores a seis células em largura ([Figura 2b, 3a-b e 4a](#)). O parênquima disposto em faixas tangenciais de duas a seis células em largura é descrito em *F. carica* L. de seis a 20 células em *F. sycomorus* L. [14].

Segundo a literatura, outra característica diferenciadora é a presença de cristais prismáticos geralmente solitários, os maiores nas células dos raios e os menores e abundantes em células de parênquima septadas em *F. carica* L. [13-14]; e cristais solitários prismáticos presentes sempre em células normais de parênquima radial e axial em *F. sycomorus* L. e nunca em células septadas [14]. Nos fragmentos analisados não foram observados cristais em células septadas de parênquima e nunca se observaram séries cristalíferas. Os cristais apresentaram-se sempre em células normais de parênquima ([Figura 4b e 4g](#)).

Assinale-se ainda a presença de tubos secretores nos raios de maior dimensão ([Figura 4d](#)), característica essa descrita em *F. sycomorus* [14].

A análise quantitativa da madeira permitiu as seguintes observações:

- O comprimento médio dos elementos vasculares determinados na amostra analisada de 255 (187- 315) μm está dentro dos valores referidos em bibliografia para *F. carica* L.: de 280 (160-360) μm [14], 275 μm [17] e (≤ 350 μm) [13]; já *F. sycomorus* L. apresenta elementos

vasculares bastante mais compridos com valores de 490 (320-680) μm [14] e 350 - 800 μm [13];

- A dimensão média das pontuações intervasculares determinada na amostra analisada foi de 4 (3-5) μm ; estes valores estão dentro dos indicados em *F. carica* L. de 4-6 μm [14], mais pequenas do que as referenciadas em *F. sycomorus* L., cujos valores variam entre 7 e 9 μm [14];
- A existência de duas classes de raio: uns de 2-4 células em largura e outros de 4 a mais de 10 células em largura. Raios de maior dimensão superior a 10 células em largura são descritos em *F. sycomorus* L. [13-14];
- O diâmetro médio dos elementos vasculares determinado nos fragmentos analisados foi de 165 (100-232) μm e o comprimento médio das fibras foi de 1402 (1068-1687) μm , valores semelhantes aos indicados para *F. sycomorus* L. [14].

A análise e interpretação destes dados quantitativos deve, no entanto, ser cautelosa, dado o número muito reduzido de determinações feitas, resultante da pequena dimensão da amostra disponibilizada para estudo. A idade da árvore ou a condição do seu crescimento, são fatores importantes na avaliação da variação quantitativa da estrutura anatômica da madeira e, no presente caso, esses dados não são conhecidos.

De acordo com o exposto e tendo sempre presente as grandes limitações que são impostas no trabalho de identificação de uma madeira, onde a amostra possível para análise é de reduzida dimensão não permitindo visualizar certas características de diagnose, identificou-se a amostra como pertencente ao género *Ficus*. As faixas largas de parênquima axial, o dimorfismo dos raios, a presença de tubos secretores nos raios largos são características que se enquadram na estrutura da madeira da espécie *F. sycomorus* L.

De acordo com a ainda escassa literatura técnica é possível reter o recurso frequente à construção de objetos com diferentes peças unidas entre si e que as árvores mais exploradas durante o Egipto faraónico terão sido a figueira mais precisamente a espécie *Ficus sycomorus* L., a tamargueira (*Tamarix nilotica*, *Tamarix africana* Poir) e a acácia (*Acacia nilotica* L.) [26-27].

A espécie *Ficus sycomorus* L. podia ser encontrada na África tropical e no vale do Nilo, estendendo-se pelas terras baixas de Israel, ao longo das costas orientais do Mar Vermelho, até ao Iémen e Omã [26]. É considerada uma espécie importante em termos religiosos para a civilização egípcia, uma vez que os seus frutos estavam associados à deusa mãe, Nut, portadora de vida e de regeneração [28].

A análise detalhada do objeto permite concluir que o ataúde foi produzido a partir de várias peças com diferentes dimensões das quais existem atualmente 13. É perceptível a falta de vários elementos, nomeadamente as duas peças do toucado e ainda as várias que compoem o pedestal e a zona dos pés, verificando-se as zonas de fratura correspondentes e que se adequam ao formato comum e esperado para este tipo de ataúde (Figura 5).

Constatou-se que o ataúde apresenta uniões distintas entre as diferentes peças em madeira - definitivas e provisória - bem como a utilização de duas técnicas de encaixe para conseguir essas uniões, nomeadamente cavilha de secção quadrada, e dupla caixa e espiga solta travada com cavilha. A técnica de cavilha de secção quadrada e a técnica de dupla caixa e espiga solta travada com duas cavilhas são utilizadas para as uniões definitivas. Já para a união provisória é utilizada a técnica de dupla caixa e espiga solta travada com apenas uma cavilha (Figura 6).

Nas zonas de união definitiva, as cavilhas foram utilizadas para as ligações verticais e de topo e as dupla caixa e espigas soltas travadas com duas cavilhas utilizadas essencialmente para conseguir pranchas de maior largura, nomeadamente na tábua do fundo do ataúde e a da tábua superior da tampa (Figura 6 e 7). Em algumas das uniões definitivas e como reforço das técnicas de encaixe verificou-se a utilização de um adesivo, que por FTIR-ATR indica ser de natureza vegetal, à base de um polissacarídeo, devido à presença de bandas características deste composto: banda larga de distensão dos grupos OH a ca. 3336 cm^{-1} e o sinal estruturado e típico da distensão dos grupos C-O na região entre 1150-1010 cm^{-1} [29] (Figura 8a).

Relativamente à união provisória foi utilizada a dupla caixa e espiga solta travada apenas por uma cavilha na parte inferior do caixão que permitiu e permite abrir e fechar o ataúde (Figura 6 e 7).



Figura 5. Lacuna do suporte na zona do pedestal e dos pés.

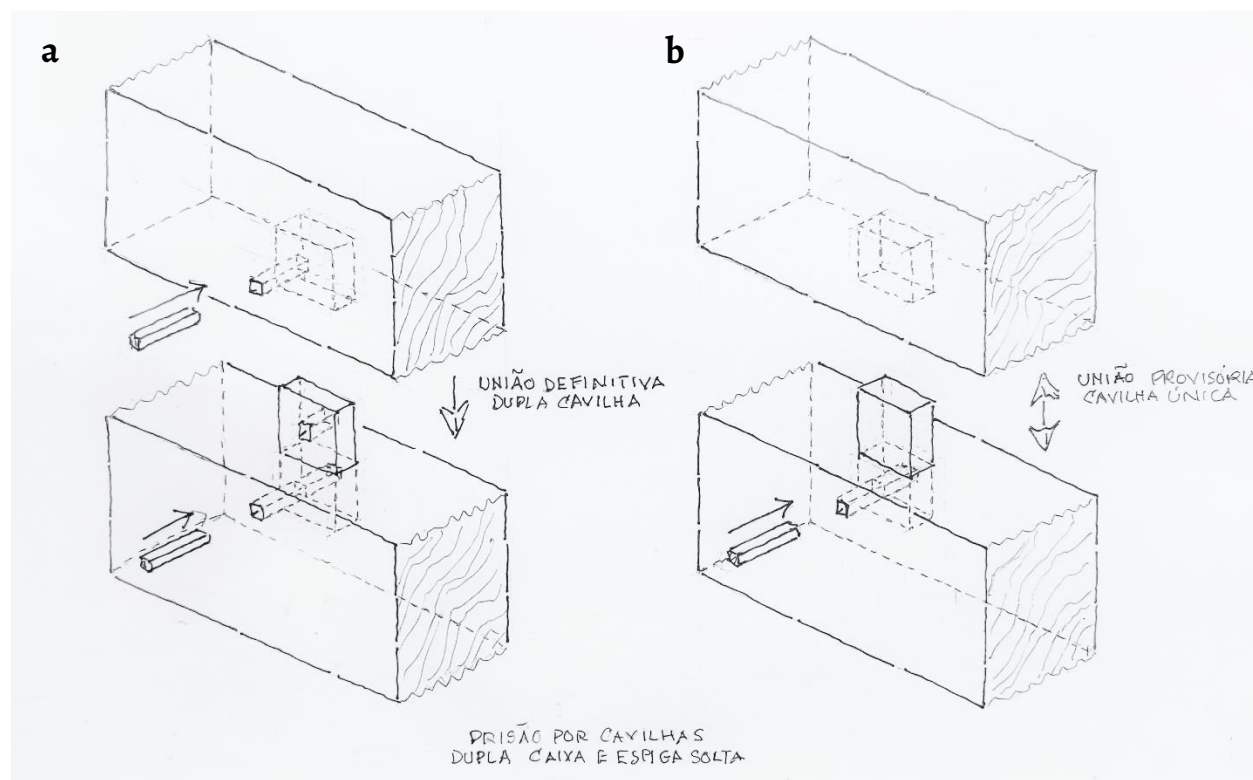


Figura 6. Técnicas de encaixe dupla caixa e espigas soltas travadas com cavilha: a) Sistema de união definitiva com dupla cavilha e b) Sistema de união provisória com cavilha única. Desenho realizado por Arq. António Reis Cabrita.

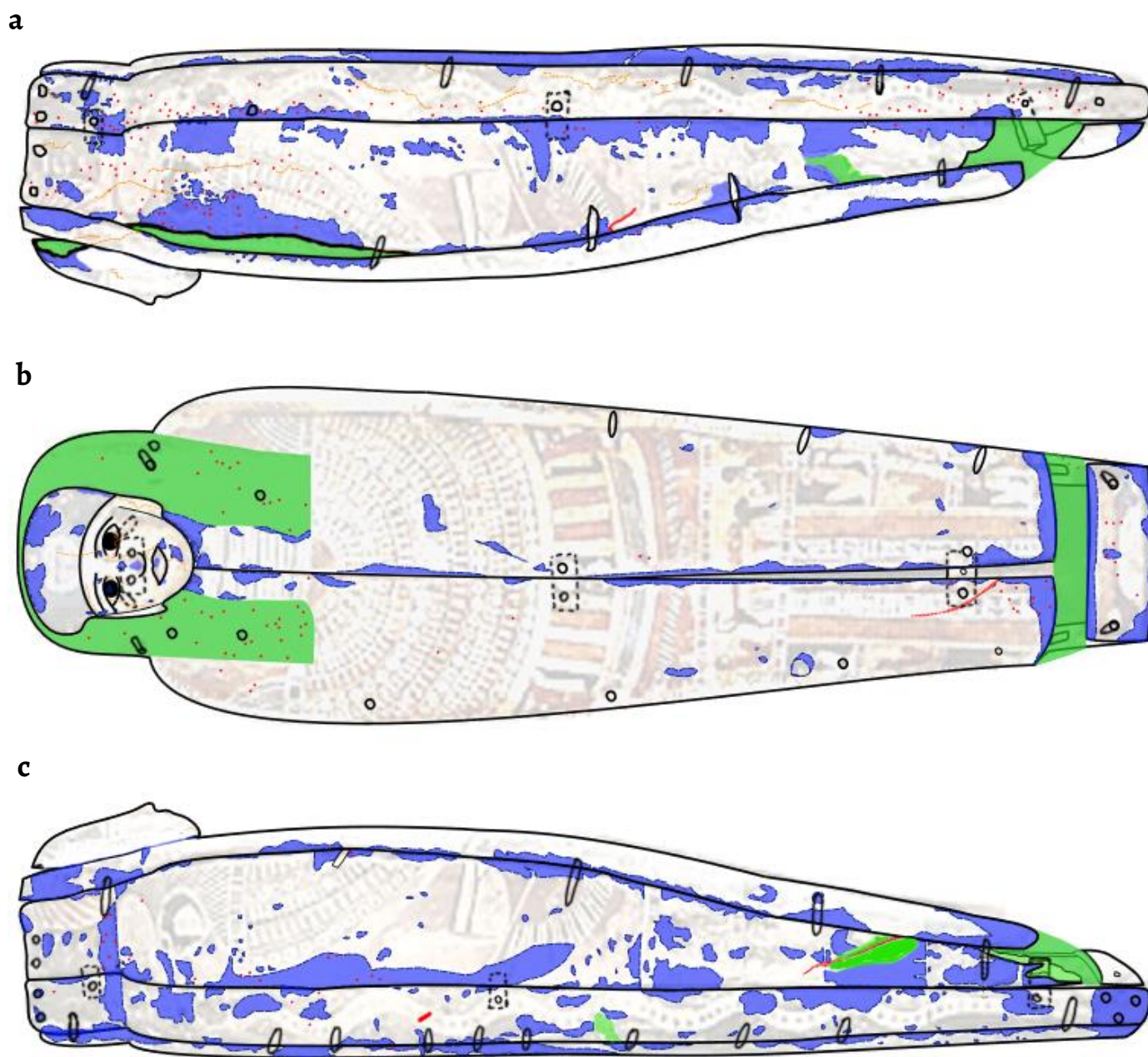


Figura 7. Desenho da técnica de construção do suporte e mapeamento de patologias (verde- lacunas do suporte; azul- lacunas e desgaste na policromia; vermelho- fraturas, fissuras no suporte (linhas), ataque xilófago (ponteados): *a*) vista lateral esquerda; *b*) vista de cima; *c*) vista lateral direita. Desenho realizado por Vera Martins.

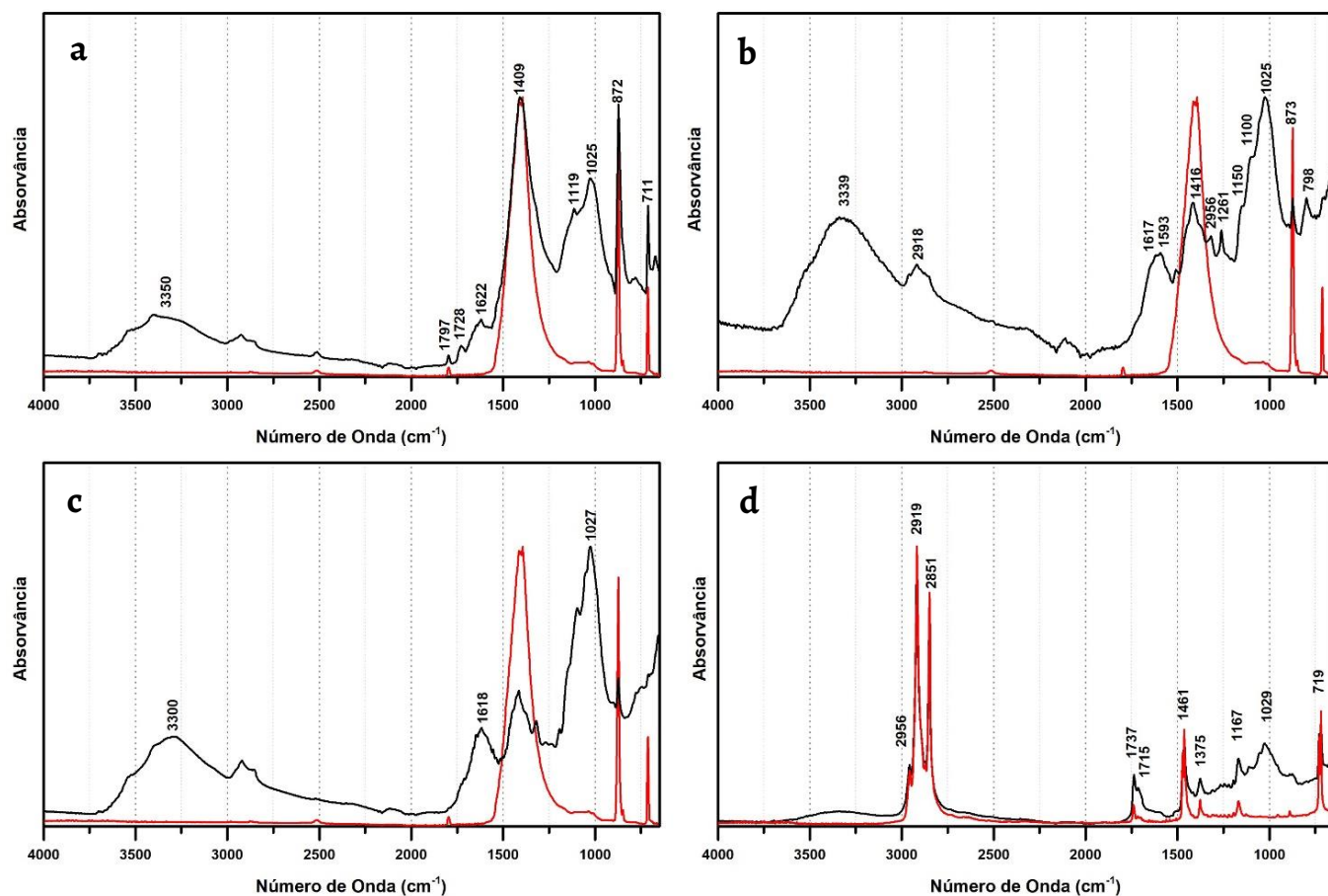


Figura 8. Espectros de FTIR-ATR de amostras recolhidas do ataúde egípcio do Museu Arqueológico do Carmo (a preto): a) adesivo, com bandas indicativas da presença de uma goma vegetal e de calcite; b) camada de preparação, com bandas indicativas da presença de uma goma vegetal e de calcite; c) zona de policromia vermelha, com bandas atribuídas à calcite e indicativas de uma goma vegetal; d) materiais de restauro, com bandas atribuídas à cera de abelha; E de materiais de referência da base de dados material do DCR FCT NOVA (a vermelho): carbonato de cálcio (a-c); e da cera de abelha virgem (d).

A preparação do suporte pictórico

Sobre a madeira verificou-se a utilização de uma dupla camada de preparação a cobrir a superfície exterior do ataúde. A primeira camada, aplicada de forma muito irregular, apresenta uma carga com granulometria de grandes dimensões e muito acima do que é comum, criando uma textura bastante marcada na policromia o que, no entanto, parece não ter representado uma preocupação (Figura 9a-b). Esta camada de cor bege funciona como primeira camada de preparação para toda a policromia, mas também como massa de preenchimento em algumas zonas (Figura 10). Tratam-se das zonas de junção das diferentes peças de madeira que compõem o ataúde e das zonas de grande imperfeição da madeira, com o objetivo de criar uma superfície única. Esta operação parece justificar-se dadas as irregularidades do suporte de madeira e o não alinhamento perfeito entre as peças constituintes. Outra justificação para a utilização deste material poderá ter sido a intenção de produzir um sistema de multicamada que melhor protegesse a policromia dos movimentos naturais do suporte [30], ou ainda de produzir uma superfície com textura. É importante referir que não foi possível concluir se o desalinhamento das peças de madeira, assim como a utilização da massa de preenchimento, são características originais ou se ocorreram numa fase posterior de reutilização do objeto. Tal significaria que igualmente a policromia não seria original por se encontrar sobre estas zonas de preenchimento.



Figura 9. a) Detalhe da superfície policromada com área correspondente à imagem de microscópio Dino-Lite marcada pelo retângulo branco; b) Imagem de microscópio Dino-Lite da superfície policromada, em luz rasante, onde é possível observar textura resultante da primeira camada de preparação.



Figura 10. Massa de preenchimento de cor bege aplicada em zonas de junção de peças em madeira.

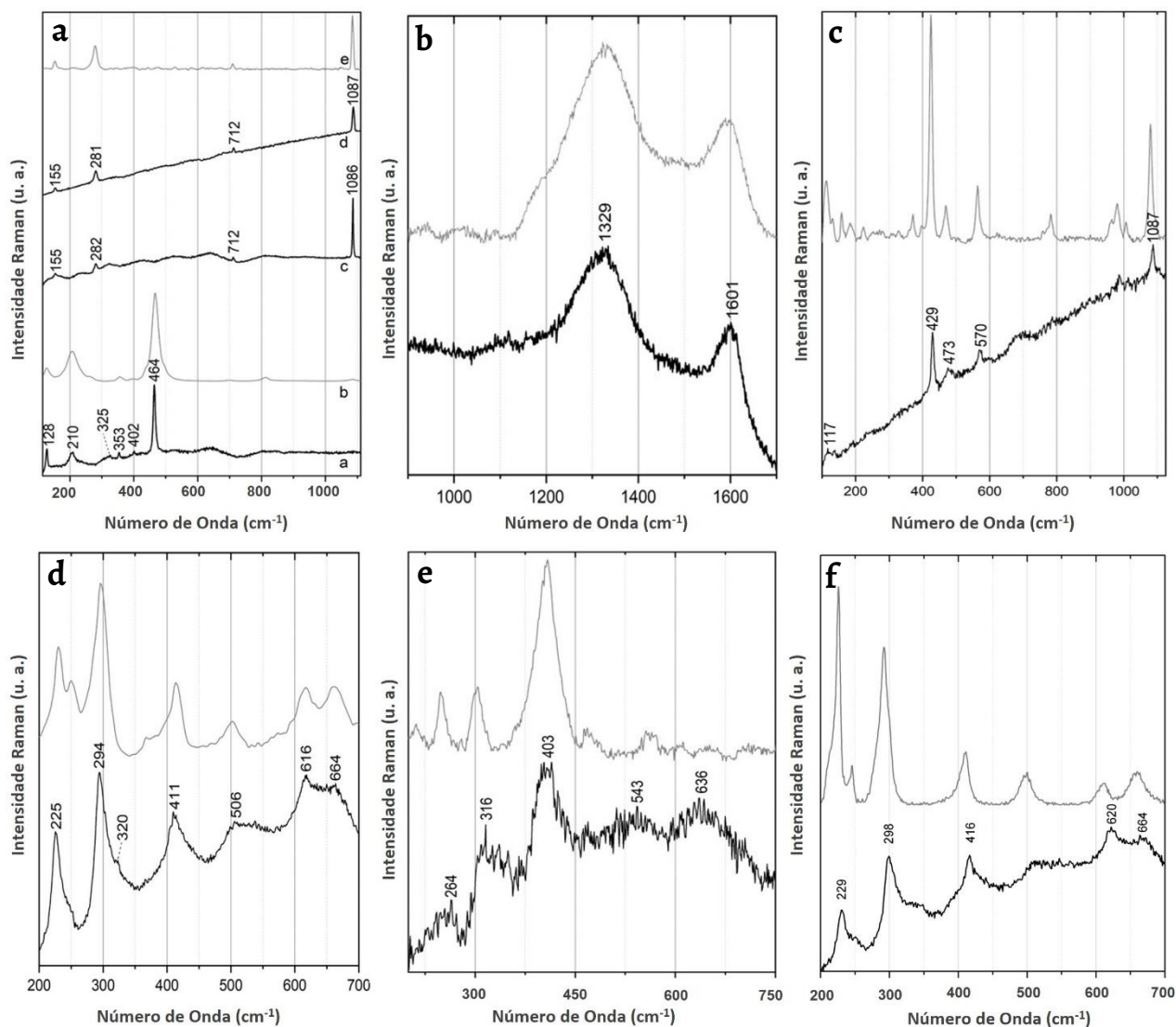


Figura 11 Espectros μ -Raman da: a) primeira camada de preparação/massa de preenchimento, sílica (a), e espectro de referência de sílica (b) [31], grão de calcário (c), espectro da segunda camada de preparação, de calcite (d) e espectro de referência da calcite (e) [32]; b) camada de cor preta, de negro de carbono (a preto) e espectro de referência de negro de carbono (a cinzento) [33]; c) camada de cor azul, de azul egípcio (a preto) e espectro de referência de azul egípcio (a cinzento) [34]; d) camada de cor vermelha, de hematite (a preto) e espectro de referência de hematite (a cinzento) [35]; e) amostra de carnação, de goethite (a preto) e espectro de referência de goethite (a cinzento) [36]; f) amostra de carnação, de hematite (a preto) e espectro de referência de hematite (a cinzento) [37].

As análises de μ -Raman e μ -EDXRF permitiram identificar como cargas constituintes desta primeira camada alguma sílica (SiO₂) e a calcite (CaCO₃) (Figura 11a), assim como o elemento ferro e outros elementos em quantidades vestigiais (Figura 12a). Por observação ao microscópio parece poder tratar-se de uma pasta de calcário moído [38] (com minerais associados ricos em ferro), colocando-se também a hipótese da possível adição de filossilicatos ricos em ferro a este calcário moído. Sobre esta primeira camada de preparação foi aplicada uma segunda camada, mas de granulometria fina e de cor branca onde foi unicamente identificada a calcite (Figura 11a).

Os resultados apresentados no relatório do LJF apenas referem a utilização de uma camada de preparação e identificam a carga como sendo cré, não apresentando, no entanto, justificação que o comprove. Também no presente trabalho as técnicas utilizadas não permitem concluir se a calcite identificada tem origem no calcário ou na sedimentação de cocólitos (i.e. cré).

Contrariamente à identificação de cola animal referida no relatório do LJF, como ligante em ambas as camadas de preparação, a análise por FTIR-ATR detetou como perfil mais intenso, a

presença de bandas atribuíveis a uma goma vegetal por FTIR-ATR (Figura 8b). Esta conclusão deve-se à ausência de bandas de intensidade média a c. 1650 e 1540 cm^{-1} , típicas das ligações amida das proteínas presentes nas colas animais [39], e à presença de bandas de elevada intensidade, características dos polissacarídeos: banda larga de distensão dos grupos OH a $\approx 3336\text{ cm}^{-1}$ e o sinal estruturado e típico da distensão dos grupos C-O na região entre 1150 - 1010 cm^{-1} [29]. As restantes bandas são atribuíveis à presença de carbonato de cálcio. O carbonato de cálcio é caracterizado por bandas no infravermelho a ≈ 1420 , ≈ 880 e $\approx 712\text{ cm}^{-1}$, atribuídas à distensão assimétrica C-O, distensão simétrica C-O e à deformação no plano O-C-O, respetivamente [40].

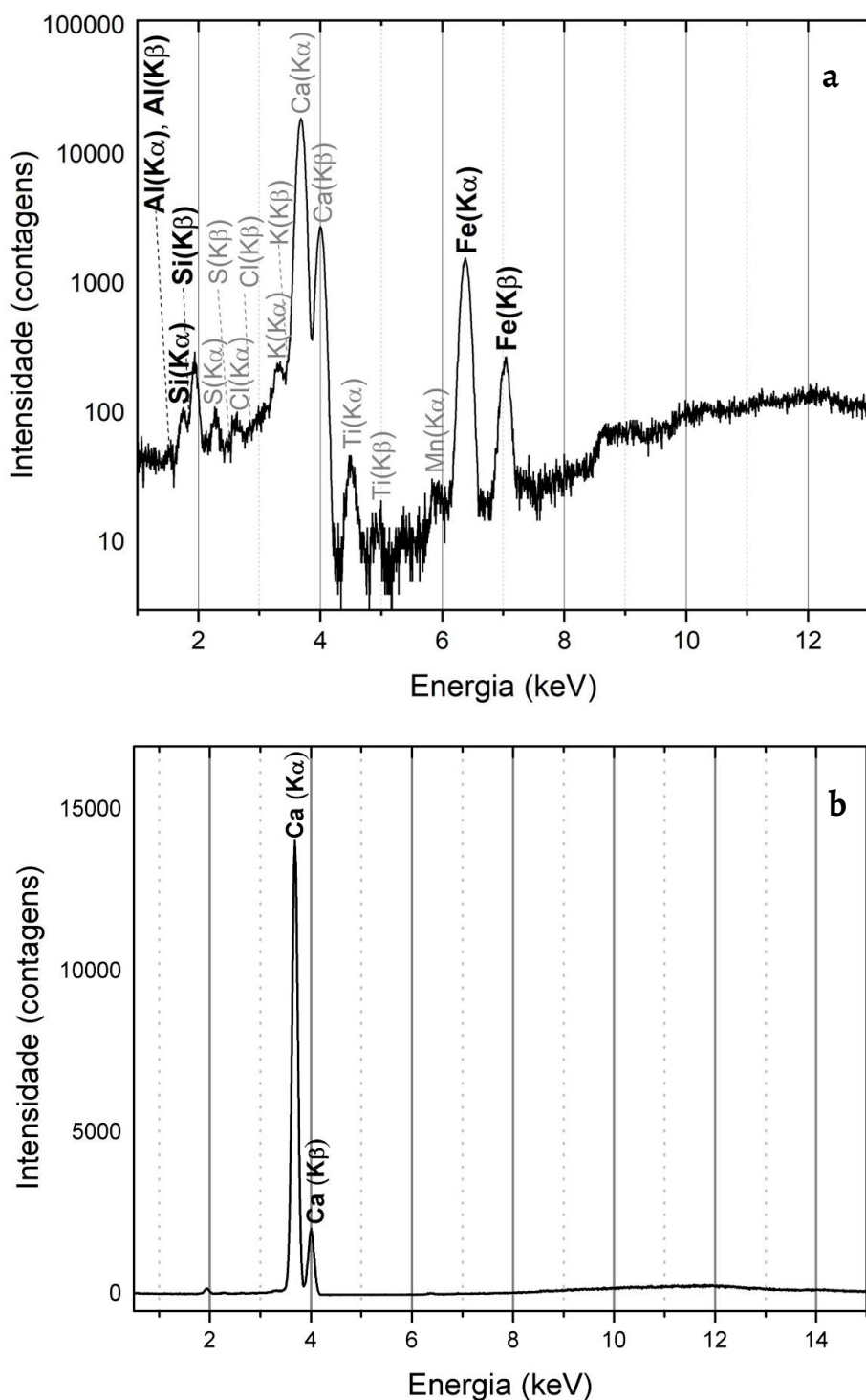


Figura 12. Espectros de μ -EDXRF: *a*) da primeira camada de preparação/massa de preenchimento e *b*) de uma amostra de carneção do atáide revelando a ausência do elemento chumbo.

A utilização de camadas de preparação é uma técnica não só tradicional no Antigo Egipto mas uma técnica que em policromia sobre madeira perdurou no tempo até pelo menos ao século XIX. Também no que refere ao material utilizado – a calcite – este é o material de uso mais comum neste período. No que diz respeito aos ligantes a literatura técnica é bem mais escassa e apesar de existirem diversas referências ao uso de goma vegetal, que afirmam tratar-se de um material tradicional a par com a cola animal, não é ainda possível tecer muitas considerações sobre o seu uso [41-42].

As camadas de policromia

Na decoração deste ataúde sobre a preparação verificou-se a existência de um desenho preparatório rigoroso a preto que guiou e delimitou as zonas decoradas com cinco cores.

No que diz respeito à cor branca é importante referir que em nenhuma das amostras recolhidas de branco ou da face do ataúde foi identificada a utilização do branco de chumbo, $(\text{PbCO}_3)_2 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$, como vem referido no relatório técnico do LJF. A totalidade destas amostras foram analisadas por μ -EDXRF e por μ -Raman, sem que nenhuma revelasse a presença do elemento chumbo ou do pigmento branco de chumbo (Figura 11 e 12b). A confirmar-se a presença deste pigmento tal poderia significar a produção do ataúde durante o período ptolemaico - período a partir do qual o branco de chumbo é um pigmento relativamente comum e como sugere a decoração dos lábios referida por Araújo - ou a utilização precoce deste pigmento, no caso do ataúde pertencer à Época Baixa. No entanto as análises efetuadas identificaram a utilização da técnica tradicional a todas as fases do Egipto faraónico que consiste em deixar visível a camada de preparação. Assim, a camada de preparação apresenta esta função dupla, a de preparação e a de proporcionar a cor branca.

O estudo analítico por espectroscopia de μ -Raman das amostras de policromia preta, empregues tanto na realização do desenho preparatório, como nos contornos e hieróglifos do ataúde, indicam a utilização de negro de carbono, C (Figura 11b). Tal é concordante com os resultados reportados na literatura técnica sobre os pigmentos utilizados na produção da cor preta [41, 43], bem como com os resultados reportados no relatório de 1983 do LJF sobre o mesmo ataúde, onde se reporta a utilização de “carvão”.

A análise da cor azul por μ -Raman indicou a utilização de azul egípcio, $\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$ (Figura 11c), o pigmento azul mais utilizado no Antigo Egipto [41, 43]. Este é considerado o primeiro pigmento sintético existindo ainda dúvidas sobre a responsabilidade da sua produção original, se terá ocorrido no Egipto ou na Mesopotâmia [44]. Existem evidências de que foi utilizado em ambas as regiões e de que a sua utilização se difundiu até à costa norte do Mediterrâneo incluindo a atual Itália, tendo sido o pigmento azul dominante nesta zona e noutras partes da Europa durante um longo período, até ao final da antiguidade clássica, quando entrou em franco declínio, levando ao esquecimento completo das técnicas envolvidas na sua produção [41]. Importa referir que em nenhuma das amostras foi identificado um corante azul, reportado no relatório de 1983, o que mais uma vez a confirmar-se seria muito significativo na medida em que, na literatura técnica, a referência à sua utilização antes do período romano é quase inexistente [41, 45].

Relativamente às zonas de policromia vermelha pode concluir-se que os artesãos, também de acordo com a tradição, utilizaram o ocre vermelho (rico em hematite) para a obtenção desta cor [41, 43]. As análises à cor vermelha identificaram a hematite, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Figura 11d). Ao contrário do que é reportado no relatório do LJF em nenhuma das zonas vermelhas analisadas foi identificada a utilização de vermelhão (HgS). Tal como no caso do branco de chumbo e do corante azul, a confirmação da presença do vermelhão seria de grande relevância, na medida em que a utilização deste pigmento remete para cronologias a partir do período ptolemaico [10].

No que diz respeito à carnação de tom amarelado coloca-se a hipótese ter sido utilizada uma camada muito fina de ocre amarelo, sob uma camada final de verniz do mesmo tom. Esta hipótese resulta da observação por microscopia do que parecem ser vestígios de um verniz que

fluoresce sob radiação UV, sobre uma finíssima camada de cor que apresenta escassas partículas de pigmentos; bem como da identificação de goethite, α -FeOOH, através das análises de μ -Raman, nessa fina camada de cor (Figura 11e). Para além da goethite foram também identificados a hematite, α -Fe₂O₃, (Figura 11f), possivelmente hematite rica em magnetite, Fe₃O₄, identificada pela banda entre os 610 e os 690 cm⁻¹ mais acentuada sempre que se adquiriram espectros nas partículas de cor preta; e o gesso, CaSO₄·2H₂O, identificado pela banda a 1009 cm⁻¹, provavelmente impurezas geológicas do ocre amarelo (os espectros da hematite rica em magnetite e do gesso apresentam bandas muito pouco intensas e portanto não são aqui apresentados). No entanto, é importante referir que apesar da observação cuidada da superfície da carnação e de terem sido retiradas três amostras, só numa foi possível observar vestígios da existência de uma fina camada de cor e o que parece tratar-se de resíduos de uma camada de resina do mesmo tom. A dificuldade da confirmação destes resultados decorre não só do estado de conservação desta zona de policromia (onde dificilmente se vislumbram zonas de cor) mas também provavelmente da intervenção de restauro de 1983, limpeza e utilização de cera de abelha (ver abaixo), que interfere nos resultados analíticos destas amostras. Apesar de não existir um estudo sistemático referente à identificação de vernizes em policromias egípcias que permitam avançar com mais conclusões alguns dos estudos referem a utilização de verniz sobre as policromias, onde identificam essencialmente a resina mástique [41]. A comparação com o relatório técnico de 1983 revela resultados coincidentes na identificação do ocre, no entanto não se confirmou a utilização do branco de chumbo e do 'carvão' na policromia da carnação.

Neste ataúde, tal como para as camadas de preparação foi detetada uma goma vegetal como ligante nas policromias. Estes resultados foram obtidos por análises de FTIR-ATR a amostras de cor vermelha e de cor preta (Figura 8c). A atribuição das bandas foi já descrita acima, sendo de destacar que os espectros adquiridos nestas camadas detetaram uma grande contribuição do carbonato de cálcio, sendo que são essas as bandas mais intensas do espectro, seguidas das bandas do perfil característico dos polissacarídeos com uma banda larga centrada a ≈ 3350 cm⁻¹ e uma banda de intensidade média entre 1150-1010 cm⁻¹ [29]. Em nenhum dos casos foram detetadas bandas que possam indicar a presença clara de óleo como ligante, como é reportado no relatório técnico de 1983. Apesar de ser detetada uma banda de muito baixa intensidade a ≈ 1728 cm⁻¹, o perfil característico dos C-H dos triglicéridos dos óleos a ≈ 2920 e ≈ 2850 cm⁻¹ não é detetado, e os óleos apresentam grupos carbonilo com frequências geralmente mais altas, a ≈ 1740 cm⁻¹ [46].

Intervenções de restauro, estado de preservação e condições de exposição

Relativamente às intervenções de restauro realizadas neste ataúde, o MAC não dispõe de nenhuma informação sobre os materiais e procedimentos utilizados. Sabe-se que a primeira intervenção realizada por volta de 1983 nas instalações do LJF se limitou à face do objeto. E, segundo a publicação de 2012, compreendeu a 'limpeza da policromia, remoção da cola animal degradada' (supõe-se que do verso da face), 'tratamento de desinfestação curativo e preventivo do suporte, reforço do suporte em zonas de lacuna volumétrica, fixação da policromia e integração de lacunas e das zonas intervencionadas' [7, p.840]. Uma segunda intervenção que ocorreu no MAC entre 1996-2001 (intervenção realizada por uma equipa externa) envolveu já a totalidade do objeto da qual não existe relatório. O estudo analítico de micro-amostras permitiu identificar um dos materiais de restauro, a cera de abelha (Figura 8d), presente sobre toda a superfície da face que terá sido aplicada na intervenção de restauro em 1983. A cera de abelha, composta por hidrocarbonetos, ácidos gordos e ésteres, apresenta um espectro muito característico com bandas de distensão do -CH₂ a ≈ 2920 e ≈ 2850 cm⁻¹ e de deformação do -CH₂ a ≈ 1460 e ≈ 720 cm⁻¹, típicas dos hidrocarbonetos; e uma banda de distensão do C=O a ≈ 1735 cm⁻¹ típica dos ésteres, com um ombro a ≈ 1710 cm⁻¹, atribuída aos ácidos gordos; e uma banda de distensão dos C-O a ≈ 1170 cm⁻¹, típica dos ésteres [47].



Figura 13. Detalhes do ataúde onde se observam diferentes patologias: *a)* Desalinhamento e perda de algumas peças do suporte; *b)* Perda de policromia; *c)* Fraturas e fissuras no suporte; *d)* Ataque xilófago; *e)* Perda de policromia na zona do texto.

No que diz respeito ao estado de preservação do ataúde é provável que tanto as sucessivas deslocações a que foi sujeito, como o tipo de construção envolvendo várias peças de madeira possam ter tido implicações no seu atual estado de preservação. É certo que a utilização de diversas tábuas vulnerabiliza significativamente o objeto, tornando-o mais suscetível à perda de material. As flutuações de humidade relativa induzem no suporte higroscópico movimentos de expansão e contração distintos que terão sido responsáveis pelo desalinhamento e perda de algumas peças do suporte, bem como perda de policromia (Figura 13). O suporte de madeira apresenta ainda fraturas, fissuras e evidências de ataque xilófago embora inativo. É importante referir que as diversas patologias comprometem não só a estabilidade do objeto, mas também a leitura dos textos que o compõem.

A estrutura instável do objeto e a presença da múmia impedem ainda a visualização da policromia presente no reverso da arca porque obrigam à sua exposição na horizontal. Atualmente o ataúde encontra-se exposto no interior de uma vitrine robusta desenhada especificamente para receber o ataúde egípcio e a sua múmia, na sala 4 do MAC (produzida com assessoria do Dr. Matthias Tissot pela empresa *Smart Vitrinas*). Relativamente às condições ambientais (temperatura (T) e humidade relativa (HR)), no interior da vitrine mantêm-se valores estáveis de cerca de 54 % de HR e 20 °C de T enquanto no espaço exterior os valores variam entre os 62-70 % de HR e 20 °C de T, e os valores relativos à iluminação são de 78 Lux. Por indicação de Célia Pereira, conservadora do MAC, a aquisição da vitrine teve como principal objetivo prevenir possíveis danos voluntários ou involuntários provocados pelos visitantes, mas também minimizar o impacto da poluição e das variações das condições ambientais de T e HR.

Conclusão

Os estudos já existentes do ataúde egípcio do MAC haviam permitido identificar um contexto histórico e geográfico de produção deste ataúde antropomórfico, nomeadamente que terá sido produzido entre a Época Baixa e o período ptolemaico (séculos VI-II AEC), possivelmente em Akhmim. O presente estudo interdisciplinar estabeleceu novas informações acerca deste objeto, enriquecendo assim o corpo de informação já existente.

Na construção do suporte do ataúde confirmou-se a presença de materiais e técnicas tradicionais para este tipo de objetos produzidos no Egípto nos períodos em questão. A madeira utilizada identificou-se como sendo do género *Ficus* sp, provavelmente da espécie *F. sycomorus* L. e as várias peças desta madeira foram unidas entre si por duas técnicas distintas de encaixe, cavilha e dupla caixa e espiga solta.

Relativamente ao seu revestimento policromo, a curiosa utilização de um material de granulometria grosseira na preparação do suporte e que resulta numa superfície texturada, não foi possível explicar devido à insuficiência de referências que permitiriam elaborar propostas sobre a intencionalidade desta técnica. Os materiais da cor, que compõem a paleta de cinco cores do ataúde, nomeadamente a calcite, o negro de carbono, os ocres amarelo e vermelho e o azul egípcio, são todos materiais de uso tradicional durante as possíveis cronologias de produção. O mesmo se aplica ao ligante identificado tanto na colagem de peças de madeira, nas camadas de preparação e nas de policromia: uma goma vegetal. Não foram identificadas misturas de pigmentos neste ataúde, sendo apenas de destacar a possível utilização de um verniz na carnação da face do ataúde, sobre uma finíssima camada de policromia contendo escassas partículas de cor.

É importante referir que os resultados do presente estudo não são coincidentes com os resultados de um estudo material já existente, do ano de 1983, à face do ataúde. Tal estudo identificou os pigmentos branco de chumbo e vermelhão na carnação e nos lábios, respetivamente, e ainda a utilização de um corante azul no toucado. A confirmação da presença destes pigmentos no ataúde do MAC seria de grande significado porque poderia indicar a

utilização mais precoce destes materiais (a tratar-se de um ataúde da Época Baixa) ou de se tratar de um ataúde do período ptolemaico, como sugere a decoração dos lábios referida por Araújo, ou ainda, de se tratar de uma policromia muito mais recente e fora do período do Antigo Egipto.

Em contraposição, os resultados do presente estudo indicam que os materiais e as técnicas utilizadas na produção deste artefacto são os tradicionalmente usados na Época Baixa, não existindo nenhum elemento que aponte em definitivo para a datação no período ptolemaico.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Museu Arqueológico do Carmo a oportunidade de realizar este estudo. Os autores agradecem também ao Arq. António Reis Cabrita a realização de desenho técnico e ao Dr. Luis Araújo as informações prestadas. Este artigo foi escrito no âmbito projeto PTDC/ART-OUT/5992/2020 financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES e pelo Laboratório Associado para a Química Verde – LAQV (UIDB/50006/2020 e UIDP/50006/2020). A terceira autora agradece o contrato de investigação (DL57/2016/CP1382/CT0004) da FCT. O trabalho de análise e identificação da madeira foi suportado pelo projeto (UIDB/00239/2020) do Centro de Estudos Florestais (CEF) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT).

REFERÊNCIAS

1. Cooney, K. M., 'Coffins, Cartonnage, and Sarcophagi', in *A Companion to Ancient Egyptian Art*, ed. M. K. Hartwig, Wiley-Blackwell, West Sussex (2015) 269-292.
2. Baines, J.; Lacovara, P., 'Burial and the dead in ancient Egyptian society: Respect, formalism, neglect', *Journal of Social Archaeology* 2(1) (2002) 5-36, <https://doi.org/10.1177/146960530200200159>.
3. Teeter, E., 'Religion and Ritual', in *A Companion to Ancient Egyptian Art*, ed. M. K. Hartwig, Wiley-Blackwell, West Sussex (2015) 328-343.
4. Araújo, L. M., 'Sarcófago e múmia egípcias', in *Museu Arqueológico do Carmo. Roteiro da Exposição Permanente*, eds. J. M. Arnaud e C. V. Fernandes, Associação dos Arqueólogos Portugueses, Lisboa (2002) 137-141.
5. Araújo, L. M., 'O sarcófago e a múmia egípcia', in *Construindo a Memória. As Coleções do Museu Arqueológico do Carmo*, eds. J. M. Arnaud e C. V. Fernandes, Associação dos Arqueólogos Portugueses, Lisboa (2005) 535-545.
6. Ribeiro, I., 'Ficha-Relatório Lab 1-80', incluída na pasta referente a uma cartonagem facial pertencente ao Museu de História Natural e da Ciência da Universidade do Porto, existente no arquivo do atual Laboratório José de Figueiredo (1983).
7. Murta, E., 'Experiência de egiptologia no Instituto de José de Figueiredo: Sarcófago, Múmias e Máscaras', in *Novos Trabalhos de Egiptologia Ibérica*, eds. L. M. Araújo e J. C. Sales, Instituto Oriental da Faculdade de Letras de Lisboa, Lisboa (2012) 831-840.
8. Perdu, O., 'Saites and Persians (664-332)', in *A Companion to Ancient Egypt*, ed. A. B. Lloyd, Wiley-Blackwell, West Sussex (2010) 140-158.
9. Vandorpe, K., 'The Ptolemaic Period', in *A Companion to Ancient Egypt*, ed. A. B. Lloyd, Wiley-Blackwell, West Sussex (2010) 159-179.
10. Kakoulli, I., 'Late Classical and Hellenistic painting techniques and materials: a review of the technical literature', *Studies in Conservation* 47(sup1) (2002) 56-67, <https://doi.org/10.1179/sic.2002.47.Supplement-1.56>.
11. Barbosa, A.; Pace, M.; Witovisk, L.; Angyalossy, V., 'A new method to obtain good anatomical slides of heterogeneous plant parts', *International Association of Wood Anatomists Journal* 31(4) (2010) 373-383, <https://doi.org/10.1163/22941932-90000030>.
12. Wheeler, E. A.; Baas, P.; Gasson, P. E., 'IAWA list of microscopic features for hardwood Identification', *IAWA Bulletin* 10(3) (1989) 219-332.
13. 'InsideWood' 2004-onwards, <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search> (acesso em 2021-06-17).
14. Fahn A.; Werker, E.; Bass, P., *Wood Anatomy and Identification of trees and Shrubs from Israel and Adjacent Regions*, Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem (1986).
15. Hather, J.G., *The Identification of the Northern European Woods – A guide for archaeologists and conservators*, Archetype Publications Ltd., London (2000).
16. 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 Heidelberg (2013).
17. Koek-Noorman, J.; Topper, S.M.C.; Welle, B.J.H. ter, 'The systematic wood anatomy of the Moraceae (Urticales) III. Tribo Ficeae', *IAWA Bulletin* 5(4) (1984) 330-334.
18. Abdrabou, A.; Abdallah, M.; Abd el Kader, M., 'Analytical study and conservation processes of a painted wooden Graeco-Roman coffin', *International Journal of Conservation Science* 6(4) (2015) 573-586, http://www.ijcs.uaic.ro/public/IJCS-15-40_Abdrabou.pdf.
19. Zidan, Y.; Hadidi, N.; Mohamed, M., 'Examination and analyses of a wooden face at the Museum storage at the Faculty of Archaeology, Cairo University', *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* 16(2) (2016) 1-11, <https://doi.org/10.5281/zenodo.47538>.
20. Abdallah, M.; Abdrabou, A., 'Tutankhamen's small shrines (naoses): technology of woodworking and identification of wood species', *International Journal of Conservation Science* 9(1) (2018) 91-104, http://www.ijcs.uaic.ro/public/IJCS-18-08_Abdallah.pdf.
21. De Meyer, M., 'Reading a Burial Chamber: Anatomy of a First Intermediate Period Coffin in Context', in *Ancient Egyptian Coffins: Craft Traditions and Functionality*, eds. J.H. Taylor e M. Vandenbeusch, British Museum Publications on Egypt and Sudan 4, Peeters, Leuven (2018) 217-230.

22. Arbuckle, C., 'A Social History of Coffins and Carpenters in Ancient Egypt', Dissertação de Doutoramento, Department of Archaeology, University of California, Los Angeles (2018).
23. Afifi, H.; Hamed, S.; Mohamedy S.; Dawod, M., 'A Dating Approach of a Refundable Wooden Egyptian coffins lid', *Scientific Culture* **5**(1) (2019) 15-22.
24. Abdrabou, A.; Sultan, G. M.; Elkader M. A.; Kamal, H. M., 'Non-invasive wood identification on parts of King Horemheb's ritual couches (New kingdom)', *Conservar Património* **36**(2020) 12-19, <https://doi.org/10.14568/cp2019038>.
25. Hossain, M., 'A review on Ficus sycomorus: A potential indigenous medicinal plant in Oman', *Journal of King Saud University - Science* **31**(4) (2019) 961-965, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.07.002>.
26. Gale, R.; Gasson, P.; Hepper, N.; Killen, G., 'Wood', in *Ancient Egyptian materials and technology*, eds. P. T. Nicholson e I. Shaw, Cambridge University Press, Cambridge (2000) 334-371.
27. Davies, W. V., 'Ancient Egyptian timber imports: an analysis of wooden coffins in the British Museum', in *Egypt, the Aegean and the Levant: Interconnections in the Second Millennium BC*, eds. W. V. Davies e L. Schofield, BMP, London (1995) 146-156.
28. 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, <http://dx.doi.org/10.14568/cp2017008>.
29. Boyatzis, S. C.; Velivasaki, G.; Malea, E., 'A study of the deterioration of aged parchment marked with laboratory iron gall inks used FTIR-ATR spectroscopy and micro hot table', *Heritage Science* **4**(13) (2016) 1-17, <https://doi.org/10.1186/s40494-016-0083-4>.
30. Pombo Cardoso, I.; Pye, E., 'Preparing the foundation for stable gilding: scientific evaluation of the durability of Baroque gesso gilding grounds', *Journal of Archaeological Science* **79**(2017) 86-95, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.01.014>.
31. *The RRUFF Project: Raman – Quartz*, <https://rruff.info/quartz/display=default/RO40031> (acesso em 2022-06-1).
32. *The RRUFF Project: Raman – Calcite*, <https://rruff.info/calcite/display=default/RO40070> (acesso em 2022-06-1).
33. Base de dados CHSOS – negro de carbono, <https://chsopensource.org/lamp-black-k-47250/> (acesso em 2022-06-1).
34. Base de dados CHSOS – azul egípcio, <https://chsopensource.org/egyptian-blue-k-10060/> (acesso em 2022-06-1).
35. *The RRUFF Project: Raman – Hematite*, <https://rruff.info/hematite/display=default/RO50300> (acesso em 2022-06-1).
36. Base de dados CHSOS – ocre amarelo, <https://chsopensource.org/yellow-ochre-k-40010/> (acesso em 2022-06-1).
37. *The RRUFF Project: Raman – Hematite*, <https://rruff.info/hematite/display=default/RO50300> (acesso em 2022-06-1).
38. Strudwick, H.; Dawson, J., *Death on the Nile: Uncovering the Afterlife of Ancient Egypt*, Fitzwilliam Museum in association with D Giles Limited, Cambridge, London (2016).
39. Carbó, M. D.; Martínez, V. P.; Adelantado J. G.; Reig, F. B.; Moreno, M. M., 'Fourier transform infrared spectroscopy and the analytical study of sculptures and wall decoration', *Journal of Molecular Structure* **410**(1997) 559-563, [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(96\)09749-9](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(96)09749-9).
40. Andersen, F. A.; Brecevic, L., 'Infrared spectra of amorphous and crystalline calcium carbonate', *Acta Chem. Scand* **45**(10) (1991) 1018-1024, <https://doi.org/10.3891/acta.chem.scand.45-1018>.
41. Scott, D. A., 'A review of ancient Egyptian pigments and cosmetics', *Studies in Conservation* **61**(4) (2016) 185-202, <https://doi.org/10.1179/2047058414Y.0000000162>.
42. Newman, R.; Halpine, S. M., 'The binding media of ancient Egyptian painting', in *Colour and Painting in Ancient Egypt*, ed. W. V. Davies, The British Museum Press, London (2001) 22-32.
43. Lee, L.; Quirke, S., 'Painting materials', in *Ancient Egyptian Materials and Technology*, eds. P. Nicholson e I. Show, Cambridge University Press, Cambridge (2000) 104-119.
44. Hedegaard, S. B.; Delbey, T.; Brøn, C.; Rasmussen, K.L., 'Painting the Palace of Apries II: ancient pigments of the reliefs from the Palace of Apries, Lower Egypt', *Heritage Science* **7**(54) (2019), <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0296-4>.
45. Heywood, A., 'The use of huntite as a white pigment in ancient Egypt', in *Colour and Painting in Ancient Egypt*, ed. W. V. Davies, The British Museum Press, London (2001) 5-9.
46. Vahur, S.; Teearu, A.; Peets, P.; Joosu, L.; Leito, I., 'ATR-FT-IR spectral collection of conservation materials in the extended region of 4000-80 cm⁻¹', *Analytical and Bioanalytical Chemistry* **408**(13) (2016) 3373-3379, <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9411-5>.
47. Analytical Methods Committee AMCTB No. 103, 'Wax and wax-like materials – the what, where, and how in heritage collections', *Analytical Methods* **13** (2021) 2075-2078, <https://doi.org/10.1039/d1ay90035h>.

RECEBIDO: 2022.2.24

REVISTO: 2022.7.28

ACEITE: 2022.10.13

ONLINE: 2022.12.30



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>

Caso experimental de intervenção de uma fachada de azulejos – Aveiro, Portugal

Case study of a tile facade intervention – Aveiro, Portugal

SARA MOUTINHO¹ 
ANA VELOSA^{2*} 

1. RISCO, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Aveiro, Portugal

2. RISCO, GeoBioTec, Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, Aveiro, Portugal

*sara.moutinho@ua.pt

Resumo

Os azulejos são encontrados em inúmeras fachadas portuguesas e a sua exposição a agentes exteriores provoca a sua degradação e, em alguns casos, o seu destacamento. Na zona costeira da cidade de Aveiro, perante condições atmosféricas adversas, as fachadas do edificado estão em constante contacto com agentes agressivos, gerando destacamento de uma significativa quantidade de azulejos de fachada. No âmbito do Projeto SOS Azulejo em parceria com a Universidade de Aveiro, a Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro, o Estabelecimento Prisional de Aveiro e a empresa DDL Arg, este estudo viabiliza a ação de conservação de uma fachada, após degradação e destacamento do corpo cerâmico. Foram executadas várias réplicas dos azulejos no contexto específico de uma ação de formação que decorreu no Estabelecimento Prisional de Aveiro. Decorreu o estudo técnico para análise da compatibilidade e reversibilidade da argamassa e dos azulejos. As formulações foram estudadas no estado fresco e no estado endurecido, com a realização de ensaios como a consistência por espalhamento, resistência à tração por flexão, resistência à compressão, absorção de água e aderência ao suporte. Os resultados foram satisfatórios, com aplicação das réplicas de azulejos na fachada, no Dia Nacional do Azulejo, no âmbito de uma ação de sensibilização.

Abstract

Tiles are found on numerous Portuguese facades. The exposure to external agents causes degradation and, in some cases, detachment of these tiles. In the coastal area of Aveiro city (Portugal), the building's facades, exposed to adverse atmospheric conditions are in constant contact with aggressive agents, which cause the detachment of a significant amount of facade tiles. Within the scope of the SOS Azulejo Project, and in partnership with the University of Aveiro, Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro, the Prison of Aveiro and DDL Arg, this study encompasses the conservation of a tile facade, after degradation and detachment of the ceramic body. Several replicas of the tiles were made in the specific context of a training action that took place at the Aveiro Prison. The technical study was carried out to analyze the compatibility and reversibility of the mortars and ceramic tiles used. The mortars were tested in their fresh and hard state for consistency through spreading, flexural tensile strength, compressive strength, water absorption, and pull-off adhesion tests on bricks surfaces. The results were satisfactory, and the replicated tiles were applied on a building's facade on the National Tile Day, as part of an awareness campaign.

PALAVRAS-CHAVE

Conservação e restauro
Fachada
Azulejos
Argamassas
Compatibilidade

KEYWORDS

Conservation treatment
Façade
Tiles
Mortars
Compatibility

Introdução

A conservação e restauro visa a salvaguarda do património existente limitando a substituição parcial ou total dos materiais ou até mesmo inibindo a demolição do edificado. Obras de reabilitação e conservação devem subsistir como estratégia delineada, quando se verifica a degradação do edificado [1]. O presente caso de estudo viabiliza uma ação de conservação e restauro de uma fachada de um edifício, com a colocação de réplicas azulejares, após ocorrência de destacamento na fachada exterior.

O azulejo é um revestimento que se destaca quer pelo seu aspeto decorativo, quer pelas características que podem conferir às superfícies interiores e exteriores dos edifícios. Este material é um testemunho da riqueza arquitetónica portuguesa, ligado à sua história e cultura como elemento de construção utilizado há mais de cinco séculos. O uso predominante de azulejos de produção semi-industrial nas fachadas portuguesas iniciou-se no século XIX, sendo atualmente encontrados em inúmeras fachadas portuguesas.

Aveiro apresenta inúmeras fachadas que se caracterizam pelo uso de azulejos variados, quer pela sua policromia, padrões e técnicas de decoração diversificadas e por centros produtivos locais que criaram padrões específicos. A degradação do património edificado é evidente, principalmente em sistemas de revestimento das fachadas, cuja principal função é a sua proteção. As principais causas associam-se geralmente a humidade por via capilar, condições de exposição (humidade relativa e temperatura), agentes biológicos, contaminantes atmosféricos ou até mesmo a ausência de manutenção, ou por outro lado intervenções inadequadas que se revelem incompatíveis com os materiais originalmente utilizados no edifício [2].

O presente caso de estudo é um edifício que se localiza na cidade de Aveiro, caracterizado pelos painéis de azulejo dos finais do século XIX. Aveiro é uma cidade que apresenta características atmosféricas um pouco adversas e que condicionam a durabilidade e resistência dos materiais. De acordo com as condições de exposição como os fortes ventos e águas salinas, foi necessária a análise das características da argamassa a aplicar, de modo a satisfazer requisitos de compatibilidade, durabilidade e reversibilidade com os azulejos [3-4]. Os materiais utilizados devem satisfazer exigências, das quais se destacam: não contribuir para a degradação dos elementos pré-existentes e garantirem a reversibilidade ou então serem reparáveis. A compatibilidade e a durabilidade constituem fatores que influenciam a seleção de materiais [5-6].

Ao longo da sua vida útil, qualquer edifício sofre transformações e alterações que podem comprometer a sua autenticidade. À luz da conservação e restauro, devem ser considerados princípios éticos no que diz respeito à sua salvaguarda e às alterações introduzidas no edificado. A diferença entre os novos materiais e os materiais originalmente aplicados foi um valor considerado, afirmando a harmonia entre os panos individuais e evitando a descaracterização dos valores iniciais do edificado [7-9].

De modo a garantir a compatibilidade e reversibilidade de materiais, o estudo atendeu à análise do comportamento do azulejo antigo e da réplica, com análise física e mecânica da argamassa.

A iniciativa surge como ação inserida no 10.º aniversário do Projeto SOS Azulejo, promovido pela Câmara Municipal de Aveiro em parceria com a Universidade de Aveiro, a Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro e o Estabelecimento Prisional de Aveiro. A reposição dos azulejos foi possível devido à execução das réplicas pelos reclusos do estabelecimento prisional, através de uma ação de sensibilização e após uma ação de formação. As chacotas das réplicas foram adquiridas na fábrica HCER, Lda. Apesar das réplicas não serem iguais aos azulejos antigos, possuem características semelhantes e que determinam a pertinência da sua aplicabilidade em suportes antigos, garantindo um comportamento semelhante quando aplicados junto ao azulejo original antigo [10]. Esta fase de execução decorreu sob o acompanhamento de uma equipa da Universidade de Aveiro e do Estabelecimento Prisional. As oficinas no

Estabelecimento Prisional decorrem ao longo de vários anos, tornando possível a inclusão social e o desenvolvimento de diversas iniciativas.

O material para aplicação das réplicas foi fornecido pela empresa DDL Arg, que tem como principal foco os materiais de construção tradicional com o desenvolvimento e a produção de argamassas adequadas à reabilitação do património edificado, apresentando também soluções para novas construções. Este trabalho torna-se relevante na medida em que envolve várias entidades atuantes, com o principal objetivo de sensibilizar e persuadir à intervenção de outras fachadas, contribuindo para que o azulejo continue a ser um elemento característico das fachadas e arruamentos pelo país.

Caso de estudo – Localização e caracterização do edifício

A fachada intervencionada localiza-se no centro da cidade de Aveiro, na Rua dos Combatentes da Grande Guerra, nº19, perto da Ria de Aveiro, conforme [Figura 1](#).

O edifício é constituído por três andares, em que um andar se encontrava reabilitado e habitado, e é característico da construção tradicional de Aveiro, local onde rareia a pedra e tem construção tipicamente em adobe, alvenaria de tijolo ou alvenaria mista [11-12]. Caracteriza-se como um edifício em banda, de carácter misto, em que o rés-do-chão serve uma zona de comércio e os dois pisos superiores são de habitação multifamiliar. Apresenta uma geometria regular em altura, com configuração retangular em planta. A fachada principal deste edifício é revestida com azulejos fabricados entre o final do século XIX e o início do século XX, policromáticos em tons de azul e amarelo e com dimensões de 14 × 14 cm. A técnica utilizada no padrão dos azulejos foi a estampilha, que consiste na pintura sobre um papel encerado com os motivos recortados, após correspondência com o padrão dos azulejos originais ([Figura 2](#)). Nesta primeira fase, apenas a fachada correspondente ao rés-do-chão foi intervencionada. A fachada em estudo localiza-se virada a poente.



Figura 1. Localização do edifício em estudo.

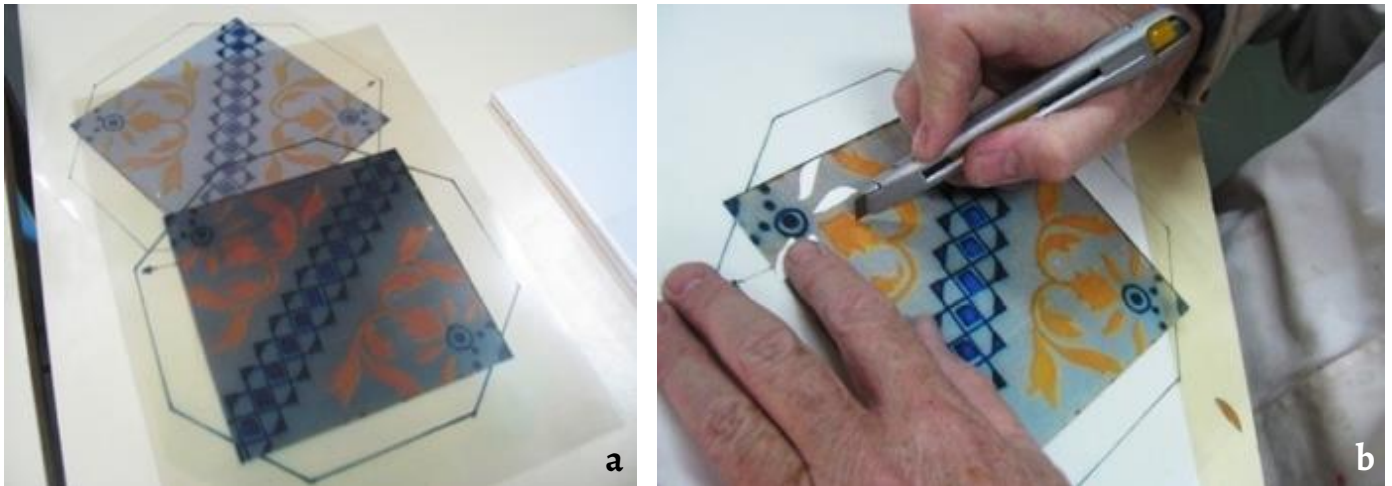


Figura 2. Técnica da estampilha: a) Marcação da superfície azulejar; b) Recorte da superfície para estampilhagem.

Trata-se de um suporte com indícios de degradação do mesmo ao longo do tempo, com visível destacamento do revestimento, essencialmente no suporte correspondente ao rés-do-chão. De modo a preservar o suporte, após o destacamento dos azulejos, a fachada foi rebocada não decorrendo qualquer outro tipo de intervenção adicional.

O destacamento do revestimento foi a principal degradação analisada, possivelmente despoletada pela perda de aderência entre as camadas, pelos movimentos diferenciais entre os materiais ou até mesmo pela escassa limpeza dos painéis, que pode provocar destacamento dos azulejos [13]. Sempre que possível, os azulejos são reaplicados, contudo não sendo possível, a execução e colocação de réplicas é uma possível solução.

Procedimento experimental: materiais e métodos de ensaios

Materiais

Ao longo do tempo, vários azulejos sofreram destacamento da fachada. Após deteção da visível falta de peças no pano, foi possível recolher junto da Câmara Municipal de Aveiro uma amostra antiga do azulejo e executar réplicas dos azulejos originais para o desenvolvimento do estudo, junto do Estabelecimento Prisional, as quais se encontram na Figura 3. Não foi possível obter uma amostra antiga na íntegra para o estudo, dado que ao sofrer destacamento do suporte nenhuma das amostras permaneceu intacta. O cromatismo das réplicas atendeu à qualidade técnica, garantindo-se o princípio da distinção entre o original e a cópia [7-9].

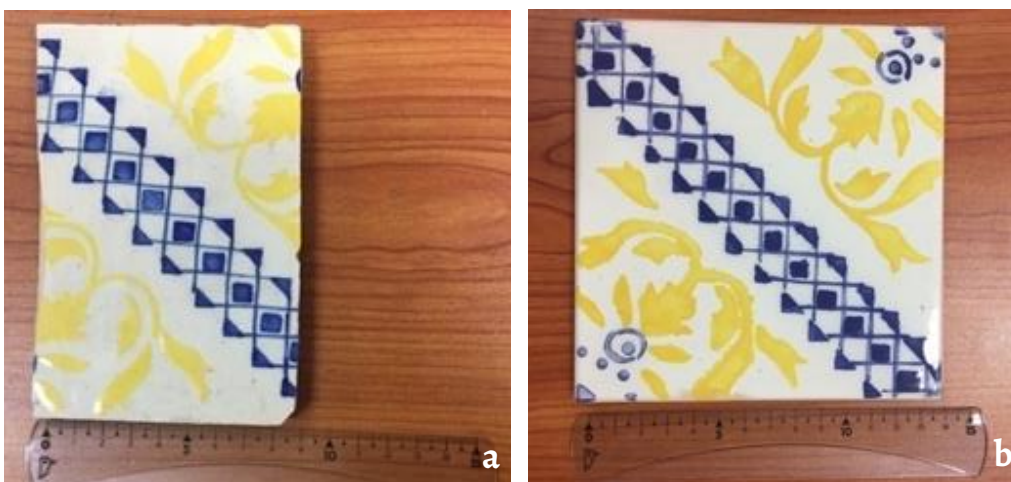


Figura 3. Azulejos em estudo: a) azulejo originalmente aplicado; b) replica dos azulejos.

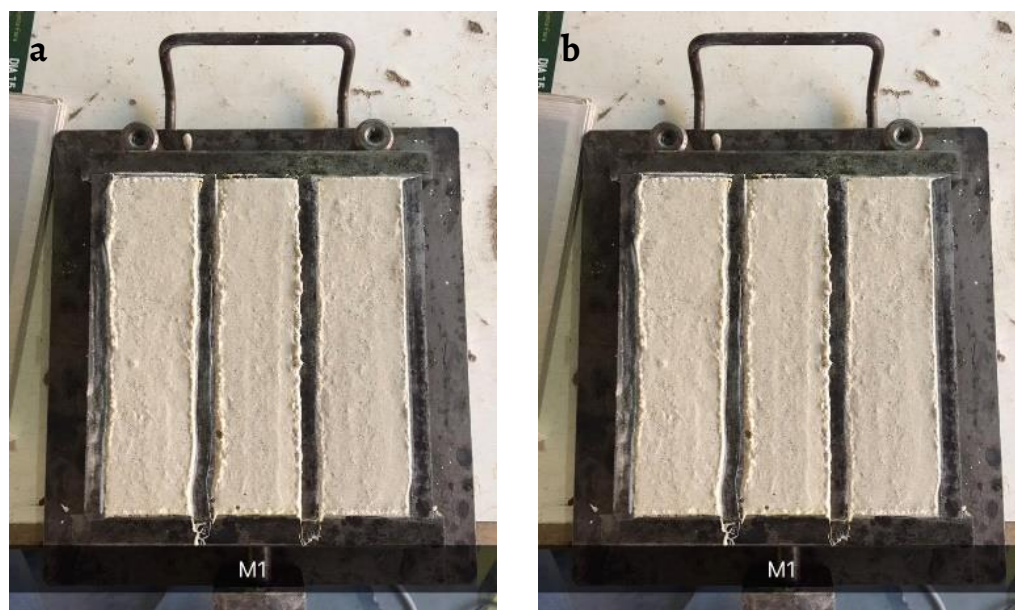


Figura 4. Execução dos provetes de argamassas a ensaiar: a) M1- Provetes a ensaiar aos 28 dias; b) M2- Provetes a ensaiar aos 60 dias.

A argamassa a utilizar na fase posterior de intervenção foi selecionada com auxílio da empresa DDL Arg, sendo esta argamassa indicada para aplicação em obras de reabilitação e restauro para edifícios antigos. O produto designa-se por DDL.LM Standard e foi selecionado com base nas suas características [14]. De acordo com as características disponíveis na ficha técnica do produto, a DDL.LM Standard é uma argamassa pré-misturada, seca, tradicional, à base de cal aérea hidratada como aglutinante e agregados bem calibrados, siliciosos e de granulometria contínua (< 4 mm). Trata-se de uma argamassa industrial de uso geral e foi desenvolvida para aplicação em exterior e interior, em edifícios antigos.

Após a caracterização da argamassa no estado fresco, foram preparados os moldes para posterior realização dos ensaios à argamassa no estado endurecido. De acordo com os ensaios previstos a realizar foram moldados provetes prismáticos e preparada argamassa para posterior aplicação no tijolo. Assim, foram preparados moldes metálicos prismáticos com dimensões de $40 \times 40 \times 160$ mm (Figura 4), sendo previamente bem limpos e untados com óleo descofrante para permitir uma maior facilidade na desmoldagem dos provetes.

Com os moldes preparados e bem fixos no compactador mecânico colocou-se a argamassa no estado fresco. Seguidamente o compactador atuou cerca de 45 segundos para permitir uma melhor compactação das partículas e, deste modo, eliminar os vazios existentes.

Métodos de ensaio

Para a caracterização dos materiais foram realizados os ensaios apresentados na Tabela 1.

Consistência por espalhamento

Com base na norma EN 1015-3 [15] foi determinada a consistência por espalhamento, valor da quantificação da fluidez das argamassas indicando sobre a deformabilidade destes materiais quando submetidas a determinado tipo de tensão. Assim, procedeu-se à determinação da quantidade de água de amassadura necessária para garantir o espalhamento na ordem dos 140 mm, valor de referência para uma adequada trabalhabilidade.

Tabela 1. Métodos de ensaio realizados.

Materiais	Métodos de ensaios
Caracterização da argamassa no estado fresco	Consistência por espalhamento
Caracterização da argamassa no estado endurecido e azulejos	Resistência à tração por flexão
	Resistência à compressão
	Absorção de água por capilaridade
	Aderência ao suporte

Absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade baseou-se nos procedimentos preconizados na norma EN 1015-18 [16]. Seguindo-se ao ensaio de resistência à tração por flexão, o presente ensaio foi efetuado numa das metades dos provetes prismáticos.

Antes de se proceder ao início do ensaio, todos os provetes foram colocados a uma temperatura ambiente de $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ até atingirem massa constante, registando-se todas as massas numa balança com precisão de 0,01 g. A intervalos de tempo definidos, e em condições laboratoriais, as massas dos provetes foram sendo registadas, até a franja capilar atingir o topo dos provetes e ocorrer a saturação dos mesmos, tendo-se o cuidado de secar a base dos provetes antes das pesagens.

Aderência ao suporte

Este ensaio tem por objetivo avaliar a capacidade de aderência do revestimento ao suporte, segundo a norma EN 1015-12 [17].

Esta técnica de ensaio consiste na extração de uma pastilha metálica, com máquina pull-off, que é previamente colada ao revestimento através de uma resina epoxídica durante algumas horas. O equipamento de ensaios mede a força necessária para proceder ao arrancamento da pastilha. A relação entre essa força e a área da pastilha corresponde à máxima tensão que é possível aplicar ao revestimento.

Resistência à tração por flexão

A determinação desta característica nos materiais permite analisar o seu comportamento face à ação de forças atuantes e, assim, a sua durabilidade. Este ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-11 [18]. Para a sua realização foi utilizada a máquina de ensaios universal Shimadzu AG-IC, que cumpre os requisitos da norma supracitada, sendo utilizada uma célula de carga de 5 kN. Assim, cada provete foi colocado individualmente na prensa de flexão, ficando centrado e com o eixo longitudinal perpendicular ao plano da força aplicada. Foi então aplicada uma carga a meio vão, com um aumento uniforme, até se atingir a rotura do provete e registada a força máxima até à qual este resistiu.

Resistência à compressão

Este ensaio decorreu com base na mesma norma EN 1015-11 [18] após realização do ensaio de resistência à flexão que resultou a divisão dos prismas. Os provetes foram preparados com dimensões médias de 20 cm x 20 cm x 4 cm e expostos a condições de cura controladas, com temperatura e humidade relativa de $23 \pm 2\text{ °C}$ e $50 \pm 5\%$, respetivamente. Numa fase posterior, os provetes foram ensaiados aos sete, 14, 28 e 60 dias, sendo utilizada a máquina de ensaios universal Shimadzu AG-IC. O ensaio decorreu com uma célula de carga de 5 kN e velocidade de 50 N/s.

Apresentação e discussão de resultados

Caracterização dos azulejos

Composição química e mineralógica

Os azulejos mais antigos produzidos entre o final do século XIX e início do século XX são essencialmente compostos na sua chacota por quartzo (SiO_2), calcite (CaCO_3) e gelenite ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{CaO}$) [19]. O processo de formação de novas fases como é o caso da gelenite, o diópsido e a anortite decorre com base nas temperaturas de cozedura. Essas fases originam-se perante uma temperatura de cozedura mais elevada, cerca de 1000 °C. Deste modo, a identificação em menores quantidades destes minerais justifica a temperatura utilizada na época [19].

Absorção de água por capilaridade

Com a realização do ensaio de absorção de água a duas réplicas e ao azulejo antigo é possível traçar a curva de absorção capilar e definir o coeficiente de capilaridade (CC) dado pelo declive da reta. Os resultados de absorção de água por capilaridade são apresentados na

Figura 5.

De acordo com Botas et al. (2014) [20], os azulejos do século XIX são geralmente porosos e absorventes, com variações de acordo com a sua produção. A absorção capilar foi analisada de acordo com a quantidade total de água absorvida. Contudo, é de salientar, que a área de contacto dos azulejos não foi similar. Da análise da Figura 5 é possível verificar que o azulejo antigo absorveu maior quantidade de água que as réplicas de azulejos, definida também por uma maior velocidade de absorção. O ponto de saturação foi atingido ao mesmo tempo pelas três amostras, com uma rápida absorção inicial. Dos coeficientes de capilaridade registados, o maior valor obtido verifica-se para a amostra antiga. Esta diferença de valores está influenciada pela porosidade característica de azulejos do século XIX e pela diferença a nível da produção do azulejo, devido à evolução de técnicas de produção ao longo do tempo. As réplicas do tipo HGER são atualmente produzidas a temperaturas mais elevadas face aos azulejos antigos, sendo este um fator que se relaciona diretamente com a capacidade de absorção de água destes materiais.

De forma geral e com base em estudos realizados [13, 20], é expectável que os azulejos antigos registem maiores valores de absorção de água do que os azulejos novos.

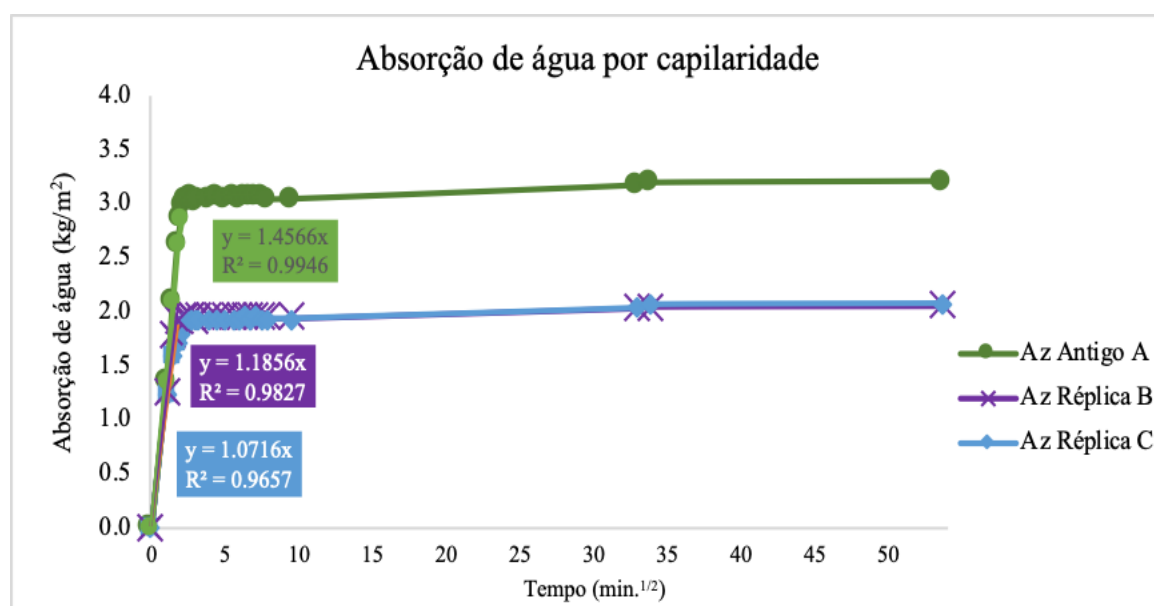


Figura 5. Curvas de absorção de água por capilaridade dos azulejos.

Tabela 2. Provetes em estudo.

Tempo de cura	Designação	Argamassa e dimensões
28 dias	ARG 1.1	Argamassa pré-doseada DDL-ARG 40 mm × 40 mm × 160 mm
	ARG 1.2	
	ARG 1.3	
60 dias	ARG 2.1	
	ARG 2.2	
	ARG 2.3	

Caracterização da argamassa no estado fresco

Consistência por espalhamento

Este ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-3 [15], na determinação da quantidade de água necessária de forma a garantir o espalhamento de 140 mm. A percentagem de água necessária foi de 16 %. Note-se que o excesso no teor de água utilizado pode condicionar a resistência mecânica da argamassa, bem como é um fator condicionante na sua trabalhabilidade e aderência ao suporte, colocando em causa o seu desempenho. A quantidade de 16 % de teor em água permitiu obter a consistência desejada, sem comprometer as propriedades da argamassa utilizada.

Caracterização da argamassa no estado endurecido

Para a realização dos ensaios aos provetes de argamassa no estado endurecido, foram preparados seis provetes no total, com dimensões de 40 × 40 × 160 mm, de modo a serem ensaiados três provetes aos 28 dias e três provetes aos 60 dias, permitindo analisar o comportamento do material em duas fases distintas. Para a execução dos ensaios procedeu-se à designação dos provetes conforme descrito na Tabela 2.

Com o objetivo de garantir a compatibilidade dos materiais, devem-se conhecer as características dos elementos existentes, estudando a sua interação. A seleção da argamassa nova deve considerar as características da argamassa antiga aplicada, sabendo-se que de um modo geral, com base estudos, as argamassas antigas eram constituídas por cal aérea e areia [3, 21].

Veiga (2005) [22], enumera um conjunto de fatores que as argamassas devem cumprir, considerando determinados requisitos funcionais e estéticos, que compreendem essencialmente as características do suporte e dos materiais e a localização, o tipo e a época do edifício, permitindo assim um comportamento adequado do conjunto e a sua durabilidade. É importante conhecer as exigências de autenticidade, respeitar a arquitetura não descaracterizando o edifício, proteger a parede tendo um módulo de elasticidade reduzido e uma boa capacidade de deformação, bem como as características mecânicas devem ser iguais às argamassas originais e inferiores às do suporte e devem também evitar a penetração da água.

A nível de composição, as argamassas utilizadas são geralmente argamassas compatíveis, de cal aérea e areia, geralmente de traço 1:1 a 1:4, sendo a aderência dos azulejos ao suporte um fator predominante [3, 23].

Resistência à flexão e à compressão

O ensaio de resistência à flexão decorreu segundo a norma EN 1015-11 [18] e permite analisar o comportamento dos provetes relativamente à resistência face ao tempo de cura. O ensaio de resistência à compressão foi também realizado de acordo com a norma EN 1015-11 [18]. Ambos foram realizados aos 28 dias e 60 dias. Os valores obtidos apresentam-se na Figura 6.

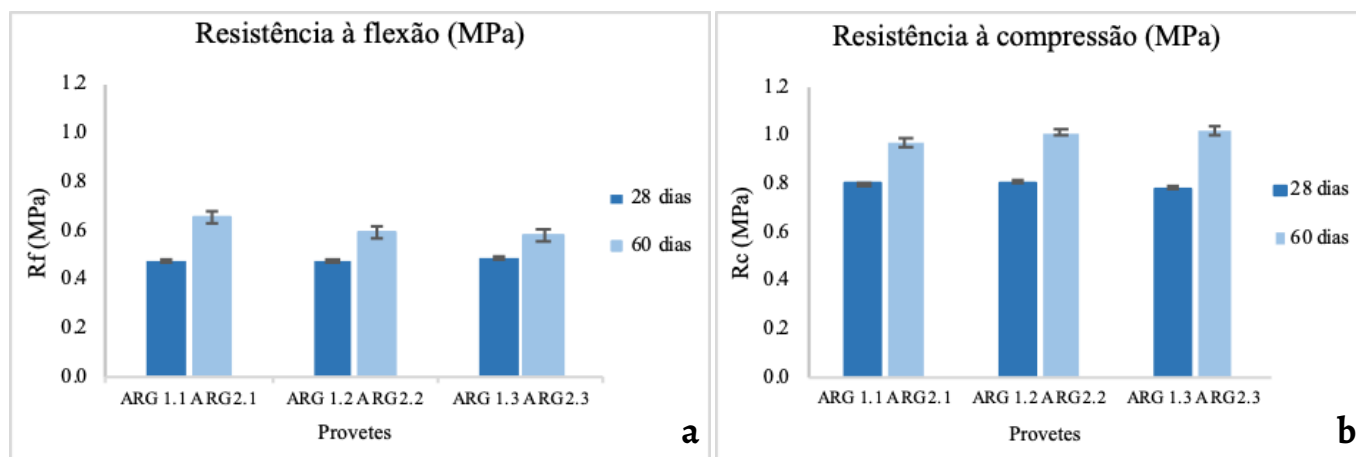


Figura 6. Valores obtidos nos ensaios de resistência à flexão (a) e à compressão (b).

Através dos resultados obtidos é possível concluir que ao longo do tempo, a resistência à flexão da argamassa aumenta dos 28 para os 60 dias e apresenta valores expectáveis para sua aplicação e durabilidade como material. Aos 28 dias o valor médio de resistência é 0,5 MPa e posteriormente aos 60 dias atinge os 0,7 MPa. Relativamente à resistência à compressão é, também, possível auferir que a resistência da argamassa aumenta com a idade. De forma geral, os provetes apresentam valores similares e compreendidos no intervalo 0,5-1,0 MPa. O baixo valor de resistências mecânicas não significa redução de durabilidade [24], uma vez que para aplicação em edifícios antigos são utilizadas geralmente argamassas à base de cal na ordem dos valores de resistência obtidos e que permitem assegurar a compatibilidade [8, 25]. Outros estudos revelam ainda que os valores obtidos corroboram os valores avaliados em fachadas históricas do centro de Aveiro [21], permitindo não existirem tensões que possam levar ao colapso do conjunto.

Absorção de água por capilaridade

O presente ensaio foi realizado com base na norma EN 1015-18 [16]. Na Figura 7 apresentam-se os resultados obtidos dos coeficientes de capilaridade ao fim dos 28 dias e 60 dias de idade dos provetes.

Através da análise dos valores é possível verificar que os coeficientes de capilaridade apresentam um padrão decrescente comparativamente entre os 28 dias e os 60 dias. Por sua vez, o maior valor obtido é aproximadamente $1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$. A diminuição da absorção de água ao longo do tempo pode-se relacionar com a compacidade que o material adquire com o tempo, pelo que os menores valores de CC registam-se nos provetes aos 60 dias, com maiores valores de resistência à compressão.

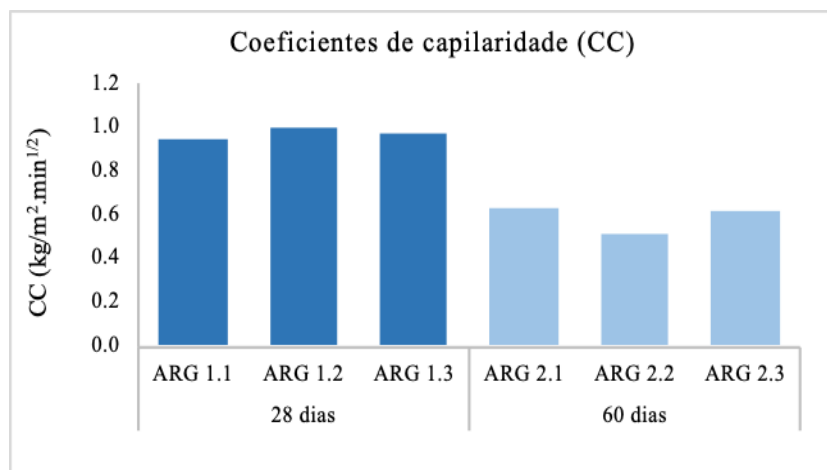


Figura 7. Coeficientes de capilaridade obtidos.



Figura 8. Preparação do ensaio de aderência ao suporte a) e b).

Aderência ao suporte

O ensaio de aderência ao suporte foi realizado com base na norma EN 1015-12 [17] em suporte de tijolos cerâmicos de dimensões $30 \times 20 \times 11$ cm [8]. Foram submetidos ao ensaio cinco provetes de azulejos réplicas com dimensões de 5×5 cm, de modo a estudar a aderência ao suporte (Figura 8).

A interface argamassa-azulejo é um fator muito importante a avaliar, essencialmente no mecanismo de aderência, nos fenómenos associados à penetração de água e o sistema, na ligação entre o corpo cerâmico e o suporte [20].

Com base na análise da Figura 9, a rutura foi coesiva (rotura pelo próprio material de revestimento) no provete 1.1 e 1.5, adesiva no 1.2 (rotura na interface entre o revestimento e o suporte) e mista nos provetes 1.3 e 1.4. Sempre que a rutura é coesiva é expectável obter um valor de aderência superior na interface entre o azulejo-argamassa, por outro lado a rutura adesiva representa diretamente o valor de aderência na interface azulejo-argamassa. De acordo com a Figura 10, o valor médio obtido encontra-se na ordem dos 0,1 MPa. Com base na gama de provetes em estudo justifica-se a heterogeneidade de resultados, podendo estes fatores resultar na reduzida representatividade de resultados.

Intervenção na fachada

É importante conhecer e avaliar os elementos novos e existentes no processo de ações de intervenção de conservação e restauro. A conservação e restauro do património antigo deve seguir princípios éticos, assegurando a compatibilidade, reversibilidade e autenticidade, os quais foram considerados neste caso de estudo. De acordo com a Carta de Veneza e outras mais recentes como a Carta de Cracóvia, bem como outros critérios de intervenção na atividade da UNESCO, é da responsabilidade coletiva proteger e gerir o património antigo e comum, mantendo a sua riqueza e autenticidade [7, 26]. Segundo o artigo 2.º da Carta de Veneza, a conservação e o restauro constituem uma disciplina que apela à colaboração de várias ciências e técnicas que possam contribuir para o seu estudo e salvaguarda.



Figura 9. Ensaio de aderência ao suporte: a) e b) colocação no equipamento para realização do ensaio; c) após realização do ensaio.

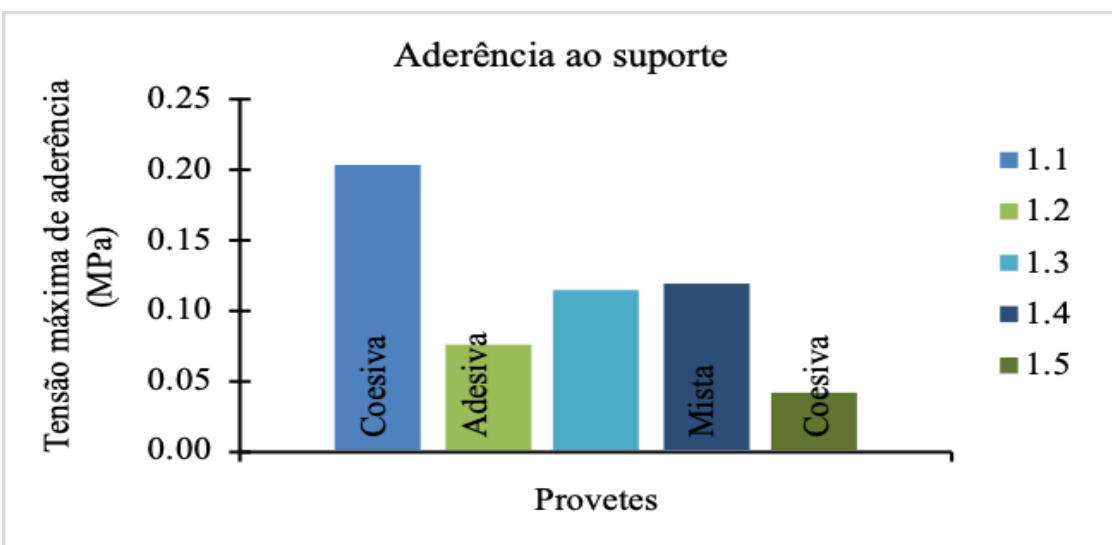


Figura 10. Resultados obtidos no ensaio de aderência ao suporte.



Figura 11. Intervenção na fachada: a) Assentamento dos azulejos (réplicas); b) Após colocação dos azulejos.

Na metodologia de intervenção reuniu-se o apoio de várias entidades parceiras que, após levantamento do estado de conservação de uma fachada de um edifício do centro histórico de Aveiro, concluiu sobre a necessidade de intervenção.

Sendo o presente Projeto de carácter técnico e social, o cromatismo das réplicas e a sua finalização foram executadas pelos reclusos do Estabelecimento Prisional de Aveiro, sob orientação da equipa da Universidade de Aveiro e por professores do estabelecimento prisional.

A aplicação dos azulejos foi acompanhada e executada pela equipa técnica especializada da Câmara Municipal de Aveiro, seguindo os requisitos de boas práticas de conservação e restauro de fachadas de azulejos. Procedeu-se inicialmente à preparação do suporte que se encontrava rebocado, com a realização da picagem do reboco. Paralelamente, os azulejos foram imersos em água previamente à aplicação e a argamassa foi preparada *in situ* de acordo como as indicações de preparação.

A intervenção ocorreu no mês de maio, mês do azulejo, com o objetivo de sensibilizar a população local para a sua preservação e incentivar a realização de mais ações de conservação e reabilitação em edifícios com fachadas de azulejos, mantendo a sua identidade (Figura 11). Esta iniciativa permitiu envolver a sociedade de modo geral e vários intervenientes da área, sendo uma atividade inovadora aplicada não só à preservação do património, mas também a aspetos sociais.

Conclusões finais

As fachadas de azulejos dos séculos XIX e XX caracterizam muitos edifícios antigos, tendo como papel principal a proteção do suporte e o aspeto estético que conferem ao edifício. Contudo, ao longo do tempo, as fachadas exteriores encontram-se expostas a condições que provocam a sua transformação e deterioração dos materiais, resultando em inúmeros casos em lacunas, fraturas e fissuras e, até mesmo, no destacamento dos azulejos.

Deste modo o presente trabalho permitiu devolver a identidade a uma fachada de azulejos, de um edifício localizado em Aveiro. A intervenção permitiu contribuir para a sensibilização de outros membros especialistas da área e da sociedade em geral, fomentando a necessidade da salvaguarda de azulejos no património edificado.

As bases do desenvolvimento do estudo técnico foram fundamentalmente a compatibilidade e a reversibilidade, utilizando materiais de características conhecidas, nomeadamente argamassa à base de cal. Em muitos casos na colmatação de lacunas em fachadas de azulejos são utilizadas argamassas de base cimentícia, colocando em risco o

comportamento dos materiais pela ótica da compatibilidade e não assegurando a reversibilidade do processo.

Os ensaios realizados e os resultados obtidos permitiram analisar as propriedades dos materiais e do sistema, assegurando um adequado e durável desempenho da argamassa e do seu comportamento com o azulejo e o suporte.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Projeto DB-HERITAGE (Base de dados de materiais com interesse histórico e patrimonial (PTDC/EPH-PAT/4684/2014) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), à empresa DDL ARG pelo fornecimento da argamassa e apoio nos métodos de aplicação, ao Estabelecimento Prisional de Aveiro pelo material azulejar, à Fábrica Centro Ciência Viva de Aveiro, ao Projeto SOS Azulejo e à Câmara Municipal de Aveiro.

REFERÊNCIAS

1. Veiga, M. D. R.; Aguiar, J., 'Definição de estratégias de intervenção em revestimentos de edifícios antigos', in *1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios*, PATORREB 2003, FEUP, Porto (2003), <http://conservarcal.lnec.pt/pdfs/RV-JA-Patorreb.pdf> (acesso em 2021-05-11).
2. Triães, R.; Santos, L.; Coroado, J.; Rocha, F., 'Deterioration of the "Quinta Nova Torres Vedras" wall tile panel – an analytical approach', *News in Conservation* **41** (2014) 7-11.
3. Botas, S.; Veiga, R.; Velosa, A., 'Argamassas para (re)aplicação de azulejos antigos. Um passo para a Normalização', *Pedra & Cal* **61** (2016) 42-45, http://www.gecorpa.pt/Upload/Revistas/rev_61_artigo_42.pdf (acesso em 2021-05-27).
4. Luso, E.; Lourenço, P.; Almeida, M., 'Breve história da teoria da conservação e do restauro', *Revista de Engenharia Civil da Universidade do Minho* **20** (2004) 31-44.
5. Mendes, M.; Pereira, S.; Ferreira, T.; Mirão, J.; Candeias, A., 'In situ preservation and restoration of architectural tiles, materials and procedures: results of an international survey', *International Journal of Conservation Science* **6**(1) (2015) 51-62.
6. Mendes, M. T., *Conservação e restauro de azulejo: Metodologias de intervenção VS indicadores de compatibilidade*, Dissertação de Doutoramento em Química, Universidade de Évora, Évora (2016).
7. COMOS, 'Carta de Veneza', in *II Congresso Internacional de Arquitetos e Técnicos de Monumentos Históricos*, Veneza (1964), https://www.culturante.gov.pt/wp-content/uploads/2020/07/1964-carta_de_veneza-ii_congresso_internacional_de_arquitetos_e_tecnicos_de_monumentos_historicos_icomos.pdf?x69634 (acesso em 2021-04-05).
8. Botas, S., *Recuperação de fachadas de azulejadas antigas - Desenvolvimento de argamassas compatíveis e estudo dos fenómenos de aderência*, Dissertação de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro (2018).
9. Ferreira, L. M.; Teixeira, J., 'O valor patrimonial das alterações introduzidas no edificado habitacional da cidade histórica', in *Património em Construção – Contextos para a sua Reabilitação* (2011) 295-302, <https://hdl.handle.net/10216/61907>.
10. Costa, M.; Cachim, P.; Coroado, J.; Velosa, A. L., 'Technical replicas of Portuguese ceramic tile bodies produced in the Oporto region in the late nineteenth to early twentieth centuries', *Studies in Conservation* **61**(2) (2016) 63-73, <https://doi.org/10.1179/2047058415Y.000000001>.
11. Coroado, J.; Paiva, H.; Velosa, A.; Ferreira, V., 'Characterization of renders, joint mortars and adobes from traditional constructions in Aveiro (Portugal)', *International Journal of Architectural Heritage* **4**(2) (2010) 102-114, <https://doi.org/10.1080/15583050903121877>.
12. Costa, C.; Arduin, D.; Rocha, F.; Velosa, A., 'Adobe Blocks in the Center of Portugal: Main Characteristics', *International Journal of Architectural Heritage* **15**(3) (2019) 467-478, <https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1627442>.
13. Martins, G., *Influência do revestimento azulejar na permeabilidade da fachada*, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro (2010).
14. DDL-Arg., (n.d.), "Produtos DDL-Arg", https://1e2af2ea-9ec3-4d46-8e67-37f705e266f4.filesusr.com/ugd/0119d6_2ce170469846441799093c6aa82303b2.pdf (acesso em 2021-05-11).
15. European Committee for Standardization (CEN), *EN 1015-3 Methods of test for mortar masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)* (1999).
16. European Committee for Standardization (CEN), *NP EN 1015-18: Methods of test for mortar masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar* (2002).
17. European Committee for Standardization (CEN), *NP EN 1015-12: Methods of Test for Mortar for Masonry – Part 12: Determination of Adhesive Strength of Hardened Rendering and Plastering Mortars on Substrates* (2000).
18. European Committee for Standardization (CEN), *NP EN 1015-11: Methods of test for mortar for masonry – Parte 3: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar* (1999).
19. Vieira, M. A. F. G., *Patologia em fachadas azulejadas em Aveiro*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro (2014).
20. Botas, S.; Veiga, R.; Velosa, A., 'Reapplication mortars for old tiles: Characteristics of tiles and mortars and selection criteria', *International Journal of Architectural Heritage* **8**(1) (2014) 124-139, <https://doi.org/10.1080/15583058.2012.673690>.

21. Damas, A. L.; Veiga, R.; Faria, P., 'Caraterização de argamassas antigas de Portugal – contributo para a sua correta conservação', in *Congresso Ibero-Americano "Património, suas Matérias e Imatérias*, eds. M. Menezes, J. Delgado Rodrigues e D. Costa, LNEC, Lisboa (2016) 67_021, <https://www.researchgate.net/publication/309718294>.
22. Veiga, R., 'Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos', in *Seminário "Sais solúveis em argamassas de edifícios antigos"*, LNEC, Lisboa (2005).
23. Botas, S., 'Argamassas para (re)aplicação de azulejos antigos – Um passo para a Normalização', *Pedra & Cal* **61**(2º semestre) (2016) 42-45, http://www.gecorpa.pt/Upload/Revistas/rev_61_artigo_42.pdf (acesso em 2021-05-12).
24. Botas, S.; Veiga, R.; Velosa, A., 'Bond strength in mortar/ceramic tile interface –testing procedure and adequacy evaluation', *Materials and Structures/Materiaux et Constructions* **50**(5) (2017) 211, <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1086-7>.
25. Botas, S.; Veiga, R.; Velosa, A.; Silva, A., 'Compatible air lime mortars for historical tiled facades: bond and mechanical strength versus tile-mortar interface microstructure', *Journal of Materials in Civil Engineering* **32**(6) (2020) 04020112, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003121](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003121).
26. AA.VV., *Carta de Cracóvia 2000 – Princípios para a conservação e o restauro do património construído*, Cracóvia (2000), <http://www.patrimoniocultural.gov.pt/media/uploads/cc/cartadecracovia2000.pdf>.

RECEBIDO: 2020.10.1

REVISTO: 2021.1.20

ACEITE: 2021.3.11

ONLINE: 2021.6.23



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

<https://conservarpatrimonio.pt/authors>

GUIDELINES FOR AUTHORS

Ethical guidelines

Types of collaboration

Manuscripts

References

Submissions

Refereeing

Rights

<https://conservarpatrimonio.pt/reviewers>

