

ALGUNS CONTRIBUTOS
DAS CIÊNCIAS PARA A
INVESTIGAÇÃO DE OBRAS
DE ARTE

*Some contributions from the sciences
to the investigation of artworks*

FRANCISCO PAULO DE SÁ CAMPOS GIL
Departamento de Física da Universidade de Coimbra
Centro de Física da UC (CFisUC)
fgil@fis.uc.pt
<https://orcid.org/0000-0001-7546-0288>

LÍDIA MARIA GIL CATARINO
Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra
Centro de Geociências da UC (CGeo-UC)
lidiagil@dct.uc.pt
<https://orcid.org/0000-0002-1476-7486>

DOI
https://doi.org/10.14195/0870-4112_3-5_4

Recebido em setembro de 2018

Aprovado em março de 2019

Biblos. Número 5, 2019 • 3.ª Série

pp. 71-103

RESUMO.

O estudo científico de uma obra de arte pode ajudar a esclarecer muitos aspectos do seu percurso, desde a sua execução até à actualidade. Uma caracterização detalhada dos materiais aplicados ajuda os historiadores de arte e os peritos em obras de arte a complementar os dados estilísticos e documentais, permitindo estimar uma datação, uma autoria e eventuais alterações que tenha sofrido ao longo do tempo, assim como a identificação de falsificações.

A descrição das abordagens comuns neste tipo de investigação é feita em função dos suportes das obras (pedra, madeira, metal, vidro, cerâmica, osso ou marfim, tecidos e documentos gráficos) e em função da sua decoração (distribuída por eventuais camadas de preparação, pintura e protecção). Apresentam-se as vantagens e desvantagens de cada técnica aplicada caso a caso.

Palavras-chave: Arte; Falsificação; Técnicas científicas; Caracterização; Identificação.

ABSTRACT.

The scientific study of an artwork can help clarify many aspects of its history, from its execution to the present time. A detailed characterization of the materials used helps art historians and art experts complement stylistic and documentary data, allowing them to estimate a date, an authorship and any changes the artwork may have undergone over time, as well as to identify forgeries.

The description of the common approaches in this type of research focuses on the artworks' medium (stone, wood, metal, glass, pottery, bone or ivory, fabric, and graphic documents) and their decoration (distributed by potential layers of preparation, painting, and protection). The advantages and disadvantages of each technique are presented on a case-by-case basis.

Keywords: Artworks; Forgery; Scientific techniques; Characterization; Identification.

INTRODUÇÃO

Seja uma peça de património móvel, seja um imóvel de potencial interesse patrimonial, o conhecimento dos materiais que a/o constitui revela muito sobre a sua origem e sobre os processos que sofreu, sejam eles de degradação, alteração, conservação e/ou restauro, assim como acrescentos e reutilização.

O tema “falsificação” é muito abrangente, podendo querer significar, no imediato, uma acção dolosa, mas, por vezes, não passa de uma identificação errada de um objecto de possível interesse cultural. Esta questão coloca-se insistentemente no contexto de obras de arte, por questões essencialmente patrimoniais. Ainda é um assunto em discussão a todos os níveis (Anjos, 2016, 2017).

O facto de uma obra de arte ser atribuída a um artista confere-lhe um estatuto mais ou menos elevado, de acordo com a consideração de que o “autor” usufrui no momento, seja em termos de qualidade na execução, seja pela novidade que introduziu no mundo das artes. Essa valorização justifica uma análise minuciosa do objecto.

Antes de se pensar em falsificações, há que caracterizar a obra de autor, através do estudo de obras bem documentadas e conhecidas. Esse estudo implica o envolvimento de historiadores de arte, em primeiro plano, que tentam detectar as características estilísticas e eventuais evoluções nas obras ao longo do tempo. Em seguida, pode abordar-se o conjunto de obras bem conhecidas e documentadas, verificando o tipo de materiais utilizados, assim como o seu modo de aplicação.

Entre outros aspectos, salienta-se neste momento, a “palette” de cores usada pelo artista, o uso dos materiais (ou a sua moldagem, no caso de uma escultura, por exemplo), bem como o modo de aplicação das tintas (o tipo de pincelada, por exemplo), etc. Consoante o tipo de objecto (materiais de suporte e de decoração), pode proceder-se a uma análise científica, de modo a identificar os materiais que constituem o suporte, o corpo e os possíveis revestimentos (incluindo a estratigrafia existente). Assim, a aplicação de variadas técnicas experimentais, descritas abaixo, ajudarão nesta tarefa de caracterização das obras de cada artista.

Cada uma das técnicas apresentadas pode contribuir para a detecção de cópias, restauros, reaproveitamentos e autenticação de obras. Contudo, em muitos casos não permite só por si chegar a conclusões quanto à verdadeira autoria da obra. Por exemplo, o tipo de pigmentos encontrados numa obra apenas indicia

uma barreira temporal alargada, pois durante muitos séculos foram usados os mesmos materiais, embora cada artista tivesse as suas preferências. A identificação de materiais (por exemplo, pigmentos) apenas introduzidos a partir do século XIX, numa obra datada de uma época anterior, indicia uma falsificação. Também uma peça metálica, ainda que com aspecto dourado, pode revelar-se de baixo valor no caso de não se tratar de ouro.

METODOLOGIAS

Pela observação directa à vista desarmada de um objecto de estudo, pode verificar-se uma série de características de base, fundamentais para definir os passos seguintes a dar, no sentido da sua análise de pormenor. Neste contexto, é feita a identificação do tipo de suporte usado na sua execução, assim como dos eventuais materiais de decoração aplicados: pintura sobre pedra, madeira, tela, tecido, vidro, papel, pergaminho, cerâmica, metal, etc.; construção edificada em pedra, alvenaria, tijolo, adobe, betão, madeira, etc.; escultura em pedra, madeira, gesso, cerâmica, metal, etc.; ourivesaria e/ou joalheria em metal, goma-laca com aplicações de pedra, gemas e outros materiais; utensílios em cerâmica, metal, madeira, osso, pedra, vidro, etc.; revestimentos decorativos em tecido, couro, vidro, etc.

Num segundo passo, verifica-se a estrutura do objecto de estudo em termos de possível estratigrafia, que pode revelar a existência de diversas intervenções sofridas ao longo do tempo.

Por último, e sempre que seja necessário, pode ser executado o estudo detalhado dos materiais que constituem os suportes e das várias camadas de revestimento que existam, usando as técnicas experimentais que melhor se adequem ao objectivo pretendido.

A par desta abordagem técnica, é fundamental o cruzamento da informação obtida passo a passo com a de especialistas de outras áreas do conhecimento como historiadores, historiadores de arte, arqueólogos, sociólogos, arquitectos, físicos, químicos, biólogos, geólogos, engenheiros, conservadores-restauradores, assim como conhecedores práticos de técnicas de construção, manufactura e uso dos vários materiais aplicados em cada tipo de caso de estudo.

Um aspecto relevante para este tipo de investigação é a contextualização do 'objecto de estudo', seja em termos de tipo de objecto (construção, escultura, pin-

tura, ourivesaria/joalheria, utensílio ou revestimento), seja em termos de estilo (corrente artística, por exemplo), seja em termos de documentação apenas ou informação sobre o seu percurso de vida.

O estudo comparativo entre o objecto de estudo e outros com a mesma contextualização é fulcral, para aferir a sua autenticidade e proveniência. Esta comparação processa-se a vários níveis, no pressuposto que se é detentor de informação exhaustiva de casos conhecidos, classificados e atribuídos. Isto implica um esforço adicional de caracterização temporal e material de casos referência, a partir de documentação e da identificação da constituição dos materiais que formam o objecto, aos níveis de suporte, estrutura de montagem, técnicas de execução e revestimentos, por exemplo. É sobretudo aqui que as técnicas laboratoriais entram em cena, usadas em paralelo ou sequencialmente (Fleming, 1908; Hughes et al., 2010; Almeida, 2012; Hwang et al., 2017).

EXECUÇÃO DE OBRAS DE ARTE

Um objecto de estudo pode ser composto por um suporte revestido ou ornamentado por materiais diferentes, ou constituído por um só tipo de material.

No caso de materiais decorados, consoante o tipo de suporte pode ser necessária a aplicação de uma camada de preparação, com a função de tapaporos, ou de evitar fenómenos de capilaridade (que levariam ao espalhamento incontrolado de uma tinta, por exemplo), ou de oferecer à camada pictórica ou outra uma adesão adequada. Esta primeira camada pode consistir em colas (de origem animal ou vegetal), em tintas (usualmente brancas), em cal, em gesso, etc., ou em preparados mais ou menos finos, consoante o objectivo e o que se pretende aplicar como camada decorativa. A camada decorativa pode ser metálica (por exemplo, o revestimento dourado de talha de madeira), pode ser constituída por pigmentos misturados com um aglutinante, por pastas coloridas, tecidos, etc. Consoante o material aplicado na camada decorativa, o material aglutinante varia na sua composição.

Por último, com funções de protecção mas também para conferir efeitos de brilho e vivacidade às cores, pode existir uma camada de material transparente e facilmente amovível (por exemplo, verniz). Esta camada de protecção funciona

de certo modo como uma camada de ‘sacrifício’, pois se se degradar, é substituída facilmente, sem prejuízo para a camada que protege.

Em alguns casos (como, por exemplo, documentos gráficos) o material de suporte leva apenas a preparação e sobre esta é aplicada directamente a tinta (escrita) ou pintura (decoração). A eventual pintura é feita usando pigmentos em solução ou corantes diluídos num meio líquido que posteriormente seca, fixando-se ao suporte. Por vezes um objecto não é decorado originalmente e por qualquer razão sofre alterações ou restauros.

Depois de seleccionar as amostras representativas de cada zona do objecto de estudo, pode proceder-se à sua identificação material, distinguindo-as geralmente entre suporte e decoração.

ANÁLISE DOS SUPORTES

Pedra

Na Fig. 1 são apresentados exemplos de diversos tipos de pedra nas várias aplicações de suporte em monumentos, casas comuns e obras de arte.

Se o objecto é executado em pedra (na sua totalidade ou como suporte), e dependendo de ser ou não possível a recolha de amostras, a sua identificação material pode ser feita através da utilização de técnicas laboratoriais (Mazel et al., 2008; Taelman et al., 2013; Gil, Catarino, 2017), como por exemplo:

i) A microscopia óptica com análises acessórias (com a utilização de luz polarizada, por exemplo) permite observar e identificar os minerais, recorrendo a características bem definidas como a forma e o modo como reagem à luz. Esta técnica obriga à recolha de uma amostra seguida da obtenção de uma lâmina delgada, sendo por isso uma técnica destrutiva (Germinario *et al*, 2017).

ii) A técnica de corte e desbaste da pedra pode ser estudada usando luz incidindo na superfície de modo rasante, salientando a sua rugosidade.

iii) A aplicação de reagentes químicos permite esclarecer dúvidas em alguns casos (por exemplo, alguns minerais e rochas, devido à sua composição química, reagem de modo efervescente quando sujeitos à aplicação de um ácido, ou alteram a sua tonalidade quando em contacto com certos outros reagentes, etc.).



a)



b)



c)



e)



d)

Fig. 1 – Exemplos de tipos de pedra aplicada como suporte: a) arenito (Fachada do Museu de Salamanca, Espanha); b) xisto (Cerdeira, Lousã, Portugal); c) calcário dolomítico (Torre de Almedina, Coimbra); d) granito (escultura do Egito, séc XV aC); e) calcário (Egito séc. VI-VII) (imagens d) e e) de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

iv) A análise de uma pequena quantidade de pó (pode ser menos que um miligrama) por difracção de raios-X permite identificar os materiais maioritários ao nível molecular e de estrutura cristalina, podendo-se distinguir, por exemplo, entre diferentes tipos de calcário, pelo facto de alguns conterem, além de calcite, outros compostos misturados, ou detectar efeitos de degradação, pelo aparecimento de compostos não originais (Catarino et al., 2018; Pinheiro et al., 2018) (Fig. 2);

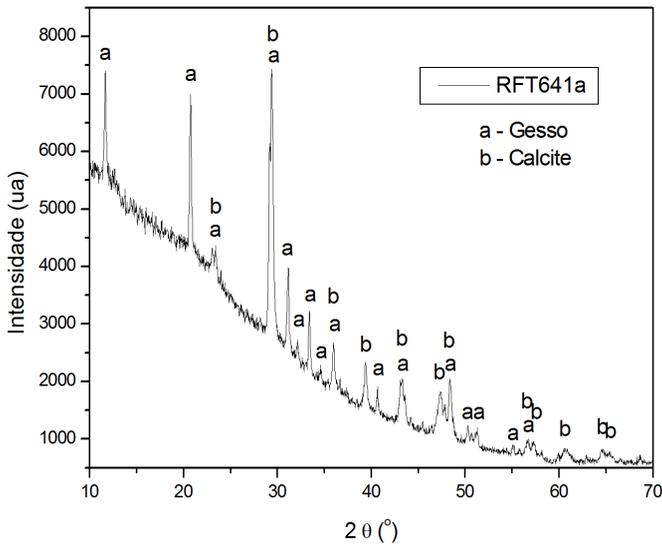


Fig. 2 – Diffractograma de amostra de revestimento de parede branca, mostrando a existência de calcite e gesso.

v) A utilização das técnicas de fluorescência de raios-X e de microscopia electrónica, associada a espectroscopia de dispersão em energia, permite identificar a constituição elementar (tipo de átomos) dos materiais em proporções ínfimas, medidas em parte por milhão (ppm), com vantagem relativamente à difracção de raios-X no que diz respeito à identificação de elementos traço ou vestigiais, que revelam diferenças subtis entre os vários materiais, permitindo

inclusivamente identificar a proveniência (por exemplo, rochas similares provenientes de pedreiras diferentes e com uma constituição em compostos majoritários idêntica, podem ser distinguidas pelo conteúdo ao nível dos elementos traço ou minoritários) (Melfos, 2008).

vi) Associada a esta análise, pode fazer-se uma análise estatística multivariada, que permite distinguir as amostras que diferem apenas nos conteúdos traço. Em casos como o apresentado na Fig. 3 e outros, pode distinguir-se a proveniência da pedra usada na manufactura do painel, atestando-se a sua associação a outros já estudados. Assim, um painel executado recentemente com materiais do mesmo tipo (como, por exemplo, calcário), e identificado com uma determinada época, pode ser “desmascarado” através deste tipo de análise laboratorial.

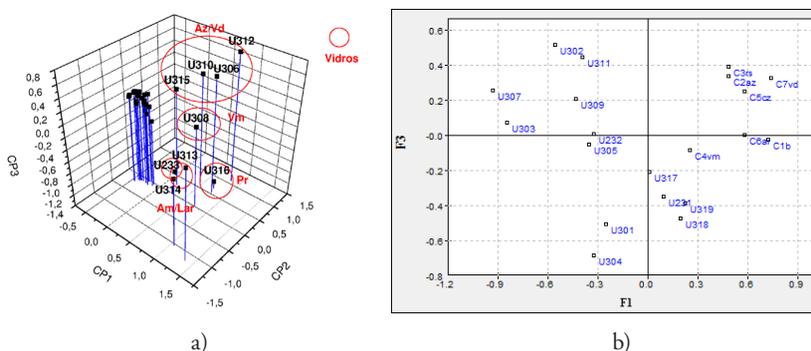


Fig. 3 – Análise estatística obtida a partir dos resultados da análise por fluorescência de raios-X, da composição elementar de tesselas de dois painéis de azulejos romanos: a) análise estatística demonstrativa da diferente composição das tesselas de vidro relativamente às outras (assinaladas dentro de círculos); b) a distinção entre as tesselas de um painel (pontos marcados com a letra c) e as do outro (marcadas com a letra u) (Carvalho, 2018a).

Madeira

Objectos constituídos por madeira (usada no seu corpo, revestido ou não, ou como suporte) podem ser analisados de vários modos (Carvalho et al., 2018b), consoante o tipo de objecto (Fig. 4):



a)



b)



c)

Fig. 4 – Objectos em madeira, decorada, embutida e esculpida: a) caixa egípcia de 1961-1878 aC; b) painel alemão do séc XVIII; c) netsuke, Japão, séc. XIX (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

i) O tipo de madeira usada pode ser identificado através da cor, do cheiro, do padrão dos veios, da densidade e da dureza (United Nations, 2016), observando um pedaço ao microscópio óptico (Tang et al., 2017) e fazendo uma lâmina delgada, a ser observada ao microscópio electrónico (a forma das células é um factor importante), se se puder retirar uma pequena amostra com cerca de meio centímetro de diâmetro.

ii) A reacção à luz ultravioleta também pode revelar certos tipos de madeira que reagem emitindo luz visível (efeito de fluorescência).

iii) Certas madeiras reagem a algumas substâncias químicas com mudança de cor.

iv) O modo como os objectos se apresentam estruturados e construídos, particularmente o corte e o encaixe entre as peças, pode ser também diferente de artista para artista e de época para época, ajudando na identificação estilística do autor e da possível alteração ou falsificação da obra (não nos podemos esquecer que, caso a madeira faça parte integrante da peça, a sua identificação e eventual datação pode determinar se é verdadeira ou não, mas se a madeira é apenas usada como suporte de uma tela, por exemplo, essa conclusão já não se pode tirar, uma vez que a tela pode simplesmente ter sido aplicada numa nova moldura [Fig. 5]).



Fig. 5 – Estrutura em madeira da parte de trás de um quadro (imagem de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

v) Através da técnica de radiografia também é possível verificar a forma como uma peça em madeira foi montada, por quantos pedaços é feita e que materiais serviram para a sua ligação (Fig. 6). A detecção de pinturas subjacentes pode servir para a identificação de reutilização e eventualmente alterações que a obra sofreu. Isso pode dever-se a uma escolha do próprio autor, ou a utilização por outro artista de um quadro anterior.



Fig. 6 – Radiografia (a) de pintura em madeira (b), salientando a estrutura da madeira de suporte e de pintura subjacente. Óleo em madeira, Bronzino, 1530 (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

vi) A idade da madeira após o seu corte pode ser avaliada recorrendo à utilização de técnicas de datação, nomeadamente a muito conhecida e falada técnica de datação por carbono 14 (^{14}C), que funciona contabilizando a proporção entre a quantidade de átomos do isótopo 14 de carbono e a quantidade de átomos do

isótopo 12 (o mais abundante na natureza). Mede-se a radiação emitida pelos átomos do isótopo ^{14}C do objecto em estudo, em comparação com a radiação emitida por um pedaço de madeira recentemente cortada, ou alternativamente por contabilização da quantidade de ^{14}C relativa, por Espectrometria de Massa. Esta técnica usa campos eléctricos e magnéticos para separar iões com massa e carga diferentes, e como os isótopos 12 e 14 de carbono diferem em massa, conferindo-lhes a mesma carga, conseguem-se separar facilmente. Estima-se assim a idade da madeira, contada a partir da data em que foi cortada, para períodos entre centenas de anos e 50.000 anos, com um erro de cerca de dezenas de anos. Se o objecto for feito de madeira, este processo atesta a sua idade aproximada, mas se a madeira é apenas usada como suporte (por exemplo, de um quadro), as conclusões acerca da ‘idade’ da peça já não são tão fiáveis, pois o corte da madeira usada pode ser muito anterior à execução da obra.

Convém, neste momento, alertar para que uma boa análise por este método depende fortemente da amostragem e do historial da peça. Se o objecto em estudo tiver permanecido em ambiente com condições estáveis (enterrado, encerrado em lugar isolado do ar fresco ou águas, por exemplo), a datação é fidedigna. Contudo, se o objecto, ou parte dele, esteve sujeito a humidades variáveis, a demasiadas manipulações ou a grandes variações de temperatura, as trocas de átomos de carbono do objecto com o meio circundante (um dos compostos mais abundantes na atmosfera e água é o dióxido de carbono, que permite esta troca em condições favoráveis) vão alterar a quantidade relativa do isótopo 14 e 12 de carbono, adulterando os resultados de datação.

Como foi referido atrás, o isótopo 14 do carbono existe em média numa certa quantidade relativa nos materiais orgânicos (que contêm carbono), enquanto o objecto estiver sujeito aos elementos naturais como o ar, a água, a radiação solar que o produz. Este equilíbrio de quantidades relativas verifica-se enquanto a taxa de produção do carbono 14 for semelhante ao seu desaparecimento por decaimento radioactivo natural. Quando deixa de haver trocas de carbono com o meio circundante, a taxa de criação do isótopo 14 baixa. Assim, este isótopo vai decrescendo com o tempo (o decaimento radioactivo natural do carbono 14 acontece de forma exponencial, de modo que, estatisticamente, o número de isó-

topos 14 decai para metade em cerca de 5 730 anos), permitindo estimar o tempo de alteração das condições de ‘isolamento’ do objecto.

Para o mesmo fim, dependendo da época em que foi produzido o objecto de estudo, pode usar-se outro tipo de isótopo.

A análise da informação genética da madeira (análise de DNA) pode também contribuir para esclarecer a idade da madeira usada numa determinada obra de arte (WWF, 2014).

Metal

Nos objectos em metal ou com base metálica (Fig. 7) (Valério et al., 2013) a sua composição química pode ser analisada usando a técnica de fluorescência de raios-X, que dá informação qualitativa e quantitativa sobre o seu conteúdo elementar com grande resolução (atingindo até um para um milhão) (Fig. 8).



Fig. 7 – Objectos em metal: a) escultura em latão, Nigéria, séc. XVIII/XIX; b) Cristo em liga de cobre, Rhine, 1150; c) relicário em prata e cobre, Portugal, séc. XX (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

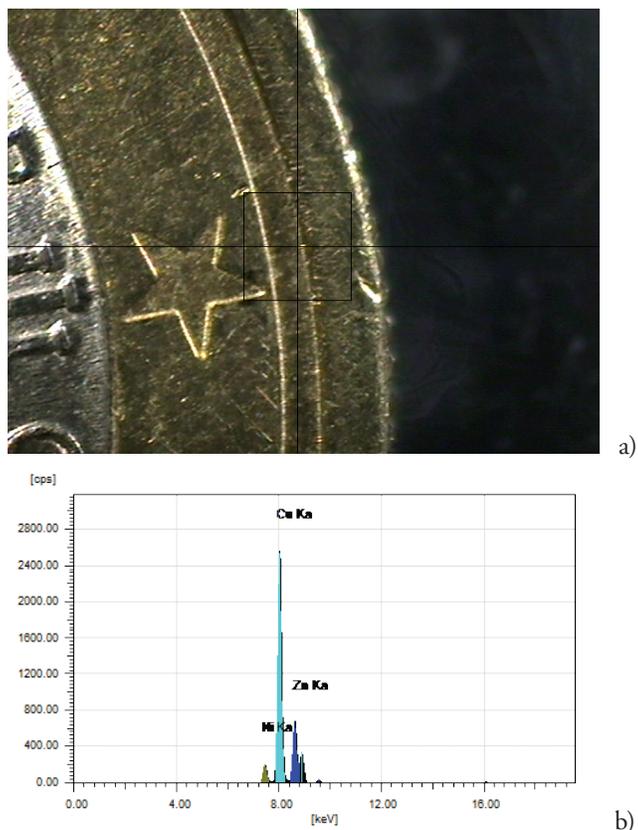


Fig. 8 – Moeda de 1 Euro (a) e espectro de fluorescência de raios-X da parte amarela (b) (a análise quantitativa dos componentes da liga revelou uma percentagem de níquel [85%], de cobre [76%] e zinco [19%]).

Existe no mercado aparelhagem de bancada (com possibilidade de analisar áreas com diâmetros entre centésimas de milímetro até alguns milímetros) e aparelhagem portátil (com possibilidade de analisar áreas com diâmetros da ordem dos milímetros). Esta técnica tem contudo algumas limitações, pois não permite identificar elementos químicos mais leves do que o sódio e, tendo os raios-X uma profundidade de penetração de algumas centésimas a décimas de

milímetro, em revestimentos com espessuras inferiores a esta ordem de grandeza, os elementos químicos que constituem o substrato são detectados, interferindo com a precisão dos resultados. Contudo, sabendo a composição da camada inferior, permite ainda assim estimar a espessura da camada do revestimento. Assim é possível calcular a composição de ligas metálicas (como por exemplo o tipo de liga de ouro). Na sequência da aplicação desta técnica, por vezes, é útil fazer-se análise estatística multivariada, que evidencia a composição elementar vestigial, ajudando na determinação da proveniência ou pelo menos na diferenciação de peças em termos de oficina.

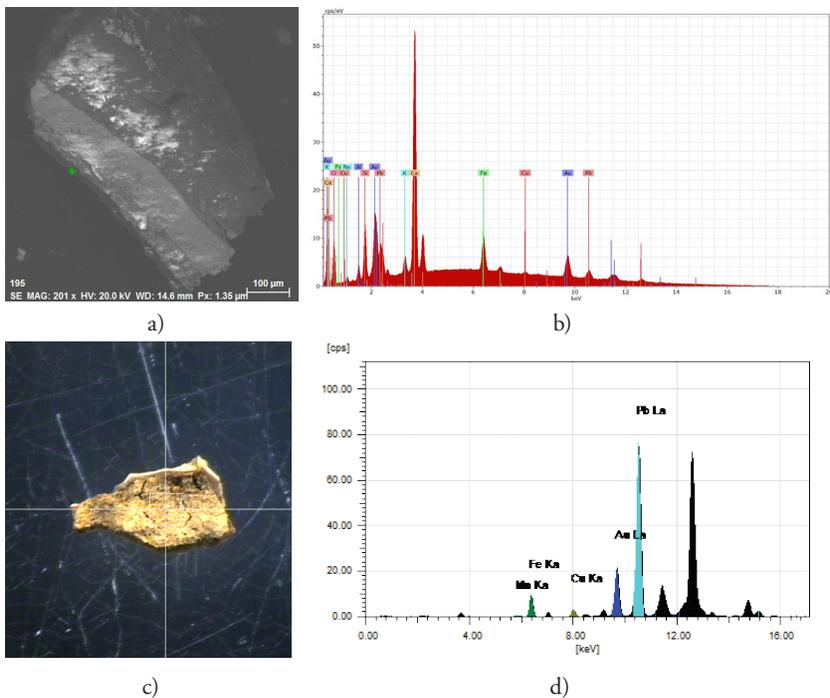


Fig. 9 – Amostras douradas de obras de arte, vistas ao microscópio electrónico (SEM) (a) com o respectivo espectro de emissão de raios-X (b) e ao microscópio óptico (c) com o respectivo espectro de fluorescência de raios-X (XRF) (d). É visível a estratigrafia da primeira amostra.

Existindo a hipótese de recolha de pequenas amostras, outra das técnicas que poderá ser utilizada é a difracção de raios-X e a microscopia electrónica, já referidas anteriormente no caso da pedra (Coxito, 2016) (Fig. 9).

Como se pode perceber, este tipo de técnicas é muito poderoso na identificação e validação de peças de joalharia e ourivesaria, podendo detectar-se falsificações muito facilmente.

Vidro

Para se caracterizar objectos em vidro ou cristal (Fig. 10), também a técnica de fluorescência de raios-X é uma das preferidas, uma vez que tanto permite verificar a composição elementar do substrato (vidro ou cristal) com grande resolução (detectando as componentes minoritárias), como identificar elementos químicos que estão na base da cor que apresentam (Fig. 11).

Podem assim distinguir-se dois vidros com aspecto semelhante, a partir da composição elementar vestigial.

A técnica de difracção de raios-X, quando possível, permite distinguir um cristal de um vidro comum (Fig. 12) (este último não apresenta um difractograma com picos, uma vez que é amorfo). Por cruzamento com casos conhecidos, pode eventualmente localizar-se a sua origem.

As gemas (pedras preciosas ou semi-preciosas, Fig.13) podem ser analisadas usando os mesmos princípios, pois no caso de pedras verdadeiras apresentam difractogramas característicos, distintos dos do vidro amorfo.

A composição química dos vidros associada à cor (vidro colorido em objectos de decoração, utilitários e vitrais) é também acessível pela análise elementar de componentes minoritários (Lima, 2012).

Assim, a partir destas análises é possível identificar falsas pedras preciosas de modo fácil e eficaz.

Cerâmica

No que diz respeito a cerâmicas e porcelanas (Fig. 14) (estas últimas aparecem no Ocidente a partir do Renascimento, vindas do Oriente) o estudo é muito mais complicado. A observação visual permite tirar ilações sobre a técnica de modelação, a forma, a existência de esmalte e pintura, o tipo de utilização e



a)



b)



c)



d)

Fig. 10 – Objectos em cristal e vidro: a) jarra em cristal de rocha, Prado, Espanha, 1550-1600; b) vaso de vidro colorido, Egipto, 664-332 aC; c) prato em vidro colorido, Grécia, séc. III aC; d) vitral, Alemanha, 1518 (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

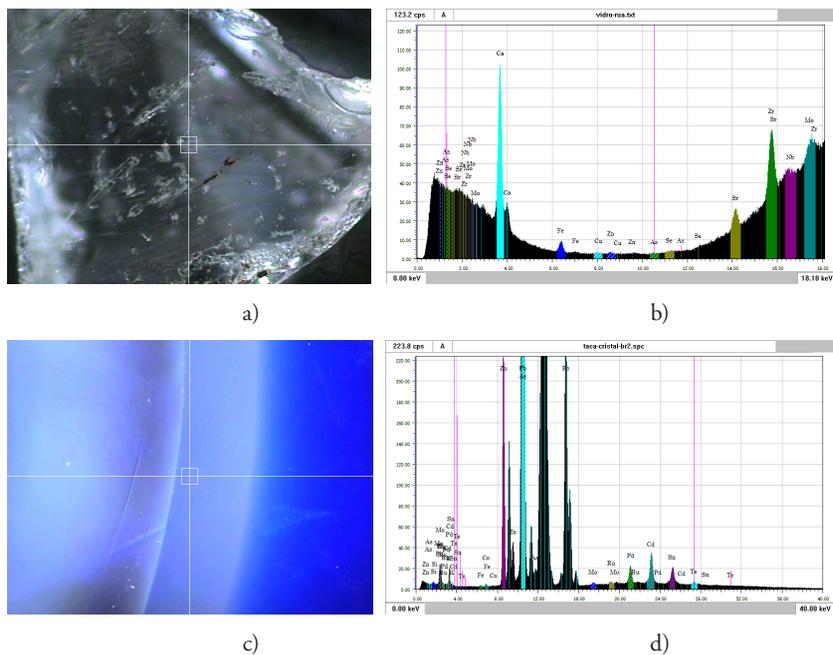


Fig. 11 – Pedaco de vidro (a) e respectivo espectro de fluorescência de raios-X (b) e cristal de chumbo (c) e respectivo espectro de fluorescência de raios-X (d).

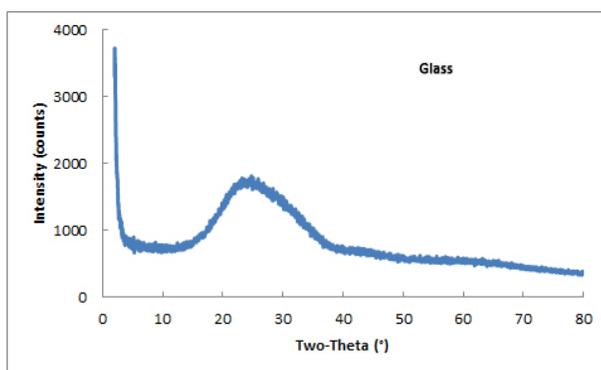


Fig. 12 – Diffractograma de um vidro amorfo.

desgastes sofridos ao longo do tempo. O registo fotogramétrico é um processo relevante nesta fase da observação de peças cerâmicas.



Fig. 13 – Filigrana em ouro com pedras, França, séc. VII (imagem de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

De entre as técnicas experimentais que permitem uma relação comparativa entre a cerâmica de cor avermelhada, com a proveniência da matéria prima, destaca-se a execução de ensaios de arqueologia experimental que inclui testes de cozedura a temperaturas variadas. Para o caso de cerâmicas avermelhadas, que contêm óxidos de ferro (por exemplo, cerâmica romana), uma outra abordagem consiste no estudo da resposta a campos magnéticos e da capacidade de magnetização da cerâmica, efeito que está relacionado com a intensidade do campo magnético local na época em que foi executada a peça e a temperatura a que foi cozida. Para este estudo é necessário ter informações de geomagnetismo, como base de dados.

A observação ao microscópio óptico e a análise por difracção de raios-X e por microscopia electrónica permitem observar e identificar o tipo de pasta (vitrificada ou não) usada na cerâmica. A pasta pode ser constituída por matéria calcá-

ria geralmente na forma de pó de pedra, argila (ferruginosa ou não) e elementos não plásticos (quartzo, mica, cerâmica moída, etc). A microscopia electrónica permite ainda avaliar o grau de friabilidade e compacidade da pasta, tendo uma ideia da porosidade.



Fig. 14 – Objectos em vários tipos de cerâmica: a) terracota, Chipre, 2000-1600 aC; b) Egipto, 3850-2960 aC; c) Egipto, sec XV; d) Coreia, sec XI-XII; e) faiança, Egipto, 1184-1153 aC; f) porcelana, China, 1737 (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

A análise da cor pode ser realizada recorrendo à técnica de espectrocolorimetria. Além do estudo das tintas, usando as técnicas de difracção de raios-X, fluorescência de raios-X e espectroscopia micro-Raman, técnicas igualmente uti-

lizáveis para os vidrados, com ou sem chumbo incluso (Coentro et al., 2014; Vilaça et al., 2018).

O vidrado, com ou sem chumbo incluso, pode ser analisado também através da técnica de fluorescência de raios-X.

Num painel de mosaicos romanos, o material constituinte das tesselas pode ser identificado e diferenciado relativamente à sua origem, usando essa mesma técnica de fluorescência de raios-X. Como exemplo, a identificação de tesselas feitas de cerâmica pode ser facilmente executada, diferenciando-as das de calcário (Carvalho, 2018a).

Os vestígios eventualmente encontrados de alimentos ou produtos que estiveram contidos nos objectos podem ser analisados ao Microscópio Electrónico (Fig. 15) e, caso se encontrem materiais biológicos, uma sequenciação de DNA (técnica de análise genética), associada a técnicas de cromatografia, pode ajudar à sua identificação (Carvalho et al., 2018b).

Ossos ou marfim

Objectos de osso ou marfim podem ser distinguidos entre si pela observação à lupa ou ao microscópio, pois enquanto o osso apresenta pequenos orifícios (por onde passaram pequenos vasos sanguíneos), o marfim apresenta linhas (cruzadas ou em círculos).

O osso é mais seco e rugoso e menos duro do que o marfim. Quanto à composição química, ambos contêm como composto maioritário hidróxi-apatite, pelo que os métodos de identificação deste composto (absorção no infravermelho e difracção de raios-X) só contribuem para os distinguir de outro tipo de materiais como marfim vegetal (composto essencialmente por celulose) e outros materiais compostos por resinas, carbonato de cálcio ou caseína (Espinoza et al., 1999; Buddhachat et al., 2016).

Tecidos

No caso de tecidos, incluindo telas (Fig. 16), além do tipo de trama e grossura de fio, há que observar os acabamentos.

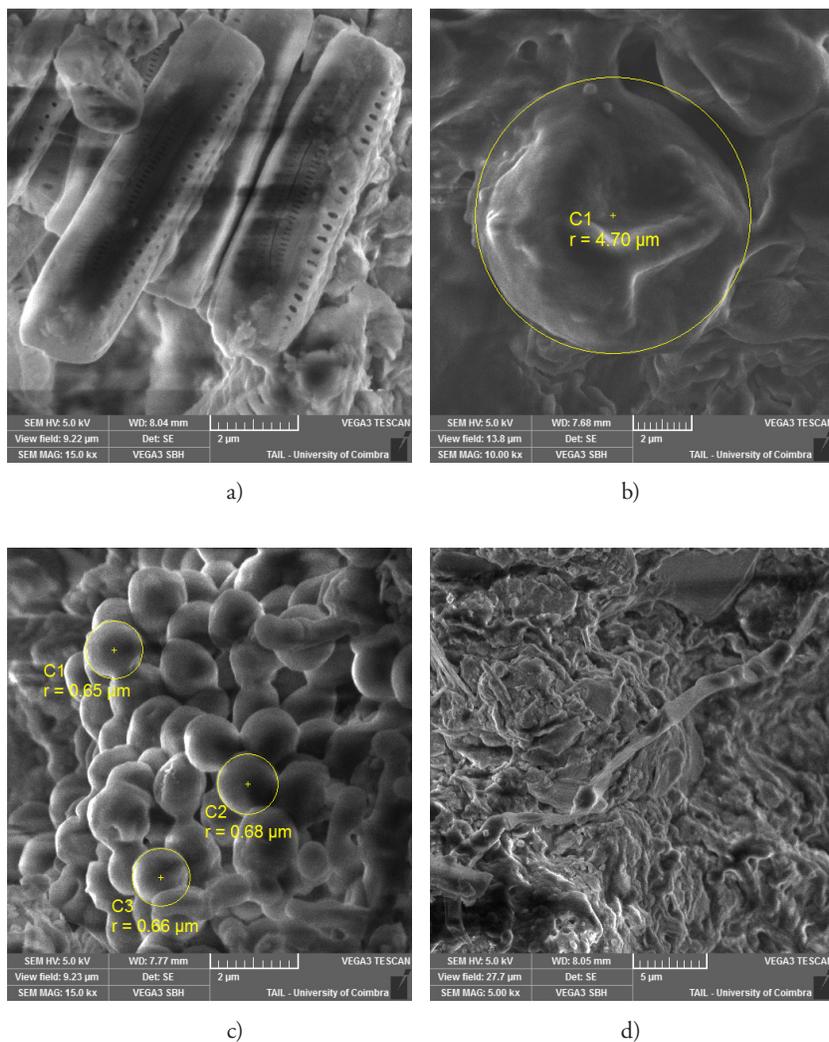


Fig. 15 – SEM de materiais orgânicos em pedra calcária.



a)



b)



c)



d)

Fig. 16 – Vários objectos em tecido: a) algodão, Perú, séc. VII-IX; b) linho, Egipto, séc. V; c) seda, França, 1760-1765; d) lã, seda e prata, França, 1686 (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

Além disso, a observação ao microscópio electrónico pode ajudar à identificação do tipo de planta ou animal que lhe deu origem.

No caso de pergaminho (Fig. 17), aplica-se esta mesma abordagem.



Fig. 17 – Pergaminho, 1150 (imagem de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

Como para o caso das madeiras, a utilização de técnicas nucleares de datação (o já mencionado método do carbono 14 , por exemplo) permitirão aceder a informação relevante acerca da sua contextualização e autenticidade. O tingimento e/ou pigmentação podem ser identificadas através das técnicas de absorção no infra-vermelho e Raman, podendo daí inferir-se a forma de execução e se os materiais são compatíveis com a época a que se pensa pertencerem.

Documentos gráficos

No que diz respeito a documentos gráficos e suas coberturas/encadernações, há que distinguir em primeiro lugar o tipo de suporte (papel, pergaminho, etc. Fig. 18).



Fig. 18 – Vários objectos em vários tipos de suporte: a) tinta a cor em papel, Japão, 1857; b) pergaminho 1150; c) aguarela sobre papel estufado, Detailla, 1891 (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

Pela observação à vista desarmada e à lupa ou ao microscópio, é possível fazer esta diferenciação entre os principais tipos de suporte gráfico. Também é viável identificar o tipo de material que lhe deu origem, como por exemplo o tipo de planta da qual se fez o fio, ou o tipo de pele animal que foi usada no pergaminho ou couro usado como suporte ou cobertura.

Utilizando técnicas analíticas como fluorescência de raios-X, microscopia electrónica, espectroscopia de absorção no infravermelho ou espectroscopia micro-Raman, pode descobrir-se a constituição dos produtos utilizados para dar corpo à folha (cargas), preparações base e aglutinantes usados no fabrico e preparação destes materiais.

É possível, por comparação com objectos já caracterizados, contextualizar o caso de estudo em questão através da análise dos materiais constituintes. Por exemplo, o tipo de materiais usados no papel foi variando ao longo do tempo, desde a sua introdução no mercado, entre restos de tecidos, fios de plantas ou de árvores, etc., assim como o método de fabrico, através das cargas e colas usadas

no seu tratamento. Em casos bem justificados, também se podem usar os métodos de datação referidos anteriormente. É assim possível, por vezes, datar um objecto destes e ajudar à sua autenticação.

ANÁLISE DE DECORAÇÃO

Uma primeira abordagem para o estudo das decorações que são aplicadas sobre os suportes é a observação à lupa e, caso seja possível extrair amostras milimétricas, a observação ao microscópio (Fig. 19). Através desta observação é fácil identificar a estratigrafia das amostras, reveladora da existência das camadas sucessivas de revestimento, nomeadamente repinturas ou retoques (Lopez, 2008). A partir da forma, cor e brilho, pode ter-se uma primeira ideia da técnica artística usada na sua aplicação.

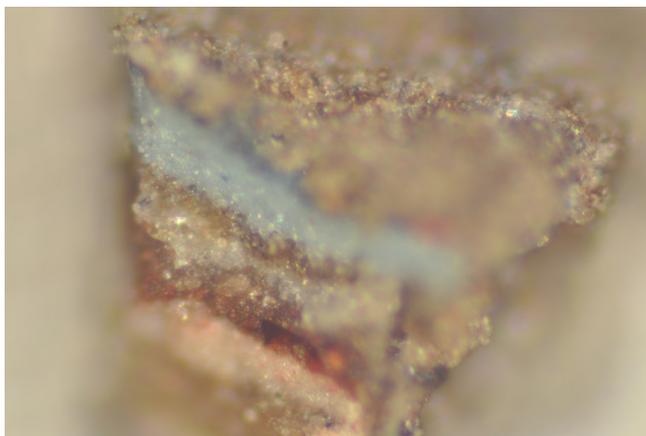


Fig. 19 – Imagem ao microscópio óptico de uma amostra de pintura sobre pedra, mostrando a sua estratigrafia.

No caso de quadros em tela ou madeira, objectos em madeira, em tecido, em papel ou pergaminho, ou muito pouco espessos, a técnica de radiografia (tal

como para o caso de alguns suportes) dá uma informação qualitativa sobre a eventual existência de materiais diferentes ou até de pinturas anteriores subjacentes.

A observação à luz infravermelha, que tem uma profundidade de penetração nos materiais superior à da luz branca, pode também revelar pormenores de desenhos subjacentes (Fig. 20), incluindo a possibilidade de estudar com pormenor assinaturas, e a iluminação com luz ultravioleta pode revelar de modo simples a existência de retoques no verniz.



Fig. 20 – Imagem iv (a) de pintura em madeira (b), salientando desenho subjacente. Óleo em madeira, Bronzino, 1530 (imagens de acesso livre, The Metropolitan Museum of Art. Consultado a 30-09-2018, <https://www.metmuseum.org/art/collection/search#!?searchField=All&showOnly=openAccess&sortBy=relevance&offset=0&pageSize=0>).

As técnicas mais comuns a serem usadas no estudo da decoração são a fluorescência de raios-X e microscopia electrónica com espectroscopia de dispersão em energia, para a identificação elementar de pequenas amostras (ambas as técnicas permitem observar partículas com dimensões inferiores a décimas de milímetro, como se disse atrás).

A identificação elementar, apesar de só dar informação sobre o conteúdo em termos atómicos (por exemplo, se contém cálcio, chumbo, ouro, mercúrio, etc.), permite estabelecer, dentro de limites conhecidos, a proporção relativa dos

vários elementos e permite fazer uma identificação de conjuntos de materiais que contenham esses elementos e que sejam compatíveis com o que se observou ao microscópio (por exemplo a cor, característica do tipo de composto em causa).

Quanto à técnica de fluorescência de raios-X, tem a vantagem de haver no mercado aparelhagem portátil, evitando-se a extracção de amostras. Contudo, a área de observação do objecto é superior ou igual a 3 milímetros de diâmetro, o que dificulta a separação entre camadas de pintura, por exemplo, que normalmente têm uma espessura de décimas de milímetro. Além disso, como os raios-X utilizados na fluorescência de raios-X penetram muito mais em profundidade do que os electrões usados na microscopia electrónica, os sinais obtidos por aquela técnica podem revelar os conteúdos de várias camadas em simultâneo (desvantagem), enquanto que por microscopia electrónica se consegue mais facilmente separar a informação de cada camada.

Por outro lado, e como se referiu acima, a técnica de fluorescência de raios-X não permite obter informação sobre materiais orgânicos (contrariamente à microscopia electrónica), uma vez que não é sensível à presença de átomos de carbono, oxigénio e azoto, comuns constituintes deste tipo de materiais (colas, vernizes, aglutinantes).

Como complemento ou alternativa àquelas técnicas, é comum usarem-se as técnicas de análise molecular de difracção de raios-X, espectroscopia micro-Raman, absorção no infravermelho e fluorescência no ultravioleta e visível, que permitem identificar compostos químicos (Benquerença et al., 2009; Lima et al., 2012).

Enquanto que a difracção de raios-X permite apenas identificar compostos cristalinos, com estrutura atómica ou molecular espacialmente regular, as outras técnicas já não têm essa limitação. Contudo, a maior parte dos pigmentos históricos tem estrutura cristalina e, por isso, é uma técnica muito poderosa.

A técnica de absorção no infravermelho é particularmente útil na análise de materiais orgânicos e a de espectroscopia micro-Raman, se usada com um laser adequado, e muito poderosa para a análise de compostos inorgânicos, permitindo ambas identificar uma gama de materiais maior do que a difracção de raios-X, sendo por isso complementares entre si.

A tinta usada na escrita pode ser facilmente identificada através de fluorescência de raios-X, enquanto que a tinta usada em pintura (gouache ou

aguarela) é mais facilmente identificada através de absorção no infravermelho (Fig. 18).

Para a análise de tingimentos (em que se usam essencialmente corantes), outra técnica que dá informação relevante é a de espectroscopia de fluorescência no ultravioleta e visível. Nestas zonas espectrais da luz, os materiais orgânicos usados para os tingimentos respondem à luz incidente emitindo luz um pouco diferente em frequência, sendo essa característica e dependente da constituição molecular do material.

Nos casos em que o material usado para dar cor aos objectos não era usado na época a que está atribuída, pode afirmar-se que essa obra não corresponde ao que se pensava, podendo ser um falso, ou simplesmente uma obra mais recente de outro autor.

CONCLUSÕES

À medida que a tecnologia evolui, vai sendo possível identificar vários tipos de materiais com maior precisão e em quantidades cada vez menores. Uma vez que a observação visual não é suficiente para distinguir certos materiais e é difícil perceber o que existe sob uma camada de pintura, por exemplo, é justificada a aplicação de técnicas de grande alcance em termos de amplificação de imagem, assim como de detecção de quantidades ínfimas de material.

Apesar das grandes possibilidades que as técnicas laboratoriais apresentam, é sempre importante ponderar os custos e o tempo da sua aplicação neste tipo de estudo. Além disso, sendo viável a sua utilização, é raro ter-se uma informação completa através do uso de apenas uma técnica, pelo que é necessário complementar a informação de conjunto e a obtida de outras fontes do conhecimento. É assim um trabalho forçosamente interdisciplinar.

Neste artigo sugerem-se abordagens variadas para cada tipo de material suporte e de decoração, descrevendo sucintamente cada técnica e as suas capacidades. Descrevem-se variados suportes de obras de arte (pedra, madeira, metal, vidro, cerâmica, osso ou marfim, tecidos e documentos gráficos) e de decorações, sugerindo a aplicação de técnicas experimentais diversificadas, escolhidas segundo critérios justificados.

Podemos assim ter uma visão global, embora não exaustiva, sobre como as áreas científicas podem e devem ser parceiras válidas das áreas das humanidades. Além disso, podemos afirmar que as análises científicas podem dar um contributo muitas vezes decisivo para a autenticação e caracterização de obras de arte, ou objectos com possível valor patrimonial.

BIBLIOGRAFIA

- Almeida, Pedro Filipe Marques (2012). *Análise e identificação de obras de arte*. Tese de Mestrado em Engenharia Informática, FCT, Universidade Nova de Lisboa.
- Anjos, Marlon José Alves (2016). *Falsificação e autenticidade. A arte como convenção*. Dissertação do Curso de Pós-Graduação em Artes, Instituto de Artes da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Brasil.
- Anjos, Marlon José Alves (2017). O estado da falsificação de obras de arte. *Art Sensorium, Revista Interdisciplinar Internacional de Artes Visuais*, 4 (1), 113-124 [UNESPAR, Brasil].
- Benquerença, Maria-João; Mendes, N. F. C.; Castellucci, E.; Gaspar, Vítor M. F.; Gil, Francisco P.S.C. (2009). Micro-Raman spectroscopy analysis of 16th century Portuguese Ferreirim Masters oil paintings, *J. Raman Spectrosc*, 40, 2135-2143.
- Buddhachat, K.; Klinhom, S.; Siengdee, P.; Brown, J. L.; Nomsiri, R.; Kaewmong, P. (2016). Elemental analysis of bone, teeth, horn and antler in different animal species using non-invasive handheld x-ray fluorescence, *Plos One* 11 (5), e0155458.
- Carvalho, Manuel José Silva Costa (2018a). *Mosaico da Coriscada. Metodologias de análise*. Tese de Mestrado em Património Cultural e Museologia, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- Carvalho, Hugo Paiva de; Mesquita, Nuno; Trovão, João; Fernández Rodríguez, Santiago; Pinheiro, Ana Catarina; Gomes, Virgínia; Alcoforado, Ana; Gil, Francisco; Portugal, António (2018b). Fungal contamination of paintings and wooden sculptures inside the storage room of a museum. Are current norms and reference values adequate?. *Journal of Cultural Heritage*. Consultado a 20-09-2018, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.05.001>
- Catarino, Lúcia; Gil, Francisco P. S. C.; Quinta-Ferreira, Mário; Marques, Fernando (2018). Characterization and rehabilitation of the ‘Porta Férrea’ stone materials, University of Coimbra, Portugal. *Environment Earth Sciences*, 77, 416.

- Coentro, Susana; Trindade, Rui A. A.; Mirão, José; Candeias, António; Alves, Luís C.; Silva, Rui M. C.; Muralha, Vânia S. F. (2014). Hispano-moresque ceramic tiles from the monastery of Santa Clara-a-Velha (Coimbra, Portugal). *Journal of Archaeological Science*, 41, 21-28.
- Coxito, Afonso (2016). *Estudo de ligas de ouro por XRF e SEM-EDS*. Tese de Mestrado em Engenharia Física, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Espinoza, Edgard O.; Mann, Mary-Jacque (1999). *Identification guide for ivory and ivory substitutes*. Oregon: National Fish & Wildlife Forensics Laboratory.
- Fleming, Stuart (1980). Detecting art forgeries, *Physics Today*, 33 (4), 34.
- Germinario, Luigi; Siegesmund, Siegfried; Maritan, Lara; Mazzoli, Claudio (2017). Petrophysical and mechanical properties of Euganean trachyte and implications for dimension stone decay and durability performance. *Environ Earth Sci*, 76, 739.
- Gil, Francisco; Catarino, Lídia (Coords.) (2017). *Os revestimentos e os acabamentos do Centro histórico de Coimbra. Um contributo para o seu estudo*. Coimbra: Almedina, CES-UC [Série Cidades e Arquitectura, n.º 5].
- Hughes, James M.; Graham, Daniel J.; Rockmore, Daniel N. (2010). Quantification of artistic style through sparse coding analysis in the drawings of Pieter Bruegel the Elder. *PNAS, Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 107 (4), 1279-1283.
- Hwang, S.; Song, H.; Cho, S.-W.; Kim, C. E.; Kim, C.-S.; Kim, K. (2017). Optical measurements of paintings and the creation of an artwork database for authenticity. *Plos One* 12 (2), e0171354.
- Lima, Augusta; Medici, Teresa; Pires de Matos, António; Verità, Marco (2012). Chemical analysis of 17th century Millefiori glasses excavated in the Monastery of Sta. Clara-a-Velha, Portugal. Comparison with Venetian and façon-de-Venise production. *Journal of Archaeological Science*, 39, 1238-1248.
- López, Jorge Rivas (2008). *Policromías sobre piedra en el contexto de la Europa medieval. Aspectos históricos y tecnológicos*. Tese doutoramento, Facultad de bellas artes da Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- Mazel, Vincent; Richardin, Pascale; Debois, Delphine; Touboul, David; Cotte, Marine; Brunelle, Alain; Walter, Philippe; Laprévote, Olivier (2008). The patinas of the DogonéTellem statuaries. A new vision through physico-chemical analyses. *Journal of Cultural Heritage*, 9, 347-353.
- Melfos, Vasilios (2008). Green Thessalian stone. The Byzantine quarries and the use of a unique architectural material from the Larisa area, Greece. Petrographic and geochemical characterization. *Oxford Journal of Archaeology*, 27 (4), 387-405.

- Pinheiro, Ana Catarino; Mesquita, Nuno; Trovão, João; Soares, Fabiana; Tiago, Igor; Coelho, Catarina; Carvalho, Hugo Paiva de; Gil, Francisco; Catarino, Lúcia; Piñar, Guadalupe; Portugal, António (2018). Limestone biodeterioration. A review on the Portuguese cultural heritage scenario. *Journal of Cultural Heritage*. Consultado a 20-09-2018, <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.07.008>
- Taelman, Devi; Elburg, Marlina; Smet, Ingrid; De Paepe, Paul; Lopes, Luís; Vanhaecke, Frank; Vermeulen, Frank (2013). Roman marble from Lusitania. Petrographic and geochemical characterisation. *Journal of Archaeological Science*, 40, 2227-2236.
- Tang, Xin Jie; Tay, Yong Haur; Siam, Nordahlia Abdullah; Lim, Seng Shoon (2017). A rapid and robust automated macroscopic wood identification system using smartphone with macro-lens. *9th Pacific Regional Wood Anatomy Conference (PRWAC 2017)*. Bali, Indonesia: [s. ed.].
- United Nations Office on Drugs and Crime (2016). *Best practice guide for forensic timber identification*. Vienna: Laboratory and Scientific Section and Global Programme for Combating Wildlife and Forest Crime.
- Valério, Pedro; Soares, António M. M.; Silva, Rui J. C.; Araújo, Maria Fátima; Rebelo, Paulo; Neto, Nuno; Santos, Raquel; Fontes, Tiago (2013). Bronze production in Southwestern Iberian Peninsula. The Late Bronze Age metallurgical workshop from Entre Águas 5 (Portugal). *Journal of Archaeological Science*, 40, 439-451.
- Vilaça, R.; Soares, I.; Osório, M.; Gil, F. (2018). Cerâmicas pintadas de 'tipo Carambolo' na Beira Interior (centro de Portugal). *Spal*, 27 (2), 55-88.
- WWF Information (2014). *Forensic methods used to verify the declared species and origin of wood*. Consultado a 20-09-2018, https://forestlegality.org/default/files/2014_04_15_Forensic%20methods_overview_WWF_D_Information.pdf

[texto escrito no antigo acordo]

