



UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Paulo Jorge Ferreira Descalço Fanha

CONTRIBUTO PARA USO DA FOTOGRAMETRIA
DIGITAL NA DOCUMENTAÇÃO E REABILITAÇÃO DE
EDIFÍCIOS HISTÓRICOS –
O CASO DO CONVENTO / ESCOLA DE SANTA CLARA
DE ÉVORA

Dissertação no âmbito do Mestrado em Reabilitação de Edifícios,
Ramo Não Estrutural, orientada pelos Professor Doutor José António
Raimundo Mendes da Silva e Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira,
apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da
Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra

Outubro de 2023

Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
Departamento de Engenharia Civil

Paulo Jorge Ferreira Descalço Fanha

**CONTRIBUTO PARA USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL
NA DOCUMENTAÇÃO E REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS
HISTÓRICOS — O CASO DO CONVENTO / ESCOLA DE
SANTA CLARA DE ÉVORA**

**CONTRIBUTION TO THE USE OF DIGITAL PHOTOGRAMMETRY IN THE DOCUMENTATION
AND REHABILITATION OF HISTORIC BUILDINGS - THE CASE OF THE SANTA CLARA
CONVENT / SCHOOL IN ÉVORA**

Dissertação de Mestrado em Reabilitação de Edifícios, ramo Não Estrutural, orientada pelo Professor Doutor José António Raimundo Mendes da Silva e pelo Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões que possa conter.

Outubro de 2023

1 2  9 0

UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores, Professor Doutor Raimundo Mendes da Silva e Professor Doutor Tiago Miguel Ferreira, pelos ensinamentos, pelo apoio, pela generosidade, pela força, pela amizade que sempre manifestaram para comigo, e pela confiança que nunca deixaram de depositar em mim e no trabalho que procurava desenvolver.

À Câmara Municipal de Évora, nas pessoas do seu Presidente da Câmara, Dr. Carlos Pinto de Sá, e do seu Chefe da Divisão de Fiscalização Municipal, Dr. Augusto Pereira, pelo modo sem reservas com que aceitou a presença deste trabalhador-estudante na sua vida e organização institucional, concedendo todas as possíveis facilidades para o desenvolvimento deste trabalho, bem como pelas autorizações concedidas no acesso à escola.

Aos amigos e colegas na Câmara Municipal de Évora, em particular ao Carlos, à Cristina, ao Eduardo, ao Gustavo, à Isabel, à Noélia, à Vitória, pela abertura, pelo apoio franco, pelas sugestões dados no andamento do trabalho, facultando todos os materiais que vinha necessitando, apoiando em todos documentos que precisava angariar; e pela amizade assim demonstrada.

Às instituições com responsabilidade local, que sempre concederam as autorizações necessárias e franquearam as portas para a prossecução deste trabalho, designadamente ao Agrupamento de Escolas Severim de Faria, na pessoa da sua Diretora, Dra. Ana Isabel Pires Fernandes, à Paróquia de Santo Antão, na pessoa do Sr. Padre Manuel Madureira da Silva, à Paróquia do Carmo, na pessoa do Sr. Padre Manuel da Silva Ferreira.

Ao pessoal da Escola Básica de Santa Clara, a quantos nela me acolheram, em particular ao Sr. Amaro e à D. Guiomar, meus principais interlocutores no acesso e na presença na escola, sempre facultando a mais completa e livre circulação pelos seus mais variados espaços, com a maior confiança.

Aos colegas e amigos do Mestrado em Reabilitação de Edifícios, pelo interesse no tema que veio a ser o deste trabalho, em particular à Claudia e ao Paulo, que sempre proporcionaram o maior apoio ao seu andamento.

À minha família, meu pai António, meu irmão Luís, meus filhos João Gonçalo e Maria Laura, pela paciência, pela disponibilidade, permanentes.

À Teresa, minha companheira, pelos diálogos, pelos préstimos, pela presença inspiradora.

Para todos, a minha gratidão.

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

RESUMO

O antigo Convento de Santa Clara de Évora permanece hoje como uma das grandes moles edificadas no centro histórico da cidade, com importância na sua vivência quotidiana e com significado cultural e patrimonial reconhecidos. Atualmente dividido entre a sua igreja e a escola do ensino básico que ali foi fundada, em resultado de importantes obras de remodelação em meados do século passado, padece, contudo, já de evidenciadas necessidades de intervenção com vista à sua reabilitação.

A fotogrametria digital de curta distância é uma importante e versátil ferramenta para a documentação e para a reabilitação de edifícios históricos, com um comprovado desempenho na representação da realidade, por efeito dos seus atuais métodos de trabalho, baseados em várias formas de captação de imagens e em processamentos de reconstrução conhecidos pelo nome abrangente de SfM (Structure from Motion).

A aplicação desta tecnologia nos espaços da Escola de Santa Clara, para obtenção de documentação visual e metricamente rigorosa sobre a mesma, relevante por si e em possíveis processos de reabilitação a empreender, foi o objetivo fundamental deste trabalho, ao mesmo tempo que o próprio processo servia de teste ao desempenho da tecnologia, em condições modestas, ao alcance de um maior número de pessoas – assim contribuindo para uma sua maior divulgação.

Para alcançar esses objetivos, a escola foi abordada nas suas mais variadas e específicas espacialidades, do exterior ao interior, recorrendo a diversos tipos de levantamento fotográfico, a que se seguiu processamento com vista à reconstrução de um seu modelo digital. Foi conferido um maior foco na caracterização da envolvente, para todo o quarteirão, enquanto base de suporte a outras modelações de maior pormenor, mas com vista a também avaliar uma sua potencial utilização de âmbito urbano.

PALAVRAS-CHAVE: Fotogrametria digital, SfM, Reabilitação de edifícios, Convento de Santa Clara de Évora, Escola de Santa Clara, Évora

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

ABSTRACT

The former Convent of Santa Clara de Évora remains today as one of the great moles built in the historic centre of the city, with importance in its daily life and recognised cultural and heritage significance. Currently divided between its church and the elementary school that was founded there, as a result of major remodelling work in the middle of the last century, it is nevertheless already in dire need of rehabilitation.

Close-range digital photogrammetry is an important and versatile tool for the documentation and rehabilitation of historic buildings, with proven performance in representing reality, due to its current working methods, based on various forms of image capture and reconstruction processing known by the comprehensive name of SfM (Structure from Motion).

The application of this technology in the spaces of the Santa Clara School, in order to obtain visually and metrically rigorous documentation about it, relevant in itself and in possible rehabilitation processes to be undertaken, was the fundamental objective of this work, at the same time as the process itself served as a test of the technology's performance, in modest conditions, within the reach of a greater number of people - thus contributing to its wider dissemination.

To achieve these objectives, the school was approached in its most varied and specific spatialities, from outside to inside, using various types of photographic survey, followed by processing with a view to reconstructing a digital model of it. A greater focus was placed on characterising the surroundings, for the entire block, as a basis for supporting other more detailed modelling, but also with a view to evaluating its potential urban use.

KEYWORDS: Digital photogrammetry, SfM, Building rehabilitation, Convent of Santa Clara de Évora, Santa Clara School, Évora

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

ÍNDICE

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract.....	vii
Índice	ix
Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xxi
Siglas e Acrónimos.....	xxiii
1. Introdução	1
1.1. Motivação	1
1.2. Objetivos	1
1.3. Organização	3
2. Convento / Escola de Santa Clara de Évora	5
2.1. Évora, breve apresentação.....	5
2.2. O lugar do Convento de Santa Clara	9
2.3. Da história do Convento / Escola de Santa Clara.....	11
2.3.1. Fundação – Século XV.....	11
2.3.2. Crescimento, auge – Séculos XVI-XVII.....	11
2.3.3. Declínio, extinção – Séculos XVIII-XIX.....	12
2.3.4. Esbulho, degradação – Século XX, anos 1900-30.....	13
2.3.5. Renascimento como escola, igreja – Século XX, anos 1940-atualidade	14
2.4. As formas do convento, da igreja e da escola.....	15
2.4.1. O convento e sua relação com outros conventos femininos.....	15
2.4.2. Reinvenção dos espaços do convento para uma escola.....	17
2.5. A atualidade da escola e da igreja.....	19
3. Fotogrametria digital	21
3.1. Conceito e síntese histórica	21
3.2. Fotogrametria como método de representação e suas aplicações práticas	23

3.2.1. Aplicações práticas da fotogrametria.....	24
3.2.2. Fotogrametria e Património Cultural.....	25
3.3. Conceitos teóricos e de processo	28
3.3.1. Captação de imagens.....	28
3.3.2. Alinhamento de imagens	29
3.3.3. Modelação tridimensional base	31
3.3.4. Modelação tridimensional densa e superfícies trianguladas	32
3.3.5. Texturização	33
3.3.6. Programas informáticos disponíveis para fotogrametria	33
3.4. Resultados e possibilidades da fotogrametria.....	35
3.4.1. Modelos de nuvens de pontos e de superfície	35
3.4.2. Reduções tridimensionais e bidimensionais	36
3.4.3. Utilizações externas.....	36
3.4.4. Futuro próximo	38
3.5. Fotogrametria em Portugal	39
4. Trabalhos e resultados fotogramétricos em Santa Clara	41
4.1. Preparativos.....	41
4.1.1. Equipamentos para levantamento.....	41
4.1.2. Equipamento para processamento.....	42
4.1.3. Programas informáticos.....	43
4.1.4. Experimentação – Ermida de Nossa Senhora da Cabeça	44
4.1.5. Experimentação – Capela de São Roque do Louredo	44
4.2. Metodologia.....	46
4.2.1. Os espaços a documentar.....	46
4.2.2. As tecnologias a usar	48
4.2.3. Abordagem de trabalho	48
4.3. O quarteirão de Santa Clara	50
4.3.1. Levantamentos aéreos.....	50
4.3.2. Levantamentos no solo.....	51
4.3.3. Modelação – Claustro do Poço	51
4.3.4. Modelação – Igreja.....	52

4.3.5. Modelação – Quarteirão, primeira versão	53
4.3.6. Modelação – Quarteirão, segunda versão	55
4.4. Os claustros da escola	56
4.4.1. Levantamentos fotográficos.....	56
4.4.2. Modelação – Claustro do Poço, primeira versão	57
4.4.3. Modelação – Claustro Grande, parcial sudoeste	58
4.4.4. Modelação – Claustro Grande, piso térreo.....	59
4.4.5. Modelação – Claustro do Poço, segunda versão.....	60
4.4.6. Modelação – Claustros conjuntos, metade poente	61
4.5. Alguns espaços interiores na portaria.....	62
4.5.1. Levantamentos fotográficos.....	62
4.5.2. Modelação de espaços interiores	63
4.5.3. Modelo conjunto - Portaria.....	63
5. Análise de trabalhos e resultados	65
5.1. Levantamentos fotográficos	65
5.1.1. Tempos de levantamentos.....	65
5.1.2. Números de fotografias	67
5.1.3. Tempos de processamentos	68
5.2. Qualidade dos resultados.....	70
5.2.1. Aferição visual.....	70
5.2.2. Aferição métrica.....	72
5.3.3 Aferição posicional.....	74
6. Conclusões.....	77
6.1. Sobre os resultados.....	77
6.1.1 Documentação urbana	77
6.1.2. Reabilitação arquitetónica do convento	78
6.2. Perspetivas de trabalhos futuros	79
Referências	81
A1. Relatório – Modelo Quarteirão, primeira versão	A-1
A1.1. Resumo	A-1
A1.1.1. Quadro Síntese.....	A-1

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

A1.1.2. Breve descrição	A-1
A1.2. Imagens	A-2
A1.3 Integração de resultados.....	A-3
A1.3.1. SIG - QGIS.....	A-3
A1.3.2. CAD – AutoCAD 2023.....	A-3
A1.3.3 CLOUDCOMPARE	A-5
A1.4. Comentários.....	A-6
A2. Relatório – Modelo Claustro Grande	A-7
A2.1. Resumo.....	A-7
A2.1.1. Quadro Síntese.....	A-7
A2.1.2. Breve descrição	A-7
A2.2. Imagens	A-8
A2.3. Integração de resultados.....	A-9
A2.4. Comentários.....	A-10
A3. Relatório – Modelo Quarteirão, segunda versão.....	A-11
A3.1. Resumo.....	A-11
A3.1.1. Quadro Síntese.....	A-11
A3.1.2. Breve descrição	A-11
A3.2. Imagens	A-12
A3.3. Integração de resultados.....	A-12
A3.4. Comentários.....	A-14
A4. Relatório – Modelo Claustro do Poço / Portaria, interiores	A-15
A4.1. Resumo.....	A-15
A4.1.1. Quadro Síntese.....	A-15
A4.1.2. Breve descrição	A-15
A4.2. Imagens	A-16
A4.3. Comentários.....	A-18
A5. Tabelas – Levantamentos Fotográficos	A-19
A5.1. Resumo de levantamentos fotográficos – Envolvente	A-19
A5.2. Resumo de levantamentos fotográficos – Interiores	A-20
A5.3. Resumo de registos – dias / horas / fotos.....	A-21

A5.4. Dados métricos / Modelo Quarteirão, versão #2	A-22
A5.4.1. Tabela de medições planimétricas	A-22
A5.4.2. Tabela de medições altimétricas	A-23

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Aspeto do templo romano, com a biblioteca pública na proximidade (Fotografia do autor)	6
Fig. 2.2. Aspeto do claustro do Colégio do Espírito Santo, edifício maior da Universidade de Évora (Fotografia do autor).....	6
Fig. 2.3. Aspeto do Convento do Paraíso visto da Rua Mendo Estevens, c. 1900 (Fotografia de José António Barbosa, Arquivo Fotográfico da CME).....	7
Fig. 2.4. Após demolição do Convento, este deu lugar ao pequeno Jardim do Paraíso e a centro de saúde (Fotografia na atualidade: Teresa Engana)	7
Figura 2.5. Vista aérea da cidade, orientada para sul, percebendo-se ao centro o complexo do Convento (Fotografia: CME, 1997).....	9
Figura 2.6. Planta do centro histórico de Évora, sinalizando os quarteirões de maior dimensão (área superior a 5000 m ²), a amarelo, e os elementos edificados classificados individualmente (monumento nacional ou imóvel de interesse público), a cinzento-escuro (elaborada a partir dos elementos dos SIG municipais)	10
Fig. 2.7. Algumas das pinturas subsistentes no convento, em meados do século passado (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950)	12
Fig. 2.8. Aspeto da abóbada da igreja, pela mesma altura, dando a ver as pinturas remanescentes, com ilusão de tridimensionalidades (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950)	12
Fig. 2.9. «Conjunto de altares desaparecido da Sala do Capítulo (Séc. XVIII)» (Espanca, 1972)..	13
Fig. 2.10. Aspeto das obras de limpeza da derrocada da ala do convento voltada à Rua de Santa Clara, c. 1937 (Fotografia: DGPC, SIPA, 1937)	13
Fig. 2.11. Aspeto das obras de reconstrução na ala do convento voltada à Rua de Santa, incluindo da galeria do claustro (Fotografia: DGPC, SIPA, 1942).....	14
Fig. 2.12. Aspeto das obras já terminadas na ala poente, sendo iniciadas demolições na ala sul (Fotografia: DGPC, SIPA, 1943).....	14
Fig. 2.13. Convento de Santa Helena do Monte Calvário, visto da Rua da Lagoa, para noroeste (Fotografia: DGPC, SIPA, 1954)	16
Fig. 2.14. Alçado principal da Igreja de Santa Clara, (Desenho: DGPC, SIPA, 1993)	16
Fig. 2.15. Aspeto exterior do de Nossa Senhora de Aracoeli, em Alcácer do Sal (Fotografia: publicada por Paulo Gonçalves, no blogue Viajar e Descobrir, 2011).....	16
Fig. 2.16. Vista geral do Convento das Servas de Nossa Senhora, em Borba, a partir de sudoeste (Fotografia: DGPC, SIPA, 1991)	16

Fig. 2.17. Aspeto do claustro na sua frente sul (Fotografia: DGPC, SIPA, 1938)	17
Fig. 2.18. Aspeto das obras de demolição dos corpos edificados a sul (Fotografia: DGPC, SIPA, 1943).....	17
Fig. 2.19. Aspeto do claustro, dando a ver na sua frente norte várias ocupações a nível de 2.º andar (Fotografia: DGPC, SIPA, 1938).....	17
Fig. 2.20. Aspeto das obras, na mesma frente do claustro, percebendo-se o novo volume da caixa de escadas (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950).....	17
Fig. 2.21. Aspeto do antigo claustro da portaria, sobrelevando-se o mirante a noroeste (Fotografia: DGPC, SIPA, 1938).....	18
Fig. 2.22. Aspeto das obras de remodelação e extensão desse mesmo espaço, olhando para nordeste a sua transformação para o atual claustro do poço (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950).....	18
Fig. 2.23. Planta aerofotogramétrica de Évora, em 1945 – extrato do original, reduzido à escala 1:5000, ilustrando a relação do convento, à direita, com a Rua de Serpa Pinto e sua desembocadura para a área extramuros, na Porta de Alconchel (Carta: CME, 1945)	18
Fig. 2.24. Desenho de perspetiva na capa para o Projeto de ginásio e oficinas para a Escola Industrial e Comercial de Évora (Desenho: ASAP, 1949)	18
Fig. 2.25. Aspeto da sala de informática, no claustro do poço (Fotografia do autor)	19
Fig. 2.26. Aspeto da galeria superior norte do claustro do poço (Fotografia do autor)	19
Fig. 2.27. Aspeto do coro baixo, vista para a grade (Fotografia: DGPC, SIPA, 1997)	20
Fig. 2.28. Aspeto do coro baixo na atualidade, em perspetiva similar (Fotografia do autor)	20
Fig. 2.29. Aspeto atual geral do coro alto, vista do lado da grade para poente (Fotografia do autor)	20
Fig. 2.30. Aspeto atual do mirante da torre sineira, pelo interior (Fotografia do autor).....	20
Fig. 3.1. Albrecht Meydenbauer, placa de exposição, Exposição Fotográfica Internacional de Dresden 1909, Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege, Messbildarchiv, número de inventário 27 i 2/ Z.V.3a-4a	22
Fig. 3.2. ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1946. Foto de U. S. Army.....	22
Fig. 3.3. Looking at Pictures on a Screen, 1977. Óleo sobre tela, de David Hockney	23
Fig. 3.4. The Area Of Fürstenberg, Paris, 7-9 Agosto 1985. Fotocolagem, de David Hockney ...	23
Fig. 3.5. Desmontagem do grande templo de Abu Simbel, de local junto ao rio Nilo, inundado pelo Lago Nasser	25
Fig. 3.6. Realocação para outro local, 65 m acima (Fotografias: BERG, 1978)	25

Fig. 3.7. Sequências de fotos ilustrando: na primeira linha, movimentos circulares, convergentes no objeto; na segunda linha, movimentos de arrastamento, pontos de vista perpendiculares ao objeto; na terceira linha, movimentos de arrastamento, pontos de vista oblíquos ao objeto (fotos do autor)	29
Figura 3.8. Exemplo de sinalização de pontos-chave, a verde, em duas imagens sequentes e com rotação, e de correspondências, a laranja (fotografias do autor, tratamento no RC).....	30
Fig. 3.9 Modelo de nuvem de pontos esparsa.....	33
Fig. 3.10. Modelo de nuvem de pontos densificada, após reconstrução MVS (produção própria, no programa Reality Capture)	33
Figura 3.11. Imagem compósita, de modelo em nuvem de pontos, para modelo de superfície texturizado (produção própria)	35
Fig. 3.12. Processo de aquisição de imagens no Convento do Carmo, em Lisboa, a azul ilustrando-se as posições do drone / captação de fotografia (in Vitale et al., 2021)	39
Fig. 3.13. Resultados do processamento fotogramétrico (in Vitale et al., 2021).....	39
Figura 3.14. Fortaleza de Juromenha, Modelo fotogramétrico global em 3D, de baixa resolução, na plataforma SketchFab (captura de ecrã, na plataforma SketchFab) (MATEUS et al., 2019)	40
Fig. 4.1. Ermida de Nossa Senhora da Cabeça: Ortoimagem – corte vertical, visando o alçado interior do adro, em resultado da reconstrução e obtido através do CC.....	44
Fig. 4.2. Capela de São Roque do Louredo: O referencial de escala utilizado, na esquina da capela (Fotografia do autor).....	45
Fig. 4.3. Axonometria do modelo de superfície texturizado resultante da reconstrução e obtida do CC	45
Fig. 4.4. – Planta do quarteirão de Santa Clara e sua envolvente próxima, à escala 1:1000, sobre o mais recente levantamento aerofotogramétrico da cidade (elaboração própria, a partir dos elementos dos SIG municipais).....	47
Fig. 4.5. Ortoimagem – Claustro do Poço: primeiro corte vertical, visando interior a norte do claustro do poço, em resultado da reconstrução e obtido do CC.....	52
Fig. 4.6. Ortoimagem – alçado sul da igreja, em resultado da reconstrução e obtido do CC	53
Fig. 4.7. Quarteirão de Santa Clara: Modelo de superfície texturizada, em visualização axonométrica, no CC.....	54
Fig. 4.8. Quarteirão de Santa Clara: A mesma visualização, no modelo em nuvem de pontos, após sua classificação segundo a verticalidade própria – os pontos horizontais, a azul, progredindo em inclinação pelos verdes e amarelos, até aos pontos verticais, a vermelho.	54
Fig. 4.9. Modelo de superfície texturizada, em visualização perspetivada, no RC.....	55

Fig. 4.10. Planificação dos espaços do claustro do poço, com planta do piso térreo e com cortes / alçados das suas frentes para norte e para oeste – imagens produzidas em CC, arranjos em AutoCAD	58
Fig. 4.11. Ortoimagem – Claustro Grande – Corte vertical longitudinal, pelas escadas sudoeste do claustro	59
Fig. 4.12. Ortoimagem – Claustro Grande –Corte vertical longitudinal, pela galeria oeste do claustro, visando como o anterior lado oeste, neste caso mostrando o alçado interior da galeria – imagens produzidas em RC	59
Fig. 4.13. Sobreposição de planta do piso 0 da escola, vetorizada de originais oriundos da Direção Regional de Educação do Alentejo, via CME, à ortoreprojeção obtida de reconstrução, por corte horizontal equivalente, do piso 0 – ponto de contacto e orientação, o centro da fonte do claustro – exportação do RC para posterior edição em AUTOCAD.....	60
Fig. 4.14. Claustro do Poço, segunda versão: Ortoprojeção (axonométrica), de frente a 45°, de linhas de contorno em profundidade, distanciadas cada 0.5 m, a partir de plano de corte vertical – exportação do RC para AUTOCAD	61
Figura 4.15. Ortoimagem, corte longitudinal pelos claustros, galerias e caixa de escadas intermédia, voltado para poente – imagem produzida em RC	61
Fig. 4.16 Ortoimagem – Portaria – Corte vertical transversal, pelas salas próximas à fachada olhando para nascente.....	64
Fig. 4.17. Ortoimagem – Portaria – Corte vertical transversal, pelas galerias e mirante, olhando para nascente	64
Fig. 4.18. Perspetiva da nuvem de pontos.....	64
Fig. 5.1. Imagens de renderização do modelo de quarteirão, ilustrando lacunas e falhas de texturização, e do modelo com espaços interiores, ilustrando falhas de modelação (programa RC)	70
Fig. 5.2. Imagens de renderização do modelo de quarteirão, ilustrando áreas com boa definição de volumes e de superfícies (programa RC).....	71
Fig. 5.3. Imagens de renderização do modelo de quarteirão e do modelo do claustro do poço, com interiores (programa RC), à direita confrontadas com fotografias de vistas similares.....	71
Fig. 5.4. Fotografias ilustrando as medições efetuadas no local, de tipo planimétrico e altimétrico; em baixo renderização do modelo do quarteirão, identificando os pontos similares de medição	73
Fig. 5.5. Imagens do levantamento aerofotogramétrico; da sobreposição da imagem equivalente produzida a partir do modelo digital; e de pormenor comparativo entre ambas (programa QGIS)	75

Fig. 5.6. Imagem da sobreposição automatizada da aerofotogrametria produzida a partir do modelo digital em relação ao levantamento aerofotogramétrico mais recente em uso na CME (ambiente de trabalho no programa QGIS).....	76
Fig. 6.1. Alçado SO do Largo Dr. Evaristo Cutileiro, obtido por retificação de imagens, em 2006 (fonte: CME); e alçado obtido agora, por fotogrametria, para a Rua de Santa Clara. Esc. 1/500.	77
Fig. 6.2. – Planta parcial de tetos do piso superior do claustro do poço na Escola de Santa Clara, ilustrando diferentes materialidades e presença de patologias nas abóbadas. Esc. 1:100.....	78
Fig. 6.3. Perspetivas do claustro do poço, orientadas para poente, obtidas a partir do modelo reconstruído, uma de superfície renderizada, outra de nuvem de pontos densificada.....	79
Fig. 6.4. Perspetiva do claustro, emulada no modelo de superfície, de fotografia do arquivo da DGPC, SIPA, de 1936, permitindo confronto direto e assim ilustrando modificações havidas...	79
Fig. 6.5. Imagem compósita, de modelo em nuvem de pontos densa, ao centro, para modelo de superfície texturizada, à esquerda, e para modelo de análise de elevações, à direita.....	80

NOTA DE LEITURA:

As imagens agrupadas em pares ou em maior número são elencadas, em legenda única, abaixo, de acordo com cânone de leitura ocidental, da esquerda para a direita e de cima para baixo.

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Cronograma de levantamentos fotográficos, por semana.....	66
Tabela 2 – Números de fotografias, localizadas, segundo máquina e forma de obtenção	67
Tabela 3 – Modelos finais, com características resumo de processamento.....	68
Tabela 4 – Pormenorização do método e progressão até chegar a modelo esparsos final.....	69
Tabela 5 – Resumo de medições planimétricas e altimétricas	74

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

SIGLAS E ACRÓNIMOS

3DLS – *3 Dimensional Laser Scanning*

ALS – *Aerial Laser Scanning*

ASAP – *Atlas of School Architecture in Portugal*

BIM – *Building Information Modelling*

CAD – *Computer-Aided Design* / Desenho Assistido por Computador

CC – [Programa informático] *CloudCompare*

CHE – Centro Histórico de Évora

CIPA – *Comité International de la Photogrammetrie Architecturale* / Comité Internacional de Fotogrametria Arquitectural

CME – Câmara Municipal de Évora

CMOS – *Complementary metal–oxide–semiconductor*

DGEMN – Direção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais

DGPC – Direção Geral do Património Cultural

DRONE = UAS – *Unmanned Aircraft System* / Aeronave Não Tripulada = SUA – *Small Unmanned Aircraft* / Veículo Aéreo Não Tripulado

ICOMOS – *International Council of Monuments and Sites* / Conselho Internacional de Monumentos e Sítios

ISPRS – *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* / Sociedade Internacional de Fotogrametria e Detecção Remota

HBIM – *Heritage BIM*

LIDAR – *Laser Imaging, Detection and Ranging*

MESH = TIN – *Triangulated Irregular Network*

MVS – *Multi-View Stereo*

QGIS – [Programa informático] *Quantum GIS (Geographical Information System)*

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

RC – [Programa informático] *Reality Capture*

SIG – Sistema(s) de Informação Geográfica

SfM – *Structure from Motion*

SIFT – *Scale-Invariant Feature Transform*

SIPA – Sistema de Informação para o Património Arquitetónico

TLS – *Terrestrial Laser Scanning*

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* / Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

I. INTRODUÇÃO

I.1. Motivação

Na gestão urbanística da cidade – principalmente dos seus centros históricos – e na reabilitação do seu edificado – designadamente os de maior valor – é sempre necessário o acesso a uma multiplicidade de dados, desde os de documentação histórica aos de representação gráfica, entre outros. Em Portugal, e mais particularmente em Évora, a disponibilidade e o rastreamento desse tipo de informação várias vezes se verifica ser difícil – ou ela se mostra desatualizada ou é mesmo inexistente. Essas lacunas, sensíveis, muitas vezes perturbadoras, foram motivadoras de trabalho que as procurasse colmatar.

Por princípios de sustentabilidade, o processo de digitalização do mundo que nos rodeia avança de modo bem evidenciado. A isso claramente ajudam progressos tecnológicos e disponibilidade de meios, ao alcance de cada vez mais gente, técnicos e interessados. No que aos domínios da reabilitação de edifícios e de áreas urbanas diz respeito, a utilidade das ferramentas digitais é amplamente reconhecida, o que impulsionou promover-se a sua aprendizagem, difundir-se a sua aplicação e, nisso, contribuir para eliminar algumas das sentidas faltas de dados.

I.2. Objetivos

O desenvolvimento do presente trabalho pretende contribuir para um melhor conhecimento e domínio de ferramentas digitais de informação – designadamente da tecnologia e processos da fotogrametria digital e das suas resultantes modelações virtuais digitais – cuja utilização no campo da reabilitação urbana e de edifícios é reconhecida, mas cuja utilização de forma mais quotidiana e interligada com outros processos não se mostra ainda sensível, apesar de progressos na sua difusão.

Assim, um dos grandes objetivos do presente trabalho passou por perceber qual a capacidade de serem usados apenas processos fotogramétricos, de forma suficiente e independente de outros processos ou métodos, para alcançar, com sucesso, uma documentação capaz e rigorosa de edificações objeto de processos ou de necessidades de reabilitação. Ou seja, o trabalho pretendeu servir para ser testada a própria tecnologia, descrevendo-se e aplicando-se as suas ferramentas tal como se mostram atualmente disponíveis. Tentou ainda, tendo em conta o menor nível de investimento financeiro necessário para obtenção dos meios de uso destas, demonstrar-se em simultâneo a sua valia de utilização por um maior número de pessoas ou entidades – mesmo que com menor rigor ou com menor número de atributos caracterizadores do que outros processos permitem.

Assim, enquanto objetivo secundário e decorrente deste primeiro, procurou-se que o teste e os recursos nele utilizados fossem tão crus e tão modestos quanto possível, centrados no uso manual e ou automatizado da tecnologia em si – por isso abdicando do uso de equipamentos excessivamente dispendiosos, de serviços acessórios externos, ou de programas de edição da informação em grande número, mesmo que estes fossem garantes de melhor prestação.

Mais particularmente, pretendeu-se testar a utilização dessa ferramenta no território do centro histórico de Évora – uma cidade de reconhecido valor, incluída na lista de património mundial, indicada pela UNESCO – e com isso possibilitar novas leituras sobre a informação já existente, ou a aquisição de mais informação, de qualidade acrescida, em grandes conjuntos nele edificadas (com a dimensão de verdadeiros quarteirões) com especial relevância patrimonial, e cujos processos de reabilitação, além de necessários, se percebem potencialmente ativos, se anteveem em execução a médio prazo. Assim, com dimensão relevante, com significado cultural reconhecido e com necessidades de intervenção evidenciadas, a escolha recaiu sobre o convento / escola de Santa Clara.

Um outro grande objetivo do presente trabalho passou assim por documentar visualmente este grande complexo edificado, de modo tão completo quanto se conseguisse, por recurso à fotogrametria digital, de modo a facilitar outros trabalhos posteriores de análise e ou de propostas para a sua necessária reabilitação – almejando até ter utilidade direta nestes. Neste âmbito, assumiu-se que, se essa informação pudesse ser metricamente rigorosa, ficaria logicamente mais ampliado o leque de possibilidades para o sucesso desses últimos.

Num outro patamar, mais abstrato e de cariz acessório, procurou-se que o teste a essa ferramenta fosse também suficiente para que viesse a ser possível: i) capacitarem-se melhores informações e propiciarem-se as melhores decisões em processos de gestão urbanística ou até em processos de gestão mais geral, recentemente preconizados pela própria UNESCO – mais do que para centros históricos, para paisagens urbanas históricas – em que procedimentos de avaliação de impacto patrimonial poderão vir a ser instrumentais e nos quais a fotogrametria digital pode ter um papel decisivo; ii) potenciar-se a leitura e facultar-se a comunicação de forma fácil, integrada e qualificada de unidades de território como aquela escolhida como objeto de estudo, com utilidade não só para profissionais, mas também para o público interessado de um modo geral, e, portanto, estabelecida num formato que possa dar primazia à experiência de utilizadores comuns, não necessariamente especializados; iii) permitir-se a replicação de modelos ou processos aprendidos, e o mais possível estabilizados e proficientes, em outros quarteirões e outros grandes edifícios do mesmo centro histórico, ou de outros com similaridades, por exemplo em termos de classificação patrimonial.

I.3. Organização

O trabalho para dissertação foi organizado e foi sendo executado dividido em duas grandes partes: uma primeira de investigação, por um lado sobre a ferramenta em uso, a fotogrametria digital, por outro sobre o objeto em estudo, o convento / escola de Santa Clara; e uma segunda de labor, dedicada à concreta aplicação daquela ferramenta sobre este objeto, e de análise ao seu respetivo comportamento.

A estrutura da presente dissertação e sua concretização foi, em coerência e de forma consequente, dividida em duas rigorosas metades, com tanto para um lado sobre a investigação levada a efeito, como para o outro, sobre o trabalho de aplicação da fotogrametria aos espaços da escola.

Para a primeira metade, é introduzido em capítulo próprio – este – em quatro páginas iniciais, o tema da investigação e do trabalho, enunciando os seus principais objetivos e descrevendo a própria organização da dissertação.

Segue-se num segundo capítulo a apresentação do objeto de estudo, o convento / escola de Santa Clara, assim enunciado em honra simultânea ao seu passado histórico e à sua utilização atual. Neste se contextualiza a sua localização e significado no centro intramuralhas de Évora; cidade que é antes brevemente apresentada na sua história e caracterização; estas são depois retomadas, apontada a história especificamente para o próprio conjunto edificado; o qual é imediatamente descrito, quer na sua formulação original, diretamente relacionada com a vivência conventual feminina, quer na sua transformação para uma escola, no contexto de intervenção operada no século passado; por fim é caracterizada a atualidade da escola e da igreja, os dois cadastros em que foi dividido o antigo convento.

Com dimensão ligeiramente superior, o terceiro capítulo é dedicado inteiramente à apresentação da tecnologia da fotogrametria digital. Não deixando a princípio de enunciar o conceito próprio e de o contextualizar historicamente; e no final de ser abordado o contexto da sua aplicação em Portugal; o núcleo do capítulo é centrado na relação da fotogrametria com o património edificado, designadamente enquanto método de representação do mesmo; descrevendo-se depois processos, métodos e técnicas próprios do seu uso; enumerando-se ainda os seus resultados, possibilidades de utilização em ambientes externos, e linhas de investigação em curso e para futuro próximo.

A segunda metade da dissertação inicia-se com o capítulo quarto, em que diretamente se descreve todo o trabalho levado a efeito em aplicação direta da fotogrametria – especificamente adaptada ao espaço da escola de Santa Clara. Assim: não deixam a princípio de ser apresentados os preparativos fomentados para capacitar o seu uso prático; tal como não se prescinde de imediatamente apresentar a metodologia e a abordagem segundo a qual se prosseguiu essa

aplicação; descreve-se depois o trabalho efetivo levado a efeito, desagrupado nos três tipos de espaços que se procuraram descrever – os exteriores, da envolvente edificada, os semi-exteriores, característicos das circulações em galerias de claustros e em escadas associadas àquelas, e os interiores, de alguns compartimentos existentes na escola; sobre cada um destes três tipos de espaços se descrevem sucintamente os trabalhos executados – fundamentalmente de levantamento fotográfico e de processamento de modelação – e os respetivos resultados alcançados.

O trabalho de produção exigiu que se distendesse não só nos espaços da escola, mas também em tempo, pelo que o conseqüente trabalho de análise aos seus resultados ficou relativamente reduzido, o que transparece diretamente no próprio dimensionamento do capítulo quinto. Ainda assim, neste são analisados os trabalhos em duas das suas mais importantes vertentes: quanto ao próprio processo de trabalho, abordando-se as suas duas fases mais relevantes, de levantamento e de processamento; e quanto aos resultados alcançados a partir dele, designadamente em função de aspetos visuais, métricos e posicionais.

Simetricamente, a dissertação finaliza com as conclusões consideradas mais relevantes e possíveis retirar do trabalho realizado. Assim, em quatro páginas sucintas, de uma forma em larga medida apoiada em imagens que procuram também elas falar, conclui-se pela valia da fotogrametria digital: para a documentação urbana, da cidade e dos seus edifícios constituintes; para a reabilitação arquitetónica, construtiva, dos edifícios, e muito concretamente da própria escola de Santa Clara; bem assim, abordam-se a sua potencialidade para nos conceder novos modos de ver; e por fim a sua capacidade enquanto ferramenta de análise da realidade das edificações, aspetos que enunciam interessantes caminhos de investigação a prosseguir.

Espera-se que com este trabalho se possa promover o uso da fotogrametria aplicada ao património edificado histórico. Maior esperança ainda é de que este trabalho, uma vez finalizado, se possa constituir como uma chamada de atenção, um pequeno contributo para o processo de revisão de tão importante conjunto edificado como é o do antigo convento de Santa Clara – embora naturalmente menor, por relação a quanto há que fazer, um contributo ativo, crendo que possa ser uma pequena chama que deite luz e comece a dar forma aos processos de reabilitação, tanto física como funcional, que serão evidentemente necessários desencadear num futuro próximo e que deverão capacitar ambas as suas partes, igreja e escola, para uma vida renovada, por mais um século, para a nossa contemporaneidade.

2. CONVENTO / ESCOLA DE SANTA CLARA DE ÉVORA

O quarteirão do antigo Convento de Santa Clara de Évora, hoje separado entre Igreja e Escola de Santa Clara, assume enorme importância no centro histórico de Évora: seja pelos valores culturais que ainda se mostram presentes, revelando-se no seu desenho e na sua construção, distendida no tempo, mas lida ainda hoje, a mestria de formas e de artífices dos períodos medieval, renascentista, maneirista, ou barroco; seja pelas suas funções, enquanto equipamento escolar, a única escola de segundo ciclo do ensino básico presente no centro da cidade, com a sua capacidade de atração e indutora de vida quotidiana neste tecido urbano – uma qualidade que não se pode perder, sob pena de se ceder à progressiva, senão definitiva, musealização do centro e à redução da sua desejável autenticidade e plurifuncionalidade.

No entanto, essa importância não transparece assim tanto quanto seria justificado: a edificação, quer na igreja, quer na escola, vai sucumbindo à passagem do tempo, sem capacidade de resistir muito mais às várias patologias que a assolam, sem possibilidade de responder a vários dos quesitos de uso que são exigíveis. Por outro lado, as funções que as poderiam dignificar parecem não surgir como seria esperado, quer porque na igreja são na prática inexistentes (com inúmeros dos seus espaços inutilizados e abandonados, não deixando resplandecer a sua espacialidade na medida adequada), quer porque na escola é defensável e é defendido um conjunto de adequações para os nossos tempos e modos de educar (que persistem em não se verem materializadas).

2.1. Évora, breve apresentação

Évora resulta de um contínuo histórico que começa bem longe no tempo. Os sinais de primeira ocupação do território remontam ao neolítico. A marcante monumentalidade dos muitos megálitos dispersos pelo Alentejo e particularmente no concelho de Évora, onde despontam alguns dos maiores e mais significativos deles, é matéria que vale só por si e que por isso tem interessado um número crescente de pessoas curiosas e de investigadores fascinados com esse passado mais remoto, cuja valia e paradoxal fragilidade impulsionaram não só os progressos na sua classificação a nível nacional (DGPC, 2022: Anúncio n.º 39/2022), mas também a discussão do seu valor mundial (Pereira et al., 2002: 15).

Esses sinais não retiram, contudo, verdade à afirmação da fundação da cidade, da urbe de Évora, fundamentalmente na época romana. São múltiplas as marcas da civilização e da civilidade romanas que ainda hoje subsistem, desde as muralhas que circundavam a cidade às termas públicas que alimentavam a vida social. Desses vestígios ressalta um, emblemático – o templo

romano, na acrópole da cidade, que apesar das várias estórias e transformações por que passou ao longo de séculos, é atualmente um identificador de Évora, um seu signo indiscutível (Fig. 2.1) (Bilou et al., 2013: 4).

A presença posterior da civilização muçulmana, também pujante e longa de séculos, foi em larga medida sustentada na existência das anteriores estruturas romanas, a elas dando reforço e continuidade, ou uma verdadeira reconstrução, após arrasado da cidade – donde a justeza da designação da cerca de então como romano-árabe. Se essa presença é hoje menos reconhecível, nem por isso se revela menos estruturante para a cidade que conhecemos.

Depois da reconquista cristã da cidade, já a favor da nação portuguesa então em afirmação, após a progressiva pacificação do território, a cidade assiste a uma sua primeira expansão para fora de muros, cujas marcas urbanas são ainda amplamente reconhecíveis. É a essa época medieval que devemos a edificação da Sé de Évora, das maiores de Portugal e que encimará sempre desde então a silhueta da cidade, e a posterior delimitação do espaço da crescida urbe com uma nova cerca, também esta das mais extensas no país de finais do século XIV.

O crescente protagonismo e importância de Évora nos séculos XV e XVI, chegando então a ser de pleno direito a segunda cidade do reino, potenciam ainda mais a sua transformação e crescimento urbanos. São de então a construção ou reforma de inúmeros e valiosos edifícios e equipamentos, de cariz religioso, civil ou militar – igrejas, conventos, palácios, colégios, quartéis – que marcarão por si e em conjunto uma leitura que, apesar de tudo após, ainda hoje nos é possível: de grande riqueza e variedade arquitetónicas, formalizada a partir de miscigenações singulares e de um virtuosismo construtivo no tardo gótico alentejano, de que a Igreja de São Francisco é exemplo maior, ou de novos modelos internacionais renascentistas, como se percebe na Igreja da Graça, ou ainda de mais novos valores de despojamento e rigor de construção, no maneirismo que já é experimentado e se vislumbra na Igreja de Santo Antão ou na Igreja do Espírito Santo (Fig. 2.2) (Bilou et al., 2013: 6).



Fig. 2.1. Aspeto do templo romano, com a biblioteca pública na proximidade (Fotografia do autor);
Fig. 2.2. Aspeto do claustro do Colégio do Espírito Santo, edifício maior da Universidade de Évora (Fotografia do autor)

O carácter religioso da cidade continuará a marcar indelevelmente os seus espaços urbanos. Nos séculos XVII e XVIII essas marcas surgirão plenamente num registo de enriquecimento, com a reforma de edifícios já existentes, em que avulta a construção da nova capela-mor da Sé de Évora ou da distintiva Capela dos Ossos, e de continuidade, com edificação de novos conventos e igrejas, que povoam a cidade ao ponto de esta se confundir com aqueles.

Depois, no século XIX, a relação da cidade com todo esse conjunto edificado revelar-se-á de distinta maneira, por um lado por efeito de rotura radical com esse passado recente, aliado a princípios higienistas de fazer cidade, originando-se então, por demolição parcial ou total de conventos e de outros edifícios, vários dos espaços públicos e abertos que, não obstante essa violenta origem, caracterizam e beneficiam a cidade de hoje (Fig. 2.3 e 2.4). Simultaneamente e por contraponto outras perspectivas surgirão, de recaptação e proteção desse mesmo passado, primeiro o ligado às formas que então mais se valorizavam, da época romana ou do estilo “manuelino”, mas mais tarde também de outras eras e formas, não se podendo deixar de assinalar o papel fundamental que virá a ter na proteção e salvaguarda do património da cidade o Grupo Pró-Évora, primeira associação de defesa do património em Portugal, fundado em 1919 (Fernandes, 2007: 145; Almeida e Barbosa, 2001: 66).



Fig. 2.3. Aspeto do Convento do Paraíso visto da Rua Mendo Estevens, c. 1900 (Fotografia de José António Barbosa, Arquivo Fotográfico da CME); Fig. 2.4. Após demolição do Convento, este deu lugar ao pequeno Jardim do Paraíso e a centro de saúde (Fotografia na atualidade: Teresa Engana)

Na atualidade, a cidade já novamente transcendeu, e largamente, os limites das suas muralhas medievais, num crescimento urbano muito visível na segunda metade do século XX – em alguns casos por meio de qualificados processos de urbanização, como ocorreu a nascente com a Zona de Urbanização N.º 1 e mais tarde a poente com o Bairro da Malagueira (Almeida e Barbosa, 2001: 102, 163). O contraponto a esse cenário de expansão é o do progressivo abandono do centro e o da degradação do seu tecido edificado. No início deste século:

«O centro histórico de Évora vive um quadro assim resumido: despovoamento acentuado (de 18559 habitantes em 1940, para 5668 em 2001, ou seja, um declínio para cerca de 30%), 17% de edifícios desabitados; 30% de edifícios em estado razoável, implicando

medidas de reabilitação; 8% de edifícios em mau estado, obrigando a total reabilitação; grande percentagem de residentes idosos e de baixos rendimentos (35,1% dos habitantes do centro tem mais de 65 anos, enquanto o mesmo valor para o concelho é de 18,490); débil capacidade financeira dos proprietários para a mobilização de verbas destinadas à reabilitação (os fogos em regime de arrendamento são mais de 60%); tipologias desadequadas às necessidades dos agregados (edifícios muito grandes ou muito pequenos); [etc.]» (Oliveira, 2007: 195)

Não obstante esse retrato denunciador de vários motivos de preocupação, todos eles, com maior ou menor agravamento, ainda hoje bem atuais, o centro histórico não deixa de manter-se como ponto focal da cidade e do seu movimento urbano, tanto para os que nela vivem como para os que chegam de fora; e, se a sua fisionomia é em geral a decorrente das ações de oitocentos – tanto as que fomentaram, higienicamente, novos espaços públicos para fruição da população como as que ampliaram e redecoraram tantos edifícios ao gosto da época – não é menos verdade que há uma identificação muito particular da cidade com os seus diversos e singulares edifícios que pontuam toda a área intramuralhas numa distribuição bastante regular e que, com todas as vicissitudes inerentes à sua longa história, sobrevivem da sua designada era de ouro, em torno dos anos de quinhentos, seja essa leitura da cidade histórica devedora de um factual realismo ou de um elaborado idealismo (Fernandes, 2007: 145; Bilou et al., 2013: 6).

Foram precisamente essas identidade e singularidade urbanística e arquitetónica, a de que «*a paisagem urbana do Centro Histórico de Évora é um lugar único para compreender a influência exercida pela arquitetura portuguesa no Brasil, em sítios como o Centro Histórico de Salvador da Bahia*», e a de que «*é o melhor exemplo de uma cidade da época de ouro de Portugal, após a destruição de Lisboa pelo terramoto de 1755*»¹ as que fundamentaram a inscrição do centro histórico de Évora na lista do património mundial, pela UNESCO, em 1986, e que se mantêm ainda plenamente reconhecíveis na atualidade.

¹ Da página internet da Convenção do Património Mundial da UNESCO, dedicada ao centro histórico de Évora [acesso em 16-07-2022, em <https://whc.unesco.org/en/list/361/>] lê-se, no original: «Criterion (ii): The cityscape of the Historic Centre of Évora is a unique place for understanding the influence exerted by Portuguese architecture in Brazil, in sites such as the Historic Centre of Salvador de Bahia. Criterion (iv): The Historic Centre of Évora is the finest example of a city of the golden age of Portugal after the destruction of Lisbon by the 1755 earthquake»

2.2. O lugar do Convento de Santa Clara

O quarteirão onde se implanta o Convento de Santa Clara mantém-se praticamente inalterado na sua morfologia desde a sua fundação medieval. A cidade já havia transcendido o seu primeiro recinto de muralhas, já se encontrando fortificada e delimitada pelo grande perímetro amuralhado iniciado na época fernandina, então o segundo maior no país. Da praça grande, estavam já estabelecidos vários eixos de expansão urbana – um deles o eixo para poente, pela Rua d’Alconchel, até uma das mais importantes portas daquele recinto. Diferentemente dos mosteiros masculinos, que na maioria procuravam as áreas periféricas da cidade, os conventos femininos deviam localizar-se no miolo urbano, não sem projetar o seu poder e autossuficiência, numa construção tipológica refinada ao longo do tempo (Gomes, 2000) – de muros altos, de janelas diminutas, de formas austeras. Assim ocorre no espaço do antigo convento de Santa Clara, localizado a meio da descida da Rua d’Alconchel. Mesmo com o crescimento e densificação urbana à sua volta, a sua presença impõe-se, referencial (Fig. 2.5).



Fig. 2.5. Vista aérea da cidade, orientada para sul, percebendo-se ao centro o complexo do Convento (Fotografia: CME, 1997)

O quarteirão da igreja e da escola, considerando-se a sua primitiva forma cadastral enquanto convento, é um dos maiores no interior do centro histórico. De entre cadastros com mais de 5000 m² – apenas quinze – Santa Clara assoma-se com cerca de 6700 m², no meio desse

conjunto que integra: desde equipamentos (a maioria), como o Hospital do Espírito Santo ou a Universidade de Évora / Colégio do Espírito Santo, os maiores, ambos com mais de 3 ha; até uma pequena quinta, ainda subsistente e a única urbanizável, ou um estabelecimento hoteleiro, ambos estes junto do perímetro amuralhado e no caso com áreas próximas dos 5000 m². Por outro lado, a sua representatividade no centro histórico torna-se acrescida: quer pelo facto de ser um dos quatro quarteirões que, neste grupo, possui classificação nacional, no caso enquanto monumento nacional; quer por ser o único, de dois equipamentos presentes no centro histórico dedicados à educação de ensino básico, dedicado ao 2.º ciclo de educação (Fig. 2.6).

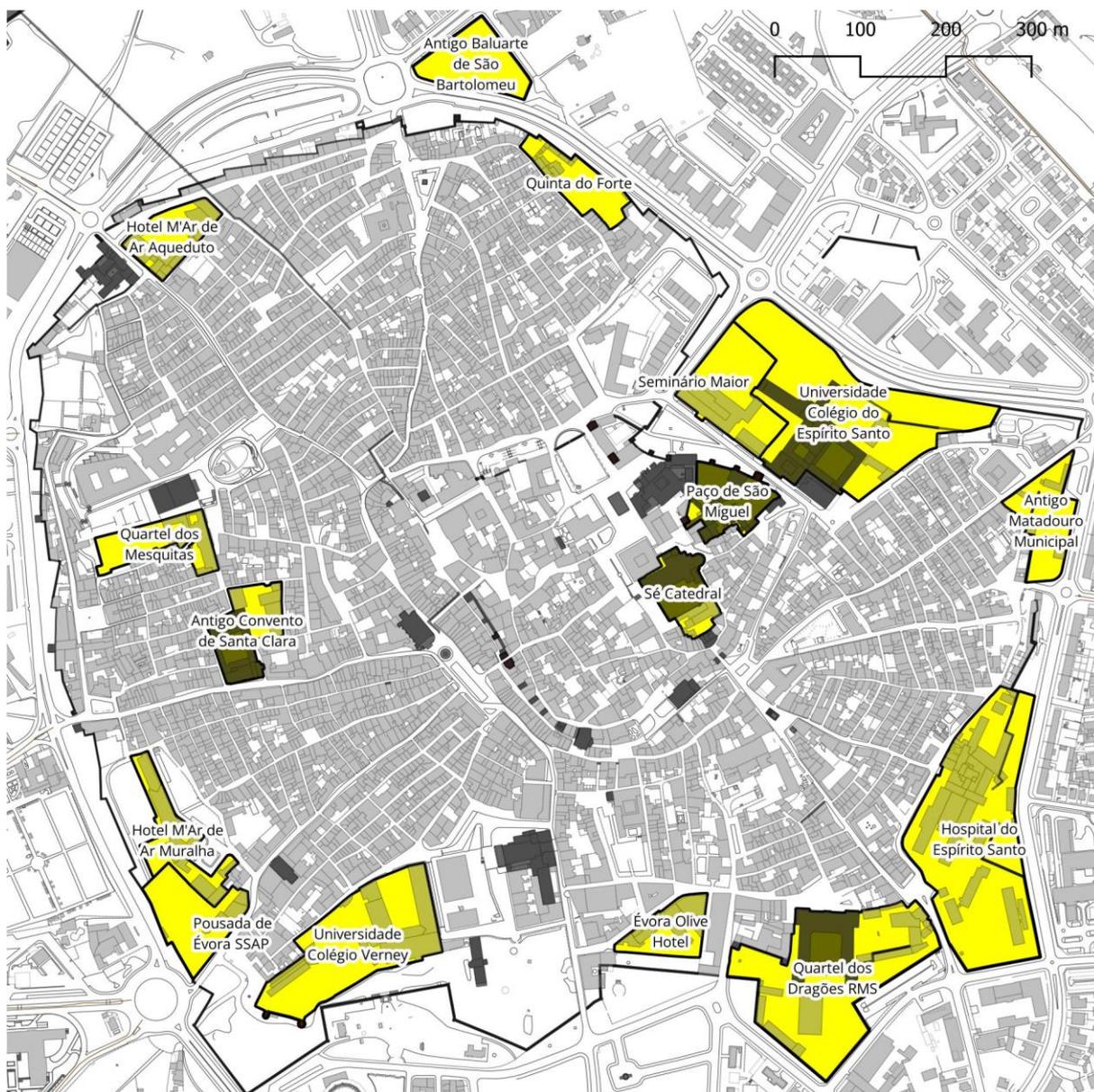


Fig. 2.6. Planta do centro histórico de Évora, sinalizando os quarteirões de maior dimensão (área superior a 5000 m²), a amarelo, e os elementos edificados classificados individualmente (monumento nacional ou imóvel de interesse público), a cinzento-escuro (elaborada a partir dos elementos dos SIG municipais)

2.3. Da história do Convento / Escola de Santa Clara

Em Portugal, a presença da Ordem de Santa Clara, que segue de perto a Ordem de S. Francisco, surge quase imediatamente após a morte da santa, em meados do século XIII. Com origem em comunidade surgida em Lamego, a fundação do primeiro convento surge mais a sul, em Santarém, em 1258, seguindo a regra urbanista, apesar de tudo menos severa do que a regra escrita pela própria santa, “...*vivendo in oboedientia, sine proprio, et in castitate, sub clausura*”. Ao longo do período medieval serão fundados catorze conjuntos monástico-conventuais da ordem, em Portugal – quatro no século XIII, cinco no XIV e novos cinco durante o século XV (Andrade, 2011; Amaral, 2014; Duarte, 2016).

2.3.1. Fundação – Século XV

A vinda das clarissas para Évora ocorre em 1452, com a fundação de casa religiosa «no lugar de umas casas velhas, dos paços dos Falcões, à Rua de Alconchel», por impulso do bispo de Évora de então, D. Vasco Perdigão. Em 1459, a nova comunidade clarissa toma posse do edifício e logo no ano seguinte, em 1460, há notícia de primeira empreitada com vista à decoração do ambiente conventual, com encomenda pelo bispo de Évora de composição de pintura pelo artista Álvaro Gonçalves – a qual se dá, porém, como perdida. A aprovação papal à nova instituição das religiosas ocorre já mais tarde, sob égide do bispo sucessor D. Jorge da Costa, sendo a primitiva igreja consagrada em 1464 (Espanca, 1966).

2.3.2. Crescimento, auge – Séculos XVI-XVII

Pela reforma da Ordem Seráfica dos Padres da Observância, em 1535, as clarissas deixam de estar sujeitas aos frades franciscanos, facto que, com reorganização de domínios e rendas, origina um enriquecimento da casa. Pelo mesmo tempo, são impulsionadas várias benfeitorias no convento por parte dos notáveis D. Rui de Melo e de D. Garcia de Castro, conselheiro de D. João III e governador-geral de Mazagão, razão por que tanto estes como seus descendentes repousam no presbitério (Espanca, 1966).

A construção de uma nova igreja, no lugar do primitivo templo gótico, tem lugar no último quartel do século XVI. Sabe-se que em 1584 era seu empreiteiro e responsável pela obra, talvez até o autor do “risco”, o mestre de pedraria Manuel Filipe, o qual veio a dar assistência gratuita à obra, em pena de crime cometido nessa data. Numa fase mais tardia da obra, já em 1592, sabe-se ser contratado pintor local, Francisco João, para realizar um grande painel da vida de Santa Clara, destinado à capela-mor – painel esse que será retirado aquando das obras de ampliação do trono, no século XVIII, permanecendo, contudo, no convento (Fig. 2.7) (Espanca, 1966).

Em 1663, na fase final da Guerra da Restauração, decorrida entre 1640 e 1668, há notícia de grandes estragos no convento, originados por ocasião do cerco da praça de Évora pelo exército castelhano de D. João de Áustria (Caeiro, 2005: 163).

Com disposição de grande fortuna (ou por herança ou sendo oriunda do Brasil), nos princípios de 1700 dá-se a encomenda de pintura mural a óleo e têmpera para revestimento do imenso vão de alvenaria da igreja, com cerca de 20 por 10 m, bem como do da capela-mor. Da época final do barroco, estes painéis merecem menção pelas tentativas de ilusão perspética, certamente já sob influência da pintura italiana – atribuídos a Pedro Figueira e ao seu filho António de Oliveira Bernardes (este o autor também de pinturas em tela para afixação parietal), o painel octogonal central (depois rodeado por dois outros medalhões elípticos) representa a Virgem da Conceição e possui elementos de arquitetura e céu pintados sugerindo a tridimensionalidade – contudo, nas figuras, o escorço não é acusado, figurando-se de frente, num sistema de representação misto (Fig. 2.8) (Espanca, 1966; Mello, 1998).



Fig. 2.7. Algumas das pinturas subsistentes no convento, em meados do século passado (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950); Fig. 2.8. Aspeto da abóbada da igreja, pela mesma altura, dando a ver as pinturas remanescentes, com ilusão de tridimensionalidades (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950)

2.3.3. Declínio, extinção – Séculos XVIII-XIX

Durante o século XVIII verifica-se a ampliação do trono da capela-mor, exigindo um volume edificado por sobre a travessa da Milheira, este assentando do outro lado sobre a fachada lateral do Paço dos Lobos da Gama. Na mesma época, em 1744, há notícia do restauro do coro alto, sendo o mesmo ampliado em altura, com teto em abóbada de volta perfeita (Espanca, 1966).

O convento sofre novos revezes, com estragos de monta originados pelo grande terramoto de 1755, o que exigirá novos restauros. Nos inícios do século XIX, de novo com as Invasões Francesas, o convento volta a ser alvo de estragos e delapidação (Caeiro, 2005: 163).

O evento com maior significado na época para a casa religiosa decorrerá, contudo, da extinção das ordens religiosas, em 1834, originada pouco depois da vitória dos Liberais na Guerra Civil Portuguesa. Distintamente do que ocorre a partir desta data com os conventos e outras casas religiosas de ordens masculinas, por regulação de 1862 fica determinado que os conventos femininos manter-se-iam em funções enquanto religiosas permanecessem neles, sendo extintos apenas por óbito destas. Assim, a função original do Convento de Santa Clara permanecerá ainda algumas décadas, pois que, no caso, uma última freira havia professado em Évora, um ano antes daquele decreto (Espanca, 1972).

2.3.4. Esbulho, degradação – Século XX, anos 1900-30

A morte de D. Ludovina do Carmo, a última religiosa de hábito na profissão e na morte, em Évora, ocorre em 1903, sendo conseqüentemente este o último dos conventos a encerrar na cidade. Os primeiros esbulhos ocorrem de imediato – o inventário havia sido levado a cabo logo desde 1900, decorrendo ainda durante um par de anos – com leilões públicos a serem logo organizados para venda de diversos objetos e com os coros, alto e baixo, a serem despojados, removendo-se cadeirais, capelas e grade do piso superior (Fig. 2.9) (Espanca, 1972).

Comparativamente com outros conventos na cidade, apresentava-se mais bem conservado e, assim, embora encerrado alguns anos, será permitido a partir de 1911 um novo uso para o edifício – é entregue ao Ministério da Guerra, para instalação de quartéis. As funções militares cessam em 1936, quando há uma derrocada de parte do edifício, forçando a transferência do regimento que ocupava o edifício para Vila Viçosa (Fig. 2.10) (Espanca, 1972).



Fig. 2.9. «Conjunto de altares desaparecido da Sala do Capítulo (Séc. XVIII)» (Espanca, 1972); Fig. 2.10. Aspeto das obras de limpeza da derrocada da ala do convento voltada à Rua de Santa Clara, c. 1937 (Fotografia: DGPC, SIPA, 1937)

A qualidade dos espaços deste complexo já fora oficialmente reconhecida, entretanto, através da sua classificação como Monumento Nacional, em 1922 (Decreto n.º 8.217, DG, 1.ª série, n.º 130 de 29 de Junho desse ano).

2.3.5. Renascimento como escola, igreja – Século XX, anos 1940-atualidade

Os espaços do antigo convento, depois de alguma indefinição quanto à sua reutilização, ficam destinados a uma nova utilização, na área da educação, sendo objeto de obras de reconstrução durante a década de 1940, pelo Ministério das Obras Públicas, orientadas pelos serviços da Direção Geral de Edifícios e Monumentos Nacionais e segundo projetos da Junta das Construções para o Ensino Técnico e Secundário, para adaptação do convento, datado de 1947, e para construção de ginásios e oficinas no espaço da antiga cerca, datado de 1949 (Fig. 2.11 e 2.12) (ASAP, 2019).

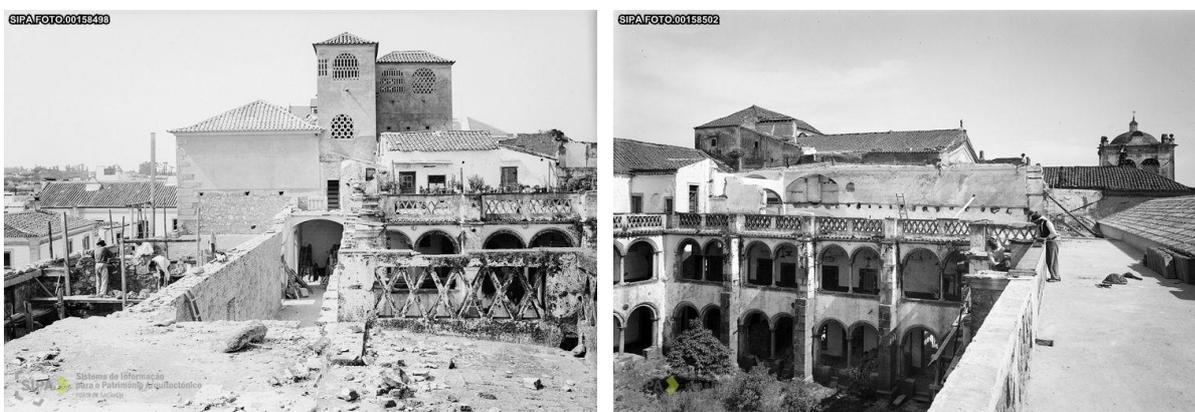


Fig. 2.11. Aspeto das obras de reconstrução na ala do convento voltada à Rua de Santa, incluindo da galeria do claustro (Fotografia: DGPC, SIPA, 1942); Fig. 2.12. Aspeto das obras já terminadas na ala poente, sendo iniciadas demolições na ala sul (Fotografia: DGPC, SIPA, 1943)

Finalizadas as obras e com a entrega do convento ao Ministério da Educação Nacional, nele se instala em 1951 a Escola Industrial e Comercial Gabriel Pereira de Évora. A igreja, por seu turno, é entregue à Paróquia de Santo Antão, e as dependências voltadas à Rua de Serpa Pinto ocupadas como habitação (Caeiro, 2005: 163). Desde então as áreas da igreja e do convento ficam efetivamente apartadas e administrativamente afetadas a distintas entidades, uma separação bem sentida e que se tem revelado com algumas consequências negativas para a identidade e também para a conservação do edificado (Fernandes, 2007: 149).

Com a edificação de novas instalações escolares, próximo às muralhas da cidade, no setor exterior nordeste do seu perímetro, para aí se transfere a Escola Industrial e Comercial em 1970, já enquanto Escola Secundária Gabriel Pereira. As instalações do antigo convento serão então adaptadas a escola do ensino preparatório, uma utilização que se tem mantido até aos dias de hoje, agora enquanto escola do ensino básico do segundo ciclo – Escola Básica de Santa Clara.

2.4. As formas do convento, da igreja e da escola

O convento assenta numa organização claustral, com as edificações tomando o perímetro dos dois claustros existentes, o principal situado a sul, quase-quadrangular, e um outro mais a norte, bastante menor, retangular oblongo. Vários volumes de mirantes, de torres campanário, pontuam e caracterizam distintivamente o edifício, destacando-se volumetricamente na mole do conjunto bem como mais globalmente na sua envolvente urbana. A igreja situa-se a sul, também esta com os seus espaços organizados em função da vida conventual – os coros, de cima e de baixo, mais a poente, a igreja comum com entradas pela fachada lateral a sul, para o arruamento, e finalizada por torre de iluminação antes da transição para o corpo da capela-mor, mais a nascente, sendo este de volumetria bem mais baixa. (Caeiro, 2005: 162-175; Branco e Santos, 1994-2014)

2.4.1. O convento e sua relação com outros conventos femininos

«Os mosteiros² de freiras são o único tipo de edifício da Europa medieval e clássica no qual o partido tipológico resultou de questões de género». Inúmeros dos seus aspetos visam, principalmente, «assegurar a separação entre mulheres e homens e garantir que só se encontram em lugares ritualizados e vigiados». Um deles, o mais importante, é a igreja, aquele em que determinadamente o convento estabelece a sua relação com o lugar em que se implanta, sendo que nos conventos femininos, por norma (que foi evoluindo desde tempos medievos) se apresenta lateralmente ao lugar público pelo qual se lhe acede. (Gomes, 2000: 249).

Assim é com o Convento de Santa Clara, toda a sua frente sul, voltada à antiga Rua de Alconchel, sendo ocupada com a igreja, a qual se desenvolve em três partes, sensivelmente: a capela-mor, a nascente, mais baixa; a igreja com acesso público, a de fora, de expressão arquitetural notável, marcada ritmicamente e rematada a nível superior pelos seus contrafortes, não deixa de ser dominada por um dos mirantes do convento, que se lhe sobrepõe em toda a extensão do cruzeiro; e a igreja de dentro, os coros alto e baixo, sendo percebida a poente, dissimulada pelas edificações do hospício e da alta torre sineira, esta sendo também um outro mirante do convento.

Para o desenho da igreja terão certamente sido influentes outros templos na cidade, terminados não havia muitos anos antes – a Igreja do Espírito Santo e sobretudo a igreja do Convento de Santa Helena do Monte Calvário, ambas com intervenção do mestre de obras real Afonso

² Embora mosteiro seja o termo mais correto quando se fala de vivências de clausura e de vida contemplativa, como ocorre no caso da Ordem de Santa Clara, Évora é conhecida como uma cidade de conventos, vários deles ainda subsistentes, todos eles assim sendo designados, de comum e inclusivamente em documentação oficial, razão para o uso deste termo ao longo do documento em detrimento daquele.

Álvares. Este último templo, do Convento do Calvário, é apontado como um exemplar de charneira, influenciando diretamente outras igrejas e outros conventos posteriores, num contexto geográfico também alargado (Fig. 2.13) (Gomes, 2000; Valente, 2011).

A própria igreja do Convento de Santa Clara já havia sido apontada com esse exato papel modelar (Fig. 2.14) (Kubler, 1988: 158) – como acima se compreende, de forma errónea. Em todo o caso, a sua influência certamente fez-se sentir, pelo menos nos ambientes edificados posteriormente para as clarissas, isso sendo expressado para o Convento de Nossa Senhora de Aracoeli, em Alcácer do Sal, cuja fachada é rematada a nível superior também por um contínuo de contrafortes (Fig. 2.15), ou para o Convento das Servas de Nossa Senhora, em Borba, em que a presença de um duplo portal (ou de um mirante sobrelevado, na área da capela-mor) revela afinidades com a solução eborense (Fig. 2.16) (Valente, 2011: 133).

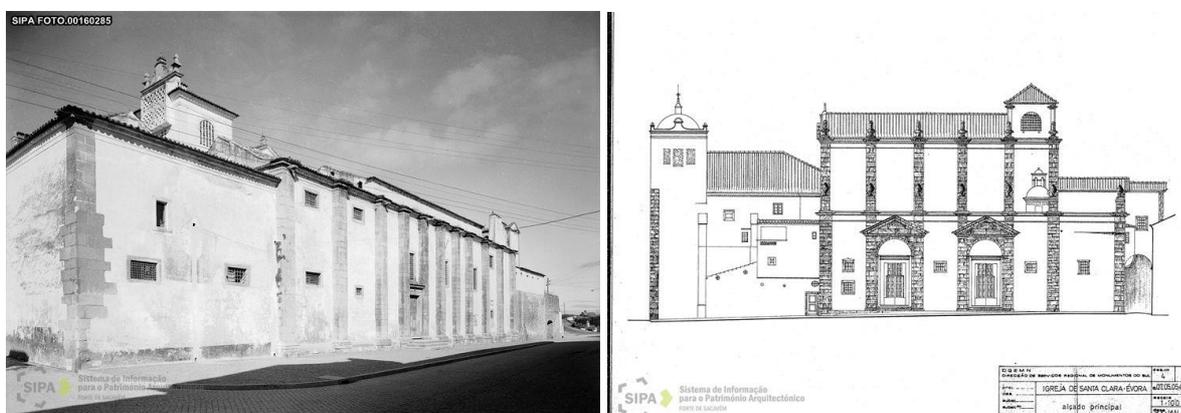


Fig. 2.13. Convento de Santa Helena do Monte Calvário, visto da Rua da Lagoa, para noroeste (Fotografia: DGPC, SIPA, 1954); Fig. 2.14. Alçado principal da Igreja de Santa Clara, (Desenho: DGPC, SIPA, 1993)



Fig. 2.15. Aspeto exterior do de Nossa Senhora de Aracoeli, em Alcácer do Sal (Fotografia: publicada por Paulo Gonçalves, no blogue Viajar e Descobrir, 2011); Fig. 2.16. Vista geral do Convento das Servas de Nossa Senhora, em Borba, a partir de sudoeste (Fotografia: DGPC, SIPA, 1991)

2.4.2. Reinvenção dos espaços do convento para uma escola

Com vista à instalação de uma escola e considerando o estado de conservação do convento, parcialmente arruinado nas áreas a poente e a norte, várias modificações são introduzidas nas formas do convento, durante as obras levadas a efeito na década de 1940. A quadra do claustro é expurgada de todos os volumes edificadas por sobre as galerias, ao nível de 2.º andar, organizando-se antes um terraço periférico. O corpo a sul mais elevado é também ele demolido, obrigando a que o acesso ao mirante da igreja passe a fazer-se pelo exterior, de forma desarticulada dos restantes espaços – apesar de neste corpo ser criada uma nova escada interior (Fig.2.17 e 2.18). A área entre claustros, intrincada, é também ela demolida, reconstruindo-se um novo volume, onde fica a escada principal (Fig. 2.19 e 2.20). A ala nascente é a mais intocada, mantendo-se as salas do capítulo e do antigo refeitório, de altos tetos abobadados. Mais a norte, o corpo do convento que se encontrava também arruinado é reconstruído na íntegra, adicionando-se ainda galerias interiores na continuidade das existentes, que abriam sobre o claustro (Fig. 2.21 e 2.22).



Fig. 2.17. Aspecto do claustro na sua frente sul (Fotografia: DGPC, SIPA, 1938) Fig. 2.18. Aspecto das obras de demolição dos corpos edificadas a sul (Fotografia: DGPC, SIPA, 1943)



Fig. 2.19. Aspecto do claustro, dando a ver na sua frente norte várias ocupações a nível de 2.º andar (Fotografia: DGPC, SIPA, 1938); Fig. 2.20. Aspecto das obras, na mesma frente do claustro, percebendo-se o novo volume da caixa de escadas (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950)

O espaço da antiga cerca do convento, um grande retângulo vazio, cuja implantação se situa a nordeste da área edificada daquele, após a saída do exército, vinha já sendo utilizado como recinto desportivo, para as escolas e organizações da cidade (Fig. 2.23). Nesse sentido, a localização de necessárias instalações de educação física e de oficinas, vem dar continuidade a esses usos, ocupando-se parte do alinhamento nascente da cerca, adaptado aos limites do lote, mas deixando espaços livres de recreio, de permeio. O volume edificado procura uma mais baixa altura periférica, para não serem ensombradas as ruas limítrofes em demasia (Fig. 2.24).

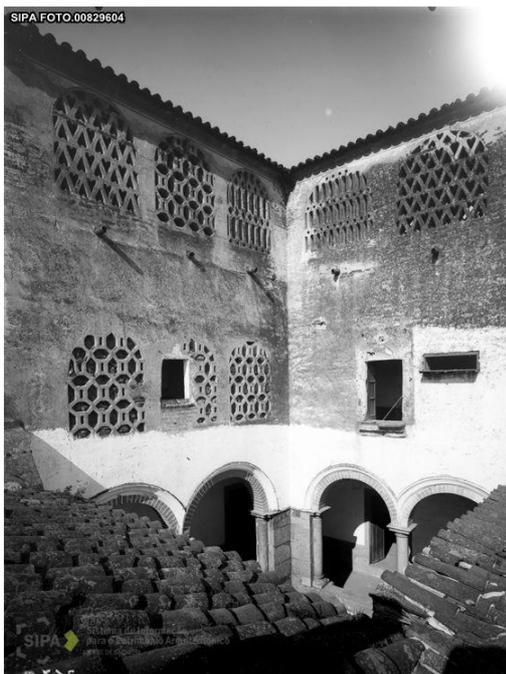


Fig. 2.21. Aspecto do antigo claustro da portaria, sobrelevando-se o mirante a noroeste (Fotografia: DGPC, SIPA, 1938); Fig. 2.22. Aspecto das obras de remodelação e extensão desse mesmo espaço, olhando para nordeste a sua transformação para o atual claustro do poço (Fotografia: DGPC, SIPA, 1950)



Fig. 2.23. Planta aerofotogramétrica de Évora, em 1945 – extrato do original, reduzido à escala 1:5000, ilustrando a relação do convento, à direita, com a Rua de Serpa Pinto e sua desembocadura para a área extramuros, na Porta de Alconchel (Carta: CME, 1945); Fig. 2.24. Desenho de perspectiva na capa para o Projeto de ginásio e oficinas para a Escola Industrial e Comercial de Évora (Desenho: ASAP, 1949)

2.5. A atualidade da escola e da igreja

A utilização diária da escola padece atualmente de duas dificuldades relacionáveis com o seu edificado. Por um lado, existe uma desadequação funcional cada vez mais sentida: os modernos padrões de conforto higrotérmico, p. ex., não são possíveis assegurar, pela inexistência de infraestruturas que lhes correspondam ou de soluções construtivas alternativas e melhoradas; os mais modernos recursos pedagógicos não se mostram possíveis, pela falta de infraestruturação adequada (Fig. 2.25). Por outro lado, a degradação do estado de conservação do convento tornou-se também evidente – pelas anomalias constatadas em pinturas ou pelos sinais generalizados de infiltrações, bem vinculados nas abóbadas das galerias dos claustros (Fig. 2.26). Patologias nas asnas dos antigos ginásios, como já referido de construção mais recente, ganharam um aparato tal que condicionam ou impossibilitam já o uso também desses espaços.



Fig. 2.25. Aspecto da sala de informática, no claustro do poço (Fotografia do autor); Fig. 2.26. Aspecto da galeria superior norte do claustro do poço (Fotografia do autor)

No lado da igreja, os problemas são tão ou ainda mais graves. O seu estado de conservação há muito vem sendo mencionado como mau e exigindo intervenção. As últimas obras de reabilitação datam de finais do século passado, levadas a efeito ainda pelos serviços regionais da DGEMN, em que se procurou assegurar ou melhorar o escoamento de águas pluviais em todo o perímetro construído. Ligadas a estas, mais tarde, no início deste século, e visando a funcionalidade do conjunto, decidiu-se pelo uso dos espaços da igreja, coro baixo incluído, para

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

instalações temporárias do museu, que aí teve um núcleo expositivo transitório enquanto duravam as grandes obras de reabilitação no edifício próprio. Para tal instalaram-se dispositivos leves e de carácter transitório, mas que persistem nos espaços, agora sendo usados como núcleo expositivo (Fig. 2.27 e 2.28). A manutenção desta situação resulta numa redução da perceção espacial própria da igreja, seja a de dentro ou a de fora, esta aliás também escurecida, negativamente, pelo tamponamento de vãos; e esconde, ainda, as necessidades de intervenção e de uso de outros espaços significativos, como o coro alto ou a torre sineira (Fig. 2.29 e 2.30).



Fig. 2.27. Aspecto do coro baixo, vista para a grade (Fotografia: DGPC, SIPA, 1997); Fig. 2.28. Aspecto do coro baixo na atualidade, em perspetiva similar (Fotografia do autor)



Fig. 2.29. Aspecto atual geral do coro alto, vista do lado da grade para poente (Fotografia do autor); Fig. 2.30. Aspecto atual do mirante da torre sineira, pelo interior (Fotografia do autor)

3. FOTOGRAMETRIA DIGITAL

3.1. Conceito e síntese histórica

O termo fotogrametria aparece cunhado pela primeira vez na segunda metade do século XIX, conjugando os étimos de origem grega photos (luz), gramma (escrita) e metron (medir), apontando, portanto, para uma representação da realidade, mensurável, obtida a partir da luz (Giné, 2018: 153). O conceito de fotogrametria evoluiu e é hoje mais ampla e aprofundadamente caracterizado, para além da sua etimologia e dos seus horizontes iniciais. A brochura da International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) – Sociedade Internacional de Fotogrametria e Detecção Remota – é esclarecedora a este respeito, permitindo-nos compreender melhor o conceito e seu âmbito, na atualidade:

«A fotogrametria é a ciência e a tecnologia que visa extrair informações geométricas e temáticas tridimensionais confiáveis, muitas vezes ao longo do tempo, de objetos e cenas, a partir de dados de imagem e de sensores de profundidade. Os dados resultantes podem ser usados para o desenvolvimento de bancos de dados espaciais e sistemas de informação espacial (SIS) em forma de gráficos digitais e imagens. A tecnologia é empregada para medições tridimensionais baseadas em imagens para mapeamento, engenharia, registro do patrimônio, análise forense, robótica, sistemas de condução autônoma, aplicações médicas, jogos de computador, [etc.], onde fornece informações geométricas e semânticas de objetos para formar bancos de dados espaciais e para criar cenas de realidade virtual com modelos texturizados da vida real» (ISPRS, 2022: 2)

Se a origem do termo e se o seu desenvolvimento enquanto disciplina é produto inegavelmente associado à vida oitocentista ocidental, assente em numerosos progressos tecnológicos e numa cultura então florescente, não se podem deixar de enunciar alguns princípios, sobre os quais a fotogrametria assenta, cujas raízes são bem mais antigas – o mais significativo dos quais, sem dúvida, o da perspetiva, cujos fundamentos são teorizados e desenvolvidos por Leonardo da Vinci e Albrecht Durer, no dealbar do século XVI. O fulcro para o aparecimento da disciplina assenta, contudo, na enorme invenção oitocentista que é a fotografia, a partir dos esforços pioneiros de Joseph Niépce (1826) e de Louis Daguerre (1835) (Burtch, 2008: 6).

É comumente aceite que Aimé Laussedat foi o primeiro a usar fotografias terrestres para compilação e desenho de mapas topográficos, em 1849, o que lhe vale ser apelidado de “pai da fotogrametria”. Porém, será um outro autor, Albrecht Meydenbauer, o primeiro a usar o termo “fotogrametria”, em trabalho publicado em 1867 (Grimm, 2007: 53), e o primeiro também a fazer reconhecimentos arquiteturais – feito notável, assinala-se a sua documentação metodológica e sistemática do património arquitetónico alemão (Fig. 3.1) (Burtch, 2008: 8).

Na sequência destes passos primordiais, uma segunda fase da fotogrametria, designada de fotogrametria analógica, surge ligada a dois importantes desenvolvimentos tecnológicos, no início do século XX: um respeitante ao uso da estereoscopia de forma cada vez mais frequente e alargada; outro relacionado com a invenção do avião pelos irmãos Wright (1903). Remonta também a esse início do século a fundação das primeiras instituições inteiramente dedicadas à fotogrametria, em particular a Sociedade Internacional de Fotogrametria (1910) (Burtch, 2008: 34), sociedade que vem a transformar-se em 1980 na atual ISPRS.

Um terceiro ciclo de desenvolvimento tecnológico, o qual possibilita uma fotogrametria analítica, é marcado a meio do século pela invenção do computador – cuja origem está estabelecida nos anos da II Guerra Mundial, quer na Alemanha, quer nos Estados Unidos da América (Fig. 3.2). Os progressos teóricos e tecnológicos posteriores permitem que os níveis de precisão alcançados pela fotogrametria sejam progressivamente quebrados, chegando mesmo a níveis micrométricos; pelos anos 80, quando o uso industrial da fotogrametria tinha crescido já exponencialmente, começam também a ser discutidas e desenvolvidas técnicas para uso da fotogrametria a curta distância (Burtch, 2008: 30).

Embora com início na década de 90, pode-se considerar a transição do século como marca para uma nova fase, da fotogrametria digital, aquela em que estamos imersos, para o que contribuiu: as fotografias serem agora totalmente digitais, desde a sua captação; o aparecimento e vulgarização de veículos aéreos não tripulados, controlados por rádio e conhecidos como drones; a profusão de novos métodos de cálculo; o acréscimo das capacidades computacionais e de processamento; bem como a disponibilização de máquinas fotográficas com capacidades e definição crescentes; o que permitiu também um alargamento significativo do uso da tecnologia, para as mais variadas áreas e para os fins mais diversificados.

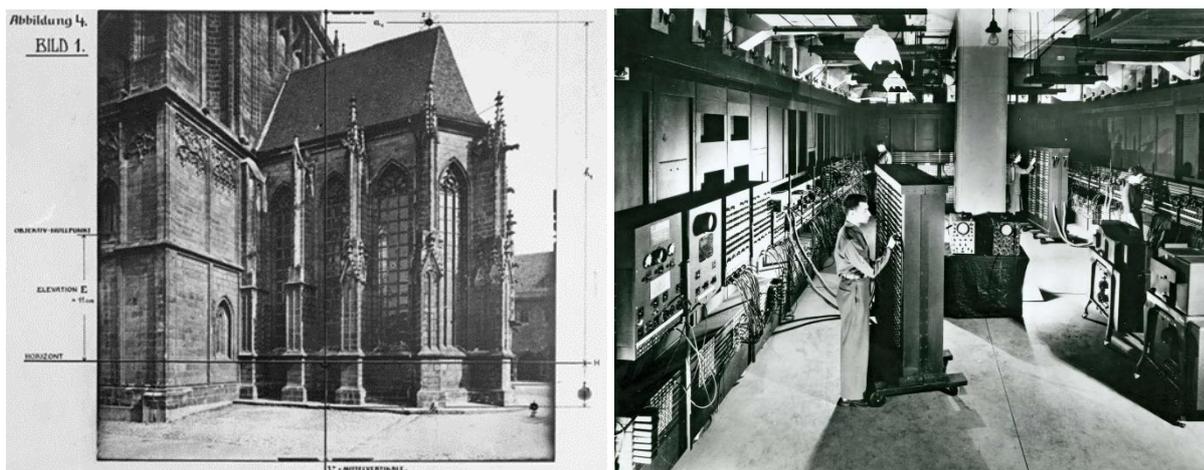


Fig. 3.1. Albrecht Meydenbauer, placa de exposição, Exposição Fotográfica Internacional de Dresden 1909, Brandenburgisches Landesamt für Denkmalpflege, Messbildarchiv, número de inventário 27 i 2/ Z.V.3a-4a; Fig. 3.2. ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1946. Foto de U. S. Army

3.2. Fotogrametria como método de representação e suas aplicações práticas

A grande maioria dos métodos de representação da realidade tradicionalmente instituídos e vulgarizados assenta sempre numa determinada seletividade: seja do ponto de vista escolhido que se transporta para a própria figuração do real, como ocorre numa perspectiva – que passa por ser uma janela para o mundo, essa inovação do Renascimento que, desde então, moldou a cultura visual do mundo ocidental até aos dias de hoje (Fig. 3.3) (Berger, 2018) –; seja pela criterização de determinados pontos do objeto real cuja informação posicional, métrica, se transporta para a própria representação – como ocorre, por exemplo, num levantamento manual e sequente desenho planificado, numa fachada ou numa escavação arqueológica.

Contrariamente a estes métodos e modos de ver, que se diriam unifocados, outros surgiram, pressupondo a possibilidade de apresentar, num único plano, múltiplos pontos, ou planos, de vista, como ocorre nas experiências artísticas do cubismo ou nas experiências científicas que levaram à descoberta dos raios X, no início do século XX, ou mais recentemente, de novo no campo das artes, nas fotocollagens de David Hockney, um exemplo de como a recriação espacial no espetador pode ser formulada a partir de numerosas fotografias (e perspectivas), que partem do movimento nelas intuído e da sua sobreposição (Fig. 3.4).



Fig. 3.3. Looking at Pictures on a Screen, 1977. Óleo sobre tela, de David Hockney; Fig. 3.4. The Area Of Fürstenberg, Paris, 7-9 Agosto 1985. Fotocolagem, de David Hockney

Assim ocorre também com a fotogrametria e mais ainda nos dias de hoje: a representação da realidade, ou antes a recriação dum seu simulacro tridimensional, não já num plano mas num espaço virtual, parte sempre duma captação massiva da informação e, no caso, (também) por meio de múltiplas fotografias e da interpretação do movimento percebido a partir delas – aliás, o método pelo qual se processa atualmente a fotogrametria é na maioria das vezes conhecido a

partir do seu foco na recriação de uma estrutura a partir do movimento, como denuncia o próprio nome, de SfM (acrónimo para *Structure from Motion*).

Importa estabelecer um paralelismo com um outro meio de alcançar esse tipo de restituição da realidade que, tal como a fotogrametria, assenta na captação da informação em números muito elevados, mas difere desta por não se concretizar de uma forma passiva – a imagem fotográfica é, por definição, resultante duma receção da radiação luminosa ambiente, captada e transferida para um determinado suporte, não implicando qualquer contacto com o objeto figurado. Pelo contrário, estas outras tecnologias promovem a obtenção de informação por meios ativos, emitindo-se determinado impulso, um sinal, que se interpreta de seguida na sua interação com a realidade física envolvente – os sensores de profundidade que a brochura da ISPRS também mencionava explicitamente. Os mais divulgados são os meios de varrimento laser tridimensional, por meios terrestres ou aéreos – certamente mais conhecidos pelas suas correspondentes terminologias anglófonas, de 3DLS (*3 dimensional laser scanning*), TLS (*terrestrial laser scanning*), ALS (*aerial laser scanning*) ou talvez pelo ainda mais vulgarizado acrónimo de LIDAR (*laser imaging, detection and ranging*). Fruto dos excelentes resultados que possibilita, esta tecnologia vem tendo uma utilização e disseminação gradual e, tal como ocorreu antes com as câmaras fotográficas, começam a estar já disponíveis no mercado equipamentos domésticos que a incorporam³.

Os resultados possibilitados por ambas as tecnologias, de fotogrametria digital e de varrimento laser – designadamente por capacitarem, no final do processo, a produção de modelos tridimensionais digitais – têm tudo em comum, pelo que são utilizadas em variadas ocasiões de forma complementar entre si e concorrendo para o mesmo fim.

3.2.1. Aplicações práticas da fotogrametria

As aplicações práticas da fotogrametria, tradicionalmente com foco na área da geografia, para produção de mapas e outros produtos cartográficos, mostram-se na atualidade ampliadas a muitas e diversas áreas de atuação, igualmente tirando partido das suas modernas capacidades de mapeamento e de modelação tridimensional. Na atualidade, variados campos de atividade humana beneficiam dos processos e métodos de fotogrametria: a robótica, a condução autónoma, a navegação em geral, a vigilância, a monitorização de qualidade de produtos, para se mencionarem algumas aplicações na indústria; também as ciências da medicina e da análise forense; ou mais simplesmente na indústria do entretenimento audiovisual, do cinema aos videojogos. A título de exemplo, pode-se referir a sua aplicação em vigilância e segurança, mostrando-se com utilidade para atuação em cenários de catástrofe (p. ex., terremotos), através da criação de modelos tridimensionais, quer para uso imediato, na tomada de decisões de

³ Pese embora, segundo notícias recentes, algumas companhias tenham desistido de a aplicar nos equipamentos que desenvolvem e comercializam, alegadamente por aumentarem em muito custos de produção e de venda.

salvamento, quer para análise subsequente de dado evento e para formação de conclusões sobre o mesmo (Verykokou et al., 2023; Lyu et al., 2023).

3.2.2. Fotogrametria e Património Cultural

Um dos campos de atividade em que a fotogrametria pode ter mais utilidade é o da documentação e proteção do património cultural. Como se referiu, cedo na história da tecnologia e suas aplicações se compreendeu o seu significado no apoio à representação fidedigna do património arquitetónico e nesse sentido contribuindo para a sua proteção, conforme os esforços de Meydenbauer bem ilustram (Albertz, 2001).

Significativamente, mais tarde, no final da década de 1960 é fundado o CIPA (acrónimo de *Comité International de la Photogrammetrie Architecturale*), com uma missão bem simples: «colocar os avanços tecnológicos ao serviço da conservação do património» (Georgopoulos, 2019: 1), uma iniciativa internacional completamente alinhada com o sentido e as ações desencadeadas nessa época, em que o interesse geral pelo património histórico e sua conservação e salvaguarda tanto se fez sentir, visível e vincadamente – recorde-se que então é publicada a Carta de Veneza, que é fundado o ICOMOS (acrónimo em inglês para Conselho Internacional dos Monumentos e Sítios), ou que têm lugar as campanhas de proteção e realocação do templo de Abu Simbel, no Egito, um evento fulcral para o surgimento, mais tarde, da listagem de Património Mundial, a partir da Convenção para a Proteção do Património Mundial, Cultural e Natural (Fig. 3.5 e 3.6).

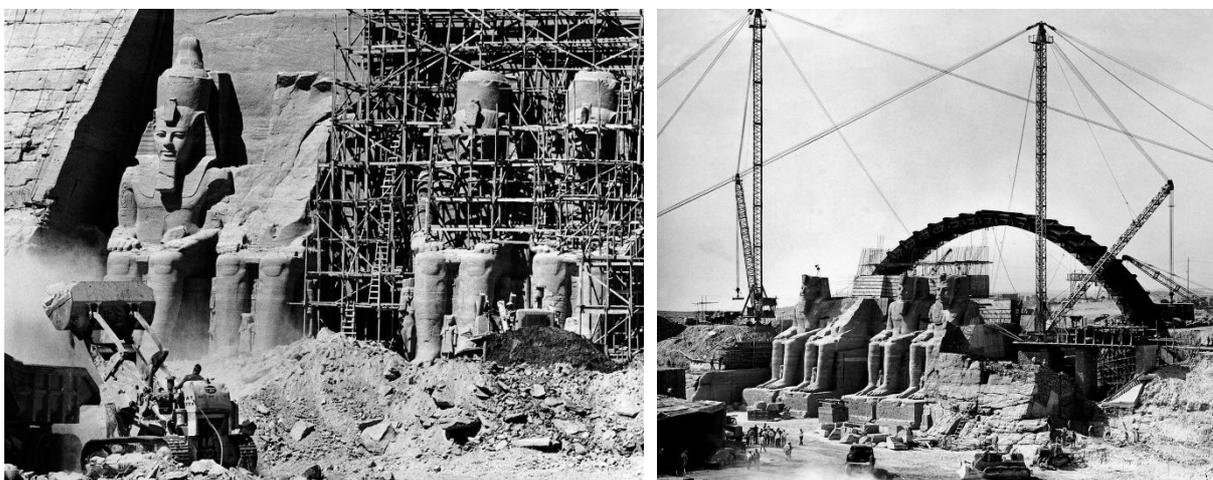


Fig. 3.5. Desmontagem do grande templo de Abu Simbel, de local junto ao rio Nilo, inundado pelo Lago Nasser; Fig. 3.6. Realocação para outro local, 65 m acima (Fotografias: BERG, 1978)

Dessa iniciativa conjunta do ICOMOS e da ISPRS, o CIPA evoluiu, sendo hoje conhecido por CIPA – Heritage Documentation, de modo a descrever da melhor maneira todo o âmbito das suas atividades, cujo intuito fundamental é o da transferência da tecnologia das ciências da medição e da visualização para as disciplinas de registo, conservação e documentação do património cultural, procurando ainda funcionar como ponte entre os produtores da

documentação e os utilizadores dessa informação, mormente os profissionais (CIPA, s. d.; Mateus, 2012: 72).

O advento de uma era digital, como é reconhecidamente aquela em que vivemos, com a disseminação das tecnologias de informação e com a propagação da digitalização a todas as áreas de intervenção humana, impulsionou que a relação com o património cultural fosse de novo revista. Disso é exemplo mais recente a publicação, desde 2006, da Carta de Londres para a Visualização Computorizada do Património Cultural, em que se elabora um conjunto de princípios «que assegurem o rigor intelectual e técnico, assim como a solidez metodológica, do trabalho de visualização» daquele tipo de património (Denard, 2009; London Charter, 2006).

A primeira disciplina ligada ao património cultural a aperceber-se do potencial da moderna fotogrametria digital e de curta distância foi a arqueologia. Muito do tempo despendido em escavações arqueológicas respeitava à documentação do sítio, o que era feito fundamentalmente com base em desenhos 2D ou partindo de fotografias retificadas de modo a formar “pseudo-ortoprojeções” (Wulff, 2010: 1). As capacidades de repetida e constante documentação ao longo do tempo das escavações, ou o potencial de navegação nos modelos criados, tridimensionais e texturizados, a partir de qualquer ponto de vista, bem como a sua visualização segundo registos ortogonalizados ou perspetivados, são características, entre outras (Wulff, 2010: 2), que cedo levaram o setor da arqueologia a aplicar a fotogrametria para documentação do património de forma extensiva, sendo justamente referido que «a maior parte das escavações já conta com o suporte desta técnica para o desenho e a documentação dos trabalhos» (Giné, 2018: 154). O reconhecimento deste facto e a indicação de razões para tal é bem explicitado também por parte de instituições ligadas ao património, em Inglaterra – citando diretamente do original:

«Photogrammetric image acquisition and processing, until recently requiring a considerable investment in hardware, software, expertise and time, is now possible at a fraction of its former cost. The advent of more affordable photogrammetric software over the last few years, in particular the use of SfM [Structure from Motion] techniques, has seen an explosion in its use in archaeology. This has been helped by the development of relatively cheap digital cameras capable of capturing high-quality imagery, and by advances in the processing capability of personal computers. Additionally, the development of small unmanned aircraft (SUA), which can be used to capture low-level aerial imagery, has contributed by providing an easy method for recording individual sites.» (Historic England, 2017a: 1)

Acontece que em outras disciplinas, sobretudo ligadas ao património edificado e designadamente a arquitetura, o uso das tecnologias de TLS estava plenamente instalado, a partir de um crescente uso desde os anos 90, dando respostas muito capazes e rápidas para documentação das estruturas construídas e levando a que vários tivessem apostado no fim da

fotogrametria (Mateus et al., 2012: 1962). Durante a década inicial do nosso século os métodos de rastreamento de profundidade eram mesmo «a fonte fundamental para geração de nuvens de pontos densas para documentação 3D, para mapeamento e para propósitos de visualização a várias escalas» (Remondino et al., 2014: 145). Sintomaticamente, no campo da divulgação da aplicação das tecnologias ao património cultural, apareceram publicados, p. ex. em Inglaterra, importantes guias para o uso de 3DLS em arqueologia e arquitetura logo em 2007, atualmente já numa 3.^a edição, ao passo que publicação correspondente para fotogrametria apenas viu luz do dia dez anos mais tarde, em 2017 (Historic England, 2007-2018; Historic England, 2017a).

Embora se possa inferir desta descrição um abandono do uso e da investigação em torno da fotogrametria a favor do 3DLS, o que aliás se refere ter efetivamente ocorrido (Remondino et al., 2014: 146), não deixou de haver investigação importante e estabelecimento de procedimentos rigorosos e normalizados específicos para fotogrametria durante esse mesmo período – releve-se p. ex. o estabelecimento das chamadas regras 3X3, estabelecendo processos e metodologias de trabalho rigorosas, focando já as emergentes imagens digitais (Waldhäusl et al., 1994), ou a antecipação da utilidade que a aplicação de texturas fotorrealistas a modelos virtuais tridimensionais tinha, concetual e demonstradamente, para efeitos de armazenamento básico de informação, a partir do qual podiam ser originados diversos produtos, desde perspectivas a ortoimagens (Grussenmeyer et al., 2002: 320).

Só na transição para a segunda década do século presente se evidencia um ressurgimento da fotogrametria como tecnologia capaz e a par das demais. Graças às melhorias havidas quer em *hardware* (maiores capacidades de processamento, p. ex.) quer em *software* (algoritmos como p. ex. o de SfM), ficaram possibilitados métodos automatizados de fotogrametria, capazes de produção de resultados comparáveis aos alcançados pelo 3DLS, quer em aplicações terrestres quer aéreas. Neste último caso, aliás, fica evidenciada uma vantagem de partida para a fotogrametria, capaz teoricamente de produzir nuvens de pontos, e sobretudo nas sequentes ortoimagens, cerca de quatro vezes mais densas do que as obtidas por 3DLS. Em meados da década passada já era indicado que «a escolha entre as duas técnicas depende na atualidade primeiramente de constrangimentos e requisitos de projeto, de orçamento e de experiência, e bastante menos nas propriedades geométricas de densidade e precisão de pontos» (Remondino et al., 2014: 146).

3.3. Conceitos teóricos e de processo

Na atualidade a fotogrametria digital processa-se por norma em cinco passos. O primeiro, fundamental, o da captação de imagens de determinado objeto – a qual terá vantagem se programada e organizada em função do conhecimento de todo o processo sequente. De seguida, processa-se a identificação de pontos comuns entre fotografias, organizadas em pares e depois em blocos. Sucede-se o seu alinhamento e cálculo, quer de posições de câmaras, quer de pontos no espaço, ainda em número relativamente reduzido, mas com atributos de maior fidedignidade. Após a situação espacial destes pontos podem ser calculados muitos outros, na sua vizinhança ou com eles relacionados, formando-se uma nuvem de pontos densa. Esta pode então ser transformada numa superfície triangulada, volumétrica, sobre a qual se projeta uma imagem composta, formalizando assim um modelo tridimensional virtual. No final deste processo, podem-se gerar vários produtos, resultantes ou derivados desse modelo ou da sua análise.

3.3.1. Captação de imagens

Um dos aspetos mais importantes a ter em conta na captação de imagens para fins fotogramétricos passa pela garantia de níveis elevados de sobreposição entre imagens sequentes – já era assim nos tempos históricos da fotogrametria analógica e não é diferente agora. É aconselhado sempre que se garanta haver uma sobreposição de mais de 60% entre imagens (Historic England, 2017a: 80; Waldhäusl et al., 1994).

As sobreposições ocorrem a partir de dois tipos de movimentos principais – os circulares, convergentes sobre determinado objeto, rodando em torno deste (como ocorre quando rodeamos uma escultura), e os de arrastamento, em translação retilínea ao longo do objeto (como experimentamos numa deslocação em automóvel, ao olhar pela janela). O alinhamento geométrico entre o observador e o objeto constitui um segundo modo de agrupamento, dividindo-se neste caso entre fotografias perpendiculares (como ocorre nas vistas de frente para alguma coisa) e oblíquas (como acontece em imagens tomadas de um qualquer arruamento, no solo, focando os topos dos prédios em volta) (Fig. 3.7) (Historic England, 2017a).

O grau de pormenor que os processos fotogramétricos podem alcançar decorre naturalmente do grau de pormenor presente nas próprias fotografias. Logicamente, o seu número multiplica-se quanto mais próximo do objeto que se pretende descrever elas sejam captadas; em alternativa, mantendo-se uma mesma distância ao objeto, deverá ser aumentada a resolução fotográfica.

A imagem ela própria apresentará vantagem para o processamento posterior em função da sua nitidez – assim, é aconselhado o recurso a todas as técnicas usuais em fotografia com esta finalidade, designadamente: a utilização de filmes de baixa sensibilidade ou o seu equivalente digital, os ISO50 ou ISO100 sendo ideais; a redução da abertura de diafragma ao mínimo, as aberturas F16 ou F22 sendo as mais vantajosas, de modo a ampliar a profundidade de campo,

ou seja, ter presentes um maior número de planos nitidamente descritos aquém e além do objeto ou pormenor focado; ou ainda o uso de velocidades de obturador mais baixas (principalmente quando se esteja em presença de ambientes fracamente iluminados, como por norma são os interiores, levando-se ao uso de acessórios de estabilização da câmara, como são os tripés, ou de iluminação do ambiente, como os flashes ou os focos de iluminação).

A questão da iluminação do objeto a tratar posteriormente merece também aqui menção – é aconselhável captarem-se as fotografias em ambientes de iluminação difusa ou com iluminação neutra (igual e constante segundo as várias direções), por exemplo aproveitando-se dias nublados ou horários sem incidência solar direta. Uma das razões para tal respeita diretamente ao próprio processamento das imagens – fotografias fortemente iluminadas tenderão a possuir áreas fortemente contrastadas, o que implica perda de informação e de pormenor, tanto nas zonas de maior brilho, como nas zonas de maior sombra (Historic England, 2017a).

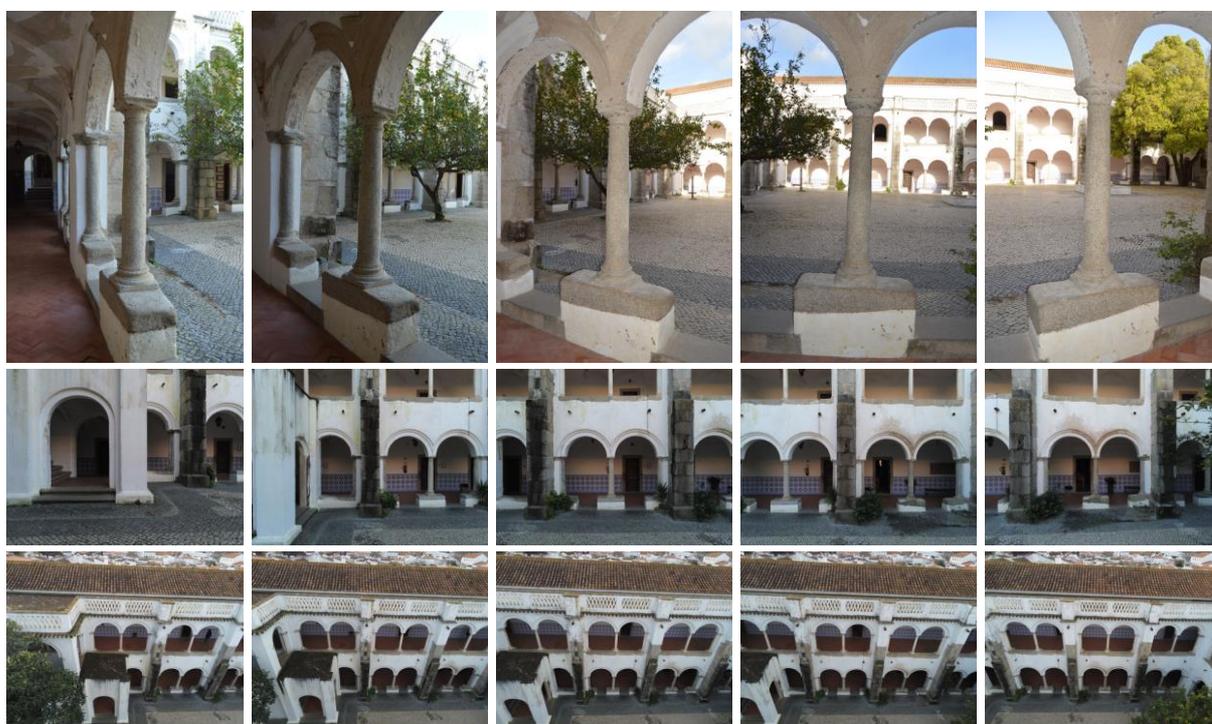


Fig. 3.7. Sequências de fotos ilustrando: na primeira linha, movimentos circulares, convergentes no objeto; na segunda linha, movimentos de arrastamento, pontos de vista perpendiculares ao objeto; na terceira linha, movimentos de arrastamento, pontos de vista oblíquos ao objeto (fotos do autor)

3.3.2. Alinhamento de imagens

Disponíveis e organizadas as imagens, inicia-se o seu processamento, importando primeiramente o estabelecimento de correspondências entre fotografias. Analisadas duas a duas, até perfazer todas as combinações possíveis no conjunto de imagens à disposição, são assinalados e identificados pontos comuns entre elas, formando-se um conjunto de

estereopares. Os avanços nas duas últimas décadas na área da visão de computador têm sido fulcrais para alcançar este objetivo, com eficiência crescente.

David Lowe, na transição para o nosso século, elaborou uma das técnicas mais reconhecidas e ainda agora utilizada para este fim – ou que está na base de outras mais recentes. Trata-se do método SIFT (de *Scale-Invariant Feature Transform*), um algoritmo capaz de estabelecer correspondências entre imagens de forma sólida (Lowe, 1999: 1). Primeiramente, através da aplicação de diversas operações e transformações na imagem (baseadas na aplicação de efeitos de enevoamento sucessivo e de acentuação de bordas) permite identificar pontos na imagem segundo descritores invariantes – independentes de variações de translação, de rotação ou de escala. Em seguida hierarquiza esses pontos até estabilizar uma sua capacidade de chave para correspondências (Rey-Otero et al., 2014: 382). Apura-se desde logo a presença de pontos de iguais características invariantes em ambas as imagens (embora estas contenham variações de posição, de rotação, de escala, condições distintas de iluminação ou cor, ou algum ruído), e aplicam-se novos filtros, para descarte daqueles com menor grau de exatidão – deixando apenas os de maior interesse. Embora esta descrição pareça implicar doses elevadas de computação, cada comparação pode ser alcançada em frações de segundo (Fig.3.8) (Lowe, 1999: 6).

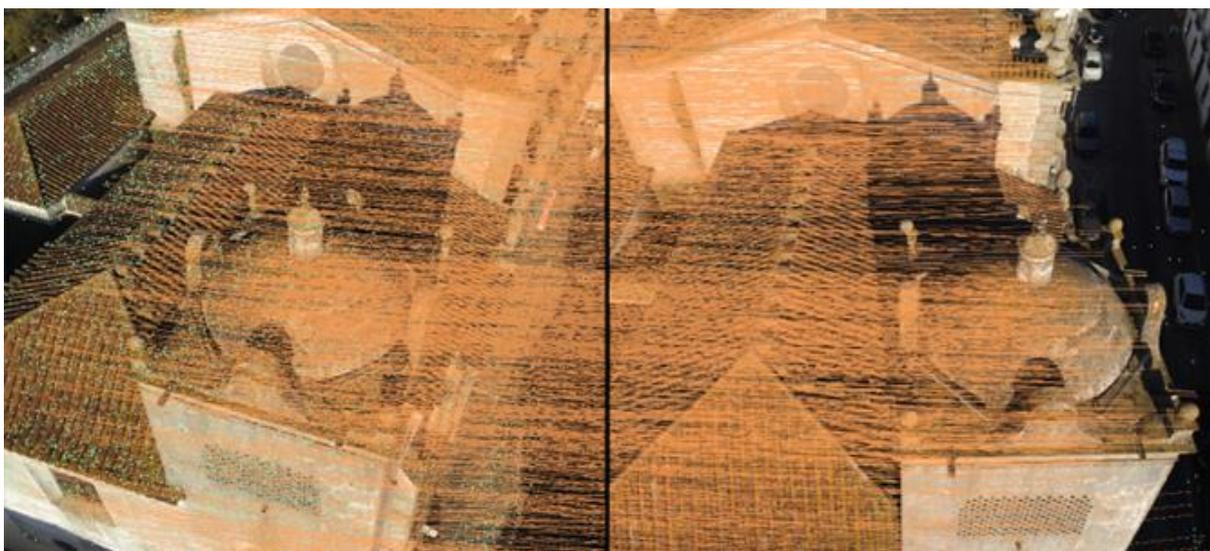


Figura 3.8. Exemplo de sinalização de pontos-chave, a verde, em duas imagens sequentes e com rotação, e de correspondências, a laranja (fotografias do autor, tratamento no RC)

Outros algoritmos têm aparecido recentemente, anunciando capacidades de processamento com este objetivo ainda mais rápidos, como é o caso dos métodos SURF, (*Speeded-up Robust Features*), de 2008, ORB, (*Oriented FAST and Rotated BRIEF*, sendo FAST para *Features from Accelerated Segment Test* e BRIEF para *Binary Robust Independent Elementary Features*), de 2011, ou BRISK (*Robust Invariant Scalable Keypoints*). Os algoritmos SIFT e BRISK são indicados como os de maior precisão, possuindo, porém, maior eficiência os algoritmos ORB e BRISK (Tareen et al., 2018).

Numa imagem podem ser identificados inúmeros destes pontos, mas a maioria dos programas, em processos fotogramétricos, limita por questões de operacionalidade e fiabilidade essa identificação a umas poucas dezenas de milhar (Historic England, 2017a: 9). O estabelecimento de correspondências permite ainda o arranjo das imagens entre si, por sequenciação, agrupamento, ou subordinação, apontando o caminho para a fase seguinte.

3.3.3. Modelação tridimensional base

Uma segunda fase passa pelo alinhamento de imagens – já não em pares, mas em conjuntos coerentes – e pelo cálculo posicional, no espaço, quer das próprias câmaras quer dos pontos chave figurados nas imagens, formulando-se um modelo tridimensional base, ou estrutural, a partir desses pontos (também chamados de pontos de interesse ou pontos de ligação – na literatura encontram-se com facilidade as expressões *keypoints*, *interest points*, ou *tie-points*). É este o processo designado de *Structure from Motion* (SfM).

Para tal, importa recordar princípios básicos de geometria projetiva: o mais importante deles, a constatação de que a união de determinado objeto/ponto com o foco de visão se processa numa linha reta, a qual intersectará o plano quadro num outro objeto/ponto, representação do primeiro. Isto ocorre quer o plano de representação esteja por trás ou à frente do ponto de visão (como ocorre, respetivamente, numa câmara fotográfica ou se se desenhar numa janela o que vemos para lá dela). Assim, será lógico pensar que, se da realidade se pode obter uma sua perspetiva, pelo processo inverso poder-se-á restituir a realidade a partir de uma sua perspetiva.

Sabe-se que duma única imagem apenas se pode, pela união do foco de visão a um ponto representado, determinar a linha perspética onde residirá algures esse ponto real. Mas, com duas imagens e, portanto, com duas linhas perspéticas em relação a um mesmo ponto, o ponto real já poderá ser determinado com algum rigor na sua posição espacial – existirá na interseção dessas duas linhas – desde que haja conhecimento de antemão de alguns dados de posição das duas câmaras entre si. Por isso se diz que apenas um ponto que seja mostrado em pelo menos duas imagens poderá ser reconstruído (Historic England, 2017a: 7). Por processos de triangulação, com três imagens já é possível restituir não só as posições espaciais dos pontos representados, mas também localizar as próprias câmaras entre si. Conhecidos diversos feixes de linhas perspéticas para um mesmo ponto identificado em várias imagens, consegue-se processar o cálculo e as transformações necessárias para passagem de um sistema conjunto de coordenadas bidimensional (com origem em cada um dos centros das imagens) para um sistema de coordenadas tridimensional único, através das chamadas equações de colinearidade.

Previstas as posições espaciais dos pontos chave, podem-se processar também feixes de linhas perspéticas de cada um dos focos de visão (o cone, ou melhor dizendo a pirâmide perspética) que, confrontando um modelo preditivo com aquele que se vai alcançando de facto, procura minimizar possíveis erros de projeção – a este processo de ajustamento em pacote, por feixes, se chama de *bundle adjustment*. Além destas otimizações, os processos fotogramétricos

procuram também filtrar falsas paridades e descartar falsas correspondências, usando-se outros algoritmos identificadores de resultados extramarginais, como o RANSAC (de *RANdom Sample Consensus*). Estes processamentos e ajustamentos são realizados até que se alcance a mínima discrepância entre as posições estimadas inicialmente e as que são efetivamente calculadas (Historic England, 2017a).

No final deste método SfM resulta formada uma nuvem de pontos disposta no espaço, esparsa, constituída somente por aqueles que apresentam maior fiabilidade e que se constituirão como estrutura de suporte aos cálculos subsequentes. O modelo tridimensional alcançado é, de princípio, adimensional – posicionado num sistema de coordenadas e numa escala arbitrários. Para que o modelo seja corretamente posicionado ou escalado, alguma informação tem de ser adicionada, antes ou durante o próprio processamento: o conhecimento e indicação exata de determinados pontos, além de possibilitar o posicionamento e o escalonamento do modelo, serve também para o refinar, na sua própria computação (Fig. 3.9) (Historic England, 2017a).

3.3.4. Modelação tridimensional densa e superfícies trianguladas

Com a parte de SfM processada, uma reconstrução mais densificada é possível, tirando partido de procedimentos conhecidos pelo acrónimo MVS (de *Multi-View Stereo*), técnica idealizada por Furukawa e Ponce, no final da primeira década do século. Estabilizadas as posições dos pontos chave e das câmaras, esta técnica processa todos os possíveis pontos de interesse nas imagens (desde que com correspondência em pelo menos duas imagens) calculando e determinado as suas posições no espaço tridimensional. Este processo decorre de modo progressivo e expansivo, a partir dos pontos-chave calculando os seus pontos vizinhos, e assim sucessivamente para os vizinhos dos vizinhos (Furukawa et al., 2007).

Para um maior rigor e consistência de resultados, este processo tira amplo partido da geometria epipolar (ramificada da geometria projetiva), a qual se baseia no conhecimento do plano formado por duas linhas perspéticas e suas interações com os planos de representação. São, por outro lado, usadas algumas regras limitadoras para cálculo – impondo-se um número mínimo de imagens por ponto calculado e descartando-se de o fazer para pontos ocultados. Assim, de forma precisa e robusta, reconstrói-se um modelo tridimensional constituído por uma nuvem de pontos densa, os quais são “orientados” segundo uma normal – sendo chamados também de *surfels* (acrónimo para *SURFace Elements*), podem eles próprios ser figurados como discos e conterem informação luminosa (Fig. 3.10) (Furukawa et al., 2007).

Para possibilitar tarefas e aproveitamentos posteriores, de modo a potenciar a migração para outros programas informáticos e as capacidades da sua utilização, é na sequência calculada uma superfície, por meio de uma rede triangulada irregular baseada naqueles pontos. Estas redes são conhecidas vulgarmente como *mesh* ou TIN (de *Triangulated Irregular Network*). Com origem nos SIG, durante os anos 70, foram desenvolvidas para descrever simplificadaamente uma superfície a partir de pontos irregularmente espaçados (como num levantamento topográfico).

É originada usualmente segundo o método de triangulação Delaunay, minimizando-se a presença de triângulos estreitos ou esticados, com pior prestação na análise de superfícies. Naquela que é criada a partir do modelo, os vértices dos triângulos podem não coincidir com os *surfels*, mas serem antes calculados por interpolação a partir destes (Mateus, 2012: 214).

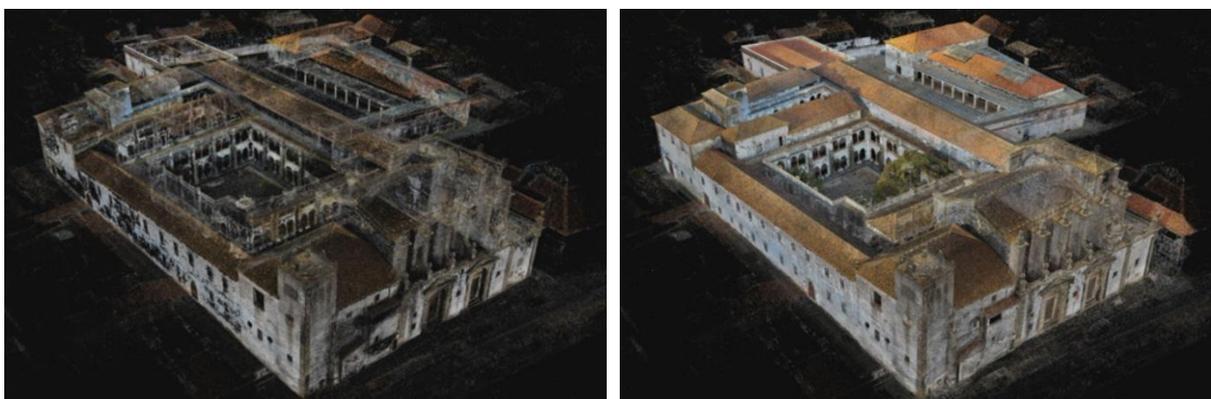


Fig. 3.9 Modelo de nuvem de pontos esparsa; Fig. 3.10. Modelo de nuvem de pontos densificada, após reconstrução MVS (produção própria, no programa Reality Capture)

3.3.5. Texturização

Nesta fase são criados mapas de texturas, correspondendo a planificações das superfícies nas quais são projetadas imagens compostas a partir das originais – por recorte, distorção ou retificação destas, são formadas fotocomposições, em parte similares a fotomosaicos. Estas várias folhas funcionam em conjunto como uma espécie de pele que reveste o modelo tridimensional previamente obtido e que permitirá definitivamente apelidá-lo de fotorrealista.

Uma outra razão para que a captação de imagens em ambientes de iluminação difusa seja aconselhável, atrás mencionada, prende-se com as possibilidades subsequentes de aproveitamento dos modelos obtidos: se o modelo for neutro do ponto de vista da sua iluminação, pode esta ser introduzida e aplicada, com eficácia ampliada, segundo escolhas determinadas – por exemplo simulando-se o movimento solar, diário ou anual – e sem ruídos decorrentes da presença de informação luminosa outra que possa já constar no mapa de textura.

3.3.6. Programas informáticos disponíveis para fotogrametria

Sensivelmente a partir de 2010, foram sendo desenvolvidos e lançados no mercado diversos programas informáticos capazes de lidar com os processos descritos. Um primeiro fator de distinção entre os programas decorre diretamente das suas origens em instituições públicas ou com finalidades de investigação, por contraponto a outros visando a sua exploração comercial.

No primeiro grupo, encontram-se programas surgidos com capacidade de utilização livre, relevando-se: MicMac (com origem em França, em 2007); VSfM / PMVS (Estados Unidos da América, 2011), segundo os trabalhos de Changchang Wu sobre SfM e também os de Yasutaka

Furukawa em MVS; Meshroom (de base europeia, 2020), num esforço conjunto da associação sem fins lucrativos Alicevision; e Colmap (Suíça, 2023), a partir do trabalho prévio de Johannes Lutz Schönberger. Salvo o penúltimo, estes programas resultam especificamente para as finalidades de reconstrução tridimensional, sendo depois necessários outros programas para criação de superfícies e sua texturização, como o MeshLab, ou para visualização e análise dos modelos, como o CloudCompare ou o Blender⁴.

No segundo grupo de programas, de cariz comercial, encontram-se soluções que integram todos os vários passos do processo até à exportação de produtos baseados nos modelos criados. São separáveis em dois subconjuntos, relacionados com a metodologia de computação. Um deles caracteriza-se pelo processamento dos cálculos na “nuvem”, de forma conjunta em várias máquinas e à distância. Nesta categoria referenciam-se os programas ReCap Photo (extensão do ReCap Pro) ou o mais recente PolyCam, também com versão gratuita. O outro caracteriza-se por os programas assentarem individualmente nos computadores em que sejam instalados.

São ainda reagrupáveis em dois conjuntos menores. No primeiro destes encontram-se programas cuja finalidade é essencial ou maioritariamente destinada a usos geográficos, sendo referenciáveis os programas: Global Mapper, Correlator 3D, ou DroneDeploy. Por fim, com maior interesse para a fotogrametria digital e de curta distância, encontram-se os programas focados na modelação 3D de objetos, em geral. Referenciar-se-ão neste grupo menor os programas: Metashape (anteriormente designado de PhotoScan, com origem na Rússia, de 2010), aplicação dita fundadora, assume um papel de liderança e de grande transversalidade (possibilita também computação na “nuvem”); 4D PixMapper (Suíça, 2011); 3D Zephir, (Itália, 2014); e Reality Capture⁵ (Eslováquia, 2016). Estes últimos programas são os indicados para um uso mais profissional da fotogrametria (Gil-Piqueras et al., 2019: 658).

⁴ Os programas aludidos neste conjunto são acessíveis nos seguintes sítios Internet: MicMac, em: <https://micmac.eng.eu/index.php/Accueil>; VSfM / PMVS, em: <http://ccwu.me/vsfm/index.html>; Meshroom, em: <https://alicevision.org/#meshroom>; Colmap, em: <https://colmap.github.io/index.html#>; Meshlab, em: <https://www.meshlab.net/>; CloudCompare, em: <https://www.danielgm.net/cc/>; Blender, em: <https://www.blender.org/>

⁵ Os programas aludidos neste conjunto são acessíveis nos seguintes sítios Internet: Metashape, em: <https://www.agisoft.com/>; Pix 4D Mapper, em: <https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software/>; 3D Zephir, em: <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-photogrammetry-software/>; Reality Capture, em: <https://www.capturingreality.com/>

3.4. Resultados e possibilidades da fotogrametria

Como decorre da própria descrição do processo de fotogrametria, o seu mais importante resultado é de um modelo tridimensional – seja visto enquanto nuvem de pontos, seja como superfície triangulada texturizada. A partir daí, outros produtos se podem originar, tanto por redução do modelo, dele surgindo imagens ou linhas vetorizadas, como por sua ampliação, nele se incluindo outras informações, de categorização própria ou de relação entre os seus elementos.

3.4.1. Modelos de nuvens de pontos e de superfície

Uma nuvem de pontos é o primeiro dos resultados do processo fotogramétrico e torna-se um produto com o maior interesse sobretudo a partir do momento em que se torna densificada. Nessa forma, podendo incluir vários milhões de pontos, a passagem e migração da nuvem de pontos para outros programas torna-se viável e útil – seja para análise direta, como é possibilitada no programa CloudCompare, seja para tratamento ulterior ou como base para novas criações, como ocorre p. ex. no programa REVIT, amplamente utilizado para a formação de novos modelos tridimensionais, simplificados a partir daqueles primeiros (Mateus, 2012).

Quando o modelo em nuvem de pontos é triangulado, passamos a ter um modelo de superfície – uma *mesh*, como foi referido – o qual pode ser posteriormente texturizado, formando, portanto, um modelo de superfície texturizado. Em qualquer um dos seus modos, estes são dos produtos mais imediatamente usados e reconhecíveis, dada a profusão e divulgação destas verdadeiras maquetas virtuais fotorrealistas (Fig. 3.11).

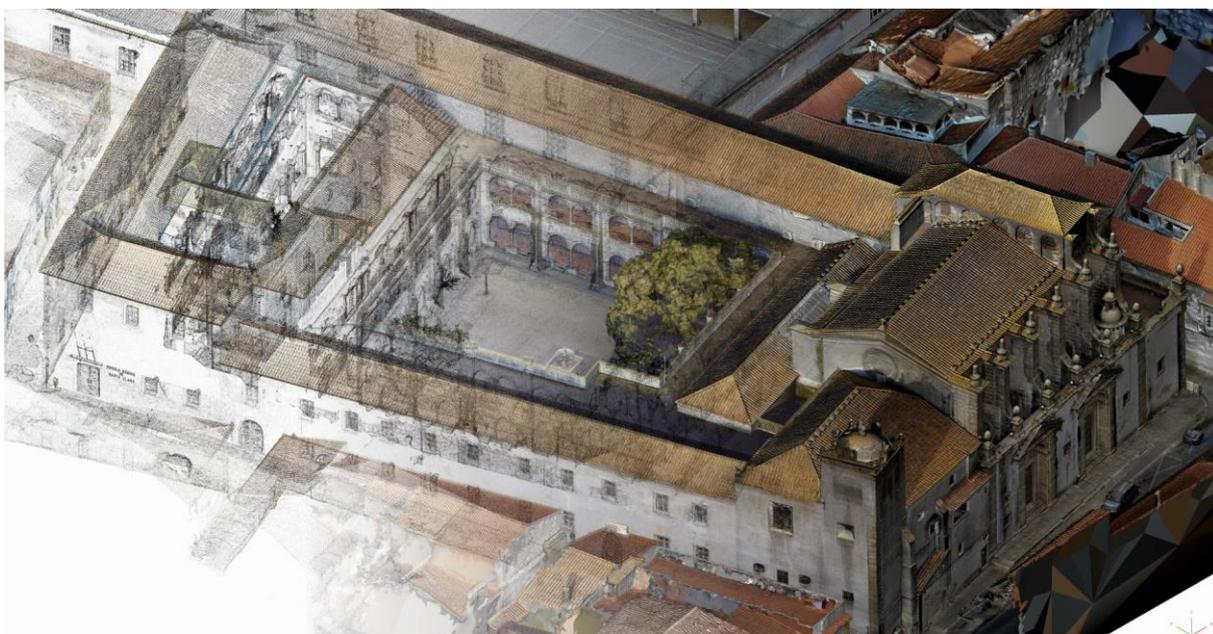


Fig. 3.11. Imagem compósita, de modelo em nuvem de pontos, para modelo de superfície texturizado (produção própria)

3.4.2. Reduções tridimensionais e bidimensionais

A partir dos modelos tridimensionais podem ser realizadas algumas operações de simplificação, sendo uma das mais úteis e mais utilizada a produção de modelos constituídos por um conjunto de linhas de corte, originadas a intervalos regulares a partir dos modelos anteriores, criando-se modelos de linhas, “aramadas” (de *wireframe*), seguindo a terminologia do CAD, ou modelos digitais de superfície (DSM, de *digital surface model*), se pensarmos em termos de SIG. O uso deste tipo de modelos é muito comum, em cada um dos sistemas assinalados.

Outro dos grandes produtos resultantes dos modelos tridimensionais é obtido a partir de suas representações bidimensionais virtuais, seja pela obtenção de perspectivas, seja pela criação de ortoprojeções. Num como noutro caso, a maioria destas imagens tende a ser feita a partir dos modelos texturizados. As perspectivas – aqui se incluindo tanto as de projeção cónica, que tomam o nome, como as ortogonais, mais conhecidas por axonometrias –, mostradas simples ou reunidas em diorama ou, se em número suficiente, formando mesmo animações, têm funções principalmente visuais, ou comunicacionais. As ortoprojeções, aqui se incluindo imagens exteriores ao modelo, como se se produzisse um mapa, bem como as resultantes do seu corte, horizontal ou vertical, como se se tratasse de plantas ou de alçados ou de cortes, têm logicamente o maior interesse para as artes e ciências da edificação, tanto para a arquitetura como para as engenharias e, conseqüentemente, para as ações de construção e de reabilitação do edificado. Estas últimas imagens, com efeito, serão basilares para, por meio de delineação manual, assistida ou automatizada, serem elaborados vários tipos de desenho, arquitetónico ou outro, bem como de mapas temáticos, entre vários possíveis.

3.4.3. Utilizações externas

O aproveitamento dos modelos de nuvens de pontos vem assumindo um enorme relevo em dois ambientes de utilização externa, com importância demonstrada nos campos do património cultural e, conseqüentemente, do edificado histórico e sua reabilitação.

Um desses ambientes é ligado sobretudo aos programas de desenho assistido por computador que, também tirando partido das possibilidades de tratamento por blocos e da sua parametrização, bem como das virtualidades de inserção de vários outros níveis de informação, vem possibilitando novas metodologias de construção e de gestão do edificado, conhecidas sob o acrónimo de BIM (*Building Information Modelling*) – o qual se vai normalizando para um seu uso quotidiano, dadas as suas vantagens na gestão de informação de projetos de conceção e construção dos edifícios (Historic England, 2017b: 2).

Também para o mundo da reabilitação do património edificado, embora com necessárias e importantes adaptações, tem havido uma progressiva utilização deste sistema de gestão da informação, sendo neste caso designado como HBIM (de *Heritage BIM* ou de *Historic BIM*), devido às provas dadas no setor da construção nova e, sobretudo, à sua capacidade de se tornar

um repositório central para toda a informação do bem histórico em causa (geométrica e não geométrica, incluindo de valores tangíveis ou intangíveis) (Historic England, 2017b: 9).

Neste ambiente, o modelo final informado não é originado nem decorre diretamente do modelo original em nuvem de pontos, antes tendo de ser executado um processo de adaptação e simplificação, conhecido como “*Scan-to-BIM*”, o qual, inicialmente operado manualmente, vem sendo investigado no sentido de uma sua progressiva automatização⁶ (Historic England, 2017b: 14).

Um outro ambiente, com importância assumida para o património cultural, é o dos sistemas de informação geográfica. De facto, a gestão de património cultural é definida como um processo cíclico de cuidado para com os vários recursos que aquela abarca, no qual se compreendem as atividades de: documentação, avaliação, estratégia de desenvolvimento, intervenção, monitorização e revisão de estratégia. Os SIG podem ser usados em proveito de cada uma dessas atividades (Box, 1999: 2).

Neste caso, a utilização dos modelos de nuvens de pontos parece poder vir a ser feita de modo mais direto, originando um ambiente SIG 3D – este, parecendo promissor, está ainda em construção, pois os programas disponíveis ainda não permitem uma sua ampla utilização (p. ex., só mais recentemente ficou possibilitada a importação e inserção de modelos de superfícies de pontos ou de superfícies trianguladas) e é necessário haver um tratamento de categorização, com os pontos a serem objeto de classificação segundo determinados atributos, os mais conhecidos sendo os originados a partir das tecnologias LIDAR / 3DLS⁷.

Este último procedimento, de classificação e de sequente segmentação de dados / pontos, mesmo que ocorrendo esta apenas a um nível semântico (sem que um corte se efetive), é uma das linhas de investigação emergentes e com maiores potencialidades de crescimento e de utilidade, designadamente porque traz vantagens também para o outro ambiente referido, sobretudo para os procedimentos de “*Scan-to-BIM*”. As técnicas para obter esse tipo de classificação podem: i) decorrer de uma interpretação geométrica, por relação de uns pontos com suas áreas de vizinhança; ii) ser originados pelos dados de cor própria dos pontos, ou de outros seus caracteres, eventualmente calculados; ou iii) ser também concretizados com auxílio

⁶ Por outro lado, perspectiva-se já uma outra evolução, para um sistema ainda maior de informação, contemplando também as várias formas e cenários de interação humana com os edifícios, neste caso, do que resultariam modelos verdadeiros “gémeos digitais” da realidade, com capacidades das quais se podem retirar novas informações que influenciam a própria atuação real (capacidades preditivas, p. ex., como ocorre nos modelos simuladores que permitem a previsão do tempo / clima)

⁷ A *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) estabeleceu já para os ficheiros LAS (de LASer) um sistema – que vem crescendo de versão em versão e sendo utilizando de modo cada vez mais amplificado – em que se incluem as categorizações, entre outras, de: 2, solo; 3, vegetação baixa; 4, vegetação média; 5, vegetação alta; 6, edifício; 9, água; 10, ferrovia; 11, estrada; etc.

de referências externas, seja pelo recurso a prévia documentação SIG em 2D (Murtiyoso et al., 2019), ou seja pela constituição de bases de dados tipificadas, a partir das quais processos de inteligência artificial, por métodos de “*machine learning*” ou de “*deep learning*”, se poderão basear para proceder a classificações desse mesmo tipo em novos e ou maiores bancos de dados (Matrone et al., 2020; Croce et al., 2021).

Quanto aos modelos de superfície texturizada, também estes têm um amplo escopo de interesse, considerando as suas capacidades comunicacionais e até mesmo vivenciais – não sem razão, o seu uso tem sido crescente, quer em projetos de realidade aumentada, em que se possibilita ver determinados objetos com lacunas reparadas ou outros com imagem renovada conforme sua origem, quer em projetos imersivos, de realidade virtual, em que se permite a visita virtual e uma experimentação espacial similar à que se operaria nos próprios locais, as mais das vezes por razões de inacessibilidade – ou por qualquer incapacidade de utentes, ou para proteção e salvaguarda dos próprios sítios (Giné, 2018; Dhanda et al., 2019).

3.4.4. Futuro próximo

Algumas linhas de investigação são já perceptíveis estarem em curso, indicando de que maneira poderá a fotogrametria evoluir nos tempos mais próximos.

Uma dessas linhas pretende uma maior eficácia do processo para documentação dos espaços ou dos objetos, investigando-se, p. ex. formas de introduzir algum “ruído” nos processos de levantamento, a fim de aumentar a definição das superfícies, ou reflexivas ou brilhantes (Clini et al., 2023), ou por outro lado, aumentando significativamente a resolução das câmaras fotográficas e consequentemente a precisão dos produtos resultantes (Adami et al., 2023).

Uma outra linha de investigação percebe-se em torno da eficiência do próprio processo, tentando a redução do número de fotografias necessárias e ou a maior rapidez nos trabalhos de campo, com aplicações compreensivelmente mais diretas em cenários de ação imediata, como são os de desastre, nisso sendo exemplar a designada fotogrametria esférica, baseada em imagens panorama 360° (Fangi et al., 2013).

Finalmente, encontra-se ainda um outro tipo de investigação, focando e questionando a qualidade do próprio processo e confrontando novas alternativas, uma das quais recorrendo a processos de inteligência artificial, de “*deep learning*”, como é o caso das NeRF (acrónimo para *Neural Radiance Field*), um método de modelação tridimensional a partir de imagens que calcula também propriedades de reflectância, portanto com uma vantagem potencial na reconstrução de superfícies reflexivas, refractantes, ou afins (Remondino et al., 2023).

3.5. Fotogrametria em Portugal

A fotogrametria surge com aplicação em Portugal na década de 1930, para produção da cartografia nacional, ligada à figura do general Norton de Matos. Durante cerca de 70 anos, a fotogrametria nacional baseou-se na realização de voos, em avião, com câmaras especiais acopladas, e ao seu processamento através de estereorrestituidores (analógicos) (Marques et al., 2010: 383).

Não é, pois, surpreendente perceber que, ainda agora, o termo fotogrametria aparece ligado em larga medida às áreas de engenharias geográfica ou geoespacial ou afins. De norte a sul, pesquisando sumariamente os repositórios de algumas universidades em Portugal (Minho, Porto, Aveiro, Coimbra, Lisboa e Évora), pode-se perceber que alguns dos trabalhos mais recentes neles publicados e disponibilizados e já focando as modernas técnicas fotogramétricas respeitem a estudos nesse âmbito – citam-se dois, a título de exemplo, de norte para sul: um focado sobre um objeto de estudo, prestando atenção à evolução da dinâmica costeira minhota (Silva, 2022); outro sobre a própria tecnologia, visando a utilização de veículos aéreos não tripulados e a sua aplicação na fotogrametria digital e na produção cartográfica (Machado, 2021).

Em matérias de património cultural, ou simplesmente ligado às ciências da construção, encontram-se também, dispersos um pouco pelo território, vários estudos visando o uso da fotogrametria – enumeram-se a título de exemplo: investigação sobre a tecnologia ela própria (Inês, 2022); outra sobre um seu uso facilitador para identificação de patologias em fachadas (Santos, 2017); ou um outro ainda, integrando grande investigação e processo de documentação de património histórico monumental, no Convento do Carmo, em Lisboa (Fig. 3.12 e 3.13) (Vitale et al., 2021).

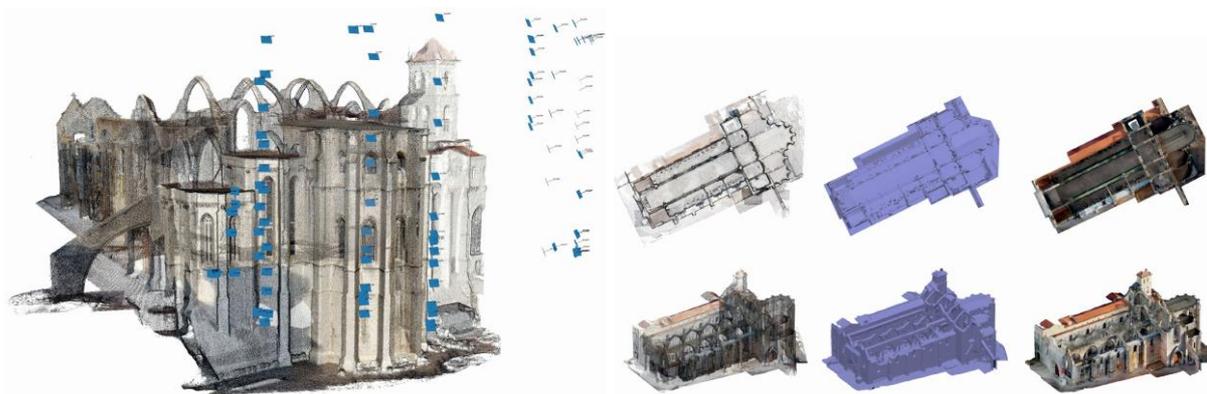


Fig. 3.12. Processo de aquisição de imagens no Convento do Carmo, em Lisboa, a azul ilustrando-se as posições do drone / captação de fotografia; Fig. 3.13. Resultados do processamento fotogramétrico (in Vitale et al., 2021)

A proximidade de Espanha ao nosso território facilita também a investigação daí oriunda sobre temas nacionais, isso se percebendo facilmente nas zonas da raia, como p. ex. demonstra estudo sobre a fortaleza de Almeida (Garcia-Gago et al., 2022), ou mesmo em Évora, ligado ao seu património histórico, com estudos sobre o Aqueduto da Água da Prata (Martinez, 2019), ou arqueológico, no Cromeleque dos Almendres (Cerrillp-Cuenca et al., 2019).

Não é possível deixar de salientar o trabalho em torno desta matéria desenvolvido na Universidade de Lisboa, no centro de estudos ArchC 3D (*Architectural Heritage Conservation Research Group*), da Faculdade de Arquitetura (ARCHC 3D, s.d.). Mais do que em qualquer lugar nacional, aí podem ser encontradas variadas publicações, prolíficas, constantes ao longo de uma dezena de anos já, e focando vários aspetos, a par com as atuais linhas de investigação internacionais, p. ex., incidindo: em melhorias na tecnologia e seu aperfeiçoamento, como ocorre em abordagem ao uso de lentes olho-de-peixe no processamento de reconstrução (Covas et al., 2015); no entrosamento de tecnologias para os fins de documentação e conservação, com aplicação prática em património construído (Fig. 3.14) (Mateus et al., 2019); ou na ligação ao HBIM, investigando os processos de “scan-to-BIM” (Rocha et al., 2020).

Em resumo, a temática da fotogrametria, por si ou entrosada em outros temas dedicados ao património edificado e ou cultural, está bem implantada em Portugal, não se podendo desconsiderar, porém, a capacidade de crescimento e até o dever de promoção da sua utilização, tendo em conta as suas potencialidades.



Figura 3.14. Fortaleza de Juromenha, Modelo fotogramétrico global em 3D, de baixa resolução, na plataforma SketchFab (captura de ecrã, na plataforma SketchFab) (MATEUS et al., 2019)

4. TRABALHOS E RESULTADOS FOTOGRAMÉTRICOS EM SANTA CLARA

4.1. Preparativos

Para o cumprimento dos objetivos poder ser sequer vislumbrado, foi imprescindível um trabalho prévio, de angariação de equipamentos e de experimentação do seu manuseio. Os investimentos ou as aquisições que fossem necessárias deveriam moderar-se tanto quanto possível, procurando-se os maiores níveis de prestação, mas garantindo-se serem viáveis de alcançar por um maior número de utentes.

4.1.1. Equipamentos para levantamento

Havendo o objetivo de cobrir toda a envolvente das edificações, designadamente ao nível das suas coberturas, surgiu com bastante lógica a opção de aquisição de um drone – este era necessário, de modo a poderem desenvolver-se os trabalhos no tempo que havia disponível para o efeito; com o benefício de poderem corrigir-se aspetos, adiante, que pudessem não funcionar adequadamente; e bem assim, de poder também ser usado em outras atividades.

Em Portugal – tal como na Europa – drones com menos de 250 g são os que apresentam menores riscos de segurança e por isso exigem menos controlos burocráticos. Porém, a opção para aquisição acabou por ir para um drone, o Anafi Parrot, já na última categoria prevista regulamentarmente (A3, para drones com quaisquer pesos até 25 kg, ainda não adaptados às mais recentes regras comunitárias, sem marcação de conformidade de classe) na medida em que: i) a tecnologia da câmara fotográfica parecia promissora e da maior utilidade⁸, possibilitando a captação de imagens tanto para pontos de nadir como de zénite, este último aspeto, sem aparente concorrência no mercado, em teoria com muito interesse para áreas interiores ou cobertas; ii) as referências lidas eram positivas – fora este o drone usado para levantamento em processos fotogramétricos do Convento do Carmo em Lisboa (Vitale et al. , 2021); e iii) pertencendo a uma geração anterior aos equipamentos mais atuais das marcas disponíveis no mercado, a aquisição parecia mais acessível, do ponto de vista médio já referido. De modo a fazer crescer a autonomia de voo (cada bateria possibilitando cerca de 20 minutos), adquiriram-se depois duas baterias adicionais e um carregador com capacidade correspondente.

⁸ A câmara fotográfica, montada num estabilizador de 3 eixos, com rotação possível num arco de 180°, tinha as seguintes características: sensor, CMOS de 1/2.4’’; abertura, f/2.4; distância focal (formato equivalente 35 mm), 23-69mm; resolução fotográfica máxima, 21MP (5344x4016), formato 4:3, campo de visão horizontal, 84°

Naturalmente, antes de empreender qualquer trabalho envolvendo o uso de drone, completou-se o «Curso de formação à distância na subcategoria A1/A3», ministrado pela Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), um curso gratuito que visa proporcionar, a todos quantos disponham destes equipamentos, os conhecimentos básicos para o seu manuseio seguro e regular em território nacional⁹. A capacitação para operações com os drones ficou completada com a obtenção de aprovação em exame próprio, no final do curso.

Para os levantamentos processados ao nível do solo, por questões de ligeireza e de facilidade de manuseamento, adquiriu-se um telemóvel, Samsung A52s¹⁰, o qual é munido de várias lentes que lhe garantem a maior versatilidade na tomada de fotografias – as suas duas câmaras principais, uma de muito grande resolução e outra com campo de visão muito amplo, indiciavam poderem ser da maior utilidade para os trabalhos por vir.

Desde cedo, como adiante se explicitará, mostrou-se necessário ter ao dispor também uma máquina fotográfica tipo DSLR como recurso para obtenção de imagens ao nível do solo – utilizou-se uma Nikon D3200¹¹, neste caso generosamente emprestada, equipada com objetiva que chegava à grande angular e também com flash incorporado, o que se revelou da maior utilidade, sobretudo quando era preciso retratar espaços com tanto de área visível de interior como de exterior (imagens que, sem essa compensação, resultam com frequência ou sub ou sobreexpostas numa das suas partes).

4.1.2. Equipamento para processamento

Na situação de partida e para efeitos de processamentos fotogramétricos, dispunha-se de dois computadores: um computador servia para o tratamento preparatório da informação enquanto o segundo, por uso emprestado, possibilitava a realização dos cálculos de maior complexidade, designadamente de reconstrução densa e de texturização¹². Contudo, mesmo conjugando os

⁹ Neste curso são abordados: i) a regulamentação aplicável; ii) as regras gerais de operação na categoria aberta e nas subcategorias A1 e A3; iii) a identificação de quais as aeronaves não tripuladas que podem ser operadas nestas subcategorias; iv) a reação aconselhável em casos de alteração às condições iniciais de operação; e v) a reação a adotar na eventualidade de ocorrerem situações anómalas e de emergência em todas as fases de voo.

¹⁰ Este telemóvel vem equipado com quatro câmaras, as duas principais com as seguintes características: a) sensor, CMOS de 1/1.7"; abertura, f/1.8; distância focal (formato equivalente 35mm), 25mm; resolução fotográfica máxima, 64MP (9238 x 6928); b) sensor, desconhecido, abertura, f/2.2; distância focal (formato equivalente 35mm), 13mm; resolução fotográfica máxima, 12MP (4000x3000), formato 4:3, campo de visão 123°.

¹¹ Esta máquina fotográfica apresenta as seguintes características: sensor, CMOS tipo APS-C / DX; lente zoom, de distância focal variável, de 18-55 mm, abertura f/3.5-5.6, resolução fotográfica máxima de 24 MP (6016x4000), formato 3:2 – o sensor, menor que a dimensão padrão de 35mm, implica um fator de corte 1.5x, pelo que a distância focal da lente será, no formato equivalente 35 mm, de 27-83 mm.

¹² O primeiro computador era equipado com: placa-mãe, EVGA 132-YW-E180-FTW; processador, Intel Core 2 Quad CPU, 2.83 GHz, 4 núcleos, 4 processadores lógicos; memória RAM, 8.0 Gb; placa de vídeo, NVIDIA

dois computadores, o tratamento de vários milhares de fotografias, como passou a ocorrer a meio termo do trabalho, revelou ser claramente insuficiente, ou pelos cálculos pedidos ficarem impossibilitados à partida, ou por exigirem longos e sucessivos tempos de computação. Assim, para progressão do trabalho e para garantir adequadas capacidades para o tratamento da informação coligida, houve necessidade de aquisição de novo computador¹³, com características melhoradas, mas novamente impondo-se um uso corrente, equiparável ao de um computador para jogos vídeo, mantendo um perfil de investimento médio. Finalmente, para outros tipos de processamento, de texto, de imagens, etc., um outro computador, portátil¹⁴, foi usado.

4.1.3. Programas informáticos

No que respeita ao software a utilizar para o processamento fotogramétrico, de entre as soluções ao dispor optou-se por usar o programa Reality Capture (adiante designado por RC), em detrimento de soluções de uso livre e gratuito, como inicialmente se pensara. Essa opção fundou-se: i) em experiência anterior, no âmbito do presente mestrado, onde o programa fora usado para documentação do Convento de Nossa Senhora do Carmo de Tentúgal; ii) no facto de o programa ter disponíveis várias possibilidades de exportação de produtos finais; e iii) finalmente, por o seu uso, embora licenciado e pago, permitir a evolução do trabalho sem restrições, só havendo procedimentos de pagamento se e quando as modelações se considerassem satisfatórias, nesse caso sendo processados os pagamentos em função do número e resolução de base das imagens utilizadas naquelas – o chamado modelo de licenciamento PPI (acrónimo de *pay per input*).

Acessoriamente, foi ainda utilizado o programa Cloud Compare (adiante designado por CC), com amplas possibilidades para manuseamento, visualização e edição, quer de nuvens de pontos, quer de modelos de superfície texturizados; um programa, além do mais, de utilização gratuita.

GeForce GTX 970, disco rígido, 250 Gb + 1 Tb; sistema operativo, Microsoft Windows 10, 64 bit. O segundo computador era equipado com: placa-mãe, ASUS A97 ProGamer; processador, Intel Core i7-4790K CPU, 4.00 GHz; memória RAM, 8.0 Gb; placa de vídeo, NVIDIA GeForce RTX 2060; disco rígido, 1 Tb, SATA; sistema operativo, Microsoft Windows 10, 64 bit

¹³ Este terceiro computador era equipado com: placa-mãe, MSI PRO A-690 WiFi; processador, 12th Gen Intel Core i7-12700KF, 3.60 GHz, 12 núcleos, 20 processadores lógicos; memória RAM, 32.0 Gb; placa de vídeo, NVIDIA GeForce RTX 3060 12 Gb; disco rígido, 1 Tb PCI Express; sistema operativo, Microsoft Windows 11, 64 bit

¹⁴ O computador portátil tinha as seguintes características: Lenovo IdeaPad S340; processador, AMD Ryzen 5 3500U, 2.10 GHz; memória RAM, 8.0 Gb; placa de vídeo, Radeon Vega Mobile Gfx; disco rígido, 500 Gb; sistema operativo, Microsoft Windows 11, 64 bit

4.1.4. Experimentação – Ermida de Nossa Senhora da Cabeça

Uma primeira ação experimental visou o uso somente da câmara do telemóvel, para teste das suas capacidades publicitadas de grande resolução, documentando um espaço de transição entre ambientes exterior e interior – no caso, o adro da Ermida de Nossa Senhora da Cabeça, na Rua de Mendo Estevens, em Évora. De duas sessões documentando o espaço, somente ao nível do solo, embora o alinhamento e reconstrução tivesse resultado num modelo coeso, mostrou-se evidente, após texturização, uma grande incoerência nas superfícies obtidas e nem por isso primorosas quanto à resolução (Fig. 4.1).

Assim, entendeu-se que nos trabalhos a desenvolver no convento dever-se-ia ter disponível uma câmara fotográfica de objetiva simples, tipo reflex, e que a maioria das imagens a usar a partir do solo deveriam ser originadas por esse tipo de máquina, tendo em conta a superior qualidade das imagens assim obtidas. Quanto às imagens captadas por telemóvel, a serem aproveitáveis, deveriam sê-lo sempre, ou tendencialmente, de forma secundária em relação àquelas.

Nesta experiência, para conferir escala foi usada uma régua de nível poisada no pavimento e nivelada, recurso que não se mostrou adequado para fornecer os dados necessários, pois os pontos que nela se podiam fixar não eram passíveis, em modelação, de identificação exata.



Fig. 4.1. Ortoimagem – corte vertical, visando o alçado interior do adro, em resultado da reconstrução e obtido através do CC

4.1.5. Experimentação – Capela de São Roque do Louredo

Com o drone foram igualmente tentadas algumas experiências em áreas rurais, ensaiando-se o voo e simultaneamente a cobertura fotográfica, primeiro sobre ruínas de antigos montes e, por fim, por sobre uma pequena ermida, a capela de São Roque do Louredo, nos arredores de Évora,

4. Trabalhos e resultados fotogramétricos em Santa Clara

onde já se pôde experimentar todo o tipo de levantamentos aéreos (inclusive com voos automatizados, previamente programados): a maior altura do solo, sobre coberturas – em grelha e em órbita; e mais abaixo, descrevendo as fachadas em movimentos perpendiculares, ondulantes. Neste caso, foram feitas também fotografias junto ao solo, usando o telemóvel, rodeando e documentando a capela na sua implantação.

Numa das esquinas da ermida foi experimentado ainda um método diferente de referencial para o modelo, aí se colocando uma pequena plataforma em contraplacado, de 70 por 45 cm, com três parafusos reguláveis em altura (de modo a poder estabilizar um plano de nível), com impressão de alvos nos cantos (estabelecendo um plano ortogonal formado por triângulo pitagórico – triângulo base 5-12-13, quintuplicado, ou seja, com centros de alvos às distâncias de 25 e 60 cm nos lados retos e de 65 cm nas diagonais – possibilitando calcular-se a escala) e, ainda, com impressão de conjunto de retângulos com gradação de cor, de maneira a formar um alvo colorimétrico, caso viesse a ser necessária alguma edição para balanço de cores.

Com base em uma única sessão, de um final de tarde junto à ermida, foi possível processar e reconstruir com sucesso um modelo digital e experimentar de seguida, no programa Cloud Compare, alguns dos tipos possíveis de exportação desse modelo e como eram eles concretizáveis (Fig. 4.2 e 4.3). O resultado da experiência comprovou a utilidade do drone – este poderia vir a ser bastante proveitoso para os fins pretendidos alcançar.



Fig. 4.2. O referencial de escala utilizado, na esquina da capela (Fotografia do autor); Fig. 4.3. Axonometria do modelo de superfície texturizado resultante da reconstrução e obtida do CC

4.2. Metodologia

Metodologicamente, para cumprimento dos objetivos fixados, entendeu-se que a melhor forma de executar o trabalho passaria por uma abordagem e uma sua documentação realizada por etapas, autónomas entre si, mas progressivas na sua complexidade, assegurando sempre o maior grau de complementaridade e de rigor.

4.2.1. Os espaços a documentar

Neste sentido de progressão, a primeira abordagem aos espaços do quarteirão de Santa Clara incidiria no seu registo exterior, obtendo uma caracterização da sua envolvente, não só a voltada para os arruamentos públicos, mas também para os espaços descobertos interiores, o que permitiria como consequência que se fossem promovendo levantamentos e processamentos de informação seguindo essas áreas bem definidas: i) as dos arruamentos, o principal sendo o da Rua de Serpa Pinto, a sul, onde se processa a entrada para a igreja, depois a Rua de Santa Clara, a oeste, onde se encontra a entrada para a escola, tal como antes para o convento, e de seguida, sucessivamente, a Rua da Carta Velha, a Rua de São Domingos, a Rua do Alfeirão, a norte, onde se encontra entrada capaz para acesso de viaturas, e depois ainda, mais estreitas e a nascente, a Travessa de Beguinos e a Travessa da Milheira que, em cotovelo, entronca de novo na Rua de Serpa Pinto; ii) depois as interiores ao quarteirão, o claustro grande do convento, mais a sul, o claustro do poço, originado do antigo claustro, mais a norte, e o grande pátio a nascente (ou campo de jogos), vocacionado para a prática desportiva, embora com pequeno apontamento de lazer, no canto mais a nordeste (Fig. 4.4).

Quando estivesse alcançado esse tipo de documentação, capaz de funcionar tanto de um ponto de vista urbano, dando a perceber a relação do quarteirão com a sua envolvente construída próxima, como de um ponto de vista arquitetónico, com a melhor caracterização possível de fachadas e cobertura, podia-se procurar uma documentação já somente de cariz arquitetónica, focada neste caso nos espaços de circulação comuns, em torno dos claustros da escola. Nesta circunstância o maior desafio passava pela caracterização das suas galerias, espaços claramente de tipo e ambiência exteriorizados, mas simultaneamente abrigados – espaços de transição, em resumo, também considerando o seu importante papel nas circulações entre os vários núcleos funcionais do convento, agora da escola. Ligados às galerias, aparecia como desafio secundário a caracterização dos espaços de circulação vertical, de transição entre os diferentes níveis a que se encontram as áreas da escola: i) o núcleo histórico, das mais antigas escadas exteriores, no canto sudoeste do claustro grande; e depois os núcleos de escadas mais interiorizados e mais recentes, ii) o maior, entre claustros, estabelecendo ligação entre cinco níveis, o último dos quais correspondente ao de acesso ao terraço exterior sobranceiro ao claustro grande; iii) o menor, na ponta sudeste, estabelecendo a ligação entre os dois níveis do claustro grande.



Fig. 4.4. – Planta do quarteirão de Santa Clara e sua envolvente próxima, à escala 1:1000, sobre o mais recente levantamento aerofotogramétrico da cidade (elaboração própria, a partir dos elementos dos SIG municipais)

Uma vez que pudesse estar estabilizada essa caracterização, havia ainda a intenção de, pelo menos, conseguir experimentar a caracterização de espaços interiores, estabelecendo simultaneamente a relação de cada um deles com a área exterior que lhes garantia acesso. Neste caso, o desafio passava por se conseguir uma caracterização tanto de espaços de maior como de menor dimensão, mas também de diferentes características construtivas entre si – o local mais propício para isso sendo a zona da portaria, no contato com o antigo claustro e encimada por um dos característicos mirantes do convento.

4.2.2. As tecnologias a usar

No âmbito das tecnologias, o maior desafio para concretizar o trabalho passaria por conseguir ajustadamente estabelecer ligações entre as várias fontes disponíveis e os respetivos modos possíveis de captar imagens. Por um lado, haveria que perceber qual a capacidade e ou utilidade de junção de imagens captadas a partir do drone, de telemóvel e ou de máquinas fotográficas clássicas, as últimas com óticas e sensores comprovadamente de maior qualidade, as primeiras, por contraponto, munidas de sistemas automáticos de compensação cada vez mais sofisticados, com uso de sistemas de inteligência artificial. Por outro lado, mais genericamente, independentemente das máquinas em uso, era importante perceber qual a capacidade de integração de imagens em registos convergentes, por oposição aos paralelos, e de registos oblíquos, por contraponto aos mais ortogonalizados.

4.2.3. Abordagem de trabalho

A abordagem de trabalho que foi seguida assentou em ciclos de produção e avaliação, cada um deles constituído por uma sequência de levantamento fotográfico, de processamento fotogramétrico e de produção de resultados, em cada momento sendo avaliadas essas partes – ou permitindo o avanço na sequência ou obrigando ao recuo e revisão de procedimento – e depois o seu conjunto, de modo a poder evoluir para novo ciclo, em expansão de espaços tratados ou progredindo para uma maior complexidade.

A realização de levantamentos fotográficos iniciou-se em finais de janeiro e estendeu-se até ao início de agosto. Para o efeito, foi dado conhecimento da intenção e foram obtidas necessárias autorizações, concretamente, da parte da direção escolar do Agrupamento de Escolas Severim de Faria, entidade utente, da Câmara Municipal de Évora, entidade proprietária do espaço, e da Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN), para a realização de levantamentos aéreos – neste caso, temporalmente limitada a um máximo de 60 dias.

Tendo em conta a específica e quotidiana utilização escolar dos espaços, ficou acertado que as melhores ocasiões para proceder a esses trabalhos seriam as quartas-feiras à tarde e as sextas-feiras ao final da tarde, períodos em que as atividades letivas eram inexistentes e, portanto, possibilitando o vazio dos espaços e o seu melhor registo. Essas facilidades logísticas, porém, poderiam trazer algumas contrariedades, como de facto depois se verificou, designadamente a possibilidade de os espaços a documentar resultarem modificados de uma ocasião para outra, dificultando nesse sentido as operações de posterior processamento – entenda-se que a diferença de sinais em presença (alteração de disposições de mobiliário, p. ex.), mesmo que num mesmo cenário, resulta facilmente numa duplicação de modelos, exigindo depois intervenção de acerto manual.

Os trabalhos de levantamento fotográfico sequenciaram-se de acordo com os tipos de espaços já referidos. O primeiro tipo de abordagem espacial, focando a envolvente exterior, ficou terminado em finais de março, embora se tivesse mais tarde voltado a captar imagens do género, com finalidades corretivas. No segundo tipo de abordagem, as primeiras imagens que se revelaram aproveitáveis datam de março e estenderam-se até finais de junho. Para o terceiro tipo de levantamento, as sessões de trabalho decorreram essencialmente entre junho e julho.

Cabe ainda referir que houve um quarto uso da fotografia, para registar de modo mais imediato as medições levadas a cabo na escola e decididas empreender para efeitos de controlo de qualidade dos modelos tridimensionais que, entretanto, se haviam conseguido processar. Estes trabalhos coincidiram com a última fase de levantamento acima indicada.

O processamento das imagens e a reconstrução de modelos digitais fotogramétricos a partir delas seguiu de perto a metodologia dos próprios levantamentos e a sua sequência já referida, num processo retroalimentado uns pelos outros: métodos de levantamento que permitissem uma boa reconstrução e modelação fomentavam novos levantamentos, ou mais extensivos ou em novas áreas similares e seguindo os mesmos métodos; já os que não permitissem uma adequada reconstrução ou que implicassem um processamento automatizado de fraca qualidade ditavam o abandono desses métodos a favor necessariamente dos primeiros. Por outro lado, se em resultado da reconstrução se verificava haver insuficiência de caracterização ou erros de modelação, eram desencadeados novos procedimentos de levantamento, suplementares ou corretivos, incidentes nas áreas fonte de erro, quando identificadas.

À medida que se terminavam os processamentos fotogramétricos, procurou-se desde logo testar a exportação de alguns produtos resultantes daqueles, assim percebendo melhor a qualidade alcançada nas modelações e bem assim testando a utilidade desses resultados. Esses produtos assumiam as duas características fundamentais atrás mencionadas – de serem eles próprios tridimensionais ou de serem aplanados em imagens bidimensionais – podendo ainda assumir uma outra classificação, de acordo com a sua finalidade – a de se destinarem eminentemente a facilitar a visualização e comunicação do objeto ou a de, por outro lado, serem fundamentalmente informativas e um meio para novos e posteriores processamentos. Neste último caso, procurou-se desde logo perceber qual a capacidade de uso desses produtos resultantes em programas comumente usados em duas áreas consideradas fulcrais nos processos de reabilitação – a informação geográfica e o desenho assistido por computador.

Descrevem-se de seguida os trabalhos empreendidos em Santa Clara, dividindo-os nos três grandes grupos de espaços, em cada um sendo abordados os levantamentos levados a efeito, depois os modelos reconstruídos a partir destes e os respetivos resultados produzidos – mencionando-se para cada um dos aspetos as conclusões imediatas dessas fases.

4.3. O quarteirão de Santa Clara

4.3.1. Levantamentos aéreos

Os trabalhos essenciais, a desenvolver em primeiro lugar, eram os que envolvessem o uso do drone. Durante sensivelmente dois meses foram-se garantindo registos, no interior da escola, centrados primeiro no claustro do poço, depois no claustro grande e finalmente no campo de jogos; nas áreas exteriores à escola, os levantamentos decorreram em dias e horários de menor movimento – os de fins de semana, ou ao início da manhã ou ao final da tarde – escolhendo-se fotografar tendencialmente quando as fachadas estivessem em sombra. Como nem sempre houve o benefício de fotografar com luz difusa (característica de dias nublados), de modo a garantir a maior coerência formal possível, procurou-se captar fotografias de um mesmo tipo sensivelmente à mesma hora do dia – tentando-se assim uma documentação com uma luminosidade que não contivesse sinais contraditórios de umas fotografias para outras, isso sendo mais evidente nas fotografias tomadas de pontos de vista mais elevados e captadas em horários mais tardios, com luz já baixa, de oeste.

Metodologicamente, os primeiros registos tentados eram sempre os superiores, em grelha, com foco nos pontos nadires, sucedendo-se rondas ao setor a documentar em órbita, captando perspetivas tipicamente oblíquas, ora em movimentos de translação, ora em movimentos convergentes. Finalmente, sucedia-se a documentação das fachadas, simulando na vertical o que já se procurara nas grelhas acima referidas, ou seja, descrevendo movimentos ondulantes (para cima, para o lado, para baixo e de novo para o lado, repetindo sucessivamente o ciclo), com a câmara o mais possível orientada segundo uma perpendicular à superfície da fachada, distando desta sensivelmente entre 3 a 5 m nas ocasiões mais favoráveis – estratégia que permitia melhores sobreposições, sem perda de pormenor.

Foi nas ocasiões em que, com perfis mais reduzidos nos arruamentos, a distância às fachadas resultou menor que ficaram prejudicados: ou o nível de sobreposição adequado ou a presença de elementos referenciais entre fotografias. Consequentemente, ficaram dificultados os processamentos posteriores – arruamentos houve, p. ex. a Travessa da Milheira, com presença de túnel e com áreas de perfil de 2,5 m, em que uma documentação assim ficou impossibilitada. Esta uma das razões para o registo das fachadas ter exigido também algumas tomadas de vista oblíquas às mesmas, normalmente nas zonas de esquinas ou de cantos, fazendo movimentos com o drone de elevação ou de descida, ora com a câmara de nível, ora em vistas oblíquas.

Instrumentalmente, as fotografias foram na sua maioria tomadas por programação de intervalo de tempo ou por intervalo de espaço – ou ainda por disparo manual. A opção de fazer vídeos, extraíndo depois *frames* daqueles, nunca foi considerada – a resolução permitida, mesmo em 4K, era inferior à alcançada em modo fotográfico. Acresce dizer que, por questões de segurança, se prescindiu na cidade de realizar quaisquer voos automatizados, todos eles se

manobrando manualmente e por sectores, de maneira a reduzir probabilidades de falhas de comunicação e a aumentar linhas de vista para controlo de operações.

4.3.2. Levantamentos no solo

Uma grande parte dos primeiros trabalhos com máquina fotográfica, junto ao solo, incidiram na captação de imagens representativas do exterior edificado, que naturalmente ajudassem à descrição da envolvente: i) colmatando falhas evidentes, onde não existiam quaisquer imagens anteriores, designadamente nas áreas onde não se pudera acionar o drone – como p. ex. na Travessa da Milheira, já referida – ou em zonas onde aquele tipo de recolha era, na prática, inútil – como p. ex. na Rua do Alfeirão, cuja frente da escola é formada por muro mais baixo, de alvenaria com cerca de 2 m de altura, encimado depois por estrutura de prumos e redes metálicas; ii) procurando captar imagens que pudessem reforçar a precisão da modelação posterior, designadamente registando várias perspetivas inferiores dos elementos da edificação mais projetados – p. ex., cimalthas e beirados presentes nas fachadas, ou os trabalhos decorativos superiores na fachada da igreja – ou acentuando registos sobre elementos das fachadas com maior riqueza de pormenor, aí não fazendo apenas movimentos de translação de câmara, mas também rodeando-os, com várias imagens convergentes sobre eles – como p. ex. nas várias portas presentes na Rua de Santa Clara.

4.3.3. Modelação – Claustro do Poço

Os trabalhos de modelação tridimensional direcionados para a caracterização da envolvente exterior foram iniciados a partir de fevereiro, sendo tentadas duas experiências, de cariz parcelar, em setores limitados do quarteirão, também em função do progresso dos trabalhos de levantamento e da quantidade de imagens disponíveis. A primeira destas focou-se na capacidade de modelação do claustro pequeno, para perceber como um conjunto de imagens sobre um espaço que existe à sua volta era possível ser recriado e de que modo – o conjunto incluía todas as imagens aéreas, de todos os tipos, tomadas sobre este claustro, com recurso ao drone.

Um modelo tridimensional foi formado com sucesso, conjugando automaticamente uma grande parte das imagens inseridas; essa correlação não foi feita corretamente nas imagens sobre a fachada do claustro voltada a norte, quando as superfícies brancas eram maiores, reduzindo possíveis correlações; bem assim, também várias das imagens tomadas sobre a fachada oposta, oblíquas, não conseguiram ser incluídas. Em todo o caso, este apresentava-se visualmente correto e completo, pelo exterior; para uma caracterização das galerias, outros trabalhos se mostravam ainda necessários.

De início, quase sempre após cada uma das reconstruções tentadas, uma das exportações que se procurava fazer era a de modelos tridimensionais texturizados, para leitura no programa Cloud Compare. Neste se puderam testar primeiramente vários modos de visualização dos

modelos carregados, tal como se puderam originar as primeiras ortoimagens do modelo, figurando plantas e alçados do claustro (Fig. 4.5).



Fig. 4.5. Ortoimagem - primeiro corte vertical, visando interior a norte do claustro do poço, em resultado da reconstrução e obtido do CC

4.3.4. Modelação – Igreja

A segunda experiência parcelar, de inícios de março, tentou a modelação de um volume compacto, de dimensão considerável – a Igreja de Santa Clara – em torno da qual havia já disponíveis imagens suficientes para descrever todas as suas frentes. Também neste caso foi possível recriar um modelo digital da igreja, mas não de uma forma totalmente automatizada: foi necessário conjugar as várias partes calculadas de início, principalmente duas destas.

Importa descrever o processo para esse efeito, uma vez que se tornou basilar para todos os demais modelos posteriores: quando o programa RC não deteta automaticamente as correspondências, ou quando estas se revelam bastante débeis, elas podem ser introduzidas manualmente, identificando tendencialmente não mais de três pontos em imagens pertencentes a um componente – assim identificados os modelos de partida no programa – e depois em imagens do outro componente com que se pretende relacionar e possibilitar a sua fusão. Este procedimento resulta mais bem capacitado quando a marcação é feita em pelo menos três imagens; mas, pela experiência obtida, idealmente em cinco ou mais fotografias em cada parte.

Novamente se procedeu à exportação do modelo de superfície texturizado para o CC, e deste a exportação de algumas ortoimagens. Estas, porém, mostravam-se deficitárias em dois aspetos: as áreas seccionadas resultavam sempre transparentes, deixando ver o reverso das superfícies que se encontrassem em planos posteriores ao de corte; e a iluminação era sempre direcionada

de acordo com o ponto de vista – assim, planos perpendiculares, sobretudo quando em escorço, mostravam-se muito escurecidos, sem qualquer leitura de pormenor possível (Fig. 4.6).



Fig. 4.6. Ortoimagem – alçado sul da igreja, em resultado da reconstrução e obtido do CC

4.3.5. Modelação – Quarteirão, primeira versão

Com base nestas duas experiências, demonstrou-se haver capacidade para se fomentar a recriação volumétrica de todo o quarteirão, como era desejado. Porém, em simultâneo se percebeu que a melhor metodologia para esse efeito, também em razão das capacidades de computação disponíveis então, passava por organizar coerentemente as imagens entre si e depois ir adicionando e conjugando uma e outra partes formadas, num processo de agregação sucessiva de modelos. O modelo primeiro a estabelecer nesse método era o aéreo, com base primeiro nas imagens de grelha, viradas aos nadires, depois conjugadas com as oblíquas. Neste modelo, que se tornou componente basilar para os restantes, puderam-se ir adicionando e fundindo outros componentes, organizados tipicamente por frentes do quarteirão. O modelo global assim originado revelou-se promissor quanto a resultados – possibilitava já exportar algumas imagens, boas auxiliares à compreensão do conjunto edificado – e por outro lado, exportar o próprio modelo, enquanto superfície e enquanto nuvem de pontos.

Nesta fase, as visualizações tridimensionais e a exportação de ortofotografias passaram a ser feitas diretamente do RC. As ortoprojeções produzidas neste programa parecem ser de iluminação omnidirecional, o que confere às imagens uma luminosidade e um pormenor assinaláveis, até em planos de escorço; por outro lado, o RC possibilita ainda a densificação do plano de corte, por meio de uma colorização à escolha do utilizador, conferindo legibilidade às imagens. Da análise destas concluiu-se haver várias deficiências – definição incorreta de superfícies, texturizações sem qualidade, mal posicionadas ou escamadas, e mesmo erros de modelação, com incorreções de alinhamento – que importava corrigir em nova reconstrução, para a qual seriam necessários novos levantamentos, complementando a informação visual disponível.

O programa Cloud Compare não deixou de ser usado, para onde se puderam exportar os modelos tridimensionais diretamente em nuvem de pontos – uma das exportações tipo é feita no formato .las, com origem nos sistemas LIDAR e que vem tendo uso crescente, sobretudo nos sistemas de informação geográfica. Empreendeu-se então um seu manuseio básico, testando as suas capacidades, aliás próprias para estes modelos. Uma delas é a capacidade de introdução de informação semântica, associada à geométrica. Com efeito, os modelos em nuvem de pontos podem ser classificados e analisados de acordo com várias características dos seus pontos constituintes: uma delas, a mais básica, é o valor de cor (RGB) de cada um dos pontos, o que já permitia formar algumas seleções e separações; mas também foi possível analisar os modelos em função da altura, a partir de um plano de referência, segundo um esquema de cores em intervalos progressivos e compreendidos entre o ponto mais baixo e o mais alto, segundo o eixo Z, de alturas; testou-se ainda um terceiro patamar de análise dos pontos, no caso segundo os seus níveis de verticalidade, novamente assumindo um intervalo de cores compreendidas entre os pontos mais horizontais e os mais verticais (Fig. 4.7 e 4.8). É ainda possível um outro sistema de classificação, por tipificação treinada (com recurso a sistemas de inteligência artificial) no próprio modelo ou importada de outros modelos. Pelo que se pôde perceber ativamente, concluiu-se haver um enorme potencial destes sistemas de classificação, que podem depois transportar-se para sistemas de segmentação e ou para outros sistemas de análise, com plausível proveito em ações de reabilitação.

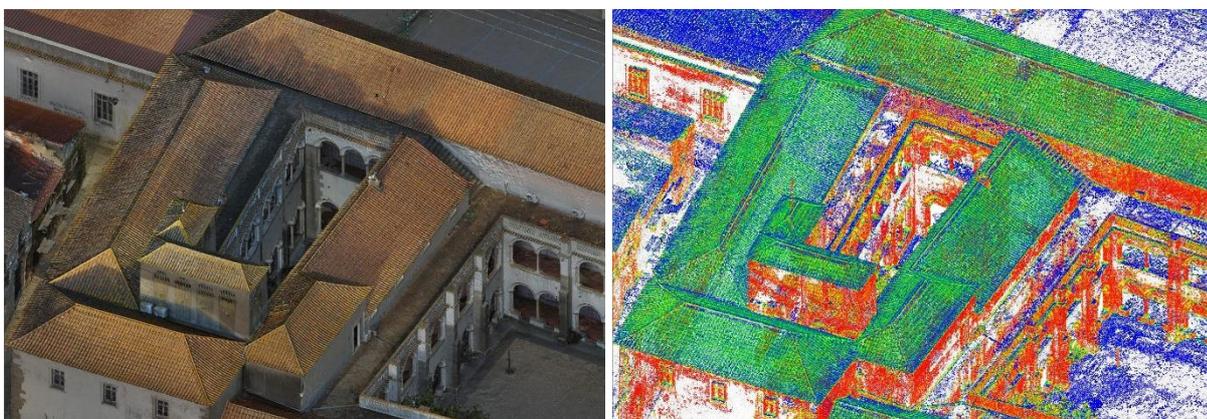


Fig. 4.7. Modelo de superfície texturizada, em visualização axonométrica, no CC; Fig. 4.8. A mesma visualização, no modelo em nuvem de pontos, após sua classificação segundo a verticalidade própria – os pontos horizontais, a azul, progredindo em inclinação pelos verdes e amarelos, até aos pontos verticais, a vermelho.

4.3.6. Modelação – Quarteirão, segunda versão

O regresso a um processamento e reconstrução do quarteirão, procurando corrigir e melhorar o anterior, foi moroso: i) já envolveu o uso do novo computador, o que impôs a execução do processamento de reconstrução quase de início; ii) obrigou a proceder-se a um reforço nos levantamentos da Rua de Santa Clara e da Rua da Carta Velha, o que se fez já sem a máquina fotográfica, recorrendo ao telemóvel. A repetição das modelações, como antes num esquema em árvore, hierárquico, de progressiva complexificação, não deixou de ser pautada de alguns cuidados, de modo que não fossem repetidos os erros que o modelo anterior evidenciara, de duplas definições de margens e contornos.

Obtido por fim um modelo globalmente reconstruído e devidamente texturizado, puderam ser percebidos alguns bons resultados em relação ao anterior, sobretudo pela correção de quase todos os erros que anteriormente se haviam detetado e especialmente na fachada da Rua de Santa Clara – a grande exceção sendo relativa à Rua da Carta Velha, onde tanto se debelaram problemas anteriores, nas linhas do beirado e do cunhal de esquina, como foram criados novos, quer nas superfícies, com alguns efeitos de plataformização (superfícies formadas com degraus, não planares), quer nas texturas, com várias malformações. Apesar de alguns aspetos negativos – texturização malformada e alguns buracos de zonas de “sombra” na reconstrução – o modelo apresentava qualidade visual bastante e, assim, puderam avançar-se procedimentos de exportação de alguns produtos derivados dele, bem como outros, de aferição quanto à sua fiabilidade métrica (Fig. 4.9).



Fig. 4.9. Modelo de superfície texturizada, em visualização perspetivada, no RC.

4.4. Os claustros da escola

4.4.1. Levantamentos fotográficos

Uma segunda vertente dos levantamentos fotográficos efetuados junto ao solo iria servir como base para o processamento e modelação dos espaços interiores ou semi-exteiores. Os primeiros levantamentos com esta finalidade iniciaram-se em meados de fevereiro e destinaram-se a testar a própria forma de recolher imagens. Os espaços das galerias revelaram-se, na verdade, difíceis de documentar capazmente e exigiram um trabalho de recolha e experimentação repetidas mais do que uma vez. É conveniente pormenorizar porquê.

As frentes exteriores das galerias dos claustros, com a sua típica sucessão de pilares maciços e colunas esbeltas, colocava muitas fotografias com contrastes evidentes de cor ou luminosidade à medida que se trasladava a câmara, consoante a maior parte da imagem fosse ocupada por áreas do interior ou do exterior da galeria. A estratégia que se revelou mais capaz para documentar e recriar esses espaços passou por descrever sucessivos movimentos convergentes em torno de cada um desses elementos estruturais, num arco de 180°; a cada passo orientando as imagens para cima, para o horizonte e para baixo. Com este tipo de cobertura foi possível uma descrição completa do espaço das galerias, capaz para reconstrução, com um grau de pormenor e capacidade de texturização melhores na sua metade voltada para o exterior.

As frentes interiores das galerias também apresentavam dificuldades para a sua documentação, embora de outro tipo – as paredes brancas, na sua metade superior mais ou menos bem conservadas, com uma monocromia constante e sem texturas de relevo ou atributos de decoração evidentes, não reunia, em imagens captadas perpendicularmente, pontos de ancoragem suficientes para se processar uma reconstrução do espaço. A estratégia prosseguida para essas frentes passou por captar imagem a partir de um escadote, num contínuo de pontos altos, onde se descreviam arcos apontados oblíqua e sucessivamente desde o chão até à parede, nas zonas onde terminavam os painéis de azulejos, ou em zonas mais altas, quando estivessem em presença vãos ou painéis expositivos ou outros elementos afins. Desse modo a reconstrução conseguia já reunir todas as imagens num modelo coeso e descritivo de cada uma dessas frentes, com mais evidentes lacunas nas áreas de parede mais largas e brancas.

Os tetos das galerias, neste caso quase sempre em abóbodas de aresta ou de nervuras revelaram dificuldades similares: quando padecendo de infiltrações, as manchas permitiam um número apreciável de pontos de correspondência entre imagens; nas áreas mais bem conservadas, imperando a monocromia e a monotextura da pintura a branco, era mais difícil consegui-las.. Para descrever esta outra frente das galerias, a estratégia que melhor resultou passou por descrever dois movimentos retilíneos, paralelos entre si e não muito distantes do eixo longitudinal das galerias, captando imagens voltadas ao zénite, em passos sucessivos não muito distantes entre si, de cerca 60 cm, nunca mais de um passo, de maneira a garantir a maior

sobreposição entre imagens. Neste caso, para tornar mais célere este tipo de cobertura fotográfica acabou por se dispor o drone, com a câmara voltada para cima, por sobre uma plataforma sobre rodas (habitualmente comprada para transportar cargas maiores), conduzida com um cabo de madeira. O voo com o drone em alternativa a este dispositivo não se considerou aceitável, por questões quer de segurança quer de amplitude de campo de vista alcançado.

Os segundos trabalhos de levantamento fotográfico sobre espaços interiores focaram-se na descrição das circulações verticais, fossem as escadas de lance único, fazendo transição entre níveis de pavimento, ou fossem as caixas de escadas mais clássicas. Para estes, a técnica que se revelou mais proveitosa, depois de algumas experiências, passou por estabelecer uma espécie de campo / contra campo cinematográfico, ora descrevendo uma frente de um patim a partir do próprio ora depois a partir do seguinte, e vice-versa. Na escada exterior do claustro grande, além dessa abordagem, a partir de cada um dos seus patamares, outras imagens foram captadas do chão e dos degraus, apontadas aos zénites, para descrição do sistema de abóbodas dessa área.

4.4.2. Modelação – Claustro do Poço, primeira versão

As modelações com cariz mais propriamente arquitetónico, destinadas a poder caracterizar os espaços de forma global, mas com pormenor suficiente, foram iniciadas em meados de março. Por essa altura já se percebera qual o melhor método para descrever as galerias dos claustros, para o exterior, e logo que foi reunido um conjunto de imagens do género para registos de todas as três alas de galerias do claustro do poço, em cada um dos dois pisos, experimentou-se a modelação geral desse espaço, incluindo as suas galerias.

Os resultados, analisados a partir de modelo texturizado exportado para o programa Cloud Compare e de ortoimagens originadas a partir deste, puderam demonstrar que a frente exterior das galerias já ganhara pormenor suficiente, mas em simultâneo isso não sucedia, quer para tetos, quer para as paredes interiores, quer mesmo para os pavimentos, na sua metade interior. Ou seja, a cobertura de levantamento necessária para as galerias deveria estender-se das suas frentes exteriores também para as suas frentes interiores e para as suas coberturas / tetos. A qual se empreendeu a partir de então e conforme atrás descrito, para todas as galerias dos claustros.

Com várias ortoimagens ao dispor, empreendeu-se um outro tipo de interação, testando a inserção desses resultados em programas de desenho assistido, no caso o AutoCAD. Neste programa, foi possível: introduzir as imagens segundo uma escala calculada – uma vez que se havia definido previamente o valor de pormenor métrico por pixel da imagem; e também organizá-las entre si, numa montagem em painel relembrando um desdobramento planificado dos espaços tratados (Fig. 4.10).

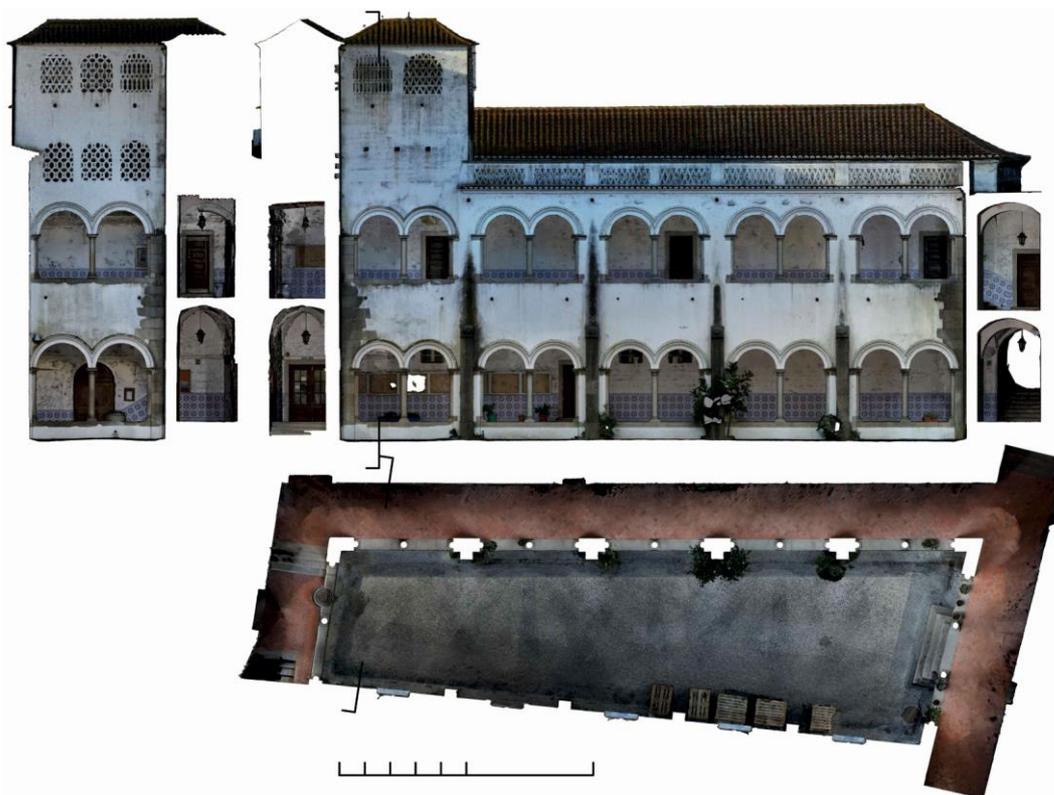


Fig. 4.10. Planificação dos espaços do claustro do poço, com planta do piso térreo e com cortes / alçados das suas frentes para norte e para oeste – imagens produzidas em CC, arranjos em AutoCAD

4.4.3. Modelação – Claustro Grande, parcial sudoeste

Em finais de abril foi possível começar a testagem de modelação individual das galerias, por agregação dos três modelos originados no seu interior: à primeira frente formada, normalmente a voltada ao exterior, associava-se depois a frente oposta, do interior da galeria, estabelecendo-se pontos de controlo comuns aos dois componentes; em seguida, agregava-se a frente descrita para os tetos abobadados, utilizando novos pontos de controlo, baseados em elementos naturais ou artificiais presentes em ambos os componentes.

Os modelos formados a partir desta agregação serviriam depois para novos agrupamentos: ou relativamente a outras galerias com as quais contactassem; ou conjugando-se com a frente correspondente da envolvente exterior. Este tipo de organização foi testado primeiro para as galerias do claustro grande (Fig. 4.11 e 4.12). Com um conjunto de vários modelos de base, passou-se a um teste de agregação: com base no modelo da envolvente exterior (na sua primeira versão), associaram-se os submodelos descritivos das alas oeste das galerias do claustro grande, do piso térreo e do piso superior e, bem assim, o submodelo das escadas exteriores, do canto sudoeste do claustro. Isso sucedido, avançou-se com modelação mais densa e texturização numa pequena zona de ensaio, precisamente nesse canto sudoeste. Os resultados alcançados mostraram-se coerentes, tornando-se plausível a formação de modelos mais alargados, para a totalidade de cada piso.



Fig. 4.11. Ortoimagem – Corte vertical longitudinal, pelas escadas sudoeste do claustro; Fig. 4.12. Ortoimagem – Corte vertical longitudinal, pela galeria oeste do claustro, visando como o anterior lado oeste, neste caso mostrando o alçado interior da galeria – imagens produzidas em RC

4.4.4. Modelação – Claustro Grande, piso térreo

Com esse objetivo, haveria que juntar ainda informação sobre os núcleos de escadas que contactam com as áreas das galerias. Assim, prosseguiram-se tarefas de modelação para caracterização de cada um desses núcleos. Dos três maiores, um estava já suficientemente descrito – a escada de tiro no canto sudoeste. Restaria descrever os outros dois: o maior, mais a norte, entre claustros, relacionando cinco pisos utilizáveis; e o menor, mais a sudeste no claustro grande, ligando apenas dois pisos. A estratégia de modelação passou pela organização de submodelos por cada nível de patim das escadas e, tendo em conta as imagens arranjadas em campo e contracampo, como já referido, sinalização sequente de pontos comuns entre esses submodelos, que permitiam a sua fusão. Um modelo agregado para o último núcleo referido obteve-se por reunião de três modelos prévios. E pelo mesmo sistema, mas por agregação de cinco modelos prévios, logrou-se também um modelo conjunto da caixa de escadas maior.

Por fim, caracterizaram-se ainda modelos para os núcleos de escadas mais simples, de um lance apenas, facultando a transição direta de níveis de utilização num mesmo piso, fosse para um patamar inferior, como acontecia na área de saída de segurança exterior na ponta sudoeste do claustro grande, ou fosse para um patamar superior, como era no caso dos dois núcleos de circulação para salas de laboratório, na ala nascente do piso superior do claustro grande.

Pôde-se por fim reunir em conjuntos coesos todo o piso térreo do claustro, bem como todo o seu piso superior, sempre associando em cada um desses modelos os acima descritos das escadas. Puderam-se exportar várias ortoimagens; com uma das quais se empreendeu nova interação com o AutoCAD. Neste programa, foi possível introduzir a imagem segundo escala calculada – uma vez definido previamente esse valor – e subpô-la ao desenho vetorizado da escola, disponível na CME. As discrepâncias visíveis evidenciaram a desatualização dos desenhos em uso e a sua inexatidão para processos de reabilitação – algo que, aliás, já era percebido (Fig. 4.13).



Figura 4.13. Sobreposição de planta do piso 0 da escola, vetorizada de originais oriundos da Direção Regional de Educação do Alentejo, via CME, à ortoimagem obtida de reconstrução, por corte horizontal equivalente, do piso 0 – ponto de contacto e orientação, o centro da fonte do claustro – exportação do RC para posterior edição em AUTOCAD

4.4.5. Modelação – Claustro do Poço, segunda versão

Em sequência, pôde-se fazer exatamente o mesmo no claustro do poço, arranjando modelos de cada um dos seus dois pisos de galerias. Com uma dimensão menor, neste caso ficou viabilizada a reunião de todo o conjunto – a envolvente exterior do claustro do poço conjugada com a arquitetura das galerias de ambos os pisos.

Explorando outra das capacidades do programa Reality Capture, procedeu-se à exportação de linhas de contorno do modelo, estabelecidas a intervalos regulares, com vista ao uso em

ambientes de desenho assistido por computador, designadamente no programa AutoCAD. Essa exportação procedeu-se segundo o eixo Y, de profundidades, retirando um conjunto de linhas equivalentes às de nível (habituais nas cartas topográficas), portanto obtendo conjuntos de linhas de corte sucessivas, de sul para norte – dando a ver o seu potencial, não para substituírem o desenho de plantas e de cortes por si só, mas para auxiliarem à sua delineação (Fig. 4.14).

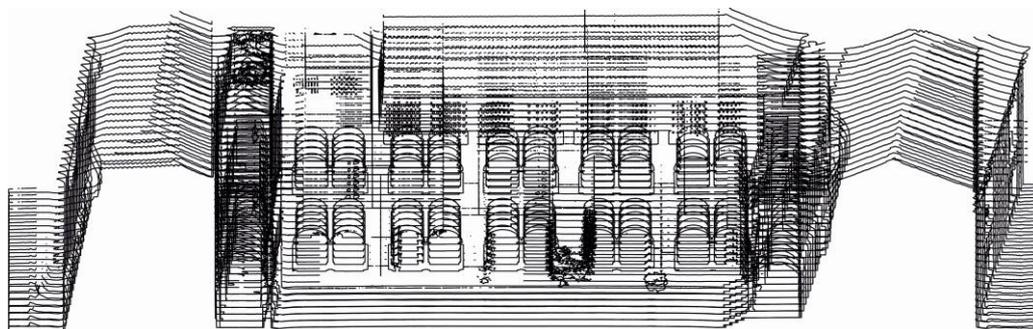


Fig. 4.14. Ortoprojeção (axonométrica), de frente a 45°, de linhas de contorno em profundidade, distanciadas cada 0.5 m, a partir de plano de corte vertical – exportação do RC para AUTOCAD

4.4.6. Modelação – Claustros conjuntos, metade poente

No claustro grande, o cenário de processamento sequencial revelou-se mais difícil – o número de imagens por piso passava as seis mil e a intenção de serem reunidos globalmente ambos os pisos mostrou-se inexequível, devido a incapacidade de computação. Assim, só passando pela organização dos conjuntos de modelos numa forma manuseável, seccionada, se lograriam alguns resultados. Este tipo de abordagem levou à criação de um modelo, enquanto exemplo de possibilidades, focado na metade oeste das galerias dos pisos de ambos os claustros, incluindo as escadas que os intermedeiam, permitindo desde logo uma compreensão mais imediata dos espaços e suas relações, em corte longitudinal (Fig. 4.15).



Figura 4.15. Ortoimagem, corte longitudinal pelos claustros, galerias e caixa de escadas intermédia, voltado para poente – imagem produzida em RC

4.5. Alguns espaços interiores na portaria

4.5.1. Levantamentos fotográficos

Por fim, foi objeto de trabalhos de levantamento um terceiro tipo de espaços, totalmente interiores. A abordagem que se se entendeu levar por diante nestes espaços teve em linha de conta dois métodos distintos.

Uma primeira técnica de levantamento sustentou-se num mastro extensível improvisado: enquanto as soluções de mercado com cariz mais profissional podem ir dos 6 até aos 12 m de altura em relação ao solo, sendo encimados por uma cabeça móvel comandada destinada a câmara reflex, experimentou-se antes uma solução de menor alcance, mas ainda assim possibilitando tomadas de vista elevadas a 6 m de altura. Para esse efeito acoplou-se a um extensor de pintura de três troços uma plataforma em contraplacado, por meio de um elemento de transição, com uma rosca universal que se adaptava ao extensor. Na plataforma, por perfurações e inserção de cintas de aperto, imobilizou-se o drone e assim fez-se uso da sua câmara, comandada como em voo, a partir do solo – mas sem os perigos de voos interiores.

Dessa forma puderam-se fazer, nos espaços interiores de salas maiores, levantamentos descrevendo anéis junto ao perímetro e focando as paredes opostas, anéis esses que se repetiam a diferentes alturas a partir do solo e que se podiam de novo repetir em tomadas de vista oblíquas, de modo que dos pontos mais elevados ficasse caracterizado o nível de pavimento e, vice-versa, em tomadas de vista junto ao chão resultasse caracterizado o topo das salas.

Um segundo método de levantamento foi usado, regressando à utilização do telemóvel e das câmaras e funcionalidade de que aquele dispõe, uma das quais possibilita um ângulo de visão de ultra grande angular (equiparável a uma distância focal de 13 mm). Este tipo de imagem possibilitava um trabalho de levantamento muito mais rápido e capaz de descrever um compartimento com segurança num mais reduzido número de passagens, de forma bem mais imediata, portanto; por outro lado, apresentava a capacidade ainda de poder descrever eficazmente compartimentos com dimensões bem mais limitadas, em largura ou altura.

Com base na primeira das técnicas procedeu-se aos levantamentos das salas de portaria (entrada no edifício), da sala de informática e da grande sala de biblioteca, situada por sobre aqueles dois, todos os compartimentos com ligação ao claustro do poço, a partir da sua ala oeste.

Com base na segunda técnica, procedeu-se ao levantamento dos espaços do antigo mirante do convento, situados no canto noroeste do claustro, acessíveis a partir do terraço ao nível de 2.º andar e atualmente sem qualquer tipo de função ou atributo de utilização. Neste caso a abordagem foi absolutamente experimental; estendendo-se o uso da técnica aos compartimentos térreos da portaria e da sala de informática a fim de perceber da sua capacidade

alternativa à primeira; ou, em todo o caso, da potencialidade e pertinência de ser usada complementarmente àquela – ajudando, ou não, a formar um mais rigoroso modelo tridimensional dos espaços.

4.5.2. Modelação de espaços interiores

A partir de junho puderam-se encetar trabalhos de reconstrução dos espaços interiores, de salas integradas na utilização própria da escola e associadas aos espaços do antigo convento.

Uma primeira experiência foi tentada numa das salas térreas da ala nascente do claustro grande, por ser relativamente compacta. Uma vez processadas as imagens captadas com recurso à plataforma com drone elevada por extensor, perceberam-se várias das limitações que se podem encontrar quando se tem por diante paredes amplas e brancas, ou mais em geral, quando há que lidar com superfícies lisas e monocromáticas, algo que inviabiliza uma boa reconstrução.

Mais tarde, para cada uma das salas das quais se dispunha de imagens – os vários espaços interiores no corpo de entrada no edifício – promoveu-se um processamento individualizado, com reconstrução densa e com texturização, de modo a perceber a qualidade básica dos dois métodos de levantamento idealizados e atrás descritos.

Com base apenas ou quase somente no uso da plataforma, processou-se a sala de informática; utilizando as imagens de grande angular captadas por telemóvel processaram-se os compartimentos do mirante do antigo claustro; conjugando ambos os métodos, processou-se o maior dos espaços, a biblioteca; na zona de entrada ambos os métodos de levantamento foram tentados, mas enquanto alternativas, acabando a usar-se apenas o obtido com imagens de telemóvel, porquanto eram as imagens mais homogêneas (a plataforma fora usada em duas sessões distintas, com algumas modificações havidas no espaço, de um momento para o outro).

4.5.3. Modelo conjunto - Portaria

O passo seguinte seria dado na fase final do trabalho, procurando agregar-se todos os espaços interiores levantados na sua posição própria – ou seja, de forma conjugada com os anteriores modelos que se haviam conseguido produzir. Para esse efeito, à semelhança dos anteriores processos, procedeu-se a agregações cumulativas: primeiramente, acoplando o modelo da biblioteca ao modelo das galerias do piso superior do claustro do poço, procedimento repetido no piso térreo, a cujo modelo se acoplou a sala de informática. Para esta conjugação ser bem-sucedida havia um conjunto separado de imagens próprias, focadas em pormenor na porta aberta e documentando um e outro lados de passagem, sendo que na área exterior tinha que ser garantida a presença de pontos para os quais se pudesse repetir indicação nos modelos gerais.

Isso feito, procederam-se então as fusões mais gerais, tomando por base um modelo extraído da envolvente exterior que se havia alcançado em último lugar, o qual se bloqueou,

preventivamente, impedindo possíveis reacertos e introdução de “ruído” métrico ou posicional provocado pelos modelos interiores – estes, sendo produzidos a partir de fotografias sem qualquer informação referencial de posição ou de escala, podiam alterar o estabelecido, aquando de novos e mais amplos alinhamentos. Assim, neste extrato da envolvente exterior, incidindo no sector do claustro do poço e corpos edificados em torno deste, associaram-se progressivamente: os modelos do piso térreo e do piso superior do claustro do poço; os espaços da sala da portaria, com base comum na porta de entrada no edifício; os espaços do mirante, com base na porta ao nível do 2.º andar, no terraço exterior; e finalmente da caixa de escadas entre claustros. Obteve-se em resultado um modelo devidamente reconstruído e texturizado, capaz de fornecer informação nos três níveis que se haviam idealizado – do exterior edificado, dos espaços de transição e de espaços interiores (Fig. 4.16, 4.17 e 4.18).

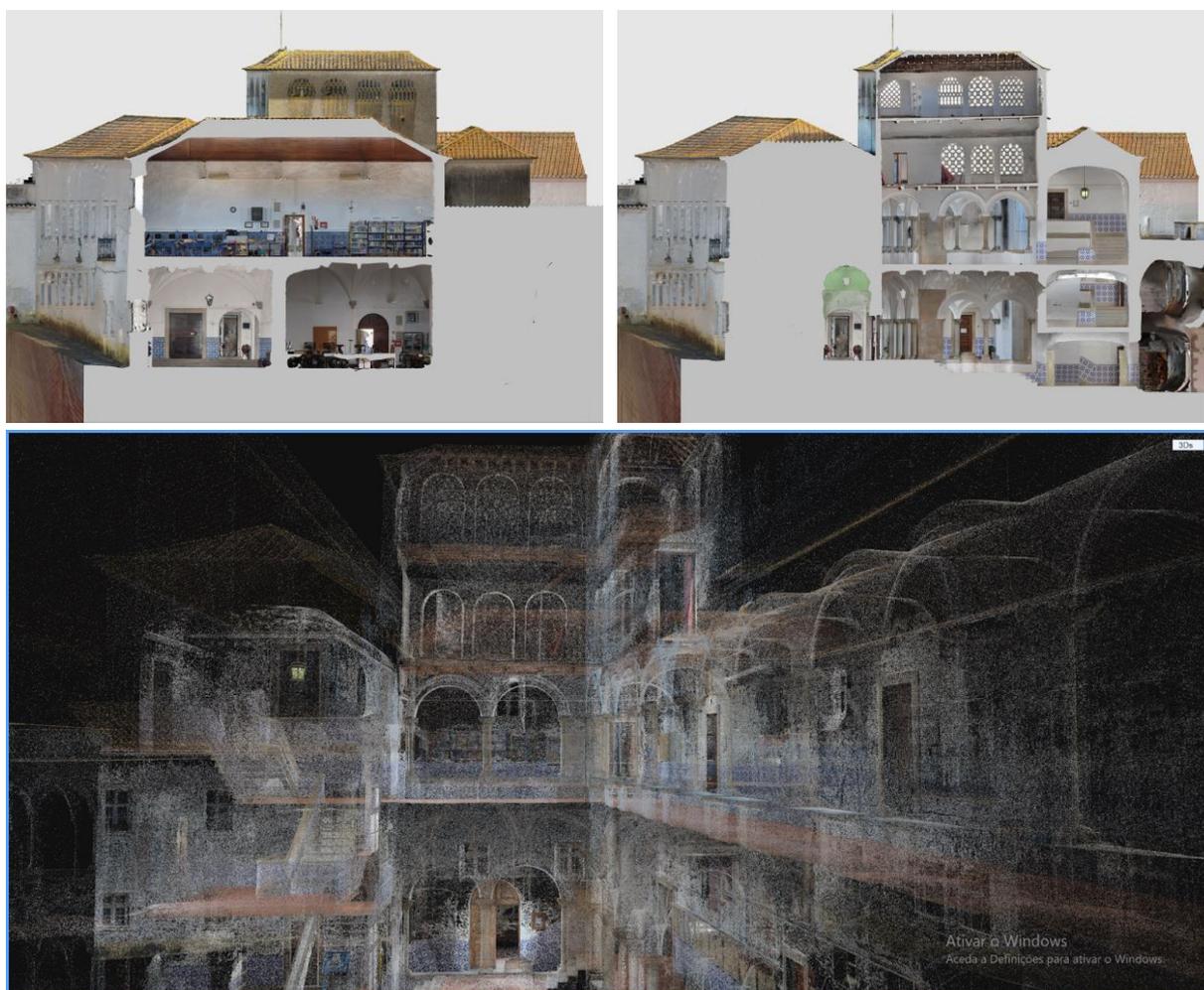


Fig. 4.16 e 4.17. Ortoimagens – Cortes verticais transversais, pelas salas próximas à fachada e depois pelas galerias e mirante, olhando para nascente; Fig. 4.18. Perspetiva da nuvem de pontos

5. ANÁLISE DE TRABALHOS E RESULTADOS

Para o efetivo cumprimento dos objetivos do trabalho, importa analisá-lo, quer no seu processo, quer nos resultados alcançados. A primeira vertente dará indicadores a propósito dos procedimentos e permite uma avaliação da tecnologia em torno das temáticas do tempo e esforço exigidos para obtenção de resultados. A segunda vertente de análise estará focada nestes últimos e na sua própria qualidade, permitindo uma avaliação em torno da sua segurança, fiabilidade e utilidade. Com esta finalidade, será importante promover uma verificação segundo três critérios, aferindo aspetos visuais, métricos e geográficos nos resultados obtidos.

5.1. Levantamentos fotográficos

A importância dos trabalhos de campo para o sucesso do processo fotogramétrico assume-se da maior relevância. Cabe perceber o quão importante: no que respeita ao tempo despendido com esses trabalhos; depois sobre outras quantidades, abordando os números de imagens captadas e seu grau de aproveitamento; finalmente, abordando-se também os tempos de processamento.

5.1.1. Tempos de levantamentos

Os trabalhos de recolhas fotográficas para documentação da Escola de Santa Clara ficaram compreendidos entre 25 de janeiro e 1 de agosto. Nestes meses utilizaram-se cerca de 90 horas (o equivalente a praticamente 13 dias de trabalho de 7 horas por jornada) dedicadas apenas a registos fotográficos para posterior processamento de reconstrução, distribuídas por 38 dias. Do total de horas, 33% foram passadas com registos na envolvente exterior, 50 % nos espaços de circulação nos claustros e os restantes 17% nas salas interiores (Tabela 1).

Um aspeto imediato assinalar é o de que os tempos usados para documentar os espaços interiores da escola – e somente de forma parcial (não todas as circulações e algumas poucas salas), avolumam-se em duas vezes mais do que os usados para representar toda a envolvente exterior, para todo o quarteirão. São duas as razões principais que justificam uma tal discrepância; i) o retrato dos espaços interiores, por não ser possível com o distanciamento permitido obter no exterior e por ser orientado para uma reconstrução e representação com maior grau de pormenor, exige um maior número de fotografias por área a documentar e, logo, a um maior dispêndio de tempo na sua aquisição; ii) as bases de informação que documentam o uso da tecnologia visam na sua maioria uma caracterização do exterior dos objetos e, portanto, a caracterização dos interiores exigiu maior experimentação, para aquisição da experiência e proficiência suficientes – não é justo, porém, não referenciar algumas boas experiências de fotogrametria interior em espaços claustrais, em Itália, ou usando câmaras de muito grande angular para reconstrução de espaços diminutos, em Portugal (Covas et al., 2015).

A última das razões evocada é facilmente ilustrada, no presente trabalho, pelo facto de os tempos de recolha e correspondentes conjuntos de imagens que são recusadas, devido ao insucesso do seu processamento fotogramétrico, serem muito mais significativos quando dizem respeito aos espaços interiores do que relativamente à envolvente exterior.

Tabela 1 – Cronograma de levantamentos fotográficos, por semana

Sema- na	Início Semana	Dias	Exterior				Interior						
			Tem- po	Envolvente		Taxa	Tem- po	Circulações			Salas		
Fotos	Recu- sadas	Fotos		Recu- sadas	Taxa			Fotos	Recu- sadas	Taxa	Fotos	Recu- sadas	Taxa
1	23/01/2023	2	1:30	672	139	21%	2:30	355	355	100%	-	-	-
2	30/01/2023	4	5:30	2169	488	22%	1:30	162	162	100%	-	-	-
3	06/02/2023	4	3:30	1229	44	4%	4:30	839	839	100%	-	-	-
4	13/02/2023	2	2:30	495	160	32%	2:30	1077	453	42%	-	-	-
5	20/02/2023	3	5:30	908	0	0%	5:30	4034	2091	52%	-	-	-
6	27/02/2023	3	6:00	1140	0	0%	2:00	1529	512	33%	-	-	-
7	06/03/2023	1	-	-	-	-	2:00	1426	489	34%	-	-	-
8	13/03/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	20/03/2023	2	2:00	462	0	0%	1:00	337	0	0%	-	-	-
10	27/03/2023	1	0:30	45	0	0%	1:30	396	0	0%	-	-	-
11	03/04/2023	2	0:30	33	0	0%	3:30	574	261	45%	-	-	-
12	10/04/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	17/04/2023	2	-	-	-	-	5:00	1579	186	12%	-	-	-
14	24/04/2023	2	-	-	-	-	4:00	1125	0	0%	-	-	-
15	01/05/2023	1	-	-	-	-	2:00	376	79	21%	-	-	-
16	08/05/2023	2	-	-	-	-	4:00	966	0	0%	-	-	-
17	15/05/2023	1	-	-	-	-	2:00	444	0	0%	-	-	-
18	22/05/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	29/05/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	05/06/2023	1	-	-	-	-	2:00	-	-	-	397	0	0%
21	12/06/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	19/06/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	26/06/2023	2	-	-	-	-	6:00	-	-	-	1556	0	0%
24	03/07/2023	1	1:00	292	0	0%	-	-	-	-	-	-	-
25	10/07/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	17/07/2023	1	-	-	-	-	6:00	-	-	-	1089	0	0%
27	24/07/2023	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	31/07/2023	1	-	-	-	-	4:00	-	-	-	957	0	0%
TOTAIS		38	28:30	7445	831	11%	61:30	15219	5427	36%	3999	0	0%

5.1.2. Números de fotografias

Os processos fotogramétricos assentam, como já se referiu, no tratamento de números de fotografias bastante consideráveis – mesmo gigantes – o que só é possível pelas possibilidades de registo digital de imagens: no presente trabalho, foram captadas mais de 26600 fotografias com intuitos de processamento fotogramétrico, ocupando um espaço de mais de 170 Gb. O conjunto de registos é distinguível em vários subconjuntos, discriminados na Tabela 2.

Tabela 2 – Números de fotografias, localizadas, segundo máquina e forma de obtenção

Levantamento Fotográfico: Máquina e Tipo de foco / Local objeto de foco	Exterior												Interior			Total
	Claustro Poço	Claustro Grande	Pátio Jogos	Igreja	Rua de Serpa Pinto	Rua de Santa Clara	Rua da Carta velha	Rua de São Domingos	Rua do Alfeirão	Travessa de Beguinos	Travessa da Milheira	Claustro Poço - Circulações	Claustro Grande - Circulações	Salas / Compartimentos		
Cobertura Aérea																
Grelha	121	152	424	160	0	25	15	0	16	24	19	-	-	-	-	956
Oblíqua	206	143	124	124	0	68	75	41	76	141	178	-	-	-	-	1176
Perpendicular	538	559	363	732	0	522	267	170	122	205	230	-	-	-	-	3708
Coberura Terrestre																
Drone	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	909	2014	2324	-	5407
Nikon	419	146	0	0	71	89	0	54	163	92	169	3115	8025	268	-	12611
Telem	0	0	0	0	0	208	34	0	0	0	0	355	768	1407	-	2772
Trabalho Geral																
Total Fotos Obtidas	1284	1000	1071	1016	71	912	391	265	377	462	596	4379	10807	3999	26668	
Total Fotos Recusadas	558	0	160	0	0	44	16	53	0	0	0	1490	3904	0	-	6225
Percentagem (do Total)	43%	0%	15%	0%	0%	5%	4%	20%	0%	0%	0%	34%	36%	0%	-	23%
Total Fotos Processadas	726	1000	911	1016	71	868	375	212	377	462	596	2889	6903	3999	20405	

Das quase 7500 fotografias para caracterização da envolvente exterior do quarteirão houve uma taxa de recusa aproximada de apenas 10% das imagens. Isso ocorreu sobretudo nos espaços internos da escola (no claustro do poço): houve uma fase inicial de alguma experimentação – procurando integrar fotografias em perspetivas oblíquas na modelação – e houve condições posteriores mais favoráveis – possibilitando retratar alguns espaços com melhor luz, difusa.

O papel desempenhado pelo drone e a captação de imagens por via aérea demonstrou ser absolutamente vital para a modelação da envolvente exterior. As imagens aéreas quantificaram-se em mais de 5800, 78% do total para a envolvente, enquanto as fotografias a partir do solo apenas ultrapassaram em pouco as 1600 fotografias, 22%. É sinalizável ainda que a taxa de recusa de fotografias foi bastante menor no caso do levantamento aéreo, apartando-se nesse caso não mais de 5% do conjunto inicial.

Para as caracterizações de espaços interiores, os números de fotografias captadas foram substancialmente superiores, totalizando quase 19200 imagens, tal como foi a taxa de recusa de imagem, de quase 30%. Nessas áreas, foram mais vezes repetidos procedimentos quando se focavam pontos zénites, com vista a documentar os tetos dos claustros. No claustro grande a taxa de recusa de imagens mostra-se ainda mais evidente, chegando quase à metade das imagens captadas: foi o local de eleição para testar processos e técnicas; consequentemente, foi também o local onde mais erros foram cometidos, como adiante se aprofundará.

5.1.3. Tempos de processamentos

Os tempos de processamento, são ilustrados de modo apenas parcial, pelas tabelas 3 e 4:

Tabela 3 – Modelos finais, com características resumo de processamento

Nome Modelo:	Máquinas: cenário #1		Máquinas: cenário #2			
	MAR Claustro Poço (com galerias)	ABR Quarteirão Versão #1	JUL Quarteirão Versão #2	JUL Claustro Grande Piso 0 (com galerias)	JUL Claustros X2 Metade Poente (com galerias)	AGO Claustro Poço (com galerias e salas interiores)
SfM						
Imagens Fonte	1816 / 1865	5991 / 6290	6370 / 6379	6759 / 6759	6532 / 6533	7995 / 7995
Nuvem esparsa (pontos)	7,3 M	12,2 M	12,3 M	15,7 M	15,1 M	14,5 M
Tempo SfM	01h:07m:23s	03d 19h:49m:38s	00h:43m:32s	03h:40m:39s	00h:49m:22s	01h:17m:30s
MVS / Text						
Superfície (triângulos)	386,1 M	930,4 M	1147,6 M	1217,9 M	1496,6 M	1138,1 M
Nuvem densa (vértices)	193,7 M	466,7 M	575,7 M	610,9 M	750,8 M	570,9 M
Tempo MVS	08h:18m:11s	01d 20h:14m:57s	02d 00h:08m:19s	10h:24m:10s	02d 07h:38m:49s	02d 21h:01m:36s
Tempo Texturização	Externa	13h:47m:53s	02d 03h:22m:36s	22h:38m:49s	03d 04h:33m:43s	01d 20h:39m:00s

Tabela 4 – Pormenorização do método e progressão até chegar a modelo esparso final

Processamento SfM Base				
Modelo Base / Agregação	Fotos	Tempo		
Aéreas Ortos	938	00:39:08	[Transporte]	12:31:15
Aéreas Oblíquas			Travessa de Beguinos	430 00:14:33
X2 - Aéreas Base	1648	00:55:40	Agregação Y3 & Tv Beg.	1488 00:04:24
Rua Santa Clara	748	00:13:21	Rua do Alfeirão	342 00:00:56
X3 - Agregação X2 & RSC	2326	00:55:59	Agregação Y4 & R Alf.	1829 00:05:16
Rua Carta Velha	423	00:16:33	Total Parcial	12:56:24
X4 - Agregação X3 & RCV	2635	00:59:43	Processamento SfM Aprimoração	
Rua Serpa Pinto	778	03:36:16	Modelo Base / Agregação	Fotos Tempo
X5 - Agregação X4 & RSP	3413	01:46:45	Aéreas Base #2	1719 00:09:32
Travessa da Milheira / Convento Nascente	765	00:20:58	Rua Santa Clara	1264 00:06:29
X6 - Agregação X5 & Frente Nascente	3765	00:32:48	Rua Carta Velha	505 00:01:59
Rua de São Domingos / Rua de Alfeirão / Convento Refeitório	469	00:15:43	Agregação X3 ^	2784 00:14:19
X7 - Agregação X6 & Frente Noroeste	4071	00:21:44	Fachadas Refeitório	503 00:01:15
Claustro Grande Exterior	996	00:01:55	Fachadas Ala Nascente	797 00:12:12
X8 Agregação X7 & Claustro Grande	4807	00:31:00	Igreja Base	1362 00:08:09
Claustros x2	1675	00:08:31	Agregação X6 ^ Envolvente	4227 00:31:22
X9 Agregação X7 & Claustros x2	5061	00:43:48	= Claustros x2	
Fachadas Campo Jogos Ini	775	00:02:52	Agregação X8 ^ Envolvente Total	5466 00:32:11
Fachadas Campo Jogos Fim	820	00:01:45	= Agregação Y4 & R Alf.	
Travessa da Milheira	241	00:04:48	Agregação X12 v.Trabalho	6359 00:52:54
Agregação Y2	1061	00:01:58	Agregação X12 v.Final	6370 00:43:32
			Total Parcial	3:33:54
			Total SfM Quarteirão v.2	16:30:18

Na primeira tabela fornecem-se dados sobre seis dos oito modelos finais produzidos, dos quais vieram a ser retirados resultados. Os tempos são bem expressivos, com modelos em processamento durante quase uma semana. Os números de modelação SfM são enganadores: correspondem a uma última versão de alinhamento – ilustra-se todo o processo por trás, através do exemplo do modelo do quarteirão geral, na sua segunda versão (tabela 4).

Agregando toda a informação, é lógico concluir que onde a relação de tempo e esforço, face aos resultados alcançados, se mostrou mais proveitosa foi nas reconstruções do quarteirão, com informação além do mais globalizante; por contraponto, a reconstrução dos espaços interiores exigiu mais recursos e mais tempo para alcançar resultados similares; sendo ainda assim apenas parcelares, sem que se descrevessem todos os espaços que seriam desejáveis.

5.2. Qualidade dos resultados

De forma concordante com os objetivos traçados, também a própria aferição dos resultados alcançados se fez de modo progressivo: de um nível visual, avaliando-se atributos de modelação; passando por um nível métrico, verificando-se o grau de aproximação dos modelos à realidade mensurável; até um nível geográfico, percebendo-se a sua precisão posicional.

5.2.1. Aferição visual

Um dos primeiros e mais imediatos atributos de verificação visual passava pela avaliação da qualidade intrínseca à própria reconstrução e texturização dos modelos produzidos. Numa primeira instância, monitorizando a existência de lacunas, de defeitos visuais – o que poderia ou não ser determinante para correções, revisões e novas modelações. Aconteceu, p. ex., aquando da primeira modelação do quarteirão, implicando uma segunda modelação do conjunto. Apesar das melhorias havidas, não deixaram de ser encontrados defeitos: menores, de lacunas em zonas de “sombra” (com menor quantidade de registos); mais significativos quando extensivos a grandes superfícies e com interesse de documentação, como ocorreu na fachada norte, para a Rua da Carta Velha – o que ainda determinaria (e determinará) uma nova revisão nessa área particular. No último modelo reconstruído, as renderizações dos espaços interiores revelaram as fragilidades dos processos de aquisição mais do que dos processos de reconstrução, mas obrigando a uma reavaliação de ambos (Fig. 5.1).

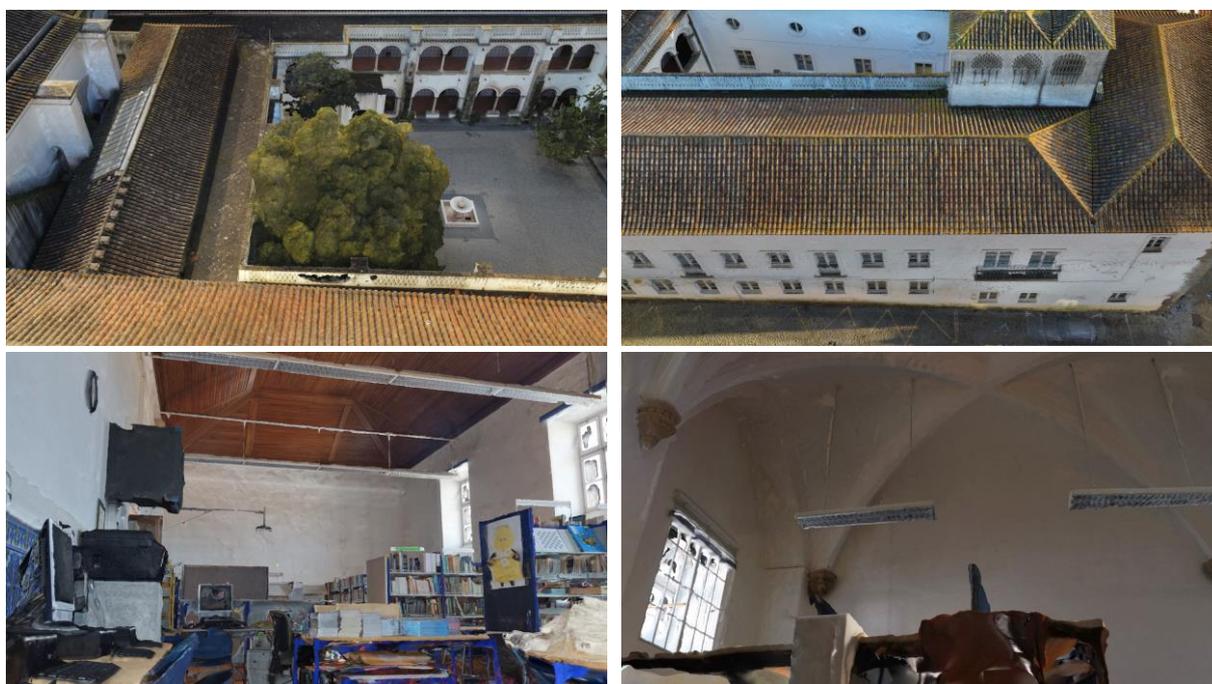


Fig. 5.1. Imagens de renderização do modelo de quarteirão, ilustrando lacunas e falhas de texturização, e do modelo com espaços interiores, ilustrando falhas de modelação (programa RC)

Num segundo patamar, ao identificar as mais valias visuais nos modelos produzidos, permitia-se a produção e exportação de derivados (p. ex. de ortoimagens) ou novos níveis de análise e interpretação dos modelos (envolvendo p. ex. interação com outros programas) (Fig. 5.2).



Fig. 5.2. Imagens de renderização do modelo de quarteirão, ilustrando áreas com boa definição de volumes e de superfícies (programa RC)

Um segundo atributo de verificação respeitou a um confronto o mais direto possível entre fotografias do conjunto e perspetivas similares (com ponto de vista e com campo de visão aproximados), retiradas dos modelos produzidos por renderização. Quer no modelo final de quarteirão quer no último modelo produzido, integrando espaços interiores, foi possível perceber o grande grau de aproximação visual à realidade, salvo itens menores (mobiliário) (Fig. 5.3).



Fig. 5.3. Imagens de renderização do modelo de quarteirão e do modelo do claustro do poço, com interiores (programa RC), à direita, confrontadas com fotografias de vistas similares, à esquerda.

5.2.2. Aferição métrica

Com vista a perceber o grau de cumprimento do segundo objetivo de trabalho, de garantir uma documentação metricamente rigorosa, e considerando não existir qualquer documentação fiável com a qual se confrontar o trabalho produzido (nem os desenhos atualmente existentes o permitem, nem existe qualquer levantamento recentemente efetuado) mostrou-se necessário empreender alguns trabalhos de verificação métrica, em vários locais da escola, os quais deveriam depois poder ser replicadas nos modelos. O modelo escolhido para essa aferição foi o último reconstruído para o quarteirão – assim se poderia perceber, aproximadamente, o grau de fiabilidade do processo de reconstrução, envolvendo grandes dimensões.

Levadas a efeito por amostragem, as medições procuraram; i) referenciar-se a pontos locais bem específicos, tanto quanto possível também identificáveis de forma exata no modelo de reconstrução tridimensional; ii) ilustrar os vários eixos tridimensionais, com medições segundo linhas de comprimento, de largura ou aproximadas, e outras ainda de altura – neste caso, sendo menos viável a medição de pontos concretos em planos verticais, estabeleceram-se medições com uma componente vertical tão acentuada quanto possível. Decorrendo já no verão, com demasiada luz e tempo quente, as medições com medidor laser revelaram-se falaciosas, pelo que o recurso a uma mais tradicional fita métrica mostrou ser a única solução praticável – no caso, dispondo-se de fita com não mais de 25 m, impôs-se que fossem seccionadas as medidas maiores. As medições tiveram lugar de forma distribuída na escola – nos claustros grande e do poço, e no pátio de jogos – escolhendo-se locais aplanados para medições planimétricas (campos de vólei e de futebol, guardas periféricas dos terraços dos claustros) e alguns pontos de contacto no solo, com dimensão e com quinas bem marcadas para as medições altimétricas (caixas de infraestruturas, a fonte central no claustro grande, etc.). Após identificação de vários pontos no modelo de forma correspondente, pôde-se confrontar um conjunto de meia centena de medições, de entre as efetuadas – 32 de âmbito planimétrico e 18 com componente altimétrica (Fig. 5.4).

O rigor percebido nos planos de nível é assinalável pela positiva, com diferenças entre medidas, locais e modeladas, compreendidas entre máximos de $+1/-1$ cm – estes são valores próximos dos indicados em algumas publicações, sobre nível de precisão em levantamentos TLS (p. ex., Mateus et al., 2019: 769). Segundo qualquer método de avaliação de valores centrais, por média, por mediana ou por moda, a diferença entre o modelo e a realidade revelou-se tendencialmente nula. Mas, numa análise mais fina, correlacionando as diferenças calculadas e as medidas no local, verificou-se que a linha média de percentagens que estabelece essa relação se situa um pouco acima do nível zero, o que indicia um modelo com tendência para ser maior do que a realidade se apresenta – contudo, de uma forma muito diminuta, sensivelmente em duas a quatro centésimas de ponto percentual (Gráfico 1).

Nas medições de tipo altimétrico a verificação efetuada mostrou-se com resultados ligeiramente diferentes. As diferenças entre medidas, locais e modeladas, são neste caso compreendidas entre máximos de +4/-4 cm. Segundo os métodos de avaliação de valores centrais, por média, por mediana ou por moda, a diferença entre o modelo e a realidade aponta-se tendencialmente em 2 cm (Tabela 5). Numa análise de maior pormenor, equivalente à anterior, verificou-se que a média de percentagens que estabelece relação entre diferenças apuradas e medidas locais se situa algo mais acima do nível zero, já com valores médios um pouco acima de uma décima de ponto percentual, o que nos indica um modelo com tendência para ser maior do que a realidade se apresenta e para ser algo mais esticado em altura, por relação entre medidas verticais e as que se situam nos planos horizontais – contudo, isso ainda de uma forma aceitável, pois nas referências publicadas há também maiores diferenças e níveis de tolerância nos eixos das alturas (Tabela 5 / Gráfico).

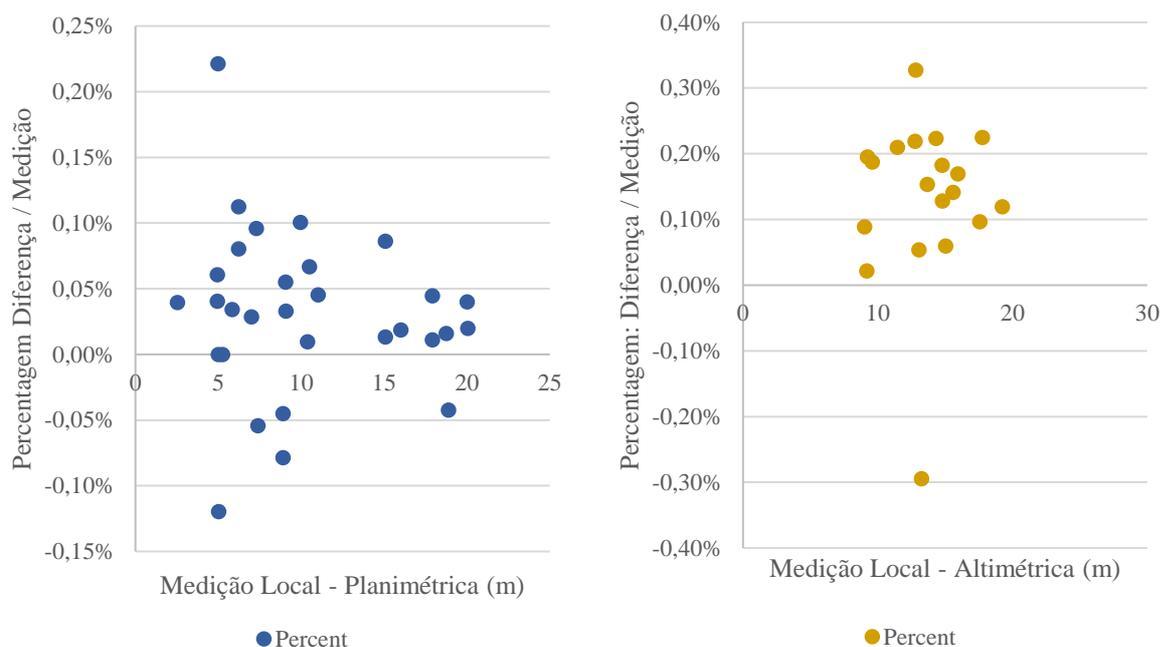


Fig. 5.4. Fotografias ilustrando as medições efetuadas no local, de tipo planimétrico e altimétrico; em baixo renderização do modelo do quarteirão, identificando os pontos similares de medição

Tabela 5 – Resumo de medições planimétricas e altimétricas

LOCAL	TIPO	TIPO VALORES	MÁX.	MÉDIA	MEDIAN.	MODA	MÍN.
Claustros & Pátio	Planimétrica	Medição (cm)	20,04	9,72	8,90		0,53
		(32 medições)	20,04	9,72	8,90		0,53
		Diferença (cm)	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01
Claustros	Altimétrica	Medição (cm)	19,25	13,76	14,00		9,02
		(18 medições)	19,27	13,78	14,02		9,03
		Diferença (cm)	0,04	0,02	0,02	0,02	-0,04

Tabela 5 / Gráfico – Quadros de correlação entre diferenças de medições e as medições efetuadas no local



5.3.3 Aferição posicional

Numa primeira interação básica com os SIG (usando o programa QGIS), procedeu-se à exportação de ortoimagem superior (uma ortofoto aérea) a partir do RC e à sua inserção por sobre o levantamento aerofotogramétrico mais recente em uso na CME (levantamento de 2021, preparado para 1:1000, ortoretificado). A inserção fez-se por georreferenciação simples, com base em três pontos, sem introdução de qualquer distorção. A sobreposição pareceu bastante eficaz, a ortofoto produzida mostrando-se proporcionada e sem desfazamentos; ademais, era

também perceptível uma melhoria na eficácia da representação a escalas urbano arquitetónicas. Quando a escala do levantamento aerofotogramétrica se torna ineficaz – seguramente a partir da escala 1:500 – a imagem do modelo adquire capacidade de tomar o seu lugar – tornando-se visíveis maior número de pormenores e ganhando-se correção de representação de alguns volumes (ex.: o cilindro que alberga escadas, helicoidais, junto à capela-mor) (Fig. 5.5).



Fig. 5.5. Imagens do levantamento aerofotogramétrico; da sobreposição da imagem equivalente produzida a partir do modelo digital; e de pormenor comparativo entre ambas (programa QGIS)

Com o segundo modelo do quarteirão concretizado, pretendeu-se aprofundar a análise à independência do RC, para cálculo da posição geográfica – o programa de facto estima a posição geográfica, com aparente rigor, computando os dados fornecidos pelas imagens do drone, que levavam informação geográfica associada. Contudo, dando-se informação sobre o sistema de coordenadas em uso e exportando depois imagem georreferenciada, a partir do RC, a sua inserção direta no ambiente SIG fica notoriamente desfasada – cerca de 2 m na diagonal,

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

para nordeste (Fig. 5.6). Ou seja, apesar do grande número de imagens utilizadas e de distâncias entre elas que podiam chegar à centena de metros, a margem de erro que as leituras de GPS possibilitam a partir dos aparelhos não pôde ser minimizada a um nível aceitável e, assim, a precisão posicional do modelo apenas pode ser considerada aproximada, não exata – não aceitável de um ponto de vista da precisão geográfica.

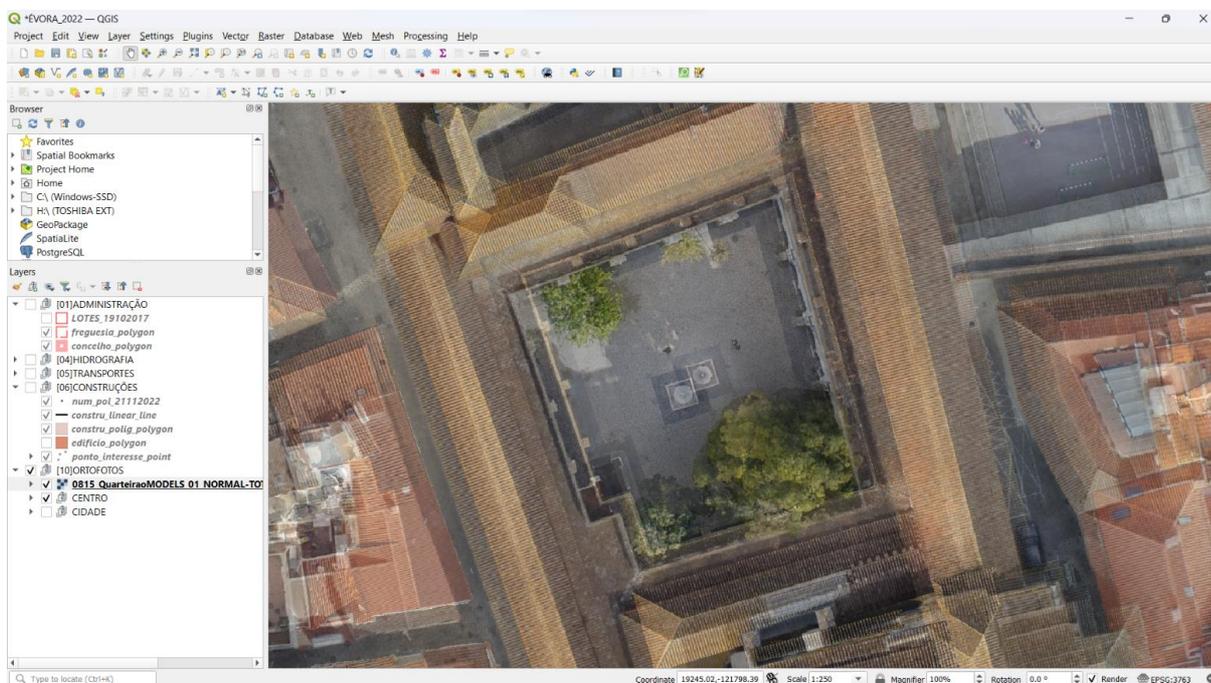


Figura 5.6. Imagem da sobreposição automatizada da aerofotogrametria produzida a partir do modelo digital em relação ao levantamento aerofotogramétrico mais recente em uso na CME (ambiente de trabalho no programa QGIS)

Tem de se concluir que prescindir de dados topográficos para realização deste tipo de trabalho, quando dele seja exigida precisão geográfica, de rigoroso posicionamento, é ainda totalmente desaconselhável – não obstante verificarem-se em andamento progressos nesse sentido, ainda obrigam ao recurso de mais dispositivos tecnológicos, adicionados às câmaras e ou aos drones (Losè et al., 2023). Ou seja, neste momento e com a tecnologia de que dispomos, para adquirir rigor não só métrico, mas também posicional, é imprescindível ter dados topográficos de alguns pontos de controlo para o processamento de reconstrução: pelo menos de quatro; mas, sendo desejável alguma redundância, procurando obterem-se mais pontos. Para o presente trabalho, em que importava fundamentalmente a documentação visual e arquitetónica, este era um objetivo secundário; para uma dimensão mais urbana e com vista a explorar uma integração em SIG, serão ainda necessários outros trabalhos complementares e corretivos.

6. CONCLUSÕES

6.1. Sobre os resultados

6.1.1 Documentação urbana

Os resultados visuais alcançados com a modelação do quarteirão de Santa Clara, em que a grande maioria das suas fachadas ficou descrita de modo correto – a exceção correspondendo à fachada da Rua da Carta Velha, como se mostrou – permite concluir por uma aplicabilidade da tecnologia da fotogrametria para uma documentação pormenorizada de quarteirões urbanos, mesmo os de grande dimensão. No caso do centro histórico de Évora, fica demonstrada a capacidade de extensão deste tipo de trabalho a outros dos seus quarteirões, com primazia aos que contenham edificações classificadas ou patrimonialmente relevantes. Na posse de modelos digitais dos quarteirões e com capacidade de produção de ortoimagens – p. ex. alçados, com rigor métrico – a gestão urbanística e os processos de reabilitação ficam com mais e melhor informação à disposição, que será uma mais-valia direta da utilização desta tecnologia. Do ponto de vista técnico constitui aliás um salto qualitativo em relação ao que já fora alcançado aquando do levantamento do edificado no tecido urbano do CHE, promovido pela CME e pela DGEMN, entre 2006-2008 – o que se pode ilustrar por confronto direto de dois alçados, de frentes urbanas de dimensão sensivelmente semelhante (Fig. 6.1).



Fig. 6.1. Alçado SO do Largo Dr. Evaristo Cutileiro, obtido por retificação de imagens, em 2006 (fonte: CME); e alçado obtido agora, por fotogrametria, para a Rua de Santa Clara. Esc. 1/500

6.1.2. Reabilitação arquitetónica do convento

A fotogrametria digital revelou ser uma tecnologia robusta também para a documentação de nível arquitetónico, sendo possível alcançar resultados utilizáveis diretamente em processos de reabilitação do edificado, seja no âmbito do diagnóstico – em ações de inspeção ou na produção de mapas temáticos, p. ex. – seja no suporte à execução do respetivo projeto – em apoio visual direto ou indireto para produção de desenhos, p. ex. O grau de pormenor viabilizado pela tecnologia permite olhar com detalhe as estruturas edificadas e possibilita um auxílio em projeto que chega com facilidade às escalas 1:100 ou 1:50, e até mesmo 1:20 – os níveis de erro encontrados serão desprezáveis, mas nesta última escala não é possível descurar o facto de os erros altimétricos referidos antes já assumirem, em representação, uma dimensão visual milimétrica. Para necessários trabalhos na Escola de Santa Clara, fica também demonstrada a utilidade deste tipo de recurso no apoio ao necessário conhecimento da edificação e na preparação das sequentes ações – demonstradamente imprescindíveis (Fig. 6.2).

A flexibilidade na aquisição de registos, por via aérea, com drone, ou terrestre, junto ao solo ou deste elevado por mastros ou afins, é uma mais-valia da tecnologia evidenciada neste trabalho; por contraponto, para as representações mais pormenorizadas, a escalas maiores, há que ter em consideração: a enorme progressão nos tempos de aquisição de imagens e de posterior processamento exigidos; e as dificuldades de operação quando estejam em causa superfícies monocromáticas e ou pouco texturizadas, bem como as muito reflectantes ou refractantes.



Fig. 6.2. – Planta parcial de tetos do piso superior do claustro do poço na Escola de Santa Clara, ilustrando diferentes materialidades e presença de patologias nas abóbadas. Esc. 1:100.

6.2. Perspetivas de trabalhos futuros

Decorre dos resultados da fotogrametria o seu grande potencial para nos capacitar novos “modos de ver”, na feliz expressão de John Berger (Berger, 2018). Não temos agora apenas a capacidade de perspetivar, podemos também ver por dentro, ou ver para ontem. Como é natural, este potencial exige ainda um esforço de exploração e de hábito na utilização; não estará talvez já ao nosso alcance, formatados que estamos pelo domínio da perspetiva, única, sólida.

Não obstante, percebem-se em andamento investigações com o intuito de nos transportar para lá do visível – parte do projeto Heritage Within no Convento do Carmo em Lisboa é focado precisamente no conhecimento do que é interior ao monumento, na sua materialidade e no seu comportamento (Ortega, 2021). Essa capacidade, de tornar transparentes as materialidades mais sólidas, pode ser transportada de um modo mais lato para as edificações e para as formas como para elas olhamos (Fig. 6.3). Noutra vertente, há ainda outras investigações que procuram integrar documentação histórica, p. ex. fotografias antigas, com modelos digitais existentes ou produzidos para o efeito, capacitando uma regressão ao passado e também a sua modelação (Agnello et al., 2023). O contributo da fotogrametria digital, a ferramenta atualmente ao dispor mais versátil para representar realisticamente as superfícies, será imprescindível em ambas as direções, estas com percursos ainda apenas iniciados (Fig. 6.4).

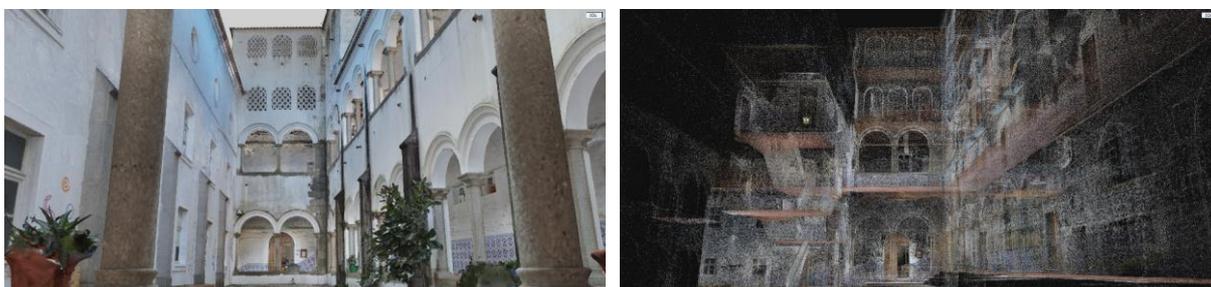


Fig. 6.3. Perspetivas do claustro do poço, orientadas para poente, obtidas a partir do modelo reconstruído, uma de superfície renderizada, outra de nuvem de pontos densificada



Fig. 6.4. Perspetiva do claustro, emulada no modelo de superfície, de fotografia do arquivo da DGPC, SIPA, de 1936, permitindo confronto direto e assim ilustrando modificações havidas

O decurso deste trabalho e os resultados que ao longo do mesmo foram surgindo deixaram também perceptível o quão poderosa poderá ser a fotogrametria enquanto ferramenta de análise da realidade das edificações. Por um lado, as capacidades de visualização a partir dos modelos digitais possibilitam ações de verificação fora do lugar, à distância, noutra tempo, podendo ainda congregar vários intervenientes em simultâneo. Por outro lado, as capacidades de inspecionar o objeto ficam ampliadas, com capacidade de análise de novos atributos a partir da interpretação e ou manipulação dos resultados (Fig. 6.5). Neste último âmbito, consideram-se as possibilidades envolvendo classificação e segmentação das nuvens de pontos (antes e ou depois das modelações) um promissor campo de estudo, o qual se crê até possuir um potencial maior interesse do que os empreendidos em torno do HBIM e dos métodos *Scan-to-BIM* – estes procedimentos poderão ser prescindíveis, se a ação de identificação ou categorização, qualquer que seja, for direta à própria nuvem de pontos e se esta puder ser visualizada nas mais diversas plataformas.

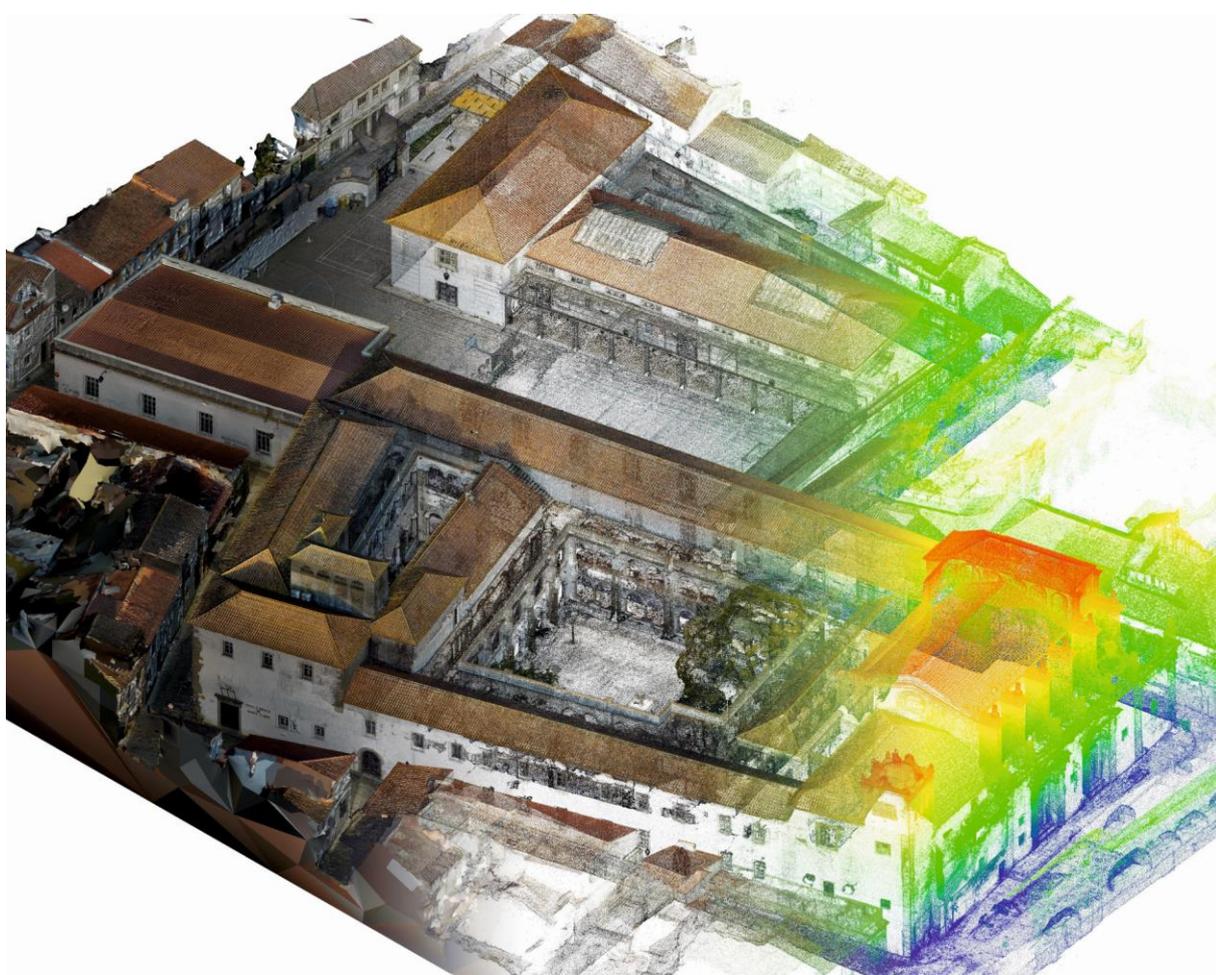


Fig. 6.5. Imagem compósita, de modelo em nuvem de pontos densa, ao centro, para modelo de superfície texturizada, à esquerda, e para modelo de análise de elevações, à direita

REFERÊNCIAS

- ADAMI, Andrea, TRECCANI, Daniele, FREGONESE, Luigi (2023) – Lessons learnt from the high resolution UAS photogrammetric survey of a historic urban area: UNESCO site of Sabbioneta. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-2-2023; 29th CIPA Symposium “Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage: Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future”, pp. 19 - 25. Florença, Itália, Copernicus Publications [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-M-2-2023/19/2023/>]
- AGNELLO, Fabrizio, BARRALE, Laura, GAROFALO, Vincenza, et al. (2023) – From Perspective Restitution to Mixed Reality Reconstruction of San NICOLÒ Dei Carmelitani Church in Palermo. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-2-2023; 29th CIPA Symposium “Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage: Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future”, pp. 43 - 50. Florença, Itália, Copernicus Publications [Versão digital, acedida em 10-09-2023, em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-43-2023>]
- ALBERTZ, Jörg (2001) – Albrecht Meydenbauer – Pioneer of Photogrammetric Documentation of the Cultural Heritage. In *Proceedings 18th International Symposium CIPA 2001*, pp. 19 - 25. Potsdam, Alemanha, CIPA [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: http://www.theulegium.de/fileadmin/user_upload/Texte/Meydenb.pdf]
- ALMEIDA, Cármen, BARBOSA, José M. Pinto (2001) – Riscos de um Século. Memórias da Evolução Urbana de Évora. In *Catálogo de Exposição, Organização: Câmara Municipal de Évora*, pp. 221. Évora, Câmara Municipal de Évora
- AMARAL, Ana Rosa (2014) – O Claustro Enquanto Lugar - A Reabilitação como Motor da Vivência , pp. 89. Lisboa, MSc. Thesis. Faculdade de Arquitectura, Universidade de Lisboa [Versão digital, acedida em 03-09-2023, em: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/7172/1/O%20Claustro%20Enquanto%20Lugar%209.pdf>]
- ANDRADE, Maria Filomena P. C. (2011) – In oboedientia, sine proprio, et in castitate, sub clausura: a ordem de Santa Clara em Portugal (séc. xiii-xiv), pp. 788. Lisboa, Ph.D. Thesis. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa [Versão digital, acedida em 03-09-2023, em: <http://hdl.handle.net/10362/6119>]

- ARCHC 3D, (2011) – ArcHC_3D - Architectural Heritage Conservation Research Group. Lisboa, Universidade de Lisboa. Faculdade de Arquitetura. Research Centre in Architecture, Urban Planning and Design [Versão digital, acedida em 10-09-2023, em: <https://archc3d.fa.ulisboa.pt/index.html>]
- ASAP, Atlas of School Architecture in Portugal (2019) – Atlas of School Architecture in Portugal - Education, Heritage and Challenges. Lisboa, Universidade de Lisboa. Instituto Superior Técnico [Versão digital, acedida em 10-09-2023, em: <http://asap-ehc.tecnico.ulisboa.pt/index.php>]
- BERGER, John (2018) – Modos de Ver, pp. 199. Lisboa, Antígona
- BILOU, Francisco, VAL-FLORES, Gustavo, SANTOS, João, et al. (2013) – Évora: Plano de uso público – Diretório atrações turísticas, pp. 44. Évora, Câmara Municipal de Évora
- BOX, Paul (1999) – GIS and Cultural Resource Management: A Manual for Heritage Managers, pp. 216. Bangkok, Tailândia, UNESCO Principal Regional Office for Asia and the Pacific [Versão electrónica. Acesso em 12-07-2022, em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000116270>]
- BRANCO, Manuel, SANTOS, João (1994-2014) – Convento de Santa Clara de Évora / Escola Secundária de Santa Clara. In SIPA - Sistema de Informação para o Património Arquitetónico, IPA.00002722, DGPC [Versão electrónica. Acesso em 16-07-2022, em: http://www.monumentos.gov.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=2722]
- BURTCH, Robert C. (2008) – History of Photogrammetry. In Notas de Disciplina de Fotogrametria, do Curso de Engenharia Topográfica, pp. 36. Big Rapids, Michigan, E.U.A., Ferris State University [Versão digital, acedida em 23-07-2023, em: [https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geog373/lectures/Handouts/History of Photogrammetry.pdf](https://ibis.geog.ubc.ca/courses/geog373/lectures/Handouts/History_of_Photogrammetry.pdf)]
- CAEIRO, Elsa (2005) – Os Conventos do Termo de Évora. Sevilha, Ph.D. Thesis. Escola Técnica Superior de Arquitectura, Universidade de Sevilha
- CERRILLO-CUENCA, Enrique, BUENO-RAMÍREZ, Primitiva, BALBÍN-BEHRMANN, Rodrigo de (2019) – “3D Mesh Tracings”: A protocol for the digital recording of prehistoric art. Its application at Almendres cromlech (Évora, Portugal). In Journal of Archaeological Science: Reports, Volume 25, June 2019, pp. 171 - 183, Elsevier [Versão digital, acedida em 07-09-2023, em: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.03.010>]

- CIPA, The International Committee for Documentation of Cultural Heritage (s. d.) – CIPA Heritage Documentation [Versão digital, acessada em 06-09-2023, em: <https://www.cipaheritagedocumentation.org/>]
- CLINI, Paolo, NESPECA, Romina, ANGELONI, Renato (2023) – Combining Pattern Projection and Cross Polarization to Enhance 3d Reconstruction of Featureless Reflective Surfaces. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLVIII-M-2-2023, pp. 427 - 432. Hannover, Alemanha, ISPRS [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-427-2023>]
- COVAS, João, FERREIRA, Vítor, MATEUS, Luís (2015) – 3D Reconstruction with Fisheye Images. Strategies to Survey Complex Heritage Buildings. In *Proceedings of the 2nd International Congress on Digital Heritage 2015*, pp. 4. Granada, Espanha [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: https://www.academia.edu/19855714/3D_Reconstruction_with_Fisheye_Images_Strategies_to_Survey_Complex_Heritage_Buildings]
- CROCE, Valeria, CAROTI, Gabriella, DE LUCA, Livio, et al. (2021) – From the Semantic Point Cloud to Heritage-Building Information Modeling: A Semiautomatic Approach Exploiting Machine Learning. In *Remote Sensing 2021*, 13(3), 461, pp. 34. Basileia, Suíça, MDPI [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: <https://doi.org/10.3390/rs13030461>]
- DENARD, Hugh (ed.) (2009) – Carta de Londres para a Visualização Computorizada do Património Cultural. In *Tradução portuguesa: BOTELHO, Maria Leonor; DIAS, Ricardo M.; Universidade do Porto, 2014*, pp. 15. Londres, Reino Unido, King's College London [Versão digital, acessada em 06-09-2023, em: https://londoncharter.org/fileadmin/templates/main/docs/london_charter_2_1_pt.pdf]
- DHANDA, Abhijit, ORTIZ, Miquel Reina, WEIGERT, Adam, et al. (2019) – Recreating Cultural Heritage Environments for VR Using Photogrammetry. In *The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W9*, pp. 305 - 309. Hannover, Alemanha, ISPRS [Versão digital, acessada em 07-09-2023, em: <http://dx.doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-305-2019>]
- DUARTE, Teresinha Maria (2016) – As Primeiras Clarissas Protugasas e suas Vivências Cotidianas. In *Revista Territórios & Fronteiras*, Cuiabá, Vol. 9, n.º 1, jan. - jun., 2016, pp. 68 - 82. Cuiabá, Brasil [Versão digital, acessada em 03-09-2023, em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5612583.pdf>]
- ESPANCA, Túlio (1966) – Inventário Artístico de Portugal. Concelho de Évora. In *Inventário Artístico de Portugal*, VII, 2 vols., pp. 218 - 223. Lisboa

ESPANCA, Túlio (1972) – O espólio do Convento de Santa Clara. In A Cidade de Évora, Boletim da Comissão Municipal de Turosmo, n.º 55, Ano XXIX, Janeiro-Dezembro 1972, pp. 115 - 147. Évora, Câmara Municipal de Évora

FANGI, Gabriele, PIERMATTEI, Livia, WAHBEH, Wissam (2013) – Spherical Photogrammetry as Rescue Documentation for The Reconstruction of some UNESCO Sites in Syria. In International Journal of Heritage in the Digital Era, Volume 2, Number 3, 2013, pp. 335 - 341 [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: <https://www.researchgate.net/publication/279229242> Spherical Photogrammetry as Rescue Documentation for The Reconstruction of some UNESCO Sites in Syria]

FERNANDES, Maria L. A. (2007) – Centro histórico de Évora. Os “restauros” do século XX, de 1900 à classificação mundial. In Monumentos n.º 26. Revista semestral de edifícios e monumentos, pp. 144 - 154. Lisboa, DGEMN [Versão electrónica. Acesso em 10-07-2022, em: https://www.academia.edu/10303570/Centro_hist%C3%B3rico_de_%C3%89vora_Os_rest_auros_do_s%C3%A9culo_XX_de_1900_%C3%A0_classifica%C3%A7%C3%A3o_mundial]

FURUKAWA, Yasutaka, PONCE, Jean (2007) – Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis. In Proceedings, 2007 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition 32(1), pp. 8, IEEE [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4270271>]

GARCIA-GAGO, Jesús, SÁNCHEZ-APARICIO, Luis Javier, SOILÁN, Mario, et al. (2022) – HBIM for supporting the diagnosis of historical buildings: case study of the Master Gate of San Francisco in Portugal . In Automation in Construction, Volume 141, September 2022, 104453, pp. 19, Elsevier [Versão digital, acedida em 07-09-2023, em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104453>]

GEORGOPOULOS, Andreas (2019) – CIPA’s first 50 years. In CIPA - Heritage Documentation 50 Years: Looking Backwards, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W14, pp. 1 - 2, CIPA [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: <https://www.cipaheritagedocumentation.org/wp-content/uploads/2020/02/isprs-archives-XLII-2-W14-1-2019.pdf>]

- GHOSH, Sanjib Kumar (1992) – History of Photogrammetry - Analytical methods and instruments. In XVIIth ISPRS Congress - Technical Commission VI: Economic, Professional and Educational Aspects of Photogrammetry and Remote Sensing - Washington, D.C., USA - Editores: Lawrence W. Fritz, James R. Lucas, pp. 311 - 327. Washington D.C., E.U.A., ISPRS [Versão digital, acedida em 23-07-2023, em: https://www.isprs.org/proceedings/xxix/congress/part6/311_xxix-part6.pdf]
- GIL-PIQUERAS, Teresa, RODRÍGUEZ-NAVARRO, Pablo, PÉREZ VILA, Anna (2019) – Fotogrametría multi-imagen mediante SfM. Revisión del software disponible. In Avances en Expresión Gráfica aplicada a la Edificación, pp. 645 - 659. Valencia, Tirant ed. [Versão digital, acedida em 05-08-2023, em: https://www.academia.edu/42868586/2019_Fotogrametr%C3%ADa_multi_imagen_mediante_SfM_revisi%C3%B3n_del_software_disponible]
- GINÉ, Aleix Barberà (2018) – Fotogrametría para la conservación-restauración de bienes culturales. In Umicum, n.º 17, pp. 153 - 162 [Versão digital, acedida em 05-08-2023, em: https://www.academia.edu/38987034/Fotogrametr%C3%ADa_para_la_conservaci%C3%B3n_restauraci%C3%B3n_de_bienes_culturales]
- GOMES, Paulo Varela (2000) – A fachada pseudo-frontal na arquitectura das igrejas de freiras no mundo português. In 14,5 Ensaios de História e Arquitectura, pp. 249 - 261. Montemor-o-Novo, Almedina
- GRIMM, Albrecht (2007) – The Origin of the Term Photogrammetry. In Photogrammetric Week 2007 Proceedings, Editor: Dieter Fritsch, pp. 53 - 60. Estugarda, Alemanha, Institute for Photogrammetry and Geoinformatics [Versão digital, acedida em 23-07-2023, em: <https://phowo.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/080Grimm.pdf>]
- GRUSSENMEYER, Pierre, HANKE, Klaus, STREILEIN, A. (2002) – Architectural Photogrammetry: Basic theory, Procedures, Tools. In Chapter in « Digital Photogrammetry», edited by M. KASSER and Y. EGELS, pp. 300 - 339, Taylor & Francis [Versão digital, acedida em 05-08-2023, em: https://www.isprs.org/commission5/tutorial02/gruss/tut_gruss.pdf]
- HISTORIC ENGLAND, (2018) – 3D Laser Scanning for Heritage. Advice and Guidance on the Use of Laser Scanning in Archaeology and Architecture . In 3.^a Edição (2007, 1.^a Edição), pp. 119. Swindon, Historic England [Versão digital, acedida em 06-08-2023, em: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage/heag155-3d-laser-scanning/>]

- HISTORIC ENGLAND, (2017a) – Photogrammetric Applications for Cultural Heritage. Guidance for Good Practice, pp. 125. Swindon, Historic England [Versão digital, acedida em 23-07-2023, em: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/photogrammetric-applications-for-cultural-heritage/>]
- HISTORIC ENGLAND, (2017b) – BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information Model, pp. 78. Swindon, Historic England [Versão digital, acedida em 06-08-2023, em: <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage/>]
- INÊS, Márcio (2022) – Digitalização 3D por meio de fotogrametria: uma análise comparativa, pp. 100. Braga, MSc. Thesis. Universidade do Minho [Versão digital, acedida em 07-09-2023, em: <https://hdl.handle.net/1822/83016>]
- ISPRS, Sociedade Internacional de Fotogrametria e Detecção Remota (2022) – ISPRS - Informação a partir de imagens - Brochura de apresentação (versão português), pp. 2, ISPRS [Versão digital, acedida em 05-08-2023, em: [https://www.isprs.org/publications/brochure/ISPRS brochure potuguese.pdf](https://www.isprs.org/publications/brochure/ISPRS_brochure_potuguese.pdf)]
- KUBLER, George (1988) – A arquitectura Portuguesa Chã, Entre as Especiarias e os Diamantes, 1521-1706, pp. 328. Lisboa, Vega
- LONDON CHARTER, (2006) – London Charter for the Computer-based Visualization of Cultural Heritage. Londres, Reino Unido [Versão digital, acedida em 06-09-2023, em: <https://londoncharter.org/index.html>]
- LOSÈ, Lorenzo T., CHIABRANDO, Filiberto, MASCHIO, Paolo (2023) – Direct Georeferencing Approaches for Close-Range and Uav Photogrammetry in the Built Heritage Domain. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVIII-M-2-2023; 29th CIPA Symposium “Documenting, Understanding, Preserving Cultural Heritage: Humanities and Digital Technologies for Shaping the Future”, pp. 1501 - 1508. Florença, Itália, Copernicus Publications [Versão digital, acedida em 10-09-2023, em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-M-2-2023-1557-2023>]
- LOWE, David G. (1999) – Object Recognition from Local Scale-Invariant Features. In Proceedings of the International Conference on Computer Vision, Corfu, pp. 8. Corfu [Versão digital, acedida em 06-08-2023, em: <https://www.cs.ubc.ca/~lowe/papers/iccv99.pdf>]

- LYU, Mingyang, ZHAO, Yibo, HUANG, Chao, et al. (2023) – Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey. In *Sensors 2023*, Volume 15, Issue 13, 3266, pp. 35. Basileia, Suíça, MDPI [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/13/3266>]
- MACHADO, Tomás B. C. (2021) – A utilização de Unmanned Aerial Systems (UAS) para a aplicação de Fotogrametria Digital e produção de Cartografia para homologação, pp. 125. Lisboa, MSc. Thesis. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: <http://hdl.handle.net/10451/50645>]
- MARQUES, António M., REDWEIK, Paula (2010) – Recuperação radio-geométrica e catalogação digital de coberturas aéreas antigas da zona de Lisboa. In *Boletim do IGeoE*, n.º 72, Novembro 2010, pp. 6 - 15. Lisboa, IGeoE [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: http://www.igeoe.pt/downloads/file31_pt.pdf]
- MARTINEZ, Alberto (2019) – Aqueduto da Água de Prata, em Évora. In *O Aqueduto da Água da Prata e o Património Hidráulico de Évora*, pp. 86 - 101. Évora, Câmara Municipal de Évora
- MATEUS, Luís (2012) – Contributos para o Projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação - Uma Metodologia Documental Baseada na Fotogrametria Digital e no Varrimento Laser 3D Terrestres, pp. 339. Lisboa, Ph.D. Thesis. Faculdade de Arquitectura, Universidade Técnica de Lisboa [Versão electrónica. Acesso em 10-07-2022, em: http://home.fa.utl.pt/~lmmateus/inv_cons/VOLUME_1_web.pdf]
- MATEUS, Luís, FERNÁNDEZ, Jorge, FERREIRA, Vítor, et al. (2019) – Graphical Data Flow Based in TIs and Photogrammetry for Consolidation Studies of Historical Sites. The Case Study of Juromenha Fortress in Portugal. In *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLII-2/W15, 2019. 27th CIPA International Symposium “Documenting the past for a better future”, 1–5 September 2019, Ávila, Spain, pp. 767 - 773. Hannover, Alemanha, ISPRS [Versão digital, acessada em 06-09-2023, em: https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2019ISPAr4215..767M/doi:10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-767-2019]
- MATRONE, Francesca, LINGUA, Andrea, PIERDICCA, Roberto, et al. (2020) – A BENCHMARK FOR LARGE-SCALE HERITAGE POINT CLOUD SEMANTIC SEGMENTATION. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.*, Volume XLIII-B2-2020, pp. 8. Hannover, Alemanha, ISPRS [Versão digital, acessada em 29-08-2023, em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-1419-2020>]

- MELLO, Magno (1998) – Os tectos pintados da igreja do Convento de Santa Clara de Évora. In A Cidade de Évora, Revista de Cultura da Câmara Municipal, n.º 2, II Série, 1996-1997, pp. 353 - 371. Évora, Câmara Municipal de Évora
- MURTIYOSO, Arnadi, GRUSSENMEYER, Pierre (2019) – Point Cloud Segmentation and Semantic Annotation Aided by GIS Data for Heritage Complexes. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences., Volume XLII-2/W9, pp. 523 - 529. Hannover, Alemanha, ISPRS [Versão digital, acedida em 29-08-2023, em: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-523-2019>]
- OLIVEIRA, Maria Manuela (2007) – O envelhecimento do centro histórico de Évora. In Monumentos n.º 26. Revista semestral de edifícios e monumentos, pp. 190 - 197. Lisboa, DGEMN
- ORTEGA, Javier (2021) – Heritage Within European Research Project. New techniques for the inspection, reconstruction and presentation of the non-visible parts of the built cultural heritage. In Heritage Within (HWITHIN) European Research Project, pp. 7 - 14. Braga, Universidade do Minho. Escola de Engenharia
- PEREIRA, Paulo, SANTANDREU, Roberto, NASCIMENTO, José Carlos (2002) – Portugal. Património Mundial, pp. 288. Lisboa, Pandora
- REMONDINO, Fabio, SPERA, Maria Grazia, NOCERINO, Erica, et al. (2014) – State of the art in high density image matching. In The Photogrammetric Record, n.º 29, pp. 144 - 166, Remote Sensing and Photogrammetry Society [Versão digital, acedida em 05-08-2023, em: [https://www.academia.edu/14200419/State of the art in high density image matching](https://www.academia.edu/14200419/State_of_the_art_in_high_density_image_matching)]
- REMONDINO, Fabio, KARAMI, Ali, YAN, Ziyang, et al. (2023) – A Critical Analysis of NeRF-Based 3D Reconstruction. In Remote Sensing 2023, 15, 3585., pp. 22. Basileia, Suíça, MDPI [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: <https://doi.org/10.3390/rs15143585>]
- REY-OTERO, Ives, DELBRACIO, Mauricio (2014) – Anatomy of the SIFT Method. In Image Processing On Line, n.º 4, pp. 370 - 396 [Versão digital, acedida em 06-08-2023, em: www.ipol.im/pub/art/2014/82/article.pdf]
- ROCHA, Gustavo, MATEUS, Luís, FERREIRA, Vítor, et al. (2020) – A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings. In Heritage 2020, 3, pp. 47 - 65. Basileia, Suíça, MDPI [Versão digital, acedida em 07-09-2023, em: <https://doi.org/10.3390/heritage3010004>]

- SANTOS, Artur (2017) – Técnicas de Diagnóstico e Mapeamento de Patologias em Fachadas, pp. 139. Porto, MSc. Thesis. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto [Versão digital, acedida em 07-09-2023, em: <https://hdl.handle.net/10216/105465>]
- SILVA, João P. (2022) – Evolução recente da dinâmica costeira da Praia do Camarido à Praia de Moledo, pp. 81. Braga, MSc. Thesis. Universidade do Minho [Versão digital, acedida em 29-08-2023, em: <https://hdl.handle.net/1822/83183>]
- TAREEN, Shaharyar A. K., SALEEM, Zahra (2018) – A Comparative Analysis of SIFT, SURF, KAZE, AKAZE, ORB, and BRISK. In 2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies – iCoMET 2018, pp. 11. Sukkur, Paquistão [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: 10.1109/ICOMET.2018.8346440]
- VALENTE, Teresa (2011) – O espaço nas igrejas dos conventos das clarissas da Província dos Algarves. In Promontoria, Ano 9, Número 9, 2011 - Revista de História, Arqueologia e Património da Universidade do Algarve, pp. 117 - 140. Faro, Universidade do Algarve [Versão digital, acedida em 03-09-2023, em: <http://hdl.handle.net/10400.1/7437>]
- VERYKOKOU, Styliani, IOANNIDIS, Charalabos (2023) – An Overview on Image-Based and Scanner-Based 3D Modeling Technologies. In Sensors 2023, Volume 23, Issue 2, 596, pp. 22. Basileia, Suíça, MDPI [Versão digital, acedida em 29-08-2023, em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/2/596>]
- VITALE, Valentino, ABATE, Nicodemo (2021) – 3D Architectural documentation methods using UAS. The case of the Igreja do Carmo (Lisbon). In Heritage Within (HWITHIN) European Research Project, pp. 43 - 52. Braga, Universidade do Minho. Escola de Engenharia
- WALDHÄUSL, Peter, OGLEBY, Cliff L. (1994) – 3-Rules for simple photogrammetric documentation of architecture. In Adaptação de artigo apresentado em ISPRS Commission V Symposium "Close Range Techniques and Machine Vision" in Melbourne, Australia, 1994. Simple rules that are to be observed for photography with non-metric cameras have been written, tested and published at the CIPA Symposium in Sofia in 1988, pp. 1 [Versão digital, acedida em 30-08-2023, em: https://www.researchgate.net/publication/284326169_3-Rules_for_simple_photogrammetric_documentation_of_architecture]
- WULFF, Robert (2010) – Image-Based 3D Documentation in Archaeology. In 32nd Annual Symposium of the German Association for Pattern Recognition, pp. 10 [Versão digital, acedida em 05-08-2023, em: <https://conferences.mpi-inf.mpg.de/dagm/2010/pdfs/wulffdagm2010.pdf>]

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

ANEXOS

Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora

AI. RELATÓRIO – MODELO QUARTEIRÃO, PRIMEIRA VERSÃO

AI.1. Resumo

AI.1.1. Quadro Síntese

Quarteirão Versão #1

Calendário	Abril
Equipamento - levantamento	Drone, DSLR Nikon D3200,
Equipamento - processamento	Computador 1 + 2 + 4
Ficheiro	Ficheiro nome

Processamento SfM

Imagens processadas	5991 / 6290
Nuvem esparsa (pontos)	12,2 milhões
Tempo SfM	03d 19h:49m:38s

Processamento MVS / Texturização

MVS / Texturização	930,4 milhões
Nuvem densa (vértices)	466,7 milhões
Tempo MVS	01d 20h:14m:57s
Tempo Texturização	13h:47m:53s

AI.1.2. Breve descrição

Num esquema progressivo e cumulativo, preparou-se a montagem de um modelo geral da envolvente do Convento / Escola de Santa Clara. A intenção: ter o quarteirão inteiramente representado. Os modelos de cobertura aérea serviram de base, aos quais se adicionaram, sucessivamente modelos das fachadas. Dois modelos foram assim criados: um relacionado com a edificação do convento; outro com a dos ginásios, no pátio de jogos. Por fim, reuniu-se tudo num único modelo, encaixado num retângulo, orientado a norte; o grau de definição dessa maquete decresce com a progressiva diminuição de fotografias capazes de informar os elementos.

A1.2. Imagens



Axonometria – vista para noroeste



Ortoimagem – Corte pela Rua de Serpa Pinto, alinhamento pelo eixo da igreja



Ortoimagem – Corte longitudinal pela Travessa de Beguinos, alçado nascente do corpo de ginásios

AI.3 Integração de resultados

AI.3.1 SIG - QGIS

Início de trabalhos com outros programas informáticos, utilizando o modelo da envolvente do quarteirão. A primeira interação básica com os SIG (QGIS) passou pela importação da imagem de coberturas e sua georreferenciação, por sobre o levantamento aerofotogramétrico mais recente em uso na câmara municipal (levantamento de 2021, preparado para 1:1000, ortorretificado). A sobreposição foi georreferenciada de modo simples, com base em três pontos, sem distorção.

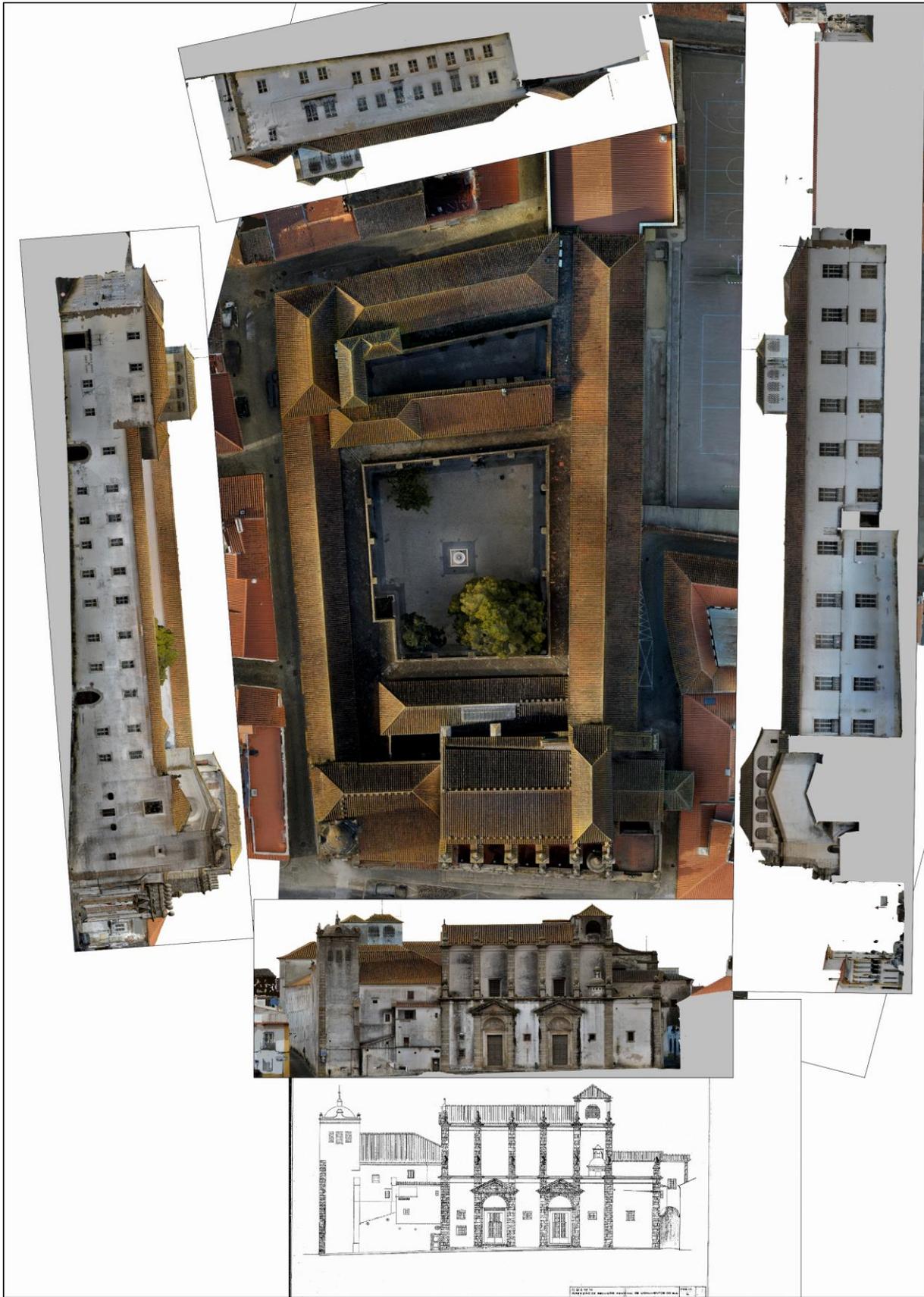
Percebeu-se o nível de melhoria e a eficácia para uma representação a escalas urbano arquitetónicas. Quando a escala do levantamento aerofotogramétrica se tornava ineficaz – sendo bastante bom ou aceitável até à escala 1:500, percebia-se que a imagem do modelo adquiria capacidade de tomar o seu lugar.

AI.3.2. CAD – AutoCAD 2023

Ainda numa vertente puramente bidimensional, introduziram-se as imagens também em ambiente CAD, de maneira a testar a escala a que tinham sido originalmente produzidas (0,005m por pixel) e a fazer sair impressões com escalas rigorosas.

Em montagem de imagens de alçados, relacionadas posicionalmente com a planta, testou-se igualmente uma comparação básica com imagens equivalentes existentes no acervo do SIPA – Monumentos.

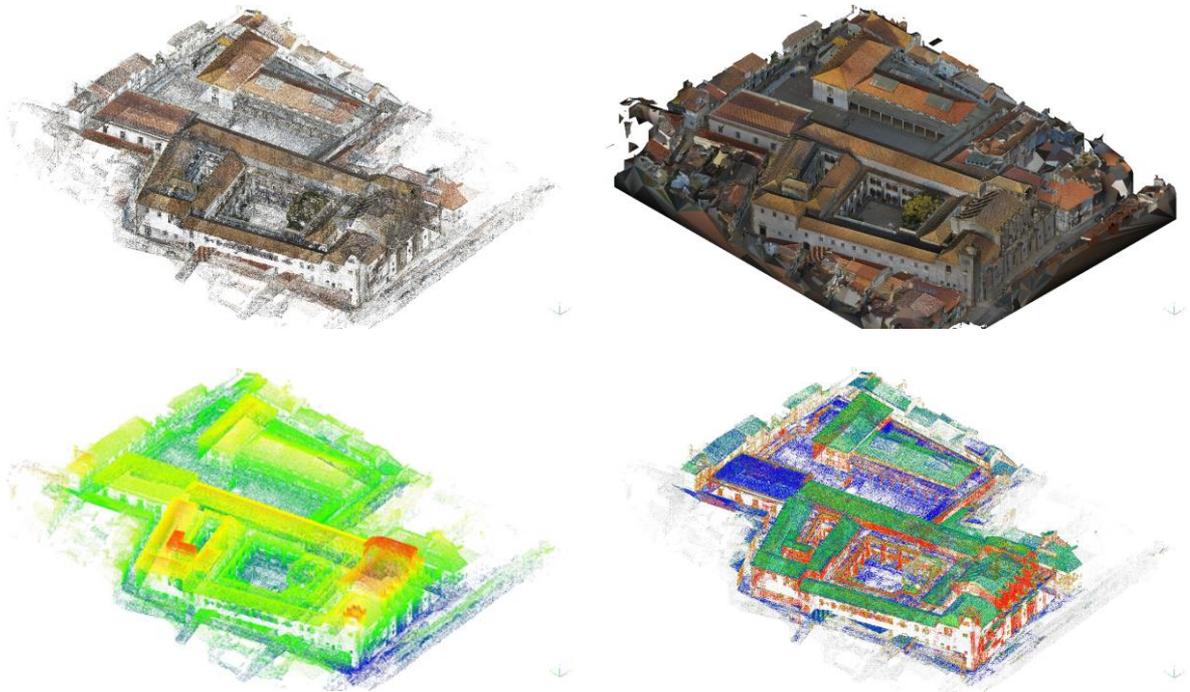
Contributo para uso da fotogrametria digital na documentação e reabilitação de edifícios históricos – o caso do Convento / Escola de Santa Clara de Évora



AI.3.3. CLOUDCOMPARE

Importação do modelo, ele próprio, enquanto nuvem de pontos – facilita a manipulação visual e operativa dos dados e possibilita diversos tipos de catalogação da informação e, conseqüentemente, de possíveis segmentações dos mesmos dados. Este um passo que vem parecendo crucial para obtenção de conjuntos de pontos autonomizados por determinado elemento ou característica, a que seja atribuível um determinado conjunto de dados (exs.: segmentação urbana, por cadastro, ou segmentação arquitetónica, por grau de inclinação).

Imagens do quarteirão: i) em nuvem de pontos; ii) em modelo de superfícies trianguladas texturizadas – vistas geral e de maior aproximação – seguidas de; iii) imagens de classificação de pontos, de acordo com as coordenadas Z (alturas), das mais pequenas às mais altas; e iv) de acordo com a verticalidade dos pontos (e seus vizinhos), em gradação da menor (horizontal, em azuis), à maior (vertical, em vermelhos).



Al.4. Comentários

Os dois alçados das Rua de Santa Clara e da Carta Velha dão a ver algumas debilidades: uma texturização e definição de vãos que chega a ser bastante má, escamada, e umas confusões na definição das superfícies dos telhados, junto ao coro alto da igreja, e da cúpula sobre a torre sineira, ainda pior – ocorrem na própria modelação, com duplicação de superfícies.

Este tipo de erros foi determinante para empreender produção de novo modelo geral, procurando eliminar estes erros de reconstrução. Abaixo, alçado da Rua de Santa Clara e pormenor centrado na fachada do coro alto e torre sineira.



A2. RELATÓRIO – MODELO CLAUSTRO GRANDE

A2.1. Resumo

A2.1.1. Quadro Síntese

Claustro Grande	
Calendário	Julho
Equipamento - levantamento	Drone, DSLR Nikon D3200
Equipamento - processamento	Computador 3
Ficheiro	0715_ClaustroGrande_P0-Galerias_MODELS

Processamento SfM	
Imagens processadas	6759 / 6759
Nuvem esparsa (pontos)	15,7 milhões
Tempo SfM	03h:40m:39s

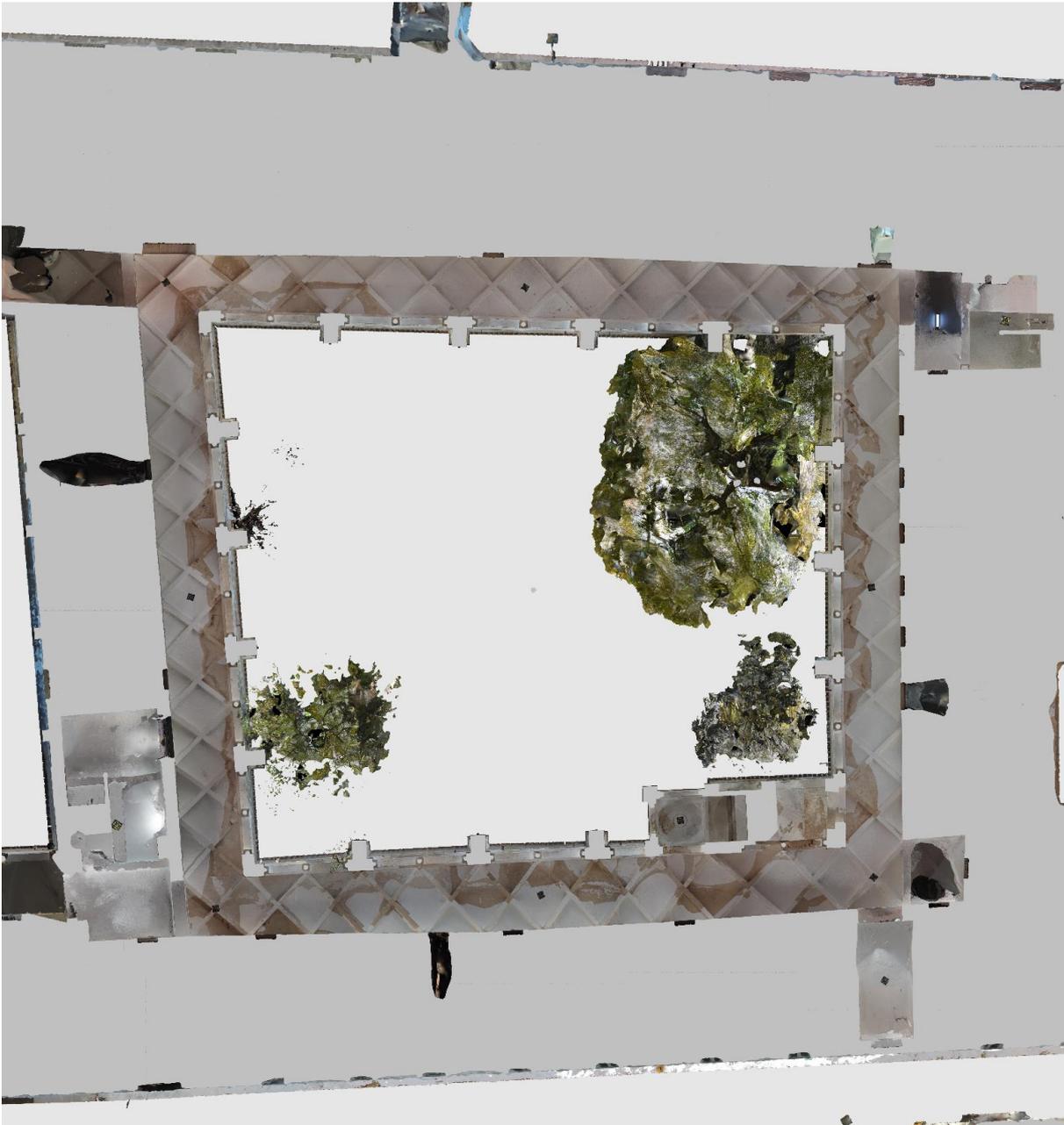
Processamento MVS / Texturização	
MVS / Texturização	1217,9 milhões
Nuvem densa (vértices)	610,9 milhões
Tempo MVS	10h:24m:10s
Tempo Texturização	22h:38m:49s

A2.1.2. Breve descrição

Com base no primeiro modelo de quarteirão e depois de modeladas as galerias dos claustros, procurou-se criar modelos dedicados a partes do convento e aferir a sua qualidade. Uma dificuldade se apresentou: o número de imagens era tal que só se conseguiam manusear parte a parte; assim, no claustro grande tiveram de se fazer experiências piso a piso. Procederam-se a algumas medições, com recurso apenas a fita e, sem comprimento maior que 20m, espartilhada cada galeria em duas metades medidas. Transpostos os pontos para modelo, verificaram-se erros importantes: uma discrepância entre realidade e modelo – os automatismos e o programa de restituição e modelação não foram capazes de definir com total precisão a posição dos pontos, mas manteve uma coerência assinalável, pelo menos para os eixos de planimetria. Numa e noutra direção perpendicular, o desvio apresentou-se constante, 1,04% maior do que a

medição real. Isso significava uma possibilidade de aproveitamento total e fiável da imagem, para sua introdução em ambiente CAD, aproveitando o ficheiro de desenho que gentilmente fora fornecido nos serviços da CME – o único disponível para o convento / escola, digitalizado e vectorizado a partir de desenhos oriundos da Direção Regional de Educação do Alentejo.

A2.2. Imagens



Planta de tetos do piso 0 do claustro grande

A2.3. Integração de resultados



Pormenor à escala 1:100 da subposição da imagem (reduzida em 98,6%) ao desenho existente

A2.4. Comentários

Foi preciso um grande número de imagens para a reconstrução de tetos focadas em pontos zenitais: as tomadas de vistas, nesses casos, são especialmente influenciadas pelo efeito de paralaxe, em que os planos próximos ao observador parecem andar a uma velocidade maior do que os situados mais distantes – assim, fotografias com áreas muito grandes representando os planos próximos tenderão muito facilmente a não reunir pontos suficientes de ligação com as fotografias seguintes, prejudicando logo a primeira etapa do processo fotogramétrico, de identificação de paridades e alinhamento. Por isso nos levantamentos efetuados o passo entre fotografias foi sendo progressivamente reduzido até se atenuar o suficiente esse efeito – estabilizando em cerca de 60 cm entre fotografias.

Além deste aspeto, são sinalizáveis outros erros e respetivas correções: a cobertura das várias galerias através de imagens captadas de transverso em relação ao sentido natural de nelas se caminhar (algo que parecia promissor, pois a área ilustrada por fotograma tornava-se mais ampla), revelou-se afinal infrutífero – muito mais eficaz foi a adoção de posições de levantamento com os lados maiores das imagens, fixados (ou seja, bloqueando-se a rotação automática das fotografias), em função do sentido longitudinal das galerias; também se revelou insuficiente, na maioria dos casos e mesmo em galerias mais estreitas e com maior pé-direito, fazer descrições dos tetos com base em apenas uma linha de passagem, por contraponto a uma dupla linha de tomadas de vistas (quase mimetizando o sistema de pares estereoscópicos), estratégia que se revelou a mais eficaz para a reconstrução desses elementos.



Uma sequência malsucedida – efeito de paralaxe pronunciado, fortes contrastes de zonas de sombra interiores e zonas exteriores iluminadas



Sequência com resultados positivos

A3. RELATÓRIO – MODELO QUARTEIRÃO, SEGUNDA VERSÃO

A3.1. Resumo

A3.1.1. Quadro Síntese

Quarteirão Versão #2	
Calendário	Julho
Equipamento - levantamento	Drone, DSLR Nikon D3200
Equipamento - processamento	Computador 3
Ficheiro	Project: 0711_Quarteirao_EnvolventeExterior_D4.MO DELS

Processamento SfM	
Imagens processadas	6370 / 6379
Nuvem esparsa (pontos)	12,3 milhões
Tempo SfM	00h:43m:32s

Processamento MVS / Texturização	
MVS / Texturização	1147,6 milhões
Nuvem densa (vértices)	575,7 milhões
Tempo MVS	02d 00h:08m:19s
Tempo Texturização	02d 03h:22m:36s

A3.1.2. Breve descrição

Repetição de esquema progressivo, e cumulativo, para a montagem de um modelo geral da envolvente do Convento / Escola de Santa Clara. O esquema de progressão de alinhamentos e modelações SfM, esqueleto do modelo final, é perceptível na Tabela 4, pág. 69.

A3.2. Imagens



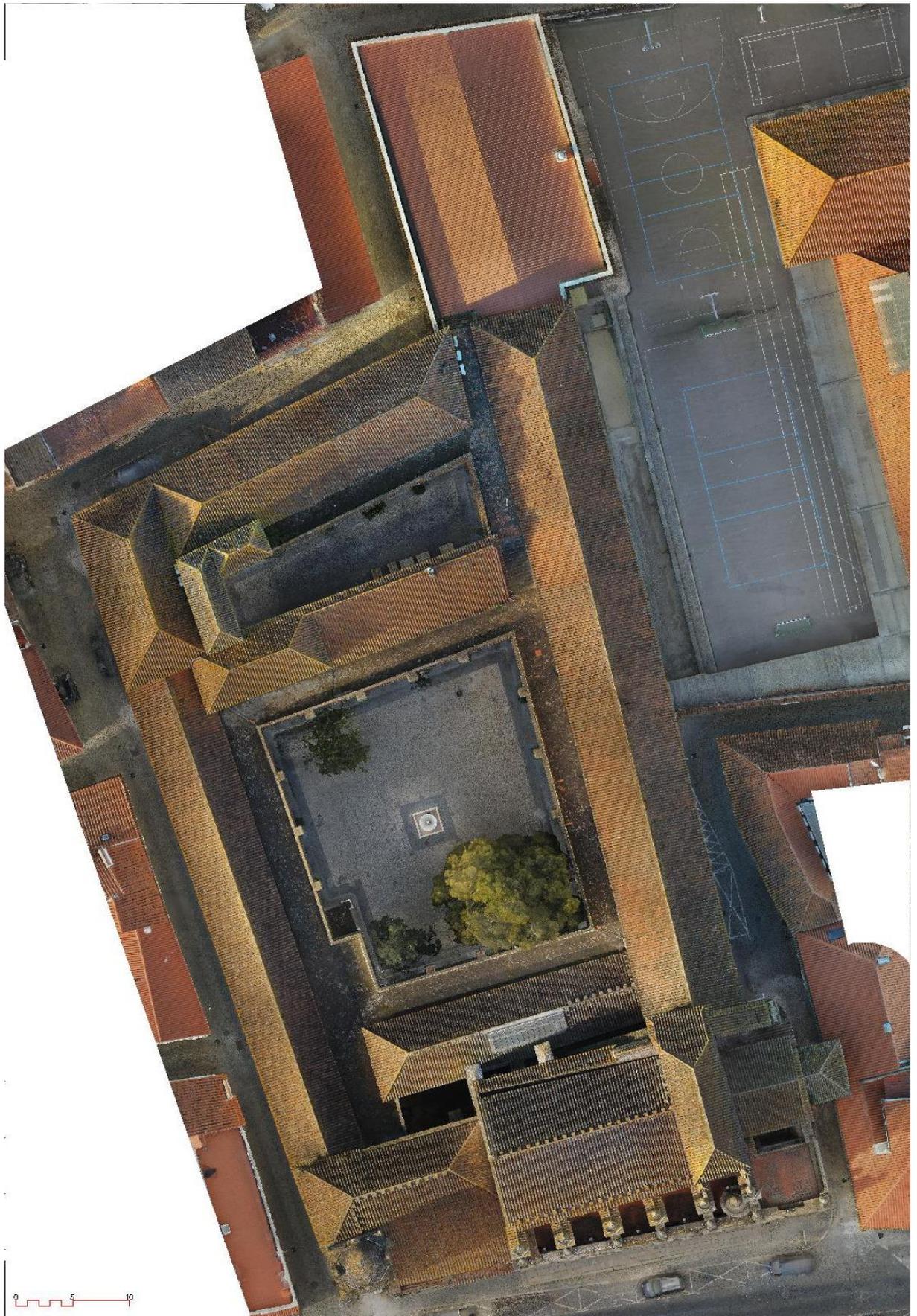
Axonometria – a partir de modelo cortado, vista para nordeste



Ortoimagem – Corte pela Rua de Santa Clara, alçado poente do antigo Convento

A3.3. Integração de resultados

Com base na planta de coberturas – uma ortoimagem exterior, e com base na definição dada ao pixel desta, de 0,01 m (cada pixel valendo 1 cm; para escalas 1:100, 100 destes pixels farão 1m, garantindo máxima qualidade em impressão) – transferiu-se a imagem para ambiente Autocad 2023, para impressões em escala adequada) – imagem na página seguinte.



A3.4. Comentários

Edição de imagens

Importa abordar a temática da edição de imagens, previamente aos processamentos de reconstrução. Vários autores referem como útil um pré-processamento das próprias imagens em si, desejavelmente de forma automatizada, garantindo um balanço de cores mais favorável, menos extremado, tipicamente reduzindo a claridade de áreas fortemente iluminadas e a escuridão das zonas mais vincadamente sombreadas. No trabalho optou-se por não explorar esta variável, o que contribuiu também, embora com muito menor peso que outros fatores abordados, para que houvesse necessidade de repetição de alguns conjuntos fotográficos.

Um segundo tipo de edição fotográfica aconselhada em pré-processamento refere-se à introdução de máscaras, eliminando áreas sem interesse para o processamento ou para o qual podem tornar-se mesmo “ruidosas”. Por regra, não foi introduzida qualquer edição deste tipo, exceto em circunstâncias em que se percebia ocorrer a introdução de erros, logo em primeiros modelos, que se repercutiriam nos modelos subsequentes – foi o caso da fachada da Rua de Santa Clara (ver abaixo).



Experiência de processamento das fachadas da escola voltadas à Rua de Santa Clara: as áreas fotografadas de céu estavam também a formar nuvens de pontos, espúrias e talvez conflituosas com as demais, o que fez decidir refazer-se o processamento, mas com base em novas imagens, editadas das iniciais, mascarando as ditas áreas de céu, tornadas neutras por manchas de cor plana

A4. RELATÓRIO – MODELO CLAUSTRO DO POÇO / PORTARIA, INTERIORES

A4.1. Resumo

A4.1.1. Quadro Síntese

Claustro do Poço & Portaria, salas interiores

Calendário	Agosto
Equipamento - levantamento	Drone, DSLR Nikon D3200, Telemóvel Samsung A52s
Equipamento - processamento	Computador 3 + 4
Ficheiro	0812_Portaria- ClaustroPoco_ConjuntoParaCortes_MODELS

Processamento SfM

Imagens processadas	7995 / 7995
Nuvem esparsa (pontos)	14,5 milhões
Tempo SfM	01h:17m:30s

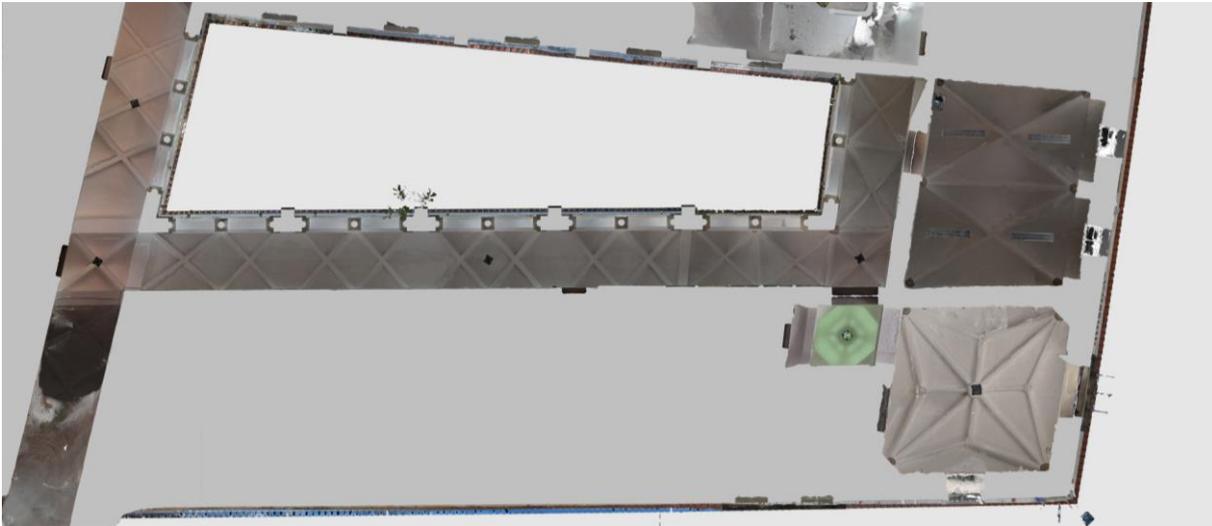
Processamento MVS / Texturização

MVS / Texturização	1138,1 milhões
Nuvem densa (vértices)	570,9 milhões
Tempo MVS	02d 21h:01m:36s
Tempo Texturização	01d 20h:39m:00s

A4.1.2. Breve descrição

Modelo de conjunto, final, congregando os três ambientes propostos, o exterior, as galerias dos claustros e salas interiores. Entende-se possuir amplas potencialidades de visualização. Na análise mais aproximada, percebeu-se, porém, que o componente do mirante ficou mal alinhado: as espessuras das grelhas são dissemelhantes entre paredes, o que não ocorre na realidade; é um aspeto que carece de correção (provável causa: uma triangulação de alinhamento entre os modelos prévios demasiado esticada, próxima de linha, por dois dos pontos serem vizinhos numa mesma área de construção).

A4.2. Imagens



Planta de tetos do piso 0; Cortes longitudinais, virados a norte, pelas galerias e de alçado



Perspetivas de modelo, cortado duas vezes – experiência para perceção de capacidade comunicacional do modelo, para entendimento dos espaços e sistemas construtivos

A4.3. Comentários

Grandes angulares vs. Ultra-grandes angulares

Com base nas imagens tomadas sobre espaços interiores, resultou bem evidente o papel fulcral que desempenha o recurso a óticas, ou sistemas, de grandes angulares – e ainda mais evidentemente de ultra grandes angulares. Naquele tipo de ambientes, é de vital importância garantir-se um campo de visão tão alargado quanto possível, por duas razões distintas e complementares: i) um maior ângulo possibilita maiores áreas de deteção de pontos de ligação comuns entre imagens, facilitando os processos de alinhamento; ii) por outro lado, possibilitam uma completude e rapidez no registo dos espaços que não tem paralelo, sem perda de capacidade de sucesso nos processos de reconstrução.

Privilegiou-se o uso de câmaras fotográficas em detrimento do uso do telemóvel. Mas, quando houve que pensar em presteza – um fator importante em espaços interiores, pelas mais prováveis alterações que nestes podem ocorrer – tornou-se inevitável privilegiar o uso do drone, com a sua pequena câmara fotográfica comandada à distância e, já na fase final do trabalho, o uso precisamente do telemóvel, com a sua faculdade de ultra-grande angular. Com possibilidades de comando à distância e com a vantagem de ser acoplado a um vulgar selfie-stick – a obtenção de imagens ficou largamente agilizada, por comparação com o que se conseguira com a máquina fotográfica (com base na experiência adquirida, possibilitando a redução do tempo de levantamento para metade do usado com DSLR).



Aspeto atual do mirante da torre sineira, pelo interior – grande angular e ultra-grande angular |
Aspeto atual do mirante portaria, compartimento de chegada, vista para norte – grande angular e
ultra-grande angular

A5.TABELAS – LEVANTAMENTOS FOTOGRÁFICOS

A5.1. Resumo de levantamentos fotográficos – Envolvente

ENVOLVENTE	Claustro Poço	Claustro Grande	Pátio Jogos	Igreja	Rua de Serpa Pinto	Rua de Santa Clara	Rua da Carta velha	Rua de São Domingos	Rua do Alfeirão	Travessa de Beguinios	Travessa da Milheira	Total
Cobertura Aérea												
Grelha	121	152	424	160	0	25	15	0	16	24	19	956
Oblíqua	206	143	124	124	0	68	75	41	76	141	178	1176
Perpendicular	538	559	363	732	0	522	267	170	122	205	230	3708
SubTotal	865	854	911	1016	0	615	357	211	214	370	427	5840
Percentagem (do Total)	67%	85%	85%	100%	0%	67%	91%	80%	57%	80%	72%	78%
Fotos Recusadas	139	0	0	0	0	44	16	53	0	0	0	252
Percentagem (do SubTotal)	16%	0%	0%	0%	0%	7%	4%	25%	0%	0%	0%	4%
Coberura Terrestre												
Drone	0	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	160
Nikon	419	146	0	0	71	89	0	54	163	92	169	1203
Telem	0	0	0	0	0	208	34	0	0	0	0	242
SubTotal	419	146	160	0	71	297	34	54	163	92	169	1605
Percentagem (do Total)	33%	15%	15%	0%	100%	33%	9%	20%	43%	20%	28%	22%
Recusadas	419	0	160	0	0	0	0	0	0	0	0	579
Percentagem (do SubTotal)	100%	0%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	36%
Trabalho Geral												
Total Fotos Obtidas	1284	1000	1071	1016	71	912	391	265	377	462	596	7445
Espaço em Disco (Gb)	7,3	4,9	4,2	4,3	0,7	6,4	1,8	1,3	2,5	2,3	2,8	38,5
Total Fotos Recusadas	558	0	160	0	0	44	16	53	0	0	0	831
Percentagem (do Total)	43%	0%	15%	0%	0%	5%	4%	20%	0%	0%	0%	11%
Total Fotos Processadas	726	1000	911	1016	71	868	375	212	377	462	596	6614

A5.2. Resumo de levantamentos fotográficos – Interiores

	Claustro Poço			Claustro Grande			Interiores					
INTERIORES	Zénite	Circulações	Circulações V	Zénite	Circulações	Circulações V	Sala 4	Portaria	Informática	Biblioteca	Mirante	Total
Coberura Terrestre												
Drone	613	296	0	1684	283	47	397	689	659	579	0	5247
Nikon	447	2668	0	330	6286	1409	0	0	0	268	0	11408
Telem	0	355	0	0	279	489	0	335	313	238	521	2530
Trabalho Geral												
Total	1060	3319	0	2014	6848	1945	397	1024	972	1085	521	19185
Espaço Disco (Gb)	5,4	26,9	0,0	8,7	60,4	16,0	1,5	3,7	4,0	5,5	1,7	133,73192
Fotos Recusadas	404	1086	0	970	2445	489	0	0	0	0	0	5394
Percentagem	38%	33%	0%	48%	36%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	28%
Fotos Processadas	656	2233	0	1044	4403	1456	397	1024	972	1085	521	13791

Tabelas fonte para a Tabela 2, em dissertação

A5.3. Resumo de registos – dias / horas / fotos

		Manhã		Tarde			Dias	Grupos	Fotos	Recusas	Proces
		Início	Final	Início	Final	Tempo					
Qua	25/01/2023	0:00	0:00	15:46	17:17	02:00	1	9	625	314	311
Sex	27/01/2023	0:00	0:00	16:17	17:30	02:00	1	5	422	200	222
Qua	01/02/2023	0:00	0:00	16:05	17:52	02:00	1	7	1 015	581	434
Sex	03/02/2023	0:00	0:00	16:24	16:54	01:00	1	2	217	0	217
Sáb	04/02/2023	0:00	0:00	16:33	17:40	02:00	1	8	455	16	439
Dom	05/02/2023	0:00	0:00	16:13	17:57	02:00	1	9	644	53	591
Qua	08/02/2023	0:00	0:00	14:59	17:34	03:00	1	7	753	628	125
Sex	10/02/2023	0:00	0:00	16:10	18:44	03:00	1	10	764	233	531
Sáb	11/02/2023	0:00	0:00	14:18	14:38	01:00	1	5	133	22	111
Dom	12/02/2023	10:08	10:55	0:00	0:00	01:00	1	4	418	0	418
Qua	15/02/2023	0:00	0:00	14:39	17:31	03:00	1	12	871	472	399
Sex	17/02/2023	0:00	0:00	17:02	18:03	02:00	1	6	701	141	560
S	20/02/2023	9:42	12:53	15:04	17:38	07:00	1	25	3 140	2 091	1 049
Qua	22/02/2023	0:00	0:00	16:43	18:48	03:00	1	12	1 295	0	1 295
Sex	24/02/2023	0:00	0:00	17:01	17:38	01:00	1	1	507	0	507
Qua	01/03/2023	0:00	0:00	16:06	18:55	03:00	1	9	1 481	362	1 119
Sex	03/03/2023	0:00	0:00	17:43	18:14	01:00	1	4	329	150	179
Sáb	04/03/2023	9:19	10:18	16:33	18:40	04:00	1	9	859	0	859
Sex	10/03/2023	0:00	0:00	17:14	18:29	02:00	1	4	1 426	489	937
Sex	24/03/2023	0:00	0:00	17:53	18:40	01:00	1	1	337	0	337
Dom	26/03/2023	10:57	12:45	0:00	0:00	02:00	1	12	462	0	462
Qua	29/03/2023	0:00	0:00	16:11	17:57	02:00	1	3	441	0	441
Seg	03/04/2023	10:11	10:14	0:00	0:00	01:00	1	1	33	0	33
Qui	06/04/2023	10:50	11:41	13:31	15:08	03:00	1	6	574	261	313
Qua	19/04/2023	0:00	0:00	14:29	17:14	03:00	1	16	1 079	186	893
Sex	21/04/2023	0:00	0:00	16:10	17:46	02:00	1	4	500	0	500
Qua	26/04/2023	0:00	0:00	16:09	17:43	02:00	1	3	494	0	494
Sex	28/04/2023	0:00	0:00	16:10	17:35	02:00	1	6	631	0	631
Sex	05/05/2023	0:00	0:00	16:40	17:41	02:00	1	2	376	79	297
Qua	10/05/2023	0:00	0:00	16:32	17:04	01:00	1	1	207	0	207
Sex	12/05/2023	9:13	9:35	16:47	17:51	03:00	1	6	759	0	759
Qua	17/05/2023	0:00	0:00	16:39	17:41	02:00	1	3	444	0	444
Sex	09/06/2023	0:00	0:00	16:59	18:02	02:00	1	1	397	0	397
Qua	28/06/2023	10:26	12:56	0:00	0:00	03:00	1	2	847	0	847
Sex	30/06/2023	9:11	10:52	17:16	17:22	03:00	1	2	709	0	709
Sáb	08/07/2023	8:59	9:33	0:00	0:00	01:00	1	3	292	0	292
Sex	21/07/2023	10:06	12:14	14:51	17:01	06:00	1	4	1 089	0	1 089
Ter	01/08/2023	10:20	11:34	15:43	16:54	04:00	1	3	957	0	957

Resumo - Dias ocupados: 38; Total de horas: 90:00; 227 conjuntos fotográficos

Tabela fonte para a Tabela 1, na dissertação

A5.4 Dados métricos / Modelo Quarteirão, versão #2

A5.4.1 Tabela de medições planimétricas

Local	Nome	Tipo	Ponto Inicial	Ponto Final	Medição	Cálculo RC	Diferença	Percent
Claustro Grande - Terraço	CG-CantoSO#1	Planimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaO	CG-Terraço-CantoSO-QuinaSO	2,525	2,526	0,001	0,04%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaN-Perim#m	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO	CG-Terraço-CantoNO-CtftN-Intern	4,940	4,943	0,003	0,06%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaO-Perim#m	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftO-Intern	CG-Terraço-CantoNO	4,970	4,981	0,011	0,22%
Claustro Grande - Terraço	CG-CantoNO#2	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftN	CG-Terraço-CantoNO	4,990	4,990	0,000	0,00%
Claustro Grande - Terraço	CG-CantoNO#1	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO	CG-Terraço-CantoNO-CtftO	5,015	5,009	-0,006	-0,12%
Claustro Grande - Terraço	CG-CantoSO#2	Planimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaSO	CG-Terraço-CantoSO-QuinaS	5,250	5,250	0,000	0,00%
Claustro Grande - Terraço	CG-CantoSO#3	Planimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaS	CG-Terraço-CantoSO-QuinaO	5,830	5,832	0,002	0,03%
Claustro Grande - Terraço	CG-CantoNO#3	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftN	CG-Terraço-CantoNO-CtftO	6,210	6,215	0,005	0,08%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaS-Perim#m	Planimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaS	CG-Terraço-AlaS	9,070	9,073	0,003	0,03%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaS-Perim#M	Planimétrica	CG-Terraço-AlaS	CG-Terraço-CantoSE	10,370	10,371	0,001	0,01%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaE-Perim#m	Planimétrica	CG-Terraço-AlaE	CG-Terraço-CantoSE	11,020	11,025	0,005	0,05%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaO-Perim#M	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftO-Intern	CG-Terraço-CantoSO-QuinaO	15,070	15,072	0,002	0,01%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaO	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftO	CG-Terraço-CantoSO-QuinaO	15,080	15,093	0,013	0,09%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaE-Perim#M	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNE	CG-Terraço-AlaE	16,000	16,003	0,003	0,02%
Claustro Grande - Terraço	CG-AlaN-Perim#M	Planimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftN-Intern	CG-Terraço-CantoNE	18,750	18,753	0,003	0,02%
Claustro Poço - Terraço	CP-AlaE-Perim	Planimétrica	CP-Terraço-CantoSEint	CP-Terraço-CantoNEint	7,000	7,002	0,002	0,03%
Claustro Poço - Terraço	CP-CantoSExCantoNE	Planimétrica	CP-Terraço-CantoNE	CP-Terraço-CantoSE	7,290	7,297	0,007	0,10%
Claustro Poço - Terraço	CP-CantoNExCantoSEint	Planimétrica	CP-Terraço-CantoSEint	CP-Terraço-CantoENEint	7,380	7,376	-0,004	-0,05%
Claustro Poço - Terraço	CP-CantoNExNCtft#2	Planimétrica	CP-Terraço-CantoNE	CP-Terraço-AlaN-Ctft#2	9,060	9,065	0,005	0,06%
Claustro Poço - Terraço	CP-CantoSExNCtft#2	Planimétrica	CP-Terraço-CantoSE	CP-Terraço-AlaN-Ctft#2	10,490	10,497	0,007	0,07%
Claustro Poço - Terraço	CP-AlaN-Perim	Planimétrica	CP-Terraço-CantoNOint	CP-Terraço-CantoENEint	18,880	18,872	-0,008	-0,04%

Continuação

Local	Nome	Tipo	Ponto Inicial	Ponto Final	Medição	Cálculo RC	Diferença	Percent
Pátio Jogos - Solo	PJ-EntreCampos-diag1	Planimétrica	PJ-VoleiS-CantoNE	PJ-Futebol-CantoNE	4,930	4,932	0,002	0,04%
Pátio Jogos - Solo	PJ-EntreCampos-diag2	Planimétrica	PJ-VoleiN-CantoSE	PJ-Futebol-CantoNE	6,220	6,227	0,007	0,11%
Pátio Jogos - Solo	PJ-VoleiS-larg	Planimétrica	PJ-VoleiS-CantoNE	PJ-VoleiS-CantoNO	8,900	8,893	-0,007	-0,08%
Pátio Jogos - Solo	PJ-VoleiN-larg	Planimétrica	PJ-VoleiN-CantoSE	PJ-VoleiN-CantoSO	8,900	8,896	-0,004	-0,04%
Pátio Jogos - Solo	PJ-EntreCampos-comp	Planimétrica	PJ-VoleiS-CantoNE	PJ-VoleiN-CantoSE	9,940	9,950	0,010	0,10%
Pátio Jogos - Solo	PJ-VoleiN-comp	Planimétrica	PJ-VoleiN-CantoSE	PJ_VoleiN-CantoNE	17,900	17,902	0,002	0,01%
Pátio Jogos - Solo	PJ-VoleiS-comp	Planimétrica	PJ-VoleiS-CantoSE	PJ-VoleiS-CantoNE	17,905	17,913	0,008	0,04%
Pátio Jogos - Solo	PJ-VoleiS-diag	Planimétrica	PJ-VoleiS-CantoSE	PJ-VoleiS-CantoNO	20,000	20,008	0,008	0,04%
Pátio Jogos - Solo	PJ-VoleiN-diag	Planimétrica	PJ-VoleiN-CantoSO	PJ_VoleiN-CantoNE	20,040	20,044	0,004	0,02%

A5.4.2 Tabela de medições altimétricas

Local	Nome	Tipo	Ponto Inicial	Ponto Final	Medição	Cálculo RC	Diferença	Percent
Claustro Grande - Solo	CG-CantoSOxCxPavSO#1	Altimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaS	CG-Solo-CaixaPavSO	9,020	9,028	0,008	0,09%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoSOxCxPavSO#2	Altimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaSO	CG-Solo-CaixaPavSO	9,190	9,192	0,002	0,02%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoNOxCxPavNO#2	Altimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftO	CG-Solo-CaixaPavNO	9,230	9,248	0,018	0,20%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoNOxCxPavNO#1	Altimétrica	CG-Terraço-CantoNO	CG-Solo-CaixaPavNO	9,600	9,618	0,018	0,19%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoNOxFonte#1	Altimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftO	CG-Solo-Fonte-CantoNO	14,320	14,352	0,032	0,22%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoNOxFonte#3	Altimétrica	CG-Terraço-CantoNO-CtftN	CG-Solo-CantoNO	14,770	14,797	0,027	0,18%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoSOxFonte#1	Altimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaSO	CG-Solo-Fonte-CantoNO	15,050	15,059	0,009	0,06%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoSOxFonte#2	Altimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaO	CG-Solo-Fonte-CantoNO	15,590	15,612	0,022	0,14%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoNOxFonte#2	Altimétrica	CG-Terraço-CantoNO	CG-Solo-Fonte-CantoNO	17,580	17,597	0,017	0,10%
Claustro Grande - Solo	CG-CantoSOxCxPavNO#1	Altimétrica	CG-Terraço-CantoSO-QuinaSO	CG-Solo-CaixaPavNO	19,250	19,273	0,023	0,12%

Continuação

Local	Nome	Tipo	Ponto Inicial	Ponto Final	Medição	Cálculo RC	Diferença	Percent
Claustro Poço - Solo	CP-AlaNxCalcada	Altimétrica	CP-Terraço-AlaN-Ctft#2	CP-Solo-PedraLacuna	11,450	11,474	0,024	0,21%
Claustro Poço - Solo	CP-CantoNExCxEsg	Altimétrica	CP-Terraço-CantoNE	CP-Solo-CxEsgoto	12,780	12,808	0,028	0,22%
Claustro Poço - Solo	CP-AlaNxCxAgua	Altimétrica	CP-Terraço-AlaN-Ctft#2	CP-Solo-CxAgua	12,830	12,872	0,042	0,33%
Claustro Poço - Solo	CP-CantoSExCalcada	Altimétrica	CP-Terraço-CantoSE	CP-Solo-PedraLacuna	13,050	13,057	0,007	0,05%
Claustro Poço - Solo	CP-CantoNExCalcada	Altimétrica	CP-Terraço-CantoNE	CP-Solo-PedraLacuna	13,250	13,211	-0,039	-0,29%
Claustro Poço - Solo	CP-CantoNOxCxAgua	Altimétrica	CP-Terraço-CantoNO	CP-Solo-CxAgua	13,670	13,691	0,021	0,15%
Claustro Poço - Solo	CP-AlaNxCxEsg	Altimétrica	CP-Terraço-AlaN-Ctft#2	CP-Solo-CxEsgoto	14,800	14,819	0,019	0,13%
Claustro Poço - Solo	CP-CantoSExCxAgua	Altimétrica	CP-Terraço-CantoSE	CP-Solo-CxAgua	15,950	15,977	0,027	0,17%
Claustro Poço - Solo	CP-CantoNExCxAgua	Altimétrica	CP-Terraço-CantoNE	CP-Solo-CxAgua	17,770	17,810	0,040	0,23%

Tabelas fonte para a Tabela 5, na dissertação