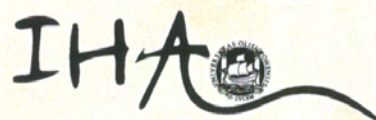




LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



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

actas do simpósio

Património em *construção*

Contextos para a sua preservação



editores

José Delgado Rodrigues
Sílvia S. M. Pereira

Lisboa • LNEC

25 e 26 de Novembro de 2011

Simpósio realizado no LNEC em Novembro de 2011

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.
Divisão de Divulgação Científica e Técnica
AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA
e-e: livraria@lnec.pt
www.lnec.pt

Editor: LNEC

Colecção: Reuniões Nacionais e Internacionais

Série: RNI 84

1ª edição: 2011

Tiragem: 160 exemplares

ISBN 978-972-49-2231-7

O projecto de conservação e as novas metodologias de documentação. Evoluções recentes e alguns casos de estudo.

José Aguiar

Professor Associado, Faculdade de Arquitectura da UTL, Lisboa, PT, jaguiar@fa.utl.pt

Luís Mateus

Assistente, Faculdade de Arquitectura da UTL, Lisboa, PT, lmmateus@fa.utl.pt

Victor Ferreira

Assistente, Faculdade de Arquitectura da UTL, Lisboa, PT, victor@fa.utl.pt

RESUMO:

As intervenções de conservação em Património Arquitectónico impõem um dever de registo (antes, durante e depois da intervenção) que carece sempre de documentação gráfica de base adequada ao tipo de estudos e acções a realizar e também para memória e uso futuros). A forma de a produzir vai desde os tradicionais levantamentos manuais até às modernas metodologias baseadas na fotogrametria digital (FD) e no varrimento laser 3D terrestre (VL3DT). Apresentam-se e discutem-se alguns casos de estudo em que se procedeu à documentação com base em evoluções recentes das tecnologias FD e VL3DT em contexto de projecto de Conservação.

ABSTRACT: 2

Conservation interventions in Architectural Heritage always require base documentation suited to the kind of studies and analysis to perform. The way to produce it ranges from the traditional manual surveys to the more modern methodologies based on digital photogrammetry (FD) and terrestrial laser scanning (VL3DT). We present and discuss a few case studies where we accomplished a FD and VL3DT based documentation.

PALAVRAS-CHAVE:

Conservação, Varrimento laser 3D terrestre (VL3DT), Fotogrametria digital (FD), Balão, Reconstrução 3D automática, Património Arquitectónico.

1. INTRODUÇÃO

Neste artigo apresentamos e discutimos um conjunto de casos de estudos desenvolvidos no âmbito do projecto de investigação “Contributos para o projecto de Conservação do Património: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e na digitalização laser 3D terrestres” (ref. FCT:PTDC/AUR/66476/2006). Tratou-se um projecto que teve como parceiros: i) a Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FAUTL), ii) a Universidade do Minho - Unidade de Arqueologia, iii) a Universidade de Coimbra – Gabinete de Candidatura da Alta de Coimbra a Património Mundial, iv) e o IGESPAR. Foi ainda consultor deste projecto o professor Juan José Fernández-Martín, director do Laboratório de Fotogrametria Arquitectónica da Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidade de Valladolid.

O objectivo principal deste projecto foi procurar entender o impacto das novas tecnologias de levantamento e documentação, em particular a FD e o VL3DT, no processo do processo

de gestão e do projecto de Conservação em Arquitectura. Para mais informação sobre este projecto pode-se aceder ao seu site (<http://archc3d.fa.utl.pt/archc3d.html>).

A estratégia da investigação produzida, cujo principal contributo é sobretudo metodológico e no quadro de, recorrendo a avanços tecnológicos recentes, maximizar os ganhos de eficácia no processo de registo, documentação e produção de informação de referência, assentou no desenvolvimento de casos de estudo em contexto de conservação, ou em contexto afim da conservação. No final apresentamos as nossas conclusões e perspectivas de investigação futuras.

2. MÉTODOS DE LEVANTAMENTO

A documentação gráfica de base é uma necessidade premente no processo de Conservação do Património Arquitectónico, desde a gestão, ao planeamento, execução e seu controlo. A forma e produzir essa documentação gráfica é variada. Uma forma de classificar os métodos e as técnicas para a sua produção é dividi-los em: i) métodos directos, e ii) métodos indirectos. Nos métodos directos há uma individualização de pontos a registar feita em campo, isto é, tende-se a recolher relativamente poucos dados que se entendem ser os necessários e suficientes para descrever o objecto ou o fenómeno a registar (obter as principais dimensões, formas e geometrias essenciais). Ao contrário, nos métodos indirectos não se faz essa diferenciação em campo. É recolhida uma quantidade muito maior de dados, percorrendo o objecto ou o fenómeno a registar, de forma quase contínua. Posteriormente, e em gabinete, na fase de processamento dos dados, é feita a selecção dos elementos a utilizar para descrever o objecto [1]. O levantamento manual tradicional ou o levantamento topográfico clássico caem no primeiro grupo. A FD e o VL3DT pertencem ao segundo grupo e são procedimentos que se podem considerar na disciplina mais geral da detecção remota.

A fotogrametria (tecnologia passiva) pode ser definida como sendo a disciplina que estuda o modo de medir um objecto através de medições efectuadas em registos fotográficos desse mesmo objecto [2]. Hoje vive-se uma grande revolução nas metodologias de FD baseada no processamento automático [3] [4] [5].

Comparativamente com a fotogrametria o VL3DT (tecnologia activa) é uma tecnologia mais recente. No essencial o varrimento laser é um procedimento pelo qual se captura uma enorme quantidade de coordenadas de pontos de uma forma sequencial e ordenada e quase em tempo real utilizando um feixe de luz laser. Os sistemas de varrimento laser terrestre podem classificar-se em três grupos de acordo com o princípio operativo: i) triangulação óptica, com precisão sub milimétrica e alcance <5m, ii) comparação de fase, com precisão milimétrica e alcance <120m, e iii) tempo de voo, com precisão milimétrica a centimétrica e alcance <1500 [1].

Os primeiros são utilizados sobretudo para o registo de objectos de pequena escala. Os dois últimos sistemas são os mais adequados para a documentação integral de edifícios.

3. CASOS DE ESTUDO

Consoante o tipo de métodos e tecnologias utilizados subdividimos os nossos casos de estudo em três categorias: i) métodos fotogramétricos expeditos, ii) método do varrimento laser 3D, iii) métodos fotogramétricos automáticos e complementaridade entre o VL3DT e FD.

Em relação à primeira categoria apresenta-se a metodologia utilizada para a produção da documentação base dos quarteirões do Terreiro do Paço no âmbito da elaboração de um “Projecto de adaptação dos pisos térreos e torreões e recuperação das fachadas do Terreiro do Paço”, projecto promovido pela Frente Tejo, gerido pela Parque Expo e desenvolvido pelo Atelier 15 (coordenado pelos Professores Arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández), participando a FAUTL como entidade consultora.

Em relação à segunda categoria apresenta-se a metodologia adoptada para a produção da documentação base do Arco da Rua Augusta no âmbito da elaboração de um “Projecto de conservação e restauro do Arco da Rua Augusta”, desenvolvido no seguimento do projecto anteriormente referido, contratado pela Frente Tejo / Parque Expo ao Atelier 15 (coordenado pelo Professor Arquitecto Sérgio Fernández), e em que, mais uma vez, a FAUTL participou como entidade consultora.

Em relação à terceira categoria (complementaridade entre o VL3DT e FD) apresentam-se um conjunto de experiências efectuadas no Centro Histórico de Tomar e no Convento de Cristo, com o apoio do IGESPAR e CM Tomar, que atestam o potencial da utilização de plataformas aéreas de baixa altitude para a captura de imagens, e a grande potencialidade dos procedimentos fotogramétricos automáticos para geração de informação de qualidade compatível com os processos de conservação das escalas urbanas às escalas de pormenor.

3.1 Levantamento das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço

Este caso de estudo colocou em evidência o modo como uma metodologia de registo expedita pode ser perfeitamente adequada à produção de bases gráficas como suporte do projecto e das acções de conservação.

O projecto de adaptação dos pisos térreos e torreões e recuperação das fachadas do Terreiro do Paço, desenvolvido no segundo semestre de 2009, incidiu sobre uma área aproximada de 50000m² de fachadas, com um prazo excepcionalmente reduzido tanto para as fases do desenvolvimento do projecto como de lançamento da empreitada e execução dos trabalhos previstos (pois pretendia-se a conclusão total dos trabalhos ainda antes da visita papal, em Maio de 2010).

Um dos termos do caderno de encargos para o projecto consistia na correcção dos levantamentos existentes e produção de elementos de levantamento complementares como cortes e alçados. Os levantamentos existentes consistiam em plantas em formato vectorial e encontravam-se muito desactualizados relativamente à situação actual. No Sistema de Informação do Património Arquitectónico (SIPA) foi possível encontrar digitalizações de desenhos de levantamentos e projectos, relativos a alguns edifícios destes quarteirões, realizados ainda durante o Estado Novo.

Tendo como ponto de partida esta documentação prévia, considerou-se que a metodologia que permitiria, de uma forma mais célere, gerar informação base para a produção dos alçados e cortes passaria pela rectificação de imagens e pela rectificação vectorial [6]. Utilizaram-se medições gerais reais comparadas com as efectuadas sobre a documentação gráfica existente como forma de controlar aquelas operações de rectificação. Foram capturadas cerca de 1075 imagens em cinco dias. Foram seguidos dois procedimentos para gerar as imagens rectificadas: i) rectificação de imagens individuais e montagem de foto-mosaico, ii) produção de panorama e rectificação (figura 1).



Figura 1: Alçado métrico rectificado do alçado sul do Terreiro do Paço obtido através da rectificação de panoramas.

Utilizou-se o primeiro procedimento quando a extensão da fachada e a distância possível à mesma não permitia produzir uma imagem panorâmica de qualidade. Utilizou-se o segundo procedimento quando a distância à fachada a representar era suficientemente grande e não havia obstáculos entre a mesma e a possível localização da câmara. O primeiro procedimento é corrente. O segundo procedimento combinou a rectificação vectorial como passo intermédio para gerar informação controlada a utilizar num software de edição de imagem como bitola para a rectificação.

Durante e após a produção destes materiais, foi definido um critério de diferenciação do objecto baseado na sua caracterização material e elementos arquitectónicos, que esteve na base da medição de áreas, comprimentos e contagem de elementos. De seguida, foi definido um léxico de classificação das anomalias, bem como da sua contabilização. Estas bases foram aplicadas em campo e serviram de suporte ao registo das anomalias. Também sobre estas bases, e definindo áreas de amostragem significativas relativamente às formas de degradação, foram estimados índices de incidência de anomalias a afectar ao conjunto. Este procedimento permitiu de forma muito rápida fazer o registo e avaliação do estado de conservação das fachadas e definir um conjunto de acções no sentido de as corrigir, assim como proceder a estimativas com todas medições necessárias.

3.2 Levantamento do Arco da Rua Augusta

Este segundo caso de estudo, no que respeita à sofisticação dos procedimentos utilizados é diametralmente oposto ao anterior, já que não existia um levantamento suficientemente preciso do Arco que servisse de base ao desenvolvimento de projectos de conservação e para memória futura. As acções descritas tiveram lugar entre o final de 2010 e o princípio de 2011.

O planeamento do levantamento por VL3DT passou por: i) escolha do tipo de sistema mais adequado, ii) definição das posições de estacionamento do equipamento em função da metodologia de processamento, iii) definição das densidades de pontos pretendidas em função do nível de detalhe da documentação a produzir, iv) estimação do tempo de execução dos trabalhos de campo. Este planeamento deve ser feito parcialmente em campo no sentido de incluir e antever constrangimentos e obstáculos, ou perceber possibilidades que potenciem o sistema.

No levantamento do Arco da Rua Augusta utilizou-se um sistema laser de comparação de fase marca ZF Imager 5006. Este equipamento, da classe de segurança 3R, emite um feixe laser vermelho com o comprimento de onda de 683nm. O resultado de uma campanha de

campo de VL3DT é um conjunto de nuvens de pontos. Uma nuvem de pontos é uma colecção densa de coordenadas de pontos, que pode atingir vários milhões de pontos, associadas a valores de intensidade que são função: i) do albedo dos materiais para o comprimento de onda utilizado, ii) da distância do equipamento ao objecto, iii) da obliquidade do feixe em relação às superfícies. Neste levantamento capturámos cerca de 176 nuvens de pontos, 42 das quais com recurso a uma plataforma elevatória telescópica, em quatro sessões de campo

Após a captura das nuvens de pontos, a fase seguinte do processo consistiu na construção de um modelo tridimensional do objecto, o que passou pela orientação relativa das várias nuvens de pontos num referencial comum, após a eliminação de dados espúrios. Esta operação implica que um operador seleccione pontos homólogos entre as várias nuvens de pontos de modo a construir uma primeira aproximação ao modelo 3D. De seguida são utilizados procedimentos de optimização automáticos para melhorar a orientação das nuvens de pontos. Por fim o modelo foi georreferenciado com base num levantamento topográfico de apoio.

O modelo de nuvens de pontos é um primeiro produto do VL3DT. A partir deste podem ser gerados outros produtos, em particular as tradicionais plantas, cortes e alçados (figura 2).

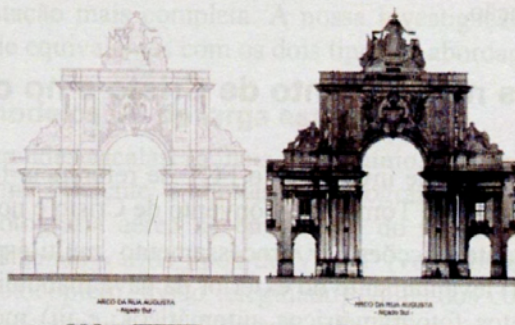


Figura 2: À esquerda: restituição gráfica. À direita: orto-imagem de reflectância.

Resumidamente, para gerar uma peça desenhada é necessário: i) orientar planos de corte / projecção no modelo 3D, ii) exportar as secções que esses planos produzem, iii) exportar imagens que resultam da projecção das nuvens de pontos sobre aqueles planos, iv) editar as imagens para gerar uma orto-imagem, v) importar as secções e as orto-imagens num software CAD e proceder à restituição gráfica.

As peças gráficas bidimensionais são ainda o suporte de eleição entre arquitectos para o desenvolvimento das suas acções de projecto. Porém apresentam algumas limitações, por exemplo quando utilizadas em processos de medição de formas complexas com desenvolvimento espacial. Neste caso, procedemos à modelação selectiva de alguns elementos no sentido de obtermos medições mais fiáveis. Um desses elementos foi a abóbada principal do arco (figura 3).

Porém não o fizemos sem antes determinar a natureza geométrica da mesma, o que trouxe conhecimento mais preciso em relação a esta estrutura e sua estereotomia. Note-se que embora o Arco da Rua Augusta seja relativamente recente, remontando a sua construção à segunda metade do século XIX, é desconhecido o paradeiro dos desenhos do projecto original. A modelação da abóbada permitiu-nos apurar o rácio de 1.6 entre a área real e a sua projecção em planta.

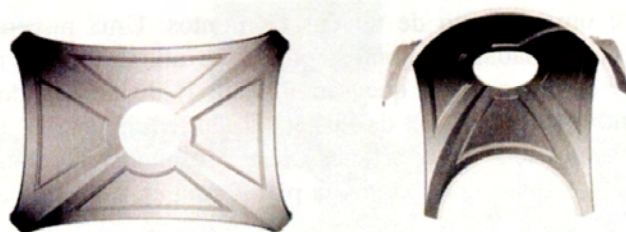


Figura 3: Imagens da modelação da abóbada do arco. É composta por superfícies cilíndricas e superfícies de conóide, algumas das quais concordantes entre si.

A panóplia de representações com grande relevância para a tomada de decisões em projecto de arquitectura e de conservação que este levantamento por VL3DT é notável, permitindo as tradicionais representações bidimensionais, disponibilizar modelos tridimensionais interpretativos (preciosos para a mais profunda compreensão da natureza espacial e tectónica do monumento e fazendo-nos descobrir concordâncias de espaços em diferentes níveis anteriormente desconhecidas) e, ainda, dar uma espessura semântica e textura ao desenho que permite ao projectista considerar com muito mais acuidade os valores formais e expressivos de todas as superfícies arquitectónicas, o que se torna precioso para as decisões quanto ao seu tratamento e conservação.

3.3 Levantamentos no Convento de Cristo e no centro histórico de Tomar

Durante a vigência do projecto de investigação FCT de referência foram conduzidas várias experiências de levantamento em Tomar, no Convento de Cristo e no centro histórico.

Destacamos três importantes acções: i) processamento multi-espectral de imagens de intensidade de VL3DT, ii) levantamento do exterior da nave manuelina por VL3DT complementado por levantamentos fotogramétricos automáticos, e iii) modelação tridimensional automática do Convento de Cristo e do centro histórico de Tomar utilizando fotografias aéreas de baixa altitude.

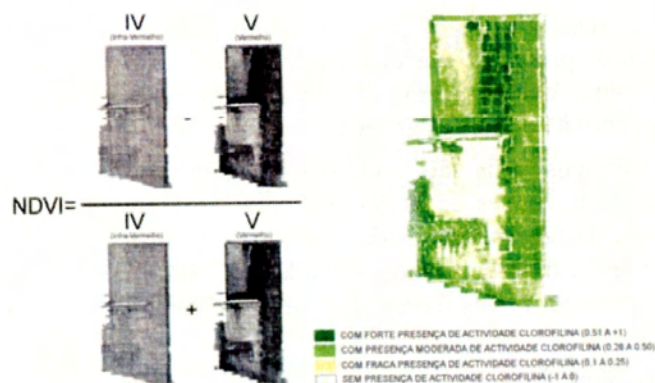


Figura 4: Cálculo do NDVI com base em imagens de intensidade de VL3DT.

3.3.1 Processamento de imagens espectrais de VL3DT

Nos vários levantamentos por VL3D que efectuámos no Convento de Cristo em Tomar, utilizámos dois tipos de scanners: a) scanner de comparação de fase com laser vermelho de 683nm de comprimento de onda, b) scanner de tempo de voo com laser infra-vermelho

próximo de 1500nm. Numa área em que dispúnhamos de nuvens de pontos obtidas com os dois equipamentos, procedemos ao processamento das orto-imagens de intensidade. Com imagens na banda do vermelho e do infra-vermelho próximo foi ainda possível calcular o índice de vegetação NDVI (*normalized difference vegetation index*). Este índice permite detectar a presença de actividade clorofilina. O resultado é apresentado na figura 4.

O factor inovador desta abordagem foi ter sido realizada com base em imagens de intensidade de VL3DT, que são de banda estreitíssima, e ainda assim ter-se obtido um resultado fiável, reconfirmado no local.

3.3.2 Complementaridade entre VL3DT e a FD automática

Na figura 5 coloca-se em paralelo um modelo de nuvens de pontos de VL3DT da nave manuelina com um modelo da cobertura obtido por processamento fotogramétrico automático a partir de 100 fotos aéreas obtidas com balão. O processamento automático resolve simultaneamente o problema da calibração e orientação relativa das imagens para depois proceder à reconstrução tridimensional do objecto gerando nuvens de pontos texturadas de elevada densidade.

Facilmente se percebe o potencial de complementaridade destas duas abordagens no sentido de gerar uma documentação mais completa. A nossa investigação mostrou que é possível obter níveis de qualidade equivalentes com os dois tipos de abordagem.

3.3.3 Produção de modelos 3D de larga escala

Também ao nível das grandes escalas, já mais no domínio do património urbano, também é possível utilizar de forma eficiente a abordagem fotogramétrica automática. Conduzimos várias campanhas de fotografia aérea na envolvente do Convento de Cristo e no centro Histórico de Tomar utilizando vários tipos de VANT (veículos aéreos não tripulados) de baixa altitude (balão, octocóptero, avião teleguiado) equipados com máquinas fotográficas digitais controladas por visores vídeo e rádio comando (figura 6).



Figura 5: À esquerda: modelos de nuvens de pontos de VL3DT e modelo fotogramétrico.

Figura 6: À esquerda: exemplo de VANT de baixa altitude da FAUTL e exemplo de foto aérea.

Dessas campanhas resultaram aproximadamente 3000 imagens. Com base nessas imagens foram produzidos, de forma completamente automática, modelos tridimensionais de nuvens de pontos do Convento de Cristo (figura 7) e do centro Histórico de Tomar (figura 8).

Este tipo de material pode ser facilmente produzido, embora envolva alguns recursos de hardware, e pode ser especialmente útil na documentação de centros históricos ou em zonas onde não existe nenhuma espécie de documentação.

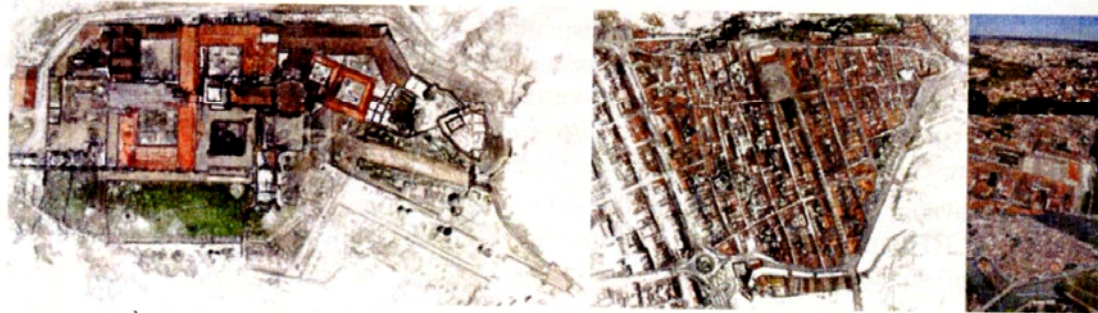


Figura 7: À direita orto-imagem do Convento de Cristo Tomar gerada a partir de modelo produzido com 1136 imagens.

Figura 8: À esquerda: orto-imagem do centro histórico de Tomar gerada a partir de modelo produzido com 1154 imagens e exemplos de imagens aéreas obtidas com balão.

3. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS DE INVESTIGAÇÃO

Demonstrou-se que tanto pode ser eficiente a adopção de metodologias expeditas de documentação gráfica como metodologias tecnologicamente mais sofisticadas em Conservação, sendo correcta aquela metodologia que, maximizando a relação custo-benefício, incorporar de forma consciente os objectivos e os fins a que se destina.

Demonstrámos que o VL3DT tem um potencial para a análise do estado de conservação que vai para além do simples levantamento geométrico dos edifícios e que o recurso a VANT de baixa altitude e à FD automática, que tem vindo a ser crescentemente suportada por enormes e recentes avanços nas tecnologias já disponíveis de fotogrametria digital e de tratamento de imagem, pode constituir-se como um eficaz recurso para a documentação, não só em grandes escalas como à escala do edificado, podendo ser utilizado de forma complementar do VL3DT, e com qualidade comparável.

Apontamos como linhas futuras de investigação a exploração da utilização de imagens espectrais de VL3DT para a análise do estado de conservação dos edifícios, e o desenvolvimento de metodologias que incorporem simultaneamente a FD e o VL3DT e outras técnicas de análise como por exemplo o GPR (ground penetrating radar).

Referências bibliográficas

- [1] English Heritage – *3D laser scanning for Heritage*. English Heritage, Londres, 2007.
- [2] MIKHAIL, Edward et al – *Introduction to modern photogrammetry*. Wiley, 2001.
- [3] BARAZETTI, L. et al – *Automation in 3D reconstruction: results on different kinds of close range bolcks*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5. Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010. pp 55-61.
- [4] WU, Changchang – *VSFM (software)*. <http://www.cs.washington.edu/homes/ccwu/vsfm/> (2011)
- [5] FURUKAWA, Yasutaka; PONCE, Jean – *Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI 2009), volume: 32, issue: 8, 2010. pp. 1362-1376
- [6] MATEUS, Luís; AGUIAR, José, et al – *A report on multiple approaches to the S. Frutuoso of Montélios Chapel survey*. Proceedings of the 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage – VAST 2008, 2008. pp.51-55

