

Pintura sobre cobre: investigación sobre materiales y técnicas de aplicación de la capa de preparación a través de los tratados tradicionales y estudio analítico de dos obras atribuidas a las escuelas portuguesa y flamenca

Daniel Vega^{1,*}

Isabel Pombo Cardoso^{1,2}

Leslie Carlyle^{1,2} 

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

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

*d.vega@campus.fct.unl.pt

Resumen

Las pinturas sobre cobre fueron producidas, principalmente, entre los siglos XVI y XVII. Sin embargo, se pueden encontrar ejemplares de este tipo de obras incluso en el siglo XX. Este trabajo aborda el estudio de este tipo de pinturas desde dos perspectivas diferentes. Desde la Historia del Arte, en la cual se ha sistematizado la información recogida en la literatura entre los siglos XVII y XVIII; y desde el estudio de material, que incluye la caracterización de dos pinturas mediante microscopia óptica, para el estudio de la técnica pictórica; espectroscopia micro-Raman, para la identificación de los pigmentos y cargas presentes en la preparación; y estereomicroscopia, radiografía digital y la técnica PIXE (emisión de rayos X inducidos por partículas), para el estudio del soporte. Este trabajo recoge un estudio bibliográfico de al menos 20 fuentes literarias sobre la técnica de pintura sobre cobre, y un estudio de dos pinturas que demuestra que los materiales y técnicas utilizadas en los dos casos de estudio son coincidentes con las fuentes literarias.

Palabras-clave

Pintura sobre cobre
Tratados
Manuales para artistas
Estudio material
Investigación

Pintura sobre cobre: investigação sobre os materiais e técnicas utilizadas na camada de preparação segundo a tratadística e estudo analítico de duas obras atribuídas às escolas portuguesa e flamenga

Resumo

As pinturas sobre cobre foram produzidas, essencialmente, ao longo dos séculos XVI e XVII, mas a sua produção nunca cessou por completo, podendo encontrar-se pinturas sobre este tipo de suporte até ao século XX. Neste trabalho procedeu-se ao estudo deste tipo de pinturas segundo duas perspectivas. Por um lado, fez-se o levantamento das fontes documentais com interesse histórico e a sistematização da informação extraída da literatura dos séculos XVII e XVIII. Por outro lado, fez-se o estudo material de duas pinturas que envolveu a caracterização da técnica pictórica por microscopia óptica, a identificação de pigmentos e cargas presentes na camada preparatória por micro-espectroscopia de Raman e o estudo do suporte por estereomicroscopia, radiografia digital e espectrometria de emissão de raios X induzida por partículas (PIXE). Segundo os resultados obtidos, os materiais e as técnicas utilizadas nas duas obras são coerentes com a informação colhida nas 20 fontes literárias estudadas.

Palavras-chave

Pintura sobre cobre
Tratados
Manuais para artistas
Estudo laboratorial
Investigação

ISSN 2182-9942



Painting on copper: research on the materials and techniques used on ground layer according to historical treatises and analytical study of two paintings attributed to the Portuguese and Flemish schools

Abstract

Paintings on copper were mostly produced from the 16th century until the end of the 17th century. Nevertheless, its production never ceased completely, and examples can be found in the 20th century. This study encompassed two complementary sources of information: historical documentary research, on sources from the 17th and 18th centuries; and analytical research, which involved the characterization of two paintings. The characterization included optical microscopy, for the study of the pictorial technique; micro-Raman spectroscopy, for the identification of pigments and fillers present in the preparatory layer; and stereomicroscopy, digital radiography and Particle induced X-ray emission, for the study of the support. The literature research revealed the existence of, at least, 20 documentary sources with information related to technique and materials used to paint on copper support. The analytical results confirmed the information collected from the historical literature.

Keywords

Painting on copper
Treatises
Artists' manuals
Scientific study
Research

Introducción

De acuerdo con van de Graaf las placas de cobre probablemente comenzaron a ser utilizadas como soporte de la pintura de caballete a partir del siglo XVI, aunque para finales del siglo XVII su producción había disminuido gradualmente [1]. Sin embargo, Bowron afirma que este tipo de obras continuaron siendo producidas en países como Francia y España [2]. A su vez, Horovitz refiere que los artistas nunca dejaron de ejecutar este género

de pinturas, pudiendo encontrarse ejemplos de pinturas realizadas sobre este tipo de soporte inclusive en el siglo XX [3].

Se piensa que el origen de esta nueva técnica pictórica se originó en Italia, y que posteriormente pintores flamencos activos en aquel país habrían llevado la técnica al norte de Europa [1, 2, 4].

Su origen puede ser asociado a varias causas, entre ellas un aumento de la disponibilidad de chapas de cobre en el mercado debido a la creciente impresión



Figura 1. *Virgen María con San Juanito y el Niño Jesús*, pintura flamenca, soporte con cuño de Peter Staas. Atribuida al siglo XVII. Dim: 220 mm × 170 mm.



Figura 2. *Niño Jesús, Salvador del Mundo*, pintura portuguesa, adaptada a formato oval. Atribuida al siglo XVIII. Dim: 152 mm × 109 mm.

de libros que utilizaban estas láminas de cobre [5], así como la experimentación de nuevos soportes por parte de los artistas y el desenvolvimiento de los gabinetes de curiosidades [6]. La pintura sobre cobre, por lo general, es de pequeño formato y las temáticas varían entre retratos, escenas religiosas, naturalezas muertas, alegorías y paisajes [7].

Al inicio, los artistas encontraron varias ventajas en el uso de este tipo de soporte en comparación con soportes más tradicionales como la tabla y el lienzo, ya que es rígido, fácil de preparar, fácil de transportar, parecía bastante duradero, y no era absorbente [3-4]. Pero tras algún tiempo, los artistas identificaron algunas limitaciones, ya que era imposible la ejecución de pinturas de grandes dimensiones debido al peso y al coste

que tendría tal placa y, además, sufría de fenómenos de corrosión que ponían en riesgo las capas pictóricas [4].

Obras en estudio

En el presente trabajo se han estudiado dos pinturas ejecutadas con la técnica del óleo sobre soporte de cobre pertenecientes a una colección particular, de autores desconocidos, atribuidas a las escuelas flamenca y portuguesa, y datadas en los siglos XVII y XVIII, respectivamente. Estas pinturas son el punto de partida para un estudio sobre este tipo de obras (Figuras 1 y 2), tanto en una vertiente histórica a través de la literatura de la época, como en una vertiente más científica, donde

Tabla 1

Tratados y manuales de los siglos XVII y XVIII referidos en la literatura secundaria consultada [14-33]

Autor	Fecha	Título de la obra	Referencia	Referencias en la literatura secundaria					
				A	B	C	D	E	F
Pacheco	1649	<i>Arte de la Pintura, su Antigüedad y Grandeza</i>	14			✓	✓	✓	✓
Anónimo	1656	<i>Tractado del Arte de la Pintura</i>	15				✓		
Félibien	1676	<i>Des Principes de l'Architecture, de la Sculpture, de la Peinture</i>	16		✓		✓		✓
De La Fontaine	1679	<i>L'Académie de la Peinture</i>	17				✓		✓
Eikelenberg	1679	<i>Aantekeningen over de schilderkunst</i>	18						✓
Palomino	1724	<i>El Museo Pictórico y la Escala Óptica</i>	19	✓	✓	✓	✓	✓	
De la Hire	1730	<i>Oeuvres diverses de Mr de la Hire</i>	20						✓
Pernety	1756	<i>Dictionnaire Portatif de Peinture, Sculpture et Gravure</i>	21		✓	✓	✓	✓	
Barrow	1758	<i>Dictionarium Polygraphicum</i>	22						✓
Dossie	1758	<i>The Handmaid to the Arts</i>	23			✓	✓	✓	✓
Hallen	1761	<i>Werkstätte der Heutigen Künste, Oder die Neue Kunstgeschichte</i>	24						✓
De Piles	1766	<i>Les Premiers Eléments de la Peinture Pratique</i>	25		✓	✓	✓	✓	✓
Anónimo	1769	<i>L'Ecole de la Miniature, ou L'art d'Apprendre a Peindre</i>	26						✓
Griselini	1772	<i>Dizionario delle Arti e de' Mestieri</i>	27						✓
Watin	1773	<i>L'Art du Peintre, Doreur, Vernisseur</i>	28		✓		✓		
Anónimo	1777	<i>Nieuwen Almanach Der Konst-schilders</i>	29						✓
Dutens	1779	<i>Principes Abrégés de Peinture</i>	30						✓
Le Piler d' Appligny	1779	<i>Traité des Couleurs Matérielles, et de la Manière de Colorer, Relativement aux Différens Arts & Métiers</i>	31		✓	✓			
Anónimo*	1793	<i>The Golden Cabinet: Being the laboratory, or Handmaid of the Art</i>	32						✓
Anónimo	1795	<i>Encyclopädie für Künstler: Vollständiges Handbuch für Mahler und Lakirer (II vol.)</i>	33					✓	

* Este manual para artista no es considerado en el presente trabajo por ser una publicación americana.

Literatura secundaria: A – Bazzi, 1939 [4]; B – Leggenhock, 1986 [10]; C – Spring, 1991 [11]; D – Horovitz, 1999 [9]; E – Schmidt, 2013 [12]; F – Stols-Wilto, 2014 [13].

los métodos analíticos son utilizados para conocer la composición de los materiales y las técnicas utilizadas en la producción del soporte y de la capa de preparación de estas obras.

Estudio a través de la literatura de época

A pesar de que el presente estudio se centra principalmente en los siglos XVII y XVIII, se consultó bibliografía anterior a estos siglos porque, como fue referido anteriormente, algunos autores sugieren que la pintura sobre cobre surge durante el siglo XVI. Sin embargo, no fueron encontradas referencias explícitas de este tipo de obras.

Giorgio Vasari, en su libro sobre la vida de los artistas (c. 1550), menciona que el pintor Sebastiano de Piombo es quien demostró cómo se debería pintar sobre plata, cobre, estaño, y otros metales [8], no siendo hecha ninguna mención sobre la ejecución de la técnica.

Terenzi piensa que Leonardo da Vinci (c. 1452-1519) hizo referencia a este tipo de obras en su libro *Trattato della Pittura*, donde la descripción sobre la aplicación de un *smalto bianco* directamente sobre una placa metálica no se relaciona con una pintura a base de pasta vítrea, sino que debe ser interpretada como una alusión directa a la capa de preparación a base de óleo aplicada sobre la lámina de cobre ya que en la época el término *smalto* se utilizaba indistintamente para cualquier preparación de color blanca [7]. También se relaciona el tratado del arte escrito por Cennino Cennini (c. 1370-1427) con la posibilidad de que en aquella época el cobre pudiera ser pintado al óleo, al dejar en abierto la idea de que se podía pintar sobre cualquier tipo de superficie con esta técnica, incluyendo muros, hierros, tablas, etc. Incluso, hay quienes relacionan una indicación presente en el libro de Teófilo (siglo XI-XII), que explica cómo se puede modificar el color de la superficie de objetos en cobre mediante la aplicación de una capa de hiel de buey para obtener una tonalidad semejante al oro, como un precursor del uso del cobre como elemento decorativo pintado [1, 9].

Tabla 2

Información recogida de las fuentes literarias del siglo XVII y XVIII [14-31, 33-34]

N.º	Autor	Fecha	Ref.	Páginas	Texto original
1	Carducho	1633	34	131-2	La pintura al olio se puede hazer sobre qualquiera destos materiales [lienço, tabla, pared, lamina, vidro, tafetan, y otras seda, papel, y pergamino], encolado primero lo en que se huíere ulere de pintar, y después se dan los demás aparejos de yeso, è imprimación, excepto en el vidro, lamina, y piedra, porque estos solo admiten la imprimación, y escusan la cola, y demás beneficios.
2	Pacheco	1649	14	385	Las laminas se impriman (estando lisas i limpias) con Alvayalde, i sombra a Olio, de una sola mano mui delgada, la cual se dà i estiende con los dedos, i no con brocha.
3	Anónimo	1656	15	172	Si es tabla y lamina no ay emprim.on [imprimación] sino de clores solos y lo mismo en vidro y piedra.
4	Felibien	1676	16	410	Quand on veut peindre sur les pierres, soit Marbre ou autres; ou bien sur les metaux, il n'est pas necessaire d'y mettre de la colle comme fut la toile: Mais il faut y donner seulement une legere couche de couleurs avant que de rien dessigner.
5	De la Fontaine	1679	17	28-9	L'on prend une plataine de cuivre bien poly, après vous prendrez du blanc de plomb bien broyé avec de la terre d'ombre, & noir de charbon meslé ensemble, avec une brosse vous frotterez pardessus la plataine bien unie, & avec un linge & du cotton dedans vous frapperez dessus, pour la rendre mieux unie, quand la couleur sera seiché vous prendrez un cousteau & passerez par dessus pour unir davantage, après vous la chargerez encore une fois, & ferez encore de mesme.
6*	Eikelenberg	1679	18	159	Bestrijkt met wit of groen as, fermelioen, geel oker.
7	Palomino	1724	19	30	[...] y en una lamina, ò un vidro, esfregandole primero un ajo.
8	Palomino	1724	19	33-4	Las laminas se aparejan en la misma forma, que las tablas; mas para lograr la lisura, y terso de el aparejo, ha de ser la color remolida, como de blanco, y sombra, y un poco de tierra roja (y siempre conviene esfregarle primero un ajo, porque suele tener algunos senos, en que no quiere secar la imprimación) y después de bien tendida con brocha, ò pincel, la color se ha de igualarm crespindola con la yema de el dedo pulgar, si es pequeña, ò con el pulpejo de la mano, si es grande, pegando, y despegando por toda ella, hasta que el crespido quede igual, y luego se ha de unir, ò con un pincel muy blando, y suave; ò (lo que es mejor) con una pluma de cola de paloma, u de otra ave casera, pasando con suavidad las orillas de el pelo por toda la Lamina, hasta que quede muy tersa, è igual.
9	De la Hire	1730	20	474	Pour les planches de cuivre, quand elles Font dreffées & poncéescome elles fortent des mains des Chaudronniers, on les ìmprime d'abord de la couleur A huile qui doit fervir de fond pour travailler, & quidoivent être comme les dernieres, qu'on a données sur le bois. On donne deux ou trois de ces couches l'une après l'autre, en laiffant toujours fâcher la précédente : mais comme ces couches font ordinairement trop polies, & qu'on n'y peut pas peindre facilement à cause que la couler y glisse par trop, on bat un peu l'impression toute fraîche avec la paume de la main, pour y faire un petit grain qui happe mieux la couleur qu'on y met n peignant.

N.º	Autor	Fecha	Ref.	Páginas	Texto original
10	Pernety	1756	21	LXXXIX	Quant aux planches de cuivre, on les dresse comme pour la gravure, fans cependant les polir avec autant de foins. On les imprime ensuite avec une couche de couleur à l'huile, qui doit servir de fond pour travailler. On donne deux ou trois de ces couches l'une après l'autre ; & quand la dernière est encore un peu fraîche après avoir séché, on la frappe par-tout avec la paume de la main, pour y faire un petit grain qui happe mieux la couleur qu'on doit y mettre en peignant.
11	Barrow	1758	22	132	When a painter is to work on metal, marble, or any other stone, he need only lay on a thin layer of colours before he designs any thing.
12	Dossie	1758	23	204	When copper-plates are used, there is no occasion for any other priming than one coat of oil, and lead, or oker, rendered of the colour desired: but such plates are seldom employed but for delicate and elaborate paintings. The surface of the priming ought to be made as smooth as the plate itself, by rubbing with the pumice stone, or glazing with the callender stone. But there is another method very effectual for making a fine ground on the copper-plates ; which is the using flake white and sat oil, with any colour required ; which being laid on the plates placed in an horizontal position to dry, will polish itself very highly, by the running of the oil. The oil used for this purpose should be thoroughly fat.
13	Hallen	1761	24	322	Die Kupferplatte wird, ohne sich mit dem Poliren zu bemühen, auf die Art der Kupferstecher vorbereitet. Man gibt ihr eine Oelfarbe zur Grundlage, und wenn diese recht trokken geworden, noch zwo Ueberzüge damit. Zuletzt thut man mit der flachen Hand schläge auf dieselbe, indem sich das Gemälde in die Fasernräume, die ihr die Hand eindrückt, leichter hineinbegibt.
14	De Piles	1766	25	137-8	Pour les planches de cuivre, après qu'elles ont été dressées & poncées comme elles doivent être en sortant des mains du cuivrier (i), on les imprime d'abord de la couleur à huile qui doit faire le fond, & qui doit être comme les dernières couches qu'on met sur les planches de bois. On y en met deux ou trois l'une après l'autre, observant de laisser toujours sécher la précédente avant que d'y en mettre une nouvelle. Mais comme ces couches font ordinairement trop polies, ce qui empêcheroit d'y peindre facilement, parce que la couleur glisseroit trop sur cette surface unie, on bat un peu l'imprimure toute fraîche avec la paume de la main, pour y former un petit grain qui puisse mieux happer la couleur. On peut encore ne pas faire d'autre préparation aux fonds de cuivre que de couper une gousse d'ail en deux, & en frotter le côté du cuivre sur lequel on veut peindre, à moins qu'on ne voulût un fond d'une autre couleur que celle du cuivre.
15	Anónimo	1769	26	125-6	L'on peint à l'huile contre les murailles, sur le bois, sur la toile, sur les pierres, & sur toutes sortes de métaux. Il faut en premier lieu préparer les choses sur lesquelles on veut travailler, par un imprime, comme disent les ouvriers, qui servent de fond, & rendre la place ou le champ sur lequel on veut peindre, bien égal, & bien uni.
16	Anónimo	1769	26	132	Quand on veut peindre sur les pierres, soit marbres ou autres; ou bien sur les métaux, il n'est pas nécessaire d'y mettre de la colle comme sur la toile; mais il faut leur donner seulement une légère couche de couleurs avant que de rien dessiner.
17	Griselini	1772	27	270	Sulle Pietre o i metalli non è necessario applicar colla, come su la tela, basta aggiugnervi un leggiero strato di colore avanti di abbozzare il disegno.
18	Watin	1773	28	88	Si on peint sur du cuivre, du fer, ou autres matieres dures qui ne reçoivent pas aisément l'impression, & qui rendent ordinairement les couches trop polies pour qu'on y puisse peindre facilement, ce qui fait glisser les couleurs par dessus; il faut mettre un peu d'essence dans les premières conches d'impression, l'essence fait pénétrer l'huile.
19*	Anónimo	1777	29	171	Voor de kopere platen, naer dat zy opgesteld en gepuymt zyn gelyk zy moeten wezen als zy uyt de handen van den koperslaeger komen, (*) men legt'er terstond eenen grond van olie-verwe op, die zyn moet gelyk de laetste laegen die men op hout planken legt. Men legt'er twee of dry op, een eenen achter den anderen, opletende van altyd den voorgaenden wel te laeten droogen eer men'er den volgenden op legt. Maer aengezien die gronden gemeynelyk te effen zyn, het gene zoude beletten van'er gemakelyk op te schilderen, om dat het koleur te veel zoude afslibberen ofte afloopen op dien effen grond, men slaet den grond een weynig met het plat van de hand als hy versch is, om'er eene kleyne oneffenheyd op te maeken, de welke beter het koleur kan tegenhouden ofte indringen.
20	Dutens	1779	30	62	[...] à l'égard des planches de cuivre, on peut les imprimer de la couleur qui doit faire le fond; & pour que la surface ne soit pas trop polie, on bat l'imprimure fraîche avec la paume de la main, ou enfin on la frotte seulement avec de l'ail.
21	Le Pileur d'Apligny	1779	31	62	Les pierres, ou les métaux sur lesquels on a dessein de peindre, n'ont pas besoin de couche de colle: on se contente de leur donner une légère teinte, avant d'esquisser le dessin.
22	Anónimo	1795	33	63	Malt man auf Kupfer, Eisen und andere harte Materien, deren glatte Oberfläche die Farben nicht gern annimmt, so vermischt man die ersten Anstriche mit etwas Terpentinöl, worauf das Öl besser eindringt
23	Anónimo	1795	33	134	Nachdem die Kupfertafeln aus den Händen des Polirers gekommen, so gründet man sie mit Schieferweiß (es handelt sich hier um eine besondere Sorte von Bleiweiß) oder Öcker mit Oel, und giebt diesem Anstrich eine beliebige Farbe. Nachher wird die Tafel mit Bimsstein abgerieben, oder mit einer Glaskugel geglättet. Oder. man überzieht die Tafel mit einem Anstrich von Bleiweiß und fettem Oel, dem man eine beliebige Farbe zumischt. Nachher läßt man sie in einer horizontalen Lage trocknen, damit das Oel sich ausbreiten kann, wodurch es sich gleichsam von selbst poliert. Das Oel so man hiezu nimmt, muß sehr fett seyn.

* Texto transcripito por Stols-Witlox directamente de la fuente primaria [13].

Tratados de pintura y manuales para artistas europeos entre los siglos XVII e XVIII

El universo de los estudios dedicados a la pintura sobre cobre es amplio. Éstos mencionan con cierta regularidad literatura producida durante los siglos XVII y XVIII para especificar aspectos de esta técnica pictórica [4, 9-13].

Como se observa en la Tabla 1 [14-33], existen al menos 19 fuentes literarias con información sobre diversos aspectos de la pintura sobre cobre. A éstas, se adicionó el tratado escrito por el artista italiano Carducho [34], activo en la corte de Madrid en el siglo XVII, y hasta ahora no referenciado en la bibliografía consultada. Estas referencias servirán de base para la obtención de información sobre los materiales y técnicas utilizados en las capas de preparación de la pintura sobre cobre (Tabla 2) [14-31, 33-34].

Tratados y manuales en portugués

Paralelamente a la lectura de los tratados y manuales europeos para artistas anteriormente referenciados, se consultaron cinco manuales para artistas disponibles en lengua portuguesa, para establecer si existía alguna particularidad en la forma cómo los artistas nacionales trabajan este tipo de obras (Tabla 3) [35-38], concluyendo que no existe ninguna referencia a la producción de este género de pinturas.

El soporte

La información obtenida de las fuentes primarias referida al soporte es insuficiente para caracterizar debidamente la chapa de cobre utilizada por los artistas.

De los doce documentos que hacen mención al soporte (Tabla 2, números 2, 4, 5, 7-10, 12, 16, 19, 20 y 23), ocho documentos (números 2, 4, 5, 7, 9, 10, 12, 19 y 23) refieren que el cobre debería ya estar completamente pulido, dando a entender que éste era comprado directamente al *coppersmith* listo para ser utilizado. A través de fuentes primarias ligadas a la metalurgia, se sabe que los lingotes de cobre utilizado por los *coppersmiths* debían de ser de alta calidad, ya que en caso contrario,

Tabla 3

Tratados y manuales en lengua portuguesa de los siglos XVII y XVIII consultados [35-38]

Autor	Fecha	Título	Referencia
Nunes	1615	<i>Arte da Pintura, Symmetria, e Perspectiva</i>	35
Stooter	1729	<i>Arte de Brilhantes Vernizes, & das Tinturas</i>	36
Lusitano	1780	<i>O Insigne Pintor, e Leal Esposo</i>	37
Machado	1794	<i>Conversações sobre a Pintura, Escultura, e Architectura</i>	38

Tabla 4

Colores mencionadas en las fuentes literarias

Fuentes Literarias		Ref.	Colores
Pacheco, 1649	España	14	Albayalde Sombra quemada
Dutens, 1779	Francia	30	
De la Fontaine, 1679	Francia	17	Albayalde Sombra quemada
De la Hire, 1730	Francia	20	Negro de carbón
De Piles, 1766	Francia	25	
Palomino, 1724	España	19	Albayalde Sombra quemada Tierra roja
Félibien, 1649	Francia	16	Colores claras no especificadas
Barrow, 1758	Reino Unido	22	
Anónimo, 1769	Francia	26	
Griselini, 1772	Italia	27	
Le Pileur d'Apligny, 1779	Francia	31	
Eikelemborg, 1679-1704	Países Bajos	18	<i>Wit of groen as Bermellón Ocre amarillo</i>
Dossie, 1758	Reino Unido	23	Albayalde Color deseada
Anónimo, 1795	Alemania	33	Albayalde Ocre amarillo

el cobre no podría ser trabajado posteriormente, siendo por eso preciso que el material volviera a sufrir una serie de procedimientos de purificación [39, 40]. De acuerdo con algunos estudios, las planchas de cobre podrían ser obtenidas por martillado, laminado o fundición [9, 41]. Los autores están realizando actualmente un estudio sobre un conjunto mayor (15 obras) con técnicas analíticas tales como ensayos de microdureza, radiografía, microscopia óptica, micro-fluorescencia de rayos X dispersiva de energía (μ -EDXRF), micro-espectroscopia de emisión de rayos X inducida por partículas (μ -PIXE), microscopia electrónico de barrido equipado con un detector de rayos X de dispersión de energía (SEM-EDS) y difracción de rayos X (XRD). Los resultados de este trabajo serán publicados en breve y permitirán ampliar la información sobre las técnicas de elaboración de la placa de cobre utilizada como soporte de la pintura.

Los otros cuatro documentos (números 8, 19, 16 y 20) refieren la aplicación de jugo de ajo antes de la aplicación de la capa de preparación.

Pigmentos y aglutinante utilizados

Catorce documentos referencian los colores que deben ser aplicados en la capa de preparación (Tabla 2, documentos número 2, 4-6, 8, 9, 11, 12, 14, 16, 17, 20, 21 y 23). La mayoría hace referencia el uso del albayalde,

por lo que se cree que debe ser el pigmento utilizado de forma más habitual en esta capa. Los pigmentos en tonos castaños, como la sombra quemada, son los segundos colores más utilizados. Otros pigmentos mencionados son el ocre amarillo, el negro de carbón, el bermellón y la tierra roja (Tabla 4).

El aglutinante referido es el óleo. Se ha mencionado explícitamente cinco veces que los pigmentos son aglutinados en óleo para realizar la capa de preparación (Tabla 2, documentos número 10, 12, 15, 18 y 22), mientras que las restantes referencias se encuentran incluidas en las secciones dedicadas a la pintura al óleo. Finalmente, Carducho (Tabla 2, documento número 1) menciona que la preparación de la pintura sobre cobre es idéntica a aquella utilizada en otro tipo de pintura de caballete; sin embargo, nunca menciona en el libro en qué consiste esta preparación. Probablemente, este procedimiento era de conocimiento general en la época y no fue necesario dejar un registro detallado.

Modos de aplicación posibles

De los veinte documentos consultados, once mencionan sobre cómo los colores pueden ser aplicados (ver diferentes técnicas en la Tabla 5). El modo de aplicación mencionado más veces es utilizando las palmas de las manos (Tabla 2, documentos número 9, 10, 13, 14, 19 y 20) mientras que seis referencias (Tabla 2, documentos número 5, 9, 10, 15, 16 y 19) indican que el número de capas aplicadas varía entre dos y tres.

Metodología analítica

Este estudio se concentró en la caracterización de los materiales y técnicas utilizadas en la capa de preparación y del soporte metálico de dos pinturas sobre cobre.

Para el estudio del soporte se utilizaron exámenes de área tales como fotografía con luz rasante y radiografía de las placas, incluyendo también la observación de detalles mediante estereomicroscopio. Tras comprobar la estabilidad de las capas pictóricas de las dos pinturas, una muestra de 1,5 mm × 1 mm fue cortada con una sierra de joyero, de la esquina más degradada (y sin policromía) de cada chapa para un estudio por la técnica μ -PIXE. La recogida de las pequeñas muestras metálicas de estas dos pinturas se realizó teniendo en cuenta la salvaguarda de su integridad física considerando el número de técnicas analíticas utilizadas (para caracterizar el soporte metálico y que escapen a la discusión de este artículo), así como la única forma de obtener información concreta y relevante del material hasta ahora imposible de obtener utilizando técnicas no invasivas.

Para el estudio de la capa de preparación, se procedió a la recogida de dos μ -muestras por obra (en áreas de colores diferentes, originales y próximas a las zonas de falta). Éstas fueron analizadas por microscopía óptica y micro-espectroscopia Raman (μ -Raman).

Tabla 5
Método de aplicación

Fuente Literaria		Ref.	Método de Aplicación
De la Hire, 1730	Francia	20	Palma de la mano
Pernety, 1756	Francia	21	
Hallen, 1761	Alemania	24	
De Piles, 1766	Francia	25	
Anónimo, 1777	Países Bajos	29	
Dutens, 1779	Francia	30	
Pacheco, 1649	España	14	Puntas de los dedos
De la Fontaine, 1679	Francia	17	Píncel
Palomino, 1724	España	19	
Dossie, 1758	Reino Unido	23	Frotar con piedra pómez
Anónimo, 1795	Alemania	33	

Estereomicroscopio

El estereomicroscopio utilizado para observación de la superficie metálica expuesta a través de las pequeñas faltas de policromía existentes es un Leica MZ16 con un intervalo de aumento entre los 7,1× y los 115×, equipado e integrado a una cámara digital Leica LCD y una fuente de iluminación fría externa Leica KL 1500 LCD que cuenta con dos fibras ópticas flexibles.

Radiografía

El equipamiento utilizado para obtención de las radiografías es un ArtXRay de sistema digital NTB electronische Geraete GmbH. Este sistema está compuesto por un generador de rayos X Y.MBS/160-F01, con un rayo direccionado de punto focal de 1,9 mm, voltaje 40-160 kV, corriente de 0,2-0,5 mA y una potencia máxima de rayos X de 480 W; un manipulador de 4 μ m/paso y 5000 pasos/revolución; y una cámara sensible a la radiación comprendida entre 10-160 kV, tamaño de pixel 0,083 mm, y 12 pixel/mm de resolución. Las radiografías de la pintura atribuida a la escuela portuguesa y flamenca fueron obtenidas con las siguientes condiciones: 100 kV y 4,2 mA con 100 ms y 150 ms de tiempo de integración; y 115 kV y 4,2 mA con 100 ms de tiempo de integración, respectivamente. Las imágenes digitales fueron procesadas con el programa iX-Pect.

μ -PIXE

Los análisis por μ -PIXE de las muestras metálicas fueron realizados utilizando un equipo Oxford

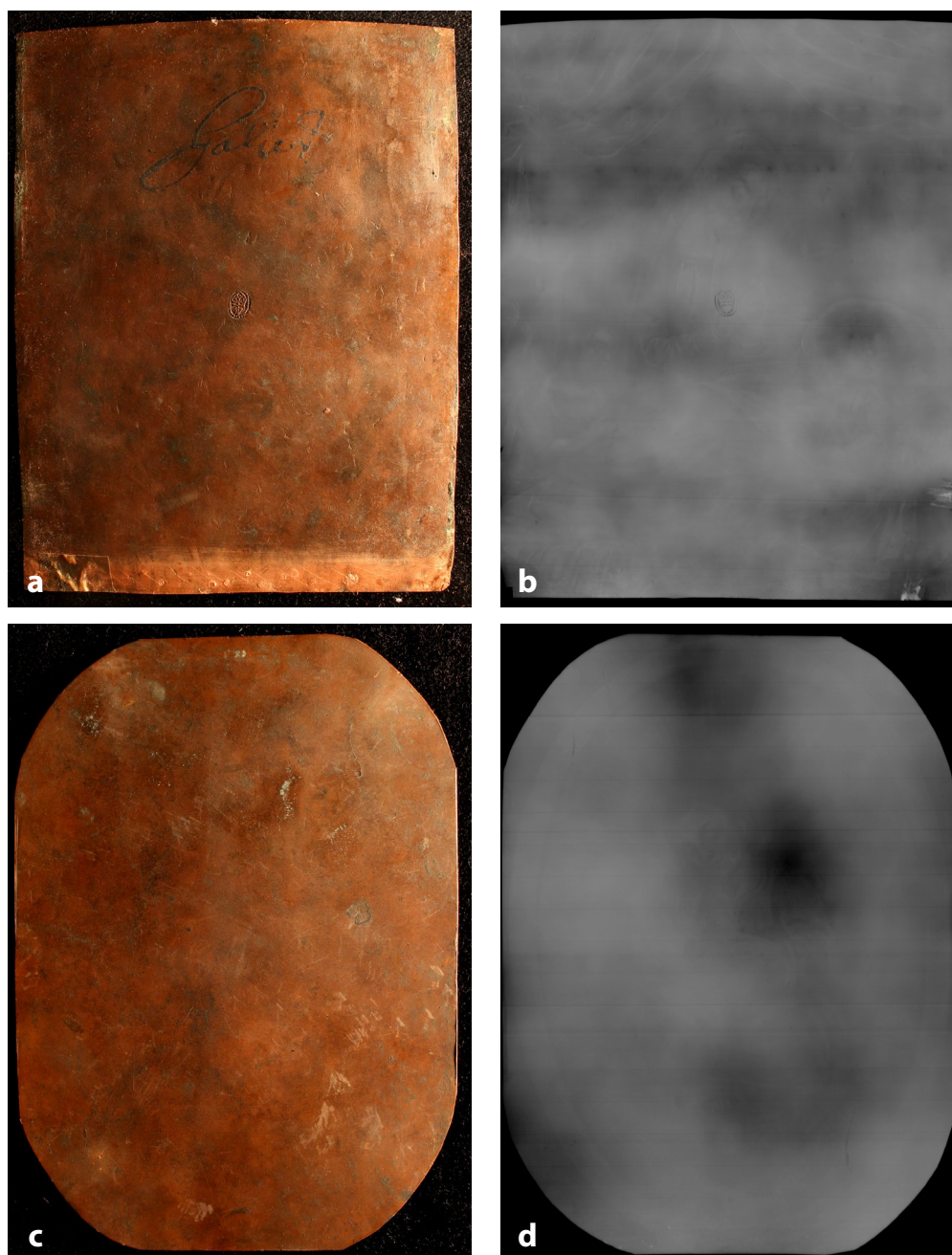


Figura 3. Observación por luz rasante (a, c) e radiografía (b, d) de la pintura flamenca (a, b) y la pintura portuguesa (c, d).

Microbeams – Ion microprobe situado en el Campus Tecnológico e Nuclear do Instituto Superior Técnico (CTN/IST). Las mediciones fueron realizadas, en vacío, con un rayo de protones de 2 MeV, emitido por un acelerador van de Graaf, y un tiempo de adquisición de 600 s. El detector de rayos X utilizado fue un detector de deriva de silicio (SDD), con filtro Mylar 54 μm , y el detector de partículas usado fue un RBS, 200 V. La corriente eléctrica utilizada fue de 200-300 pA. Los espectros obtenidos fueron analizados con los programas OMDAQ y GupixWin 2.1.4, calibrados con patrones. Fue necesaria la aplicación de una fina capa de grafito sobre las muestras metálicas.

Microscopia óptica

La observación de las muestras pictóricas montadas en resina fue realizada con un microscopio Axioplan 2ie Zeii equipado con luz incidente (fuente de luz de tungsteno, HAL 100), e luz UV (fuente de luz de mercurio, HBO 100); acoplado a una cámara digital Nikon DXM1200F, con un programa aplicativo Nikon ACT-1. Las muestras fueron observadas con un aumento óptico final de 50 \times , 100 \times , 200 \times y 500 \times).

Para la luz incidente las muestras fueron analizadas bajo luz polarizada cruzada. Para la luz UV fue usado filtro set 02 (BP 300-400, FT 395, LP 420).

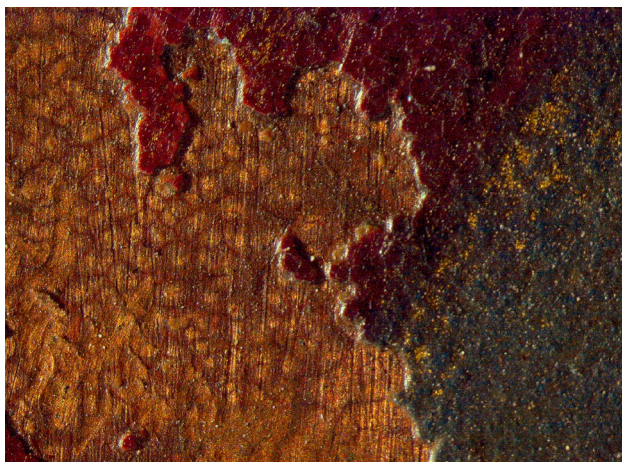


Figura 4. Observación por estereomicroscopia de una laguna de policromía.

μ-Raman

Para los análisis de la capa preparatoria por μ-Raman fue utilizado un espectrómetro Raman Horiba Labram (Stigmatic 300 mm *focal length spectrograph*), equipado con un microscopio confocal BX 40, con láser de He-Ne de 17 mW (632,8 nm) y un láser externo con potencia de 50 mW (532 nm). El láser fue concentrado utilizando un objetivo Olympus (50×).

Resultados y discusión

La observación con luz rasante del reverso de ambas láminas de cobre revela la existencia de una superficie ligeramente irregular con formas circulares, pudiendo ser indicador del método de elaboración utilizado para la producción de las mismas mediante el batido a martillo. La técnica radiográfica confirma que la placa no muestra una densidad homogénea en toda su superficie, pudiendo ser asociadas las zonas de mayor espesor (de color más claro)

y de menor espesor (más oscuro) con la fuerza aplicada durante el trabajo mecánico de la lámina (Figura 3).

Los resultados obtenidos por μ-PIXE revelan que las placas de cobre presentan una elevada pureza, con una concentración superior al 98 % cobre. Estaño, plomo, níquel, hierro y arsénico son otros elementos detectados en baja cantidad. Estos resultados coinciden con la información de las fuentes primarias sobre metalurgia que refieren la necesidad de que el material sea puro para poderse trabajar, en este caso para obtener una placa [42].

Las observaciones realizadas por estereomicroscopio en lagunas de la pintura revelan que el soporte tuvo un tratamiento, con un abrasivo, previo a la aplicación de la capa de preparación, probablemente con la intención de aumentar la zona de contacto con los materiales aplicados a la lámina para crear zonas de agarre (Figura 4).

En cuanto a la capa preparatoria la observación por microscopia óptica de las estratigrafías revela que ambas pinturas presentan capa de preparación homogénea. Dicha capa en la pintura flamenca parece haber sido aplicada en un único estrato (Figura 5). Sin embargo, es posible que varias capas del mismo tipo de material/tinta fueran aplicadas sucesivamente cuando la capa anterior aún estaba fresca. Esto hace con que no sea posible distinguir entre ambas aplicaciones [43]. Por el contrario, en la pintura portuguesa parece que existen dos estratos ligeramente diferentes que forman la capa de preparación (Figura 6).

El espesor de la capa de preparación es relativamente fino y bastante uniforme en todas las muestras recogidas. Además, se observa una diferente granulometría y colores en los pigmentos presentes en esta capa. El análisis por espectroscopía μ-Raman reveló que los pigmentos utilizados fueron, principalmente, albayalde, bermellón, carbonato de calcio, pigmento a base de carbono (por ejemplo, negro carbón o negro humo) y óxidos férricos, hematita y goethita) (Tabla 6) [44-46]. Estos resultados son consistentes con los resultados obtenidos durante el estudio de la documentación del siglo XVII y XVIII, con excepción del carbonato de

Tabla 6
Bandas características de los pigmentos identificados por μ-Raman [44-46]

Muestra	Estrato	Pigmentos identificados	Número de onda (cm ⁻¹)
F2		Albayalde (2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂)	662vw, 690vw, 1048s, 1053s
		Carbonato de calcio (calcita, CaCO ₃)	162vw, 297vw, 1085vs
		Pigmento a base de carbón	1365vs, 1598vs
		Óxido de hierro (hematita, α-Fe ₂ O ₃)	220vs, 323vs, 1297m
		Goethita (α-FeOOH)	244vw, 299w, 385s, 488w
P2	1	Albayalde (2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂)	1048s, 1052s
	2	Albayalde (2PbCO ₃ ·Pb(OH) ₂)	640vw, 834vw, 1049s
		Bermellón (HgS)	253vs, 292w, 349-351m

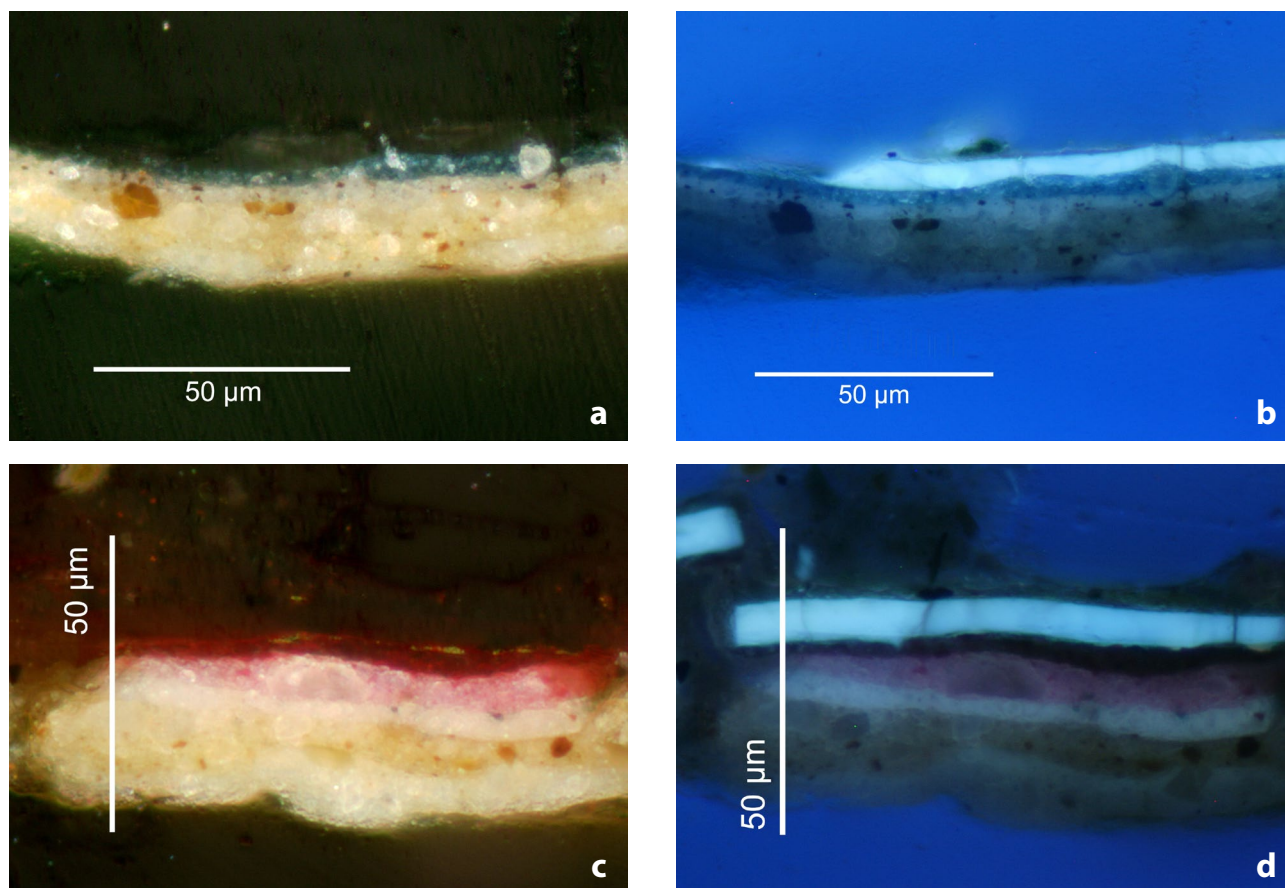


Figura 5. Observación por microscopia óptica de los cortes estratigráficos de las muestras tiradas de la pintura flamenca, F1 (a, b) y F2 (c, d), con una ampliación de 500X: a, c) luz visible polarizada; b, d) UV.

calcio. También, considerando los varios estudios existentes donde son presentados resultados analíticos sobre la capa de preparación (identificación de pigmentos y cargas), podemos decir que los resultados obtenidos son coherentes con dicha bibliografía (Tabla 7) [12, 47-52].

Es importante notar que en los cortes estratigráficos es posible identificar un estrato transparente verde por debajo de la preparación, que se piensa ser constituida por oleatos de cobre originados de la interacción del aglutinante oleoso utilizado en la ejecución de este tipo de pinturas con la lámina metálica [5, 9, 51, 53]. La

Tabla 7

Trabajos con identificación del aglutinante (por μ -FTIR) y de los pigmentos utilizados en la capa de preparación (por μ -Raman).

Referencia	N	Escuela	Siglo	Pigmentos				Aglutinante		
				A	B	C	D	Oleoso	Proteico	Oleoso/proteico
Broers [47]	1	–	XVII					✓		
Gomez [48]	2	–	XVII	✓		✓		✓		
Schmidt [12]	7	Al	XVI/XVII	✓	✓	✓				✓
Zacaron [49]	1	It	XVII	✓					✓	
Pitarch [50]	1	It	XVI	✓			✓	✓		
Oliveira [51]	1	Fl	XVII	✓	✓	✓		✓		
Veiga [52]	16	Pt	XVII/XVIII					1	1	14

N - número de obras estudiadas

Escuela: Al - alemana; It - italiana; Fl - flamenca; Pt - portuguesa

Pigmentos: A - albayalde; B - negro de carbón; C - ocre; D - carbonato de calcio

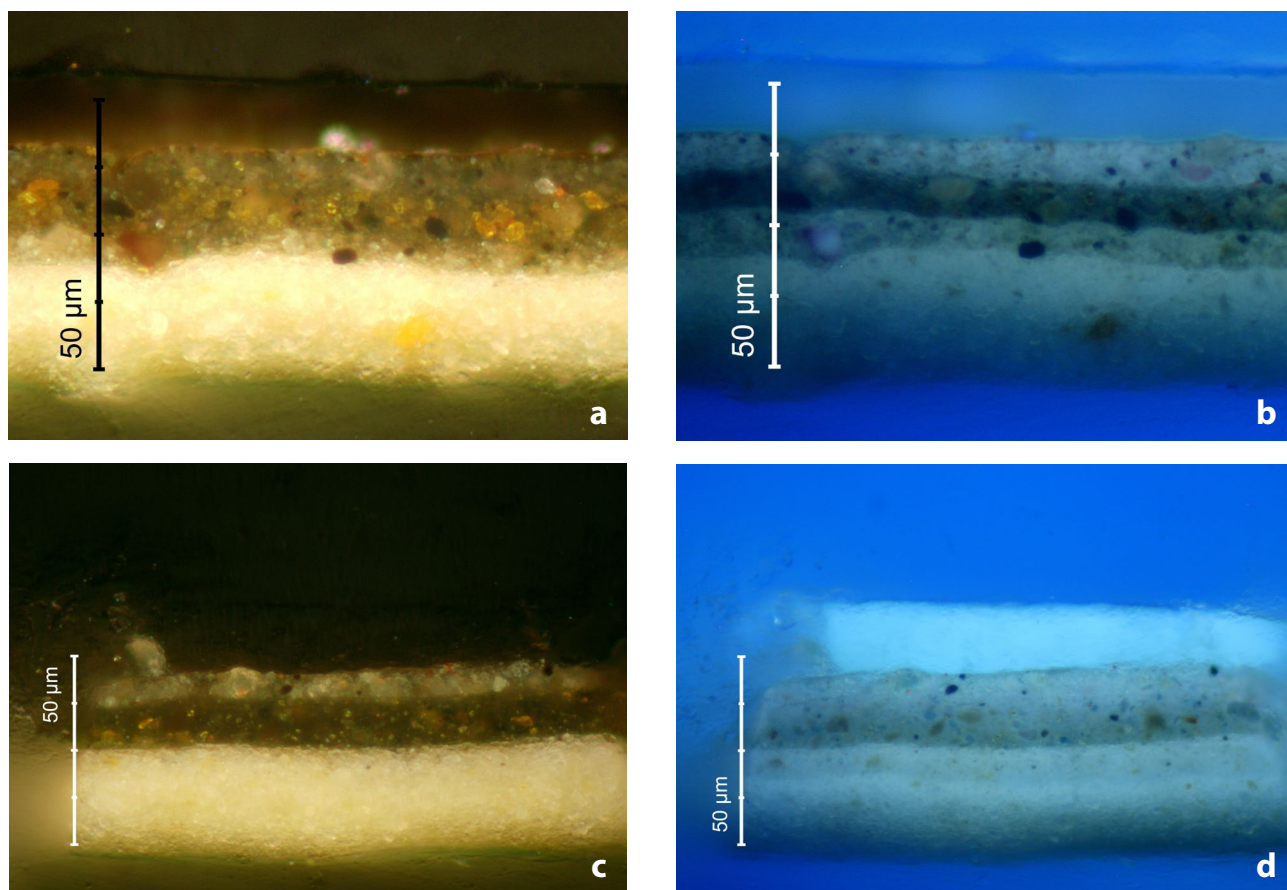


Figura 6. Observación por microscopia óptica de los cortes estratigráficos de las muestras tiradas de la pintura portuguesa, P1 (a, b) y P2 (c, d), con una ampliación de 500x: a, c) luz visible polarizada; b, d) UV.

función de la capa de oleatos de cobre es controvertida, ya que se piensa que tanto es responsable de favorecer los mecanismos físicos y químicos que permiten la adhesión del estrato pictórico al soporte en una fase inicial de ejecución de la obra, así como también estar relacionada con los fenómenos que provocan el destacamento de la policromía durante el envejecimiento de los materiales constituyentes de la pintura [51, 53]. Siendo de importancia su consideración durante la fase de tratamiento de este tipo de obras, por ejemplo durante la limpieza química, donde algunos solventes con alto poder de penetración son capaces de degradar parte de esta capa, fragilizando la película pictórica.

Conclusión

Este trabajo ha pretendido demostrar que el cruce de informaciones obtenidas del estudio desde una perspectiva de la historia del arte con el estudio de obras mediante exámenes y técnicas analíticas puede ser una herramienta útil para una mejor comprensión de las obras antes de su tratamiento, así como para obtener un nuevo conocimiento sobre las mismas.

Se ha intentado reunir el mayor número de literatura histórica de los siglos XVII y XVIII (un total de 20) para extraer información relevante sobre los materiales

y procedimientos utilizados para la ejecución de la capa de preparación en la pintura al óleo sobre cobre. Se han indicado los títulos de las obras, autores, ediciones, páginas exactas donde esta información puede ser consultada y se ha transcritto en el idioma original la información principal, para simplificar su acceso a quienes pretendan iniciar estudios sobre este campo específico, realizar sus propias interpretaciones de los textos antiguos comparar sus resultados analíticos no sólo con otros trabajos que ya hayan caracterizado este tipo de pinturas, sino también con las propias fuentes primarias.

Los resultados obtenidos a través del análisis de los dos casos de estudio confirman la información consultada en la literatura antigua, en lo que se refiere al modo de aplicación y los pigmentos utilizados en la capa de preparación. Así como están de acuerdo con la información analítica dada por otros estudios que identifican los mismos materiales. Sin embargo, hay que destacar que el estudio de los materiales y técnicas revela incluso nueva información que no está descrita en la literatura histórica consultada como el uso de cargas, concretamente el carbonato de calcio en la capa de preparación, así como indicios de la preparación del soporte antes de recibir la policromía, por la utilización de un abrasivo.

A pesar de no haber realizado un estudio del tipo de aglutinante utilizado en los dos casos de estudios, otros

trabajos han identificado, a través del análisis por FTIR, tres situaciones posibles de aglutinante para este tipo de obras: exclusivamente bandas que indican la utilización de un óleo secativo, únicamente bandas que identifican un material proteico (por ejemplo, yema de huevo) o las dos situaciones anteriormente referidas en simultáneo para la misma pintura (Tabla 7) [12, 47-52].

Tal como otros autores ya mencionaron en otros estudios, se verifican alteraciones provocadas por la utilización específica de algunos materiales, como es el caso de la camada verde, de oleatos de cobre, observada por microscopia óptica, que se origina de la interacción química del soporte metálico con el aglutinante oleoso utilizado.

Este trabajo, también llama a la reflexión sobre el dilema que muchas veces un conservador-restaurador o científico tiene frente a las obras que pretende estudiar, como fue el caso de las muestras recogidas para análisis con μ -PIXE. A pesar de que en la actualidad existen un gran número de técnicas analíticas no-invasivas o micro-invasivas (cada vez con mayor grado de sensibilidad y necesidad de muestras más pequeñas), existen aspectos de los materiales que sólo pueden ser estudiados mediante el muestreo invasivo del objeto. Muestreo que es irreversible y 'daña' la obra permanentemente. Por eso, la recogida de muestras de una obra debe ser siempre cuidadosamente planeada; discutida con otros profesionales y responsables de las colecciones; los lugares de muestreo deben ser representativos y lo menos intrusivos posibles, evitando alterar significativamente el aspecto/mensaje de las obras; y justificada en base al nuevo conocimiento que de ellas se extraigan, que deben compensar el muestreo del material o las posibles críticas a la metodología utilizada.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Victoria Corregidor Berdasco y Luis Cerqueira Lopes (C²TN, Instituto Superior Técnico, Campus Tecnológico e Nuclear, Universidade de Lisboa,) por el acceso y apoyo prestado durante los análisis por μ -PIXE.

ORCID

Leslie Carlyle

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

Referencias

- van de Graaf, J. A., 'Development of oil paint and the use of metal plates as a support', in *Conservation and Restoration of Pictorial Art*, eds. N.S. Bromelle & P. Smith, Butterworth-Heinemann Limited, London (1976) 48-51.
- Bowron, E. P., 'A brief history of European oil paintings on copper, 1560-1775?', in *Copper as Canvas: Two Centuries of Masterpiece Paintings on Copper, 1575-1775*. Phoenix Art Museum, ed. M. Komanecy, Oxford University Press, New York (1999) 9-30.
- Horovitz, I., 'Copper as a support for easel paintings', in *Conservation of Easel Paintings*, eds. J. H. Stoner & R. Rushfield, Routledge, Abingdon (2012) 99-106.
- Bazzi, M., *Notizie della Pittura su Metallo*, Luigi Alfieri, Milano (1939).
- Stijman, A., *Engraving and Etching 1400-2000. A History of the Development of Manual Intaglio Printmaking Process*, Archetype Publications, Ltd., London (2012).
- Broers, N., 'La peinture sur cuivre: la brilliance et au-delà', in *Glans in de Conservatie-restauratie : Postprints Van de Internationale BRK-APROA / Onroerend Erfgoed studiedagen*, 7 ed., M. Buyle, Onroerend Erfgoed, Brussel (2013) 68-77.
- Terenzi, M. G.; Ferruci, F.; Amadori, M. L., *Dipinti Su Rame: Storia, Técnica, Fenomeni di Degrado, Diagnostica; Indicazioni Per la Conservazione e il Restauro*, Il Prato, Saonara (2006).
- Vasari, G., *Lives of the Most Eminent Painters Sculptors and Architects. Fra Giocondo to Niccolo Soggi*, translator G. C. De Vere, vol. 6, London (1913).
- Horovitz, I., 'The materials and techniques of European paintings on copper supports' in *Copper as Canvas: Two Centuries of Masterpiece Paintings on Copper, 1575-1775*. Phoenix Art Museum, ed. M. Komanecy, Oxford University Press, New York, (1999) 63-92.
- Leegenhoek, I., 'Les tableaux peints sur cuivre. Origine, constitution, conservation', informe, Institut Française de Restauration des Œuvres d'Art, Paris (1986).
- Spring, M., 'A copy of the painting "Pan and Syrinx in Classical Landscape" by Martin Ryckaert from the Fitzwilliam Museum', informe, Hamilton Kerr Institute, Cambridge (1991).
- Schmid, A., 'Silbrige metallüberzüge auf kupferbildträgern. untersuchungen zur materialität, applikationstechnik undfunktion anhand ausgewählter beispiele mit fokus auf adam elsheimers Frankfurter kreuzaltar', tesina de master, Berner Fachhochschule (2013).
- Stols-Witlox, M.J.N., 'Historical recipes for preparatory layers for oil paintings in manuals, manuscripts and handbooks in North West Europe, 1550-1900: analysis and reconstructions', tesis doctoral, Universiteit van Amsterdam (2014).
- Pacheco, F., *Arte de la Pintura, su Antigüedad y Grandeza*, Sevilla (1649).
- 'Tractado del arte de la pintura', manuscrito, Biblioteca Nacional, Madrid, MS. 5917, fol 172-187 (1656).
- Félibien, A., *Des Principes de l'Architecture, de la Sculpture; de la Peinture, et des Autres Arts qui en Dependent*, Paris (1676).
- De la Fontaine, J. H., *L'Academie de la Peinture*, Paris (1679).
- Eikelenberg, S., 'Aantekeningen over de schilderkunst', manuscrito, Regionaal Archief, Alkmaar, MS 390-394 (1679).
- Palomino de Castro y Velasco, A., *El Museo Pictorico y Escala Optica*, vol. 2, Madrid (1724).
- De la Hire, P., *Œuvres Diverses de M^r De la Hire, de l'Academie Royale des Sciences*, vol. 9, Paris (1730).
- Pernety, A.J., *Dictionnaire Portatif de Peinture, Sculpture et Gravure*, Paris (1756).
- Barrow, J. (ed.), *Dictionarium Polygraphicum*, 2.^a ed., vol. 2, London (1758).
- Dossie, R., *The Handmaid to the Arts*, London (1758).
- Hallen, J. S., *Werkstätte der Heutigen Künste, Oder die Neue Kunstgeschichte*, vol. 1, Brandenburg und Leipzig (1761).

- 25 De Piles, R.; Jombert, C. A., *Les Premiers Eléments de la Peinture Pratique*, Amsterdam (1766).
- 26 *L'École de la Miniature, ou L'art d'Apprendre a Peindre*, 9.^a ed, Paris (1769).
- 27 Grisellini F.; Fassadoni, M., *Dizionario delle Arti e de' Mestieri*, vol. 13, Venice (1772).
- 28 Watin, J. F., *L'Art du Peintre, Doreur, Vernisseur*, 2.^a ed, Paris (1773).
- 29 *Nieuwen Almanach der Konst-schilders; Vernissers, Vergulders en Marmelaers*, Ghent (1777).
- 30 Dutens, M. F., *Principes Abrégés de Peinture*, Tours (1779).
- 31 Le Pileur d'Apligny, *Traité des Couleurs Matérielles*, Paris (1779).
- 32 *The Golden Cabinet: Being the Laboratory, or Handmaid to the Arts*, Philadelphia (1793).
- 33 *Encyclopädie für Künstler*, vol. 2, Berlin (1795).
- 34 Carducho, V., *Dialogo de la Pintura*, Madrid (1633).
- 35 Nunes, F., *Arte da Pintura, Symetrya, e Perspetiva*, Lisboa (1615).
- 36 Stooter, J. *Arte de Brilhantes Vernizes, & das Tinturas*, Anveres (1729).
- 37 Lusitano, V., *O Insigne Pintor, e Leal Esposo*, Lisboa (1780).
- 38 Machado, C., *Conversações sobre a Pintura, Escultura e Architectura*, Lisboa (1794).
- 39 Biringuccio, V., *The Pirotechnia*, Dover publications, Inc., New York, 3.^a ed. (2015).
- 40 Agricola, G., *De Re Metallica*, Dover Publications, New York, 2.^a ed. (1950).
- 41 Scott, D. A., 'Physical and chemical examination of the copper plaques', in *Homer's Bane or Viral Hexameter. The Textualization of the Greek Alphabet*, ed. R. D. Woodard, Cambridge University Press, Cambridge (2014) 107-118.
- 42 Vega, D., 'Oil painting on copper: characterization of the copper support and the feasibility of using pigmented wax-resin infills for paint loss reintegration', tesina de master, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa (2016).
- 43 Carlyle, L.; Boon, J.; Haswell, R.; Witlox, M. 'Historically accurate ground reconstructions for oil paintings', in *Preparation for Paintings. the Artist Choice and Its Consequences*, eds. J. N. Townsend, T. Doherty, G. Heydenreich & J. Ridge, Archetype Publication Ltd, London (2008) 110-122.
- 44 Bell, I.; Clark, R.; Gibbs, P., 'Raman spectroscopic library of natural and synthetic pigments (Pre-~1850 AD)', *Spectrochimic Acta Part A* **53**(2) (1997) 2159-2179, [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(97\)00140-6](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(97)00140-6).
- 45 Burgio, L.; Clark, R., 'Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation', *Spectrochimic Acta Part A* **57** (2001) 1491-1521, [https://doi.org/10.1016/S1386-1425\(00\)00495-9](https://doi.org/10.1016/S1386-1425(00)00495-9).
- 46 Hanesch, M., 'Raman spectroscopy of iron oxides and (oxy) hydroxides at low laser power and possible applications in environmental magnetic studies', *Geophysical Journal International* **177**(3) (2009) 941-948, <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04122.x>.
- 47 Broers, N., 'La restauration et la conservation de la peinture sur cuivre. Exemple concret de restauration d'une oeuvre peinte sur cuivre "L'Apparition de la Vierge et l'Enfant a Saint Bruno"', informe, Institut Supérieur des Beaux-Arts, Saint-Luc, Liège (2002).
- 48 Gómez Lanzas, G., 'Pintura al óleo sobre cobre: estudio técnico y del estado de conservación de dos obras del siglo XVII', tesina de master, Universitat Politècnica de València (2013).
- 49 Zaccaron, S.; Grespan, C.; Ganzerla, R. 'Characterization of pigments on paintings on copper plate. A case study: the copy of La sepultura di Cristo by Federico Barocci', *Sciences at Ca'Foscari* **1** (2013) 48-56.
- 50 Pitarch, A.; Ramón, A.; Álvarez-Pérez, A.; Castro, K.; Madariaga, J. M.; Queralt, I., 'Multispectroscopic characterization of oil on copper painting', *Spectroscopy Letters: An International Journal for Rapid Communication*, **47**(1) (2014) 38-51, <https://doi.org/10.1080/00387010.2013.782319>.
- 51 Oliveira, M. L. 'A technical investigation of an oil painting on copper support, including a story on consolidants for treatment', tesina de master, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa (2015).
- 52 Veiga, A. 'Estudo arqueométrico de pinturas a óleo sobre cobre dos séculos XVII/XVIII do Museu de Évora', tesis doctoral, Universidade de Évora (2015).
- 53 Pavlopoulou, L. C.; Watkinson, D., 'The degradation of oil painted copper surfaces', *Reviews in Conservation* **7** (2006) 55-65, <https://doi.org/10.1179/sic.2006.51.Supplement-1.55>.

Recibido: 2016-12-11

Revisto: 2017-3-16

Aceptado: 2017-3-30

Online: 2017-4-3



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.
Para ver una copia de esta licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>.