

Caracterização da densidade das lacunas em superfícies pictóricas com recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG)

Characterization of lacunae density in pictorial surfaces using GIS software

Frederico Henriques
UCP - E.Artes / CITAR
frederico.painting.conservator@gmail.com

Alexandre Gonçalves
IST - Dep. Eng. Civil e Arquitectura
alexg@civil.ist.utl.pt

Ana Calvo
UCP - E.Artes / CITAR
acalvo@porto.ucp.pt

Resumo

Este estudo trata da aplicação de técnicas simples de processamento de imagens, em ambiente de sistemas de informação geográfica (SIG), tendo por base uma fotografia digital de pormenor de uma pintura retabular. O objectivo consiste em documentar, de modo semi-automático, a densidade de lacunas, através de um método de reclassificação, do tipo de limiarização (thresholding), e de algoritmos de estimação de densidade de pontos. A imagem fotográfica que se usa no exercício diz respeito ao painel da “Ressurreição de Lázaro”, obra do século XVI, pertencente à Charola do Convento de Cristo, em Tomar. O resultado final é um mapa temático das patologias do tipo de lacunas.

Palavras-chave

Conservação; Pintura retabular; Caracterização de lacunas; Estimação de densidade; Sistemas de informação geográfica; Mapa temático de patologias.

Abstract

This study deals with the application of simple image-processing techniques, in environment of geographic information system (GIS), on a detailed digital photography of a retabular painting. The aim is to register the lacunae density in a semi-automatic way, through a method of reclassification, like thresholding, and an algorithm of Kernel density estimation (Parzen-Rozenblatt method). The digital photography image used on exercise shows a detail of a 16th century panel painting, named “Resurrection of Lazarus”, from the Rotunda of Christ Convent, in Tomar, Portugal. The final result is a thematic pathologies map of lacunae type.

Keywords

Conservation; Altarpiece painting; Lacunae characterization; Density estimation; Geographic information systems; Thematic pathology map.

■ Introdução

No trabalho aqui descrito utilizou-se como caso de estudo uma imagem de um pormenor de uma pintura sobre madeira, do século XVI, com lacunas evidentes. A obra, alusiva ao tema da “Ressurreição de Lázaro”, atribuída pela fortuna crítica à oficina quincentista portuguesa do Mestre Jorge Afonso [1], pertence à Charola do Convento de Cristo, em Tomar (figura 1).

O objectivo é extrair e caracterizar as lacunas presentes na obra explorando a estimação de densidade, uma das ferramentas de análise espacial presentes num Sistema de Informação Geográfica (SIG). Essa caracterização, segundo a metodologia apresentada, poder-se-á constituir como uma proposta para a apreciação das regiões da pintura que apontam para um maior risco ao destacamento. Neste trabalho, as operações aplicadas foram a reclassificação e os estimadores de densidade disponíveis no *software* utilizado. A imagem fotográfica utilizada no exercício tem representado o panejamento

azul, numa das figuras do lado esquerdo da composição (figura 2). O registo fotográfico digital foi produzido no decurso de um programa de trabalhos conduzido pelo Ministério da Cultura [2]. A imagem fotográfica digital utilizada no exercício foi obtida durante uma fase intermédia da intervenção, após aplicação de massas de preenchimento brancas (*Modostuc*®) e antes da primeira fase da reintegração cromática. Esta fase da intervenção configura o melhor momento para apreciar o objecto artístico original ou o que tem de adição de anteriores restauros. Numa fase intermédia, após a aplicação de massas de preenchimento, pelo facto de serem brancas, estas constituem um elemento chave no processo da identificação semi-automática das lacunas. De seguida, anotam-se os procedimentos efectuados na caracterização.

No presente texto utiliza-se a designação “lacuna” quando está em causa uma zona de perda do material pictórico original [3]. Essa ausência de material pode ser de pequenas dimensões, frequentemente visível à vista desarmada. A mesma não deverá confundir-se com a rede de fissuras (*craquelures*).



Fig. 1 Vista geral do painel da “Ressurreição de Lázaro” durante a intervenção de conservação e restauro.



Fig. 2 Pormenor da região de lacunas.

Para fazer uma avaliação do potencial de destacamento do extracto cromático ponderam-se vários factores: as condições de conservação do suporte, a técnica de pintura, a qualidade da adesão entre estratos cromáticos, a coesão das partículas constituintes da camada cromática, o meio ambiente e, em geral, as condições de comportamento mecânico dos materiais [4]. Apesar de não ser fácil associar as lacunas e o seu potencial de risco aos preenchimentos lacunares presentes nas pinturas, infere-se na presente investigação que quanto maior for a área de lacuna exposta ou preenchida, maior será a possibilidade de ocorrerem destacamentos. Isto, no caso de uma falta de material, ou na situação onde exista preenchimento de massas, revela maior susceptibilidade no surgimento de processos de instabilidade material, como resposta a fenómenos de contracção e dilatação dos materiais não originais.

O processo de documentação em Conservação e Restauro (C&R) envolve, no sentido lato, um conjunto diverso de formas de registo e aquisição de informação, o uso dos dados obtidos e a respectiva interpretação [5, 6]. Como tal, é comum serem efectuados registos fotográficos e gráficos [7], sendo o método fotográfico o mais corrente na documentação do Património, antes, durante e depois das intervenções, acompanhando relatórios técnicos do estado de conservação das obras. Actualmente, por via da emergência dos sistemas digitais, caiu em desuso a utilização da fotografia de película e sua posterior impressão. Apesar de o processo digital apresentar em algumas situações certas desvantagens, associadas sobretudo à qualidade das imagens, por se tratar de um método económico e acessível generalizou-se a sua aplicação no acompanhamento das intervenções. No entanto, a vantagem da utilização de modelos digitais permite produzir arquivos gráficos versáteis. Algumas das vantagens no uso de *software* para a caracterização de superfícies pictóricas dizem respeito à possibilidade de obter informação destas sem contacto físico, por via da interpretação da imagem utilizada correntemente em C&R. Neste contexto, a documentação gráfica das intervenções, na forma de mapa temático, é essencial no projecto, no acompanhamento das acções conservativas e no final das acções. Para tal, o modelo corrente do cadastro das patologias faz-se com desenhos a mão livre, por decalque ou, recentemente, com o recurso a programas de imagem, por exemplo, do tipo do *Photoshop™*,

Gimp™, *Paintshop Pro™*, *Ulead Photo Impact™*, *Photo Paint™*, a fim de trabalhar sobre os registos fotográficos.

Existe ainda disponível no mercado diverso *software* orientado para o processamento de imagens que opera com cálculo numérico ou é adaptável através de linguagens de programação. Estes programas podem estender as capacidades de documentação através da aplicação de medidas estatísticas e de análise a outros domínios como a detecção de padrões, e a classificação de zonas que apresentem características homogéneas na imagem. Embora por esta via seja possível registar as alterações do material numa pintura, o ensaio apresentado enquadra-se no âmbito da extracção e interpretação de informação mediante a aplicação de análise espacial com recurso a Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Constate-se que, de forma complementar, apesar de não ser focado no presente estudo, também se enquadram no contexto do cadastro documental as aplicações de *computer-aided design and drafting (CAD)*, modelação tridimensional e a elaboração de bases de dados com capacidade de registo e de conhecimento do espaço físico das obras.

As técnicas de análise espacial são um campo de investigação dos SIG relacionado com a manipulação de dados geográficos. Servem para colocar questões analíticas sobre os fenómenos e contribuem para a descrição das propriedades e das relações espaciais (por exemplo, a distância, a adjacência e parâmetros de forma) dos diversos elementos constituintes do espaço. Apesar de não ser frequente a sua aplicação na C&R de Bens Culturais móveis, podem servir na caracterização e optimização da qualidade dos diagnósticos do estado de conservação das pinturas. Para além da sua aplicação num SIG, a informação adquirida tem a particularidade de ser facilmente estruturada e manipulada do ponto de vista informático e partilhada entre os diversos intervenientes na Preservação do Património.

■ Documentação e análise com o SIG

Um SIG é uma combinação de sistemas de *hardware*, *software*, informação espacial e de procedimentos computacionais que permitem e facilitam a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenómenos geográficos. No sistema temos vários arquétipos operáveis: as bases

de dados com informação georreferenciável do tipo alfanumérico, os modelos matricial (*raster*) e vectorial. O modelo matricial centra-se nas propriedades do espaço, compartimentando-o em células regulares (correspondentes aos pixels de uma imagem digital) organizadas por linhas e colunas, onde cada uma tem um valor numérico próprio. No modelo vectorial, a representação dos elementos espaciais utiliza três formas: ponto, linha e polígono. Constate-se que é possível efectuar a conversão entre os dados em formato matricial e vectorial. Um SIG tem também a possibilidade de separar os dados por camadas temáticas (*layers*), armazenando-as de modo independente, de efectuar operações de análise distintas das presentes nos programas de tratamento de imagem, combinando, num mesmo programa, a informação gráfica ou espacial com a alfanumérica, esta última mantida em tabelas designadas de *atributos*.

A capacidade de, recorrendo a um SIG, se poder associar texto em tabelas acerca do estado de conservação da obra potencia o mapeamento temático dos locais associados aos fenómenos a documentar, revelando-se vantajosa quando comparada com os programas correntes de processamento de imagens digitais. Outra interessante característica é a rápida e fácil visualização da informação no ecrã. Se bem que exista *software* dedicado de detecção remota para análise de imagem, o facto de o SIG dispor na sua biblioteca de ferramentas de alguns algoritmos de análise de imagem permite ao utilizador de C&R congregar no mesmo programa a informação alfanumérica e a análise de imagem. Por fim, o facto de os registos serem normalmente feitos com imagem digital pode potenciar o uso de técnicas de análise espacial em SIG matricial.

Para os conservadores-restauradores a principal desvantagem deste recurso é a sua elevada dependência da tecnologia computacional disponível, quer seja o *hardware* ou o *software*. Porém, apesar de não ser imprescindível a utilização de um SIG no processamento da informação, poderá constituir uma alternativa aos programas de processamento de imagem, ou aos programas orientados para o cálculo numérico. A especificidade teórica da terminologia dos SIG implica, no entanto, algum conhecimento particular das ciências de informação geográfica, impondo-se na prática uma formação especializada.

Na caracterização de obras pictóricas, investigações pontuais têm sido feitas em casos de pinturas sobre tela, madeira ou mural, focadas na classificação e/ou

segmentação. Entre as técnicas abordadas, encontram-se a utilização da análise de componentes principais (ACP) na identificação de zonas de repinte [8], de classificadores Bayesianos combinados com segmentação da imagem por *graph cuts* na detecção de lacunas [9], na classificação supervisionada por máxima verosimilhança de pigmentos, óxidos e material pétreo em pintura rupestre [10], de diversos algoritmos de classificação espectral da reflectância e fluorescência em obras de El Greco [11], na aplicação da ACP para destacar regiões de diferente resposta espectral em pintura mural [12], na combinação de ACP e classificação de máxima verosimilhança para caracterizar lacunas e fenómenos de superfície [13] e na aplicação de funções de análise espacial que permitam a caracterização da forma para a extracção de orifícios de insectos xilófagos [14].

■ Metodologia geral

No presente estudo, a análise tem como objectivo a interpretação da densidade de lacunas. Considera-se que essas faltas pictóricas estarão relacionadas frequentemente com zonas de maior risco de destacamento, uma constatação empírica e regular dos conservadores-restauradores, tomando por base o princípio de que este risco de destacamento e perda de camada cromática é proporcional à proximidade e número de lacunas existentes. Para ter uma percepção do estado de integridade da pintura, a investigação centra-se na apreciação das faltas, especificamente as que estão preenchidas com massas brancas. Utilizou-se um *software* de SIG (*ArcGIS 9.3TM*), com a extensão *Spatial AnalystTM*, e as operações de reclassificação e de estimação de densidade.

A reclassificação permite distinguir classes de células em função de intervalos definidos pelo utilizador e tem a vantagem de após a sua aplicação ficar de imediato quantificado o número de células em cada classe.

Um estimador de densidade é uma operação de análise espacial que detecta e avalia padrões da dispersão de pontos sobre uma superfície. Mediante o emprego dessa operação é possível conceber uma carta temática em formato matricial, onde é apresentada a estimativa da densidade de eventos pontuais. O *software* utilizado dispõe de dois métodos de cálculo da densidade, designados *densidade de pontos* e *densidade Kernel*:

O primeiro método tem em conta uma circunferência de raio fixo centrada em cada célula. A *densidade* (d) corresponde à contagem do número de pontos inscritos nesse círculo.

O segundo aplica uma função de distribuição ajustada em cada ponto de tal forma que o volume sob a sua curva equivale a um atributo associado a esse ponto. A curva tem máximo no ponto e decai em função da distância, atingindo zero ao chegar a uma distância ao ponto previamente indicada [15]. A função de distribuição é baseada na função quadrática descrita por Silverman [16]. A *densidade* é então tomada célula a célula como a soma de todos os volumes que ocupem essa célula. O aumento do raio não altera significativamente os valores de densidade, uma vez que a maior inclusão de pontos no dividendo também corresponderá um aumento da área no divisor; no entanto, resulta num mapa temático mais generalizado e suavizado [17].

Aplicando ao caso dos padrões de lacunas, é necessário dispor de uma *layer* de pontos que defina as zonas classificadas como lacuna. Para o cálculo da *densidade de pontos*, utilizam-se os centróides das células inscritas nas regiões lacunares, que recaiam num raio de procura centrado em cada uma dessas células (equação 1):

Para o cálculo da *densidade Kernel* a densidade é obtida com base nos mesmos centróides:

$$d = \frac{n.º \text{ centróides nas lacunas}}{\pi.r^2} \quad (1)$$

onde $f_j(i)$ representa o valor da função de distribuição do ponto j em cada célula i .

$$d = \sum_i f_j(i) \quad (2)$$

■ ■ Procedimentos aplicados no caso de estudo

1. Os procedimentos iniciaram-se através da obtenção de uma imagem digital da obra. Esta imagem não foi rectificadas, mas foi capturada com o eixo da objectiva fotográfica de modo ortogonal em relação à superfície pictórica, a fim de manter o mais possível as proporções reais e manter um valor de distorção considerado razoável. Deve-se ainda verificar se a imagem não está desfocada, nem apresenta reflexos de luz.

2. Adicionou-se o registo fotográfico digital ao *software* de SIG. A imagem utilizada, no formato TIFF, continha uma matriz de 3 980 340 células, com 1701 colunas e 2340 linhas.

3. Fez-se o ajuste da imagem a um sistema de coordenadas cartesianas genérico, sem escolha de projecção cartográfica. No caso de estudo, ao se tratar de um pormenor de um painel de pintura, utilizou-se como unidade métrica o centímetro.

4. Aplicou-se uma função focal de vizinhança para promover a suavização da matriz e homogeneizar os valores correspondentes às lacunas. A operação aplicada demonstrou resultados aceitáveis numa janela de com estatística de vizinhança média.

5. Sobre a imagem que resultou da aplicação do filtro focal, foi utilizada a função local de reclassificação (alteração de valor) em duas classes. Após vários ensaios encontrou-se empiricamente um valor de corte (*break value*) de 195. Este procedimento permitiu identificar as zonas de lacunas e não-lacunas (figura 3). Veja-se que a



Fig. 3 Após operação de reclassificação a duas classes.

representação de fundo não corresponde à imagem na qual se aplicou o filtro focal de vizinhança. Diz respeito a uma imagem original, de falsa cor, alterada de RGB para escala de cinzas no *software*, adicionada neste caso para melhor visualização. Como se trata da camada de fundo – uma vez que o SIG disponibiliza a visualização independente de camadas – pode ser substituída ou apresentada com outra simbologia, consoante o critério do operador, que define também a escolha do valor de corte, calculado entre 0 e 255 (figura 4). No exercício atribuiu-se ao intervalo de 0 a 195 a classe “No Data” (sem informação) e ao intervalo 195 a 255 a classe 1, correspondente às lacunas. Nessa classe 1 verificaram-se 127 795 células.

6. Com uma ferramenta do módulo *ArcTool Box®* converteu-se a matriz obtida para formato vectorial. Os pontos produzidos, associados à classe 1, são posicionados no centro das células da grelha. As que se caracterizam por “No Data” não são associadas a lacunas.

7. Porque nem todos os pontos produzidos na reclassificação coincidem precisamente com regiões de lacunas é necessário editar parte destes. Esta operação, de critério definido pelo operador, serve para eliminar os pontos que não interessará correlacionar (figura 5). Neste processo excluíram-se 72 074 pontos. Num pormenor da região junto ao olho direito da figura feminina é observável a associação, a cada célula da classe 1, de um ponto no seu centro (figura 6). Na tabela de atributos contabilizaram-se 55 721 pontos, tendo sido excluídos no processo 56,3% do total. O número elevado de

pontos excluídos ocorreu porque as áreas de lacunas brancas apresentam valores muito semelhantes ao de algumas zonas de panejamentos brancos e, como tal, o classificador não as conseguiu distinguir.

8. A conversão dos pontos sobre as lacunas para formato matricial permite produzir um mapa temático (Figura 7).

9. Através da aplicação da função *Kernel* produziu-se uma matriz da densidade de pontos em lacunas (figura 8), com 252 colunas e 351 linhas (88 452 células). Para facilitar a interpretação fez-se uma classificação, tendo sido escolhidas cinco classes (figura 9). Esta simbologia poderá ser um indicador das regiões onde o risco ao destacamento é maior, tanto pela dimensão, concentração ou forma geométrica das lacunas que lhes são vizinhas.

Para melhor compreensão da metodologia apresenta-se a sinopse dos procedimentos aplicados:

- Adição da imagem em ficheiro *TIFF* ao *ArcMap™*;
- Atribuição da unidade métrica (unidade escolhida = cm);
- Uso de função de vizinhança, estatística média, com uma janela de convolução de 3×3 células;

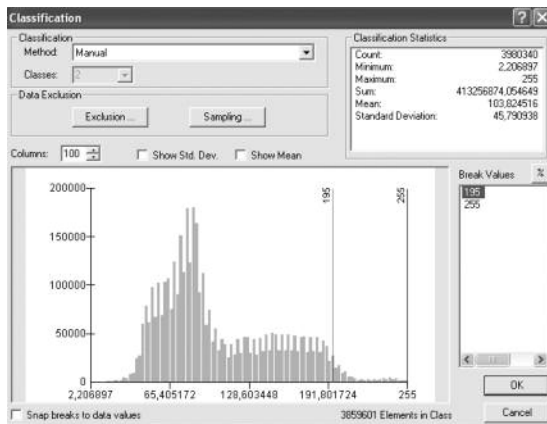


Fig. 4 Janela de diálogo do histograma da reclassificação no SIG.



Fig. 5 Mapa das lacunas segmentadas após edição de pontos.

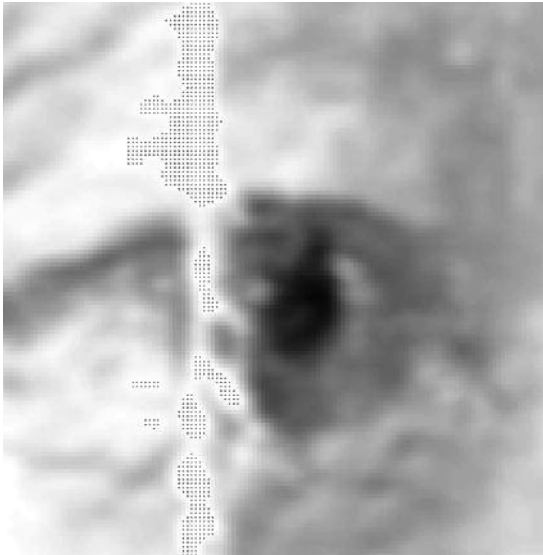


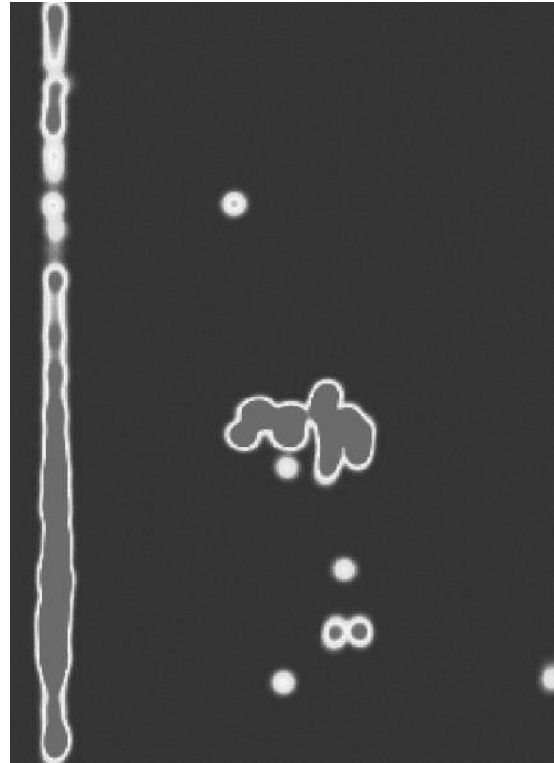
Fig. 6 Pormenor das lacunas em torno do olho da figura feminina e pontos no centro das células.

- Aplicação de uma reclassificação, a fim de obter duas classes (lacuna e não-lacuna) por aplicação de um valor de corte;
- Conversão no *ArcToolBox™* das células das lacunas em pontos;
- Edição de pontos, a fim de excluir os não associados às faltas;
- Aplicação da função *Kernel*;
- Classificação por categorias e obtenção de um mapa temático do risco ao destacamento.

Resultados

A aplicabilidade de um SIG no tipo de caracterização descrito permite a quantificação da extensão e risco associados a fenómenos que ocorrem na superfície das obras. A classe 1 (lacunas), calculada após as operações de reclassificação e edição da informação obtida a partir da matriz inicial de 3 980 340 células, veio a apresentar 55 721 células. O exercício demonstra um território lacunar na imagem de aproximadamente 1,40 % da superfície total.

No que respeita à análise de densidade, o mapa temático que resultou do exercício, feito com base numa classificação em cinco classes, permitiu distribuir as células em função da estimação de um risco ao destacamento



KernelID
Value



High: 29210,744141

Low: 0,000000

Fig. 7 Mapa temático das lacunas a duas classes, após remoção dos pontos sobre as zonas de panejamento branco e carnção clara.

da camada cromática original, o qual se supôs influenciado pela forma e concentração das lacunas. Este exercício poder-se-á estender para determinar a fracção do espaço total que pode estar incluída em cada classe de risco ao destacamento, uma vez definidos os limites das classes de forma consistente.

Conclusão

As técnicas de análise espacial utilizadas permitiram ter uma noção mensurável da superfície, passível de ser



Fig. 8 Resultado na forma de mapa temático da aplicação de densidade Kernel.

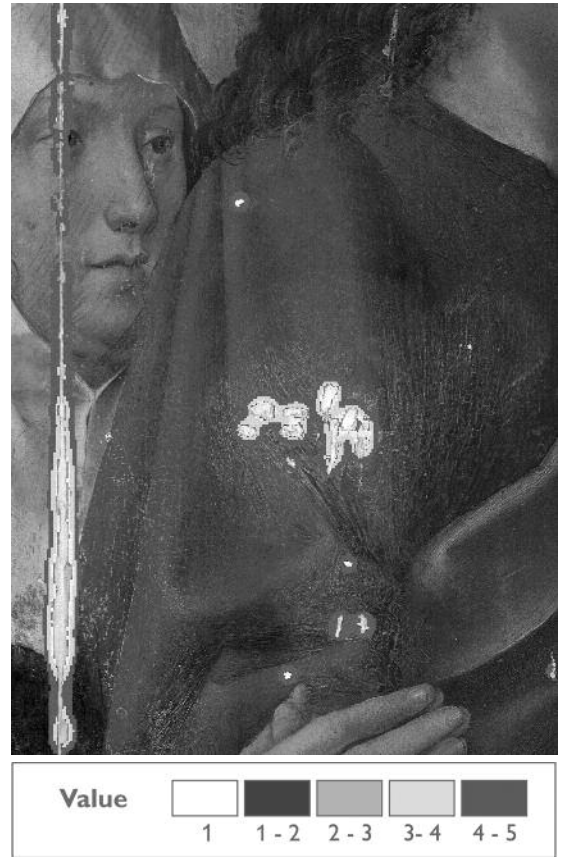


Fig. 9 Anotação de regiões de lacunas e áreas de maior risco ao destacamento e perda de camada cromática.

interpretada pelos conservadores-restauradores e de ser usada no relatório de uma intervenção.

A experiência adquirida durante o exercício levou a concluir que o uso da operação de reclassificação, por escolha subjectiva de valores de corte, não é uma operação directa na segmentação de lacunas da camada cromática. As áreas da pintura onde as cores são semelhantes, ou, mais especificamente, onde se verificam os preenchimentos a massas brancas e o extracto cromático de cor análogo na zona do panejamento, ou ainda, os indesejáveis reflexos de luz, evidenciam as dificuldades referidas. Isto leva-nos a inferir que, através deste método, dificilmente se poderá obter resultados de classificação automática, sem a participação directa dos operadores especializados e uma avaliação criteriosa de cada caso. Para o efeito, é necessário testar algumas funções, a fim de opti-

mizar a edição de células ou pontos. Isso será muito corrente nas actividades de conservação e restauro porque a maioria dos registos fotográficos feitos nas intervenções não se produzem no estúdio fotográfico, nem com condições de luz ideais, nem são feitos por fotógrafos profissionais.

Apesar dos limites e problemas de reclassificação no exercício, resolvidos pela edição de pontos, a utilização do estimador *Kernel* permite documentar zonas de maior ou menor densidade de lacunas na camada pictórica. Do processo resultou um mapa temático, validado através de observação à vista desarmada.

A produção de cartas temáticas onde estejam presentes os parâmetros referidos pode demonstrar-se uma mais-valia na qualidade do cadastro gráfico, aquando da documentação do estado de conservação das obras,

tanto na fase de projecto, como durante e no final das intervenções. Saliente-se ainda que o SIG pode também conter informações provenientes de outras tipologias de estudos técnicos, de outros métodos de exame e análise, como sejam, por exemplo, as informações altimétricas da superfície, obtidas por varrimento *laser*, possibilitando, eventualmente, posteriores aplicações de análise espacial com desenvolvimento tridimensional.

■ Agradecimentos

Artigo elaborado com o apoio do Programa Operacional Ciência e Inovação 2010 (POCI 2010), co-financiado pelo Governo Português e pela União Europeia, através do Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER), da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) e da bolsa de estudos SFRH / BD / 42488 / 2007.

■ Referências

- Santos, R., *Os primitivos portugueses, 1450-1550*, Academia Nacional de Belas Artes, Lisboa (1940) 25.
- Seruya, A.; Pereira, M. (dir.), *As Tábuas da Charola*, IPCR, Lisboa (2005).
- Calvo, A., *Conservación y restauración. Materiales, técnicas y procedimientos De la A a la Z*, Serbal, Barcelona (1997) 130.
- Knut, N., *Manual de Restauración de Cuadros*, Könemann Verlagsgesellschaft, Köln (1998).
- Eppich, R.; Chabbi, A., *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places – Illustrated Examples*, http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/illustrated_examples1.pdf (acesso em 8-6-2009)
- Letellier, R., *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places – Guiding principles*, http://www.getty.edu/conservation/publications/pdf_publications/guiding_principles.pdf (acesso em 8-6-2009)
- Bortolotti, I., *Grafica al computer per il restaurator*, Il prato, Padova (2005).
- Pires, H.; Marques, P.; Henriques, F.; Oliveira, R., 'Integrating laser scanning, multispectral imagery and GIS in C&R documentation practices: a first approach using two XVI the century wood paintings from Convento de Cristo, in Tomar', in *XXI International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece*, <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/Athens2007/FP118.pdf> (acesso em 4-4-2009)
- Liu, J.; Lu, D., 'Knowledge Based Lacunas Detection and Segmentation for Ancient Paintings', in *VSM 2007*, LNCS, ed. Wyeld, T. G.; Kenderdine, S.; Docherty, M., Springer-Verlag, Berlin (2008), 121–131.
- Lerma, J. L., 'Documentation and Recovery of Rupestrian paintings: An automatic approach', *CIPA International Symposium, Postdam, September 18-21, 2001*, <http://cipa.icomos.org/fileadmin/papers/potsdam/2001-09-ji02.pdf> (acesso em 4-4-2009)
- Balas, C.; Antonopoulos, G.; Epitropou, G.; Tsairis, G.; Argyriadou, K.; Georgakilas, A.; Hadjinicolaou, N., 'Hyper-spectral imaging system with embedded spectral segmentation and classification algorithms for the non-destructive analysis of artworks and manuscripts an application in paintings by El Greco', in *9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem, Israel, 25-30 May 2008*, <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/111Balas.pdf> (acesso em 4-4-2009)
- Comelli, D.; Nevin, A.; Gulotta, D.; Toniolo, L.; Valentini, G.; Cubeddu, R., 'Integrated Hyper spectral and time resolved fluorescence imaging combined with statistical data analysis: diagnostic investigations of wall paintings', in *9th International Conference on NDT of Art, Jerusalem, Israel, 25-30 May 2008*, <http://www.ndt.net/article/art2008/papers/184Comelli.pdf> (acesso em 4-4-2009)
- Henriques, F.; Gonçalves, A.; Bailão, A.; Calvo, A., 'A lacuna pictórica: metodologias de interpretação e análise', *Pedra & Cal*, **42** (2009) 13-15
- Henriques, F.; Gonçalves, A.; Calvo, A.; Bailão, A., 'Application of spatial analysis operations for the characterization of wood painting features: furniture beetle holes, shellac coverage, graphite inscription and radiography', in *COST IE0601 "Wood Science for Conservation of Cultural Heritage", International Conference on Wooden Cultural Heritage: Evaluation of Deterioration and Management of Change*, Hamburg, 7th to 10th of October 2009, <http://www.woodculther.com/?cat=4> (acesso a 4-12-2009)
- Longley, P.A.; Goodchild, M. F.; Maguire, D. J.; Rhind, D.W., *Geographic Information Systems and Science*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester (2001) 299-301.
- Silverman, B.W., *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman and Hall, New York (1986) 76.
- ESRI, *ArcGIS Desktop Help 9.3*, <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Kernel%20Density%20works> (acesso em 22-6-2009).

Recebido: 9 de Julho de 2009

Versão revista: 22 de Abril de 2010

Aceite: 27 de Maio de 2010