

Universidade Técnica de Lisboa

Faculdade de Arquitectura

2012

**CONTRIBUTOS PARA O PROJECTO DE
CONSERVAÇÃO, RESTAURO E REABILITAÇÃO**
UMA METODOLOGIA DOCUMENTAL BASEADA NA FOTOGRAMETRIA
DIGITAL E NO VARRIMENTO LASER 3D TERRESTRES

VOLUME I

(Tese elaborada para a obtenção do grau de Doutor em Arquitectura, na especialidade de Comunicação Visual)

Luís Miguel Cotrim Mateus

Orientador:

Professor Doutor José Manuel Aguiar Portela da Costa

Co-orientador:

Professor Doutor Juan José Fernández Martín

Constituição do júri

Presidente:

Reitor da Universidade Técnica de Lisboa

Vogais:

Doutor Jesús Ignacio San José Alonso, Professor Titular
Universidad de Valladolid

Doutor Juan José Fernandez Martín, Professor Titular
Universidad de Valladolid

Doutor José Manuel Aguiar Portela da Costa, Professor Associado
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Manuel Jorge Rodrigues Couceiro da Costa, Professor Associado
Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa

Doutor Vasco Nunes da Ponte Moreira Rato, Professor Auxiliar
Instituto Superior de Ciências do Trabalho e da Empresa – Instituto Universitário de Lisboa

Agradeço à família, aos amigos e a todos com quem me cruzei nesta aventura.

Um agradecimento especial ao Zé Aguiar e ao Juanjo.

Dedico este trabalho à Marta, ao João Luís e o Zé Pedro.

Esta tese de doutoramento inseriu-se no projecto de investigação financiando pela Fundação para a Ciência e Tecnologia: “Contributos para o Projecto de Conservação do Património Arquitectónico: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres”, com a referência PTDC/AUR/66476/2006.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Dependências e relações entre as acções mais específicas de caracterização do objecto arquitectónico (na coluna da direita) até ao conceito mais lato de salvaguarda (à esquerda).	43
Figura 2-2: Os modelos de análise do objecto.	51
Figura 2-3: Caracterização dos modelos de análise quanto ao tipo de documentação.....	55
Figura 2-4: Os níveis de detalhe do registo. Retirado de “Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places” [Let07].	86
Figura 2-5: As ferramentas tradicionais de registo e as ferramentas digitais de registo. Retirado de “Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places” [Let07].	87
Figura 2-6: Adequação dos métodos de levantamento em função da complexidade e dimensão dos objectos a registar.	89
Figura 2-7: Métodos de medição em função do rigor expectável e da dimensão do objecto.	92
Figura 2-8: Classificações dos métodos de levantamento.	93
Figura 2-9: Diagrama de síntese da metodologia para o planeamento e produção da documentação gráfica de base.	101
Figura 2-10: Fluxo decisório da avaliação da necessidade de proceder à documentação gráfica de base.	103
Figura 2-11: Classificação das metodologias documentais.	105
Figura 2-12: As fases da etapa de execução do registo e documentação gráfica de base.	107
Figura 3-1: O espectro electromagnético.	114
Figura 3-2: As componentes da cavidade ressonante.....	120
Figura 3-3: Os três tipos de onda: esférica, plana e gaussiana.....	121
Figura 3-4: Ilustração dos conceitos de pegada do laser e ângulo de divergência.	121
Figura 3-5: Esquemas de sensores do tipo CCD ou CMOS.....	131
Figura 3-6: Modelo da câmara pin-hole.....	137
Figura 3-7: Representação esquemática de uma câmara fotográfica digital.	138
Figura 3-8: Lente simples.	139
Figura 3-9: Distância focal de uma lente simples.	140
Figura 3-10: distância focal e plano focal.	140
Figura 3-11: Tipos de distorção radial de uma imagem fotográfica.	142
Figura 3-12: Noção de escala da imagem baseada no rácio entre uma medida na imagem e a medida homóloga no objecto.	148

Figura 3-13: Referencial fiducial da imagem fotográfica.....	153
Figura 3-14: Referencial espacial da imagem.	154
Figura 3-15: A condição de coplanaridade.	157
Figura 3-16: Orientação externa da câmara.	159
Figura 3-17: Rotação do referencial da imagem 2.....	161
Figura 3-18: Orientação relativa dependente.	163
Figura 3-19: Orientação absoluta do modelo.....	164
Figura 3-20: A produção do panorama plano.	167
Figura 3-21: A produção do panorama cilíndrico.	169
Figura 3-22: A produção do panorama esférico.	170
Figura 3-23: Rectificação de imagem.	172
Figura 3-24: Representação esquemática de um dispositivo de VL3DT.....	173
Figura 3-25: Representação esquemática de um dispositivo de VL3DT de tempo de voo.	175
Figura 3-26: Coordenadas polares.	176
Figura 3-27: Representação esquemática do princípio de modulação da onda.....	177
Figura 3-28: Representação esquemática de um scanner de triangulação.....	178
Figura 3-29: Orientação relativa de duas nuvens de pontos.	188
Figura 3-30: Exemplo de alvo para o VL3DT.	189
Figura 3-31: Efeito de contra-luz na fotografia.....	195
Figura 3-32: Relação entre o feixe laser e a superfície.	196
Figura 3-33: Configurações tipo de superfícies.	197
Figura 3-34: Efeito da cor na qualidade da nuvem de pontos.	198
Figura 3-35: Fluxo de trabalho típico da FDT.	201
Figura 3-36: Fluxo de trabalho típico do VL3DT.....	202
Figura 3-37: Nuvem de pontos.	212
Figura 3-38: Nuvem de pontos com mapeamento de reflectância.	212
Figura 3-39: Modelo mesh de uma escultura.	213
Figura 3-40: Modelo triangulado texturado [MFA*08].....	214
Figura 3-41: Modelo de linhas resultante da restituição fotogramétrica do Chafariz dos Canos.	216
Figura 3-42: Imagem original (à esquerda) e imagem rectificada (à direita).	217
Figura 3-43: Exemplo de fotomosaico rectificado.....	218
Figura 3-44: Orto-imagem associada a um corte. Castelo de Mota del Marques em Valladolid [MMR*10].	218

Figura 3-45: Orto-imagem de um exemplo de arte rupestre.....	219
Figura 3-46: Seccionamento do modelo 3D através de curvas de nível.....	219
Figura 3-47: Exemplo de um corte obtido a partir de orto-imagem de reflectância de VL3DT (Igreja do Convento do Sacramento em Lisboa).	220
Figura 3-48: Desenho com o levantamento do estado de conservação da abóbada da Igreja do Convento do Sacramento (cortesia da empresa de conservação InSittu).	223
Figura 3-49: Modelo de realidade virtual.	228
Figura 3-50: Sequência de animação da capela de São Frutuoso de Montélios [MFA*08].....	229
Figura 3-51: Sequência de imagens resultante da interacção com um panorama interactivo produzido a partir de imagem panorâmica de uma nuvem de pontos.....	229
Figura 3-52: Visualização da deformação por leitura directa dos desenhos 2D do levantamento. Tambor da abóbada da Igreja do Convento do Sacramento.	230
Figura 3-53: Seccionamento do modelo de nuvens de pontos da igreja de Villamorón em Burgos, Espanha (cortesia do Laboratório de Fotogrametria da Universidade de Valladolid) [FPF*07].	231
Figura 3-54: Exemplo de desenho elaborado para análise estratigráfica. Cerva Velha em Lisboa (cortesia 3D Total e Câmara Municipal de Lisboa).	232
Figura 3-55: Exemplo de desenho com a interpretação estratigráfica da calçada do Pátio dos Carrascos (cortesia Ana Carvalho Dias e Ana Vieira – Convento de Cristo, Tomar).	232
Figura 4-1: Princípio da rectificação.	240
Figura 4-2: Representação esquemática da intersecção de um feixe de planos verticais projectantes no plano da imagem.	243
Figura 4-3: O centro de projecções como intersecção de dois arcos capaz.	245
Figura 4-4: Imagem de captura de ecrã dos menus criados no AutoCAD (versão 2004).....	245
Figura 4-5: Vários planos obtidos por rectificação vectorial colocados na sua posição espacial relativa (Capela de São Frutuoso de Montélios) [MFK*08].	246
Figura 5-1: Comparação entre mapeamento sobre pontos (à esquerda) e mapeamento sobre superfície triangulada (à direita).....	261
Figura 5-2: Restituição à escala 1/50 (à esquerda) e restituição à escala 1/20 (à direita).	262
Figura 5-3: Efeito sobre as imagens, das oclusões nos dados tridimensionais do VL3DT.....	264
Figura 5-4: Efeito da descontinuidade do modelo sobre as secções produzidas nos modelos tridimensionais do VL3DT.	265
Figura 5-5: Desenhos do levantamento com anotações de correcções a efectuar. À esquerda: Nave Manuelina. À direita: Chafariz dos Canos.	268
Figura 5-6: Imagens dos veículos aéreos de baixa altitude utilizados. À direita: balão a hélio equipado com câmara fotográfica e emissor vídeo (propriedade FAUTL). À esquerda: avião teleguiado equipado com câmara fotográfica (propriedade Aeroperspectiva).....	268

Figura 5-7: Comparação entre modelo fotogramétrico automático (à esquerda) e modelo de nuvem de pontos (à direita).....	269
Figura 5-8: À esquerda: modelo de nuvens de pontos de VL3DT. À direita: modelo de nuvens de pontos fotogramétrico.....	269
Figura 5-9: Modelo tridimensional do Convento de Cristo produzido a partir de 195 imagens recolhidas a partir de avião controlado remotamente. Este modelo foi produzido pelo colega Victor Ferreira no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006, de que o autor da presente tese fez parte.	270
Figura 5-10: Modelo tridimensional do centro histórico da cidade de Tomar produzido a partir de 1154 imagens recolhidas a partir de balão a hélio controlado remotamente. Este modelo foi produzido pelo colega Victor Ferreira no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006, de que o autor da presente tese fez parte.....	270
Figura 5-11: Utilização da fotografia como suporte do registo de anomalias.	272
Figura 5-12: Imagem panorâmica do Pátio da Marinha (Terreiro do Paço).....	272
Figura 5-13: Alçado Sul da Ala Nascente do Terreiro do Paço.	274
Figura 5-14: Alçado métrico rectificado da fachada sul do Terreiro do Paço.	274
Figura 5-15: Rectificação vectorial do desenho do muro.....	275
Figura 5-16: Em cima à esquerda: Imagem panorâmica produzida com 14 fotografias. Em cima à direita: Rectificação vectorial de controlo para a rectificação de imagem. Em baixo: Imagem final rectificada.....	275
Figura 5-17: Utilização da fotografia como fonte complementar de informação no processo de restituição gráfica. Exemplo de utilização da rotina rectificador.lsp.	276
Figura 5-18: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP rectificador.lsp.....	276
Figura 5-19: Utilização da rotina Rectificador.lsp para rectificação vectorial de desenho efectuado sobre imagem panorâmica.	276
Figura 5-20: Imagens do modelo tridimensional de nuvens de pontos do Chafariz dos Canos extraídas através do processo de captura de ecrã.	278
Figura 5-21: Imagens de reflectância do modelo de nuvens de pontos da rua do Sol em que se podem observar vários níveis de profundidade devido à semi-transparência das nuvens de pontos.	279
Figura 5-22: Planta, em bruto, extraída do modelo de nuvens de pontos do Palácio de Valflores. O alinhamento marcado permitiu perceber o percurso da água e compreender alguns elementos aparentemente decorativos.	280
Figura 5-23: À esquerda: Visualização em corte da relação entre duas salas do Arco da Rua Augusta alinhadas verticalmente em que se percebe um espaço vazio entre elas. Em cima: Sobreposição em planta de imagens de nuvens de pontos que permite perceber a relação entre circulações verticais no Arco da Augusta. Em baixo: Visualização em corte da relação entre dois espaços adjacentes não comunicantes entre os Paços do Infante e o Claustro da Lavagem, no convento de Cristo.	280
Figura 5-24: Orto-imagem da Janela Manuelina do Convento de Cristo em Tomar.....	281

Figura 5-25: Análise da métrica da fachada sul do Palácio de Valflores. Os elementos assinalados a verde escapam à estrutura métrica geral.	282
Figura 5-26: Evolução do estudo da geometria da abóbada: a) análise das orto-imagens 2D, b) écura de estudo da relação geométrica entre as superfícies, c) notação das superfícies, d) comparação entre a solução gerada e o levantamento, e) análise da natureza das superfícies, f) modelação tridimensional da abóbada.	283
Figura 5-27: Modelação conjectural da estereotomia da abóbada do Arco da Rua Augusta. No entanto as juntas que se observam na parte inferior do modelo correspondem à realidade.	284
Figura 5-28: Análise métrica da geometria das molduras.	285
Figura 5-29: Modelação da abóbada (à esquerda), de intradorso de escadas (ao centro), de medalhão (à direita) como suporte do processo de medições.	286
Figura 5-30: Desenhos com o registo de observações de campo. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: Chafariz dos Canos, Terreiro do Paço, Nave Manuelina, Arco da Rua Augusta.	287
Figura 5-31: Aplicação das rotinas para cálculo de áreas e comprimentos médios	288
Figura 5-32: Aplicação das rotinas para cálculo de percentagens de incidência de anomalias.	288
Figura 5-33: Diferenças entre o registo das anomalias (à direita) e os padrões encontrados na orto-imagem fotográfica (à esquerda).	289
Figura 5-34: Diferenças entre o registo das anomalias (à esquerda) e os padrões encontrados nas imagens de inclinação (ao centro) e de reflectância (à direita).	290
Figura 5-35: Em cima à esquerda: imagem de reflectância (683nm). Em cima à direita: orto-imagem fotográfica. Em baixo à esquerda: mapa de profundidades em relação a um plano vertical (vermelho significa mais afastado do plano). Em baixo à direita: imagem de inclinação da superfície.	290
Figura 5-36: Análise visual da imagem de reflectância de infra-vermelho feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.	292
Figura 5-37: Análise visual da imagem de reflectância de vermelho (à direita) feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.	293
Figura 5-38: Cálculo do índice NDVI.	294
Figura 5-39: Análise em Componentes Principais (ACP).	295
Figura 5-40: Imagem do modelo BIM do projecto da nova cafeteria do convento de Cristo a localizar no Pátio dos Carrascos (modelo produzido no Departamento de Obras do IGESPAR pelo arquitecto Gustavo Dionísio).	296
Figura 6-1: Ilustração da metáfora “Pensar como um scanner”	302
Figura 6-2: Situações tipo na relação entre equipamento de varrimento e objecto.	307
Figura 6-3: A ideia da definição de um “esqueleto” estrutural de nuvens de pontos.	309
Figura 6-4: O planeamento da recolha fotográfica.	310
Figura 7-1: A natureza cíclica da Conservação.	313
Figura 7-2: A espiral do processo de aprendizagem no levantamento.	313

Figura 7-3: A combinação dos métodos de levantamento.....	314
Figura 0-1: A escala gráfica acompanha a ampliação ou redução da representação.	317
Figura 0-2: Duas representações do mesmo espaço com níveis de detalhe diferentes. À esquerda: nível de detalhe da escala 1/100. À direita: nível de detalhe da escala 1/50.	318

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Níveis de detalhe do levantamento. Adaptado de “Building in existing fabric” [CB07].	82
Tabela 2-2: Caracterização das formas de apresentação dos materiais finais.	110
Tabela 3-1: Resumo das medidas de controlo a adoptar em função das classes de segurança dos lasers.	129
Tabela 3-2: Cálculo da resolução espacial (SR), amostragem ao solo (GSD) e distância máxima à superfície a registar, em função da escala de impressão.	150
Tabela 3-3: Comparação entre câmaras fotográficas digitais.	152
Tabela 3-4: Comparação entre software fotogramétrico.	153
Tabela 3-5: Comparação entre equipamentos de VL3DT.	181
Tabela 3-6: Comparação entre equipamentos de VL3DT (continuação).	181
Tabela 3-7: Comparação entre software para processamento de nuvens de pontos.	183
Tabela 3-8: As regras 3X3 fotogramétricas (adaptado de “Metric Survey for Heritage Documentation” [BAB*03]).	204
Tabela 3-9: Tabela indicativa do desempenho da recolha de imagens, processamento e output em função da escala da representação (processamento fotogramétrico e ortofotográfico).	206
Tabela 3-10: Tabela indicativa do desempenho da recolha de imagens, processamento e output em função da escala da representação (processamento para rectificação de imagens).	207
Tabela 3-11: Tabela indicativa das densidades de pontos e precisões de medição em função da escala da representação.	207
Tabela 3-12: Tabela indicativa da qualidade da diferenciação em função da densidade dos pontos, tomando por referência um detalhe com a dimensão de 1 cm.	208
Tabela 5-1: Tabela de comparação de indicadores entre as várias sessões de VL.	255
Tabela 5-2: Indicadores de qualidade dos processos de orientação.	259
Tabela 5-3: Comparação de tempos de execução.	266
Tabela 5-4: Estudo da câmara fotográfica Olympus E-500.	273
Tabela 6-1: Vantagens e limitações das técnicas da FDT e do VL3DT.	305
Tabela 0-1: Tolerâncias de medição de acordo com a escala de representação. Tabela produzida como base no Manual do Engenheiro Topógrafo [CR03a] e no Manuale di rilevamento Architettonico e Urbano [MD05].	319

ÍNDICE

PARTE I

1. Introdução.....	21
1.1. Enquadramento geral	24
1.1.1. Os termos chave	24
1.1.1.1. Os conceitos de Conservação, Restauro e Reabilitação	25
1.1.1.2. A documentação gráfica de base em projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação.....	27
1.1.1.3. A Fotogrametria Digital Terrestre (FDT)	28
1.1.1.4. O Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT).....	28
1.1.1.5. A palavra metodologia	28
1.1.2. As lacunas identificadas.....	30
1.1.3. As questões e objectivos da investigação	31
1.2. Os dados.....	33
1.2.1. A unidade de análise.....	33
1.2.2. As unidades de observação e a amostra.....	33
1.2.3. A natureza e a origem dos dados	34
1.3. A metodologia	35
1.3.1. A estratégia da investigação	35
1.3.2. A aquisição de dados.....	37
1.3.3. A análise e processamento dos dados	37
1.3.4. Critérios de qualidade para a investigação	38
1.4. Resumo.....	39
2. A problemática da documentação gráfica de base no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação	41
2.1. O ciclo do projecto de Conservação.....	42
2.1.1. As fases da intervenção de Conservação	43
2.1.1.1. A consulta prévia	46
2.1.1.2. O projecto.....	47
2.1.1.3. A obra.....	53
2.1.1.4. A divulgação	54
2.1.2. Da descrição à interpretação	55

2.1.2.1.	Os modelos de análise	56
2.1.2.2.	Da descrição do objecto em função das análises a realizar	60
2.1.3.	Da produção da documentação gráfica descritiva.....	65
2.2.	Para a documentação gráfica: Princípios, Orientações e Especificações	68
2.2.1.	Princípios.....	69
2.2.2.	Orientações.....	80
2.2.2.1.	Entre os métodos tradicionais e os métodos digitais	80
2.2.2.2.	Referências institucionais	85
2.2.2.3.	Os métodos indirectos e a detecção remota	92
2.2.3.	Especificações	93
2.3.	Síntese	100
2.3.1.	O planeamento.....	101
2.3.1.1.	A identificação e contextualização do problema	101
2.3.1.2.	Definição de objectivos, imposição de critérios de desempenho para a informação a recolher, observação prévia de condicionantes.	103
2.3.1.3.	Definição da estratégia de documentação gráfica descritiva	104
2.3.2.	A produção da documentação gráfica descritiva	106
2.3.2.1.	Recolha de dados	108
2.3.2.2.	Processamento dos dados	108
2.3.2.3.	A apresentação dos materiais finais.....	109
2.4.	Conclusões.....	111
3.	Os métodos e os processos da Fotogrametria Digital Terrestre (FDT) e do Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT).....	113
3.1.	A radiação electromagnética, a luz e fenómenos associados	113
3.1.1.	A luz laser.....	116
3.1.1.1.	Conceitos relacionados com a luz <i>LASER</i>	117
3.1.1.2.	As classes de segurança dos sistemas laser	122
3.1.1.3.	A adopção de medidas de segurança	127
3.1.2.	Noção de sensor	129
3.1.2.1.	Sensor fotogramétrico.....	130
3.1.2.2.	Sensor laser 3D	132
3.2.	A Fotogrametria Digital Terrestre (FDT)	132
3.2.1.	Sistemas fotogramétricos digitais	136
3.2.1.1.	A câmara fotográfica.....	137
3.2.1.2.	Óptica do sistema fotográfico	138
3.2.1.3.	As imagens digitais 2D	144
3.2.1.4.	Geometria das imagens digitais	145

3.2.1.5.	Radiometria da imagem digital	145
3.2.1.6.	Resolução e escala da imagem digital	147
3.2.1.7.	Equipamentos de aquisição e processamento	151
3.2.2.	Referenciais geométricos.....	153
3.2.3.	Processos fotogramétricos.....	155
3.2.3.1.	Orientação interna	157
3.2.3.2.	Orientação externa	158
3.2.3.3.	Orientação relativa.....	160
3.2.3.4.	Orientação absoluta.....	163
3.2.3.5.	Os panoramas	165
3.2.3.6.	A rectificação	171
3.3.	O Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT).....	172
3.3.1.	Sistemas de VL3DT	173
3.3.1.1.	Sistemas de tempo de voo	174
3.3.1.2.	Sistemas de comparação de fase	176
3.3.1.3.	Sistemas de triangulação.....	178
3.3.1.4.	As nuvens de pontos 3D.....	179
3.3.1.5.	As imagens de reflectância resultantes do VL3DT.....	180
3.3.1.6.	Equipamentos de aquisição e processamento	180
3.3.2.	Referenciais geométricos.....	186
3.3.3.	Processos.....	186
3.3.3.1.	Orientação relativa.....	186
3.3.3.2.	Orientação externa	190
3.3.3.3.	Orientação absoluta.....	191
3.3.3.4.	Combinação da FDT com o VL3DT.....	192
3.4.	Factores que condicionam o desempenho da FDT e do VL3DT	194
3.4.1.	Fotogrametria.....	194
3.4.1.1.	A natureza dos objectos	194
3.4.1.2.	As condições atmosféricas	194
3.4.1.3.	A iluminação das cenas	194
3.4.2.	Varrimento laser 3D	195
3.4.2.1.	A divergência do feixe e a complexidade dos objectos.....	195
3.4.2.2.	A inclinação do feixe	197
3.4.2.3.	As características dos materiais	197
3.4.2.4.	A portabilidade e o tempo de varrimento.....	198
3.4.2.5.	As condições atmosféricas	199
3.5.	Fluxos de trabalho típicos da FDT e do VL3DT.....	199

3.6. Orientações e especificações para a fotogrametria e para o varrimento laser	203
3.7. Produtos usuais da FDT e do VL3DT	209
3.7.1. Produtos tridimensionais	210
3.7.1.1. Modelos de nuvens de pontos	211
3.7.1.2. Modelos de superfície: <i>mesh</i> e <i>nurbs</i>	212
3.7.1.3. Delineações 3D – Modelos <i>wireframe</i>	215
3.7.2. Produtos bidimensionais	216
3.7.2.1. Imagens rectificadas	216
3.7.2.2. Fotomosaicos	217
3.7.2.3. Orto-imagens	218
3.7.2.4. Plantas, cortes e alçados	219
3.7.3. Aplicações da FDT e do VL3DT em Conservação, Restauro e Reabilitação	221
3.8. Conclusões	232

PARTE II

4. Desenvolvimento de uma ferramenta fotogramétrica	237
4.1. Determinação de pontos de fuga	237
4.2. Rectificação vectorial	239
4.3. Determinação de ângulos entre planos verticais	243
4.4. Implementação	245
4.5. Aplicações	246
5. Análise cruzada dos casos de estudo	248
5.1. Do planeamento... ..	249
5.2. ... à execução do levantamento	254
5.2.1. A recolha de dados	255
5.2.2. O processamento dos dados	257
5.2.3. A produção dos materiais 2D	261
5.3. A complementaridade entre a FDT e o VL3DT	268
5.4. Do levantamento ao projecto	271
5.4.1. Os métodos fotogramétricos expeditos	271

5.4.2.	O VL3DT e a FDT como instrumentos de compreensão, análise e diagnóstico do objecto arquitectónico	277
5.4.2.1.	Para uma iconografia do VL3DT e da FDT	277
5.4.2.2.	As geometrias construtivas e conceptuais	281
5.4.3.	A análise material, construtiva e do estado de conservação.....	286
5.4.3.1.	Os produtos do levantamento como suporte de registo de análises	286
5.4.3.2.	Os produtos do levantamento como suporte de análises	287
5.4.3.3.	Do 3D ao 3D passando pelo 2D	296
6.	Proposta de metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres.....	297
6.1.	Para os utilizadores da documentação	298
6.2.	Para os produtores da documentação	300
6.2.1.	Para uma estratégia de planeamento.....	301
6.2.2.	...e execução.....	311
7.	Conclusões finais e perspectivas futuras.....	313
ANEXO 1 –	Alguns conceitos metrológicos.....	317

PARTE I

1. Introdução

Todos os objectos arquitectónicos antigos, independentemente de terem chegado aos nossos dias, tiveram um momento fundador. Ao longo da sua evolução enquanto objectos físicos tiveram adições, subtracções, modificações, todo o tipo de intervenções. Alguns desses objectos transformados chegaram aos nossos dias, outros não. Os que chegaram até nós fizeram-no, pois, sob a forma de realidade estratificada. Dito de outro modo, um objecto arquitectónico estratificado é a intersecção do momento presente com o objecto material multi-dimensional (dimensão espacial, dimensão material, dimensão temporal, dimensão vivencial presente). É o objecto enquanto documento directo passível de ser lido e interpretado.

A respeito do objecto material pode existir, e em geral existe, uma miríade de outros objectos que o documentam. Falamos de textos, gravuras, fotografias, levantamentos, projectos, relatórios de intervenções antigas, análises, relatos, vídeos, entre outros. Esta documentação ajuda-nos a compreender melhor o objecto sob análise (edifício) e podem atestar outras dimensões de existência do objecto arquitectónico (cultural, artística, histórica).

A intervenção de conservação deve, em primeiro lugar, procurar compreender o objecto de intervenção. Para isso pressupõe-se a análise do objecto concreto considerando, de forma proporcionada, a informação existente. É lugar comum, mas nunca é demais notar que intervenções excessivamente tecnicistas tenderão a incidir apenas sobre os aspectos materiais, porventura sem uma avaliação correcta de valores culturais, enquanto que intervenções mais historicistas poderão tender a impor leituras desadequadas do objecto real por não serem corroboradas pela sua materialidade.

O processo de compreensão do objecto arquitectónico implica a intervenção de uma grande variedade de especialistas de áreas distintas, desde a conservação, a arquitectura, a história, a arqueologia, a geologia, a topografia, a engenharia, entre muitas outras. É prerrogativa da intervenção do especialista que a ele cabe a descrição e interpretação do objecto na sua área específica. Naturalmente essa descrição e interpretação faz-se directamente confrontando o objecto e indirectamente através de suportes de análise. Estes podem ser de várias naturezas consoante as disciplinas envolvidas no processo de conservação (aqui entendido em sentido lato) mas, seguramente, em muitos casos são de natureza gráfica. Destes interessam-nos em particular os registos gráficos base, descritivos, do objecto, sobre os quais é, de alguma forma, cartografada a síntese gráfica dos processos de interpretação.

Assim, consoante o tipo de especialidade envolvida há um nível descritivo e interpretativo específico. Aos topógrafos e geómetras cabe a descrição e interpretação da geometria, aos arquitectos a descrição e interpretação das formas e dos espaços e sua significação, aos conservadores a descrição e interpretação das formas de degradação, aos arqueólogos a descrição e interpretação da cronologia do objecto, aos engenheiros a descrição e interpretação dos comportamentos estruturais. Estas componentes de descrição e interpretação acima referidas devem restringir-se o mais possível ao âmbito específico da área de especialidade em que são praticadas embora por vezes as fronteiras entre áreas se fundam um pouco. Para minimizar a interferência indesejada entre áreas disciplinares, mas potenciar a sua interrelação, é importante adoptar metodologias adequadas.

Em todo o processo é de notar que a informação é tratada por determinado especialista e depois é passada a outro que a tem de ler e utilizar como base para efectuar os estudos que lhe competem. E muitas vezes este processo não é linear. Isto significa que, de algum modo, todos são numa circunstância produtores de informação e noutra utilizadores o que implica um diálogo continuado entre os vários intervenientes sob pena de haver quebras comunicacionais no processo e por conseguinte a produção de informação ruidosa ou inútil. Em cada passagem de testemunho é necessário garantir o adequado nível de fiabilidade aos objectivos das análises e estudos a desenvolver na etapa seguinte. Naturalmente no início deste processo está a produção da documentação gráfica de base sobre a forma de suportes bidimensionais (por exemplo desenhos e fotografias) ou tridimensionais (por exemplo modelos virtuais, ou modelos reais, vulgo maquetes). Assim, este é o primeiro nível de especialidade a envolver no processo.

Equacionando um conjunto de questões do campo teórico e um conjunto de questões do campo da experiência prática, aprofundadas no decurso da nossa investigação, pensamos que as técnicas da fotogrametria digital terrestre (FDT) e do varrimento laser 3D terrestre (VL3DT) permitem dar resposta à generalidade dos problemas de documentação gráfica inerentes ao processo do projecto arquitectónico em contexto de Conservação, Restauro e Reabilitação, e que para além disso colocam à disposição dos projectistas um conjunto de instrumentos de análise e compreensão do objecto arquitectónico que de outro modo seriam inviáveis ou pelo menos mais difíceis de obter. Por isso entendemos que poderá fazer sentido falar de uma metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT no contexto da documentação gráfica no processo de projecto de Conservação da Arquitectura, entendida em sentido lato, e faz sentido procurar os termos que devem estruturar tal metodologia.

Note-se que em alguns casos esta documentação pode ser produzida por agentes não especializados na área específica da topografia como é o caso dos arquitectos ou dos conservadores mas tal não é praticável na maior parte das vezes, e não o dizemos com

sentido pejorativo. Note-se que a ciência e a arte da representação envolve um conjunto de conhecimentos, técnicas e instrumentos próprios que, porventura, não estão ao seu alcance. Em todo o caso o contexto em que estes agentes podem ser auto-suficientes, adoptando metodologias expeditas de documentação, também nos interessa e é matéria de estudo.

Assim, a nossa tese pretende ser, sobretudo, um contributo metodológico, mas também empírico, para o processo da documentação gráfica em Conservação da Arquitectura.

Deste modo, entendemos que a nossa investigação apresenta interesse sob vários pontos de vista: científico, público e também, porque não admiti-lo, comercial.

Tem interesse científico porque: i) trata de temas actuais, com perspectivas de evolução futura, tratados por comunidades científicas activas, como é o caso do Comité Internacional dos Monumentos e Sítios (ICOMOS), do Comité Internacional para a Documentação do Património (CIPA), da Sociedade Internacional da Fotogrametria e Detecção Remota (ISPRS), ii) contribui para o enriquecimento científico da área da arquitectura, da conservação e da área da representação gráfica, dando contributos para estas áreas específicas.

Tem interesse público porque: i) contribui para a melhoria dos processos de intervenção em conservação, ajudando a melhorar a sua eficiência, ii) pode levar a processos de intervenção mais informados, mais consistentes e mais conscientes sobre o património construído, o que contribuirá para que mais valores patrimoniais sejam preservados e colocados em evidência.

Na consciência que é na fronteira entre os vários campos disciplinares que se encontram as maiores oportunidades de trabalho e intervenção, também esta investigação tem um interesse que podemos designar por comercial na medida em que contribui para o alargar das pontes entre as áreas da arquitectura, da conservação, da fotogrametria, do varrimento laser, isto é, produtores e utilizadores de documentação gráfica que devem compreender-se mutuamente e operar de forma integrada. Alargando as pontes, abre espaços na confluência destas várias áreas que podem gerar oportunidades de trabalho.

A nossa motivação deriva em parte destas declarações de interesse e também, como não poderia deixar de ser, com a identificação pessoal pelos temas a abordar, e pelo desejo de aprofundar conhecimentos na área da documentação gráfica da arquitectura na área patrimonial.

A credibilidade que cremos que a nossa investigação tem deriva, em nossa opinião, dos seguintes factos: i) de se inserir num contexto activo cientificamente, ii) de ter sido testada na prática com sucesso em processos concretos de Conservação através da colaboração com várias entidades públicas e privadas, iii) de ter sido sujeita, em várias fases, à avaliação pelos pares, através da participação em conferências científicas, iv) de ter

criado oportunidades de divulgação através de comunicações em vários contextos académicos e de sociedade civil, v) de ter contado com a interlocução com vários especialistas em vários momentos quer em contexto prático quer em contexto de formação, vi) ter dado origem a um projecto de investigação multidisciplinar sediado na Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FAUTL) financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), e envolvendo a Universidade do Minho, a Universidade de Coimbra, o IGESPAR e a Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidade de Valladolid (ETSA-UVA), (referência FCT:PTDC/AUR/66476¹), e vii) ter dado origem a um grupo de investigação temporário no Centro de Investigação em Arquitectura, Urbanismo e Design (CIAUD) da FAUTL, designado “ArchC_3D: Documentação e Estudos de Conservação e Restauro”. Acresce a isto o capital intelectual e material adquirido.

Vamos, então, estruturar este capítulo introdutório triangulando três aspectos sobre os quais se funda a nossa investigação: i) os aspectos de enquadramento teórico, ii) os aspectos relativos aos dados utilizados, e iii) os aspectos relativos à metodologia de trabalho seguida.

1.1. Enquadramento geral

Neste ponto, abordaremos os aspectos relativos ao enquadramento teórico. Primeiro definiremos os termos chave que identificam e posicionam a nossa investigação em termos de área científica. Procuramos centralizar e focar a nossa investigação na área de concorrência entre as palavras-chave que abaixo definimos.

Identificamos as lacunas do conhecimento que justificam as nossas questões de investigação. Por fim exporemos a lógica e a metodologia da nossa investigação.

1.1.1. Os termos chave

A nossa investigação centra-se na área de concorrência de três palavras-chave: i) a documentação gráfica de base no projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação, ii) fotogrametria digital terrestre (doravante designada por FDT), e iii) varrimento laser 3D terrestre (doravante designado por VL3DT).

Procuraremos de seguida definir os conceitos inerentes às palavras-chave que considerámos.

¹ Site do projecto ArchC_3D: (<http://archc3d.fa.utl.pt/archc3d.html>)

1.1.1.1. Os conceitos de Conservação, Restauro e Reabilitação

Em “A cor e cidade Histórica” [Agu02] faz-se uma leitura sobre a evolução destes conceitos mostrando-se que o mesmo conceito base não teve sempre um entendimento constante, assumiu várias interpretações ao longo da História e deu origem a novos conceitos e terminologia. Faz-se remontar o termo conservação a uma tradição anglo-saxónica e o termo restauro a uma tradição mais continental embora ambos resultantes de uma mesma evolução histórica europeia. O autor nota que é esta divisão que desencadeia toda uma série de discussões conceptuais e filosóficas que se prolongam até aos nossos dias resultando num enriquecimento do léxico subjacente à disciplina da conservação arquitectónica. O termo reabilitação terá ganho significado no contexto da intervenção em tecido habitacional referindo-se à dotação de condições de habitabilidade decorrentes de exigências dadas por padrões mais elevados, passando a ser usado de forma sistemática a partir da Declaração de Amesterdão de 1975 [Agu02].

Os termos conservação, restauro e reabilitação são de utilização comum quando se fala de intervenção em património construído. Contudo cada um deles pode ser considerado como englobando um conjunto mais detalhado de conceitos que também significam acções de intervenção. A categorização e hierarquização dos conceitos varia de autor para autor.

Segundo Henriques [Hen91], o termo conservação deve ser utilizado para designar todo o tipo de acções que se destinam a prolongar o tempo de vida de um qualquer edifício histórico construído. É considerado como um termo com um significado amplo que pode incluir vários conceitos como: manutenção, reparação, restauro, reabilitação e reconstrução. Estes conceitos definem uma hierarquia em que as acções concretas sobre o edificado se vão assumindo como mais intrusivas. Assim a manutenção é entendida como o conjunto de acções de carácter preventivo destinadas a manter o bom funcionamento; reparação é o conjunto de acções destinadas a corrigir e eliminar eventuais anomalias; restauro é o conjunto de acções que visa o restabelecimento de uma unidade da edificação; a reabilitação é o conjunto de acções que visa aumentar os níveis de qualidade de um edifício de modo a que ele se adapte a padrões mais elevados; e reconstrução corresponde, na perspectiva deste autor, ao acto de reconstruir de novo uma edificação ou parte dela.

Para Pereira [Per03] devem considerar-se dois grandes grupos de conceitos que organizam o léxico relativo às intervenções no património construído. Deverão considerar-se os conceitos de protecção/salvaguarda e intervenção. O primeiro corresponde, em sentido lato, a um conjunto de acções que implicam a intervenção sobre a matéria histórica construída com vista a assegurar a sua existência futura, e o segundo corresponde a um conjunto de acções que implicam, de uma forma mais ou menos intensa, alterações do existente. Como conceitos integrados no termo protecção/salvaguarda considera:

manutenção, conservação/preservação, reparação, consolidação. Como conceitos integrados no termo intervenção considera: restauro, renovação, reconstrução/reedificação, reabilitação, translocação, remodelação, ampliação, e reinterpretação. De acordo com este autor, a manutenção corresponde às acções destinadas a manter o bom funcionamento do edifício; a conservação corresponde a retardar o processo de degradação do edifício; a reparação consiste na eliminação de pequenos danos técnicos; a consolidação trata do reforço da capacidade de suporte de materiais ou estruturas; o restauro corresponde a restituir um estado anterior; o preenchimento de lacunas pode ser incluído no conceito de restauro e consiste em restituir a integridade física original através do completamento de uma parte perdida; a renovação corresponde a um tratamento de superfícies de modo a repor as suas qualidades estéticas; a reconstrução ou reedificação corresponde a construir novamente um edifício ou parte de um edifício em substituição de um desaparecido podendo incluir a cópia, a reconstituição e a anastilose; a reabilitação corresponde a dotar um edifício ou conjunto de qualidades de habitabilidade ditadas por padrões mais elevados e actuais; a translocação corresponde à desmontagem, transporte e remontagem de um edifício ou parte num lugar diferente do original; a remodelação corresponde a um conjunto de acções que resultam na alteração da forma; a ampliação consiste na adição à substância histórica; e a reinterpretação consiste na reformulação de elementos históricos como base de um projecto para obra de reconstrução ou ampliação.

Há ainda a possibilidade de categorizar os conceitos em dois grupos: o restauro e a remodelação de acordo com o facto de não haver, ou haver, lugar à criação (modelação) arquitectónica.

Em suma, tanto o termo conservação como o termo restauro podem servir para designar um corpo teórico sobre a intervenção em património podendo inclusivamente ser utilizados em simultâneo, por exemplo para designar um corpo teórico sobre a intervenção em Património – Teoria da Conservação e Restauro.

Contudo, em contexto de intervenção sobre as construções antigas é comum utilizá-los não como definidores de um corpo teórico mas designando tipos ou modelos de intervenção, ainda que sobre eles possa recair uma subdivisão mais detalhada. Assim a conservação corresponde a um conjunto de acções que visam a manutenção da substância histórica sem introduzir matéria nova e o restauro implica o retorno a um estado anterior o que se traduz necessariamente por alterações dessa mesma matéria. Nesta perspectiva, no extremo oposto à conservação encontra-se a reabilitação, situação em que a alteração da substância histórica pode ser mais significativa. A utilização destes termos no presente trabalho, salvo explicitamente expresso de outra forma, refere-se sobretudo à sua condição de designação de modelos de intervenção sobre a arquitectura construída.

1.1.1.2. A documentação gráfica de base em projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação

A documentação gráfica é aquela que apela ao raciocínio visual, isto é, o raciocínio que faz essencialmente uso essencial da informação visual.

A informação visual é constituída por linhas, figuras geométricas, manchas, cores, em suportes reais ou virtuais, isto é, desenhos (em sentido lato), que permitem a elaboração de raciocínios, conjecturas, interpretações, mais ou menos aprofundadas consoante o nível de formação de quem a utiliza. Várias são as disciplinas que fazem uso de informação deste tipo. A Arquitectura e a Conservação são, obviamente, duas delas.

A documentação gráfica base é sempre obtida por um qualquer processo de levantamento do objecto real. Os processos de levantamento do real não são lineares. As representações da realidade, sob a forma de levantamentos, permitem aos agentes que as utilizam, criar imagens mentais acerca da realidade. Isto é, servem de intermediários entre o objecto e o agente, seja ele qual for. Essas imagens mentais complementam aquelas que também podem ser produzidas pela observação directa do objecto real [Ant04]. E ambas contribuem para fazer um juízo sobre a realidade que legitimará, em última instância, as opções de intervenção a realizar. As representações do real podem ser mais ou menos realistas, mais ou menos abstractas, mais ou menos esquemáticas. Seja como for, pressupõe-se sempre uma intenção de comunicar determinado aspecto que se entende como mais relevante.

Esta dupla leitura do objecto arquitectónico, directa ou através de representações, permite o entendimento dos vários momentos da vida do objecto, das alterações que sofreu, das tecnologias e materiais utilizados, dos materiais, das anomalias, da história.

A documentação gráfica nunca é completamente objectiva, podendo mesmo traduzir influências doutrinárias da sua época, e traduz seguramente a panóplia tecnológica e instrumental disponível para a sua produção.

É ainda, e sobretudo, um instrumento vital e incontornável para a análise e planeamento de acções que visam a intervenção física sobre o objecto arquitectónico construído. Também neste aspecto contribuirá para a transmissão de conhecimento às gerações que no futuro tiverem que lidar com o objecto intervencionado no presente.

A documentação gráfica do património arquitectónico construído, nas suas diversas formas, corresponderá ela própria a uma forma de salvaguarda na medida em que procurar representar ou interpretar um estado em que se encontra um objecto num determinado instante ou intervalo temporal.

Na sua dimensão objectual, a documentação gráfica tem assim um triplo carácter de salvaguarda: i) preservação da memória do objecto, ii) preservação da memória tecnológica e doutrinária da época, e iii) suporte de análises e de planeamento de acções.

1.1.1.3. A Fotogrametria Digital Terrestre (FDT)

A fotogrametria é a ciência, e também a arte, que estuda os processos pelos quais se pode derivar informação, em geral métrica, sobre um objecto através de medições efectuadas em fotografias do objecto. A tarefa fundamental da fotogrametria é estabelecer de forma rigorosa a relação geométrica entre a fotografia e o objecto no momento em que esta foi obtida [MBM01].

A fotogrametria digital terrestre (FDT) cumpre o seu objecto utilizando imagens digitais.

1.1.1.4. O Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT)

O varrimento laser 3D (VL3D) pode ser descrito como um processo que utiliza a luz laser, com uma cadência muito elevada, para efectuar a medição de uma cena tridimensional. Um equipamento de VL3D (*scanner* laser 3D) pode ser sumariamente descrito como um instrumento que utiliza a luz laser para medir as coordenadas tridimensionais de um objecto ou conjunto de objectos de forma automática, numa ordem sistemática e com uma cadência regular muito elevada, quase em tempo real [MB06].

Não existe apenas uma tecnologia de VL3D.

Por um lado podemos dividi-la em aérea e terrestre, consoante seja aplicada a partir de uma plataforma aérea em movimento (por exemplo um avião) ou aplicada a partir de uma plataforma terrestre situada ao nível do chão (por exemplo sobre um tripé). Esta é uma divisão muito geral e na verdade as fronteiras não são assim tão nítidas. Para efeitos da nossa exposição interessa-nos considerar apenas o caso terrestre em plataformas estáticas. Note-se que também no caso terrestre é possível considerar plataformas móveis como sejam veículos automóveis, contudo o processamento, nestes casos, está mais próximo do varrimento laser aéreo.

1.1.1.5. A palavra metodologia

Há ainda um termo que está incluído no título da nossa tese e que ainda não definimos. Trata-se do termo metodologia. O termo metodologia está intimamente relacionado com o termo método e este com os termos técnica e processo.

Uma definição comum de método diz-nos que “é o processo racional para chegar a um fim; uma maneira ordenada de fazer as coisas; (...)”², “um modo de fazer, (...), segundo determinados princípios e seguindo determinada ordem; (...); um processo para chegar ao

² In dicionário da língua portuguesa da Porto Editora, 1984

conhecimento real das coisas de maneira racional”³. Nas mesmas fontes encontramos definições para a palavra metodologia. Assim metodologia é “a parte da lógica que estuda os métodos das diversas ciências, (...); arte de dirigir o espírito na investigação da verdade; (...)”⁴ ou o que “permite a compreensão dos métodos e técnicas utilizados para se atingir o conhecimento da realidade objectiva”⁵, isto é, a “metodologia refere-se ao uso particular de um ou mais métodos e ao quadro teórico que informa o seu uso”⁶. Poderemos em certa medida dizer que a metodologia é um mapa geral de opções e enquadramento enquanto que a estratégia corresponde a uma concretização dessas opções o que implica a escolha de métodos e técnicas específicos.

Edgar Morin [Mor86] na sua obra “O método” coloca em relevo que metodologia e método não devem ser confundidas embora sejam conceitos relacionados. Diz-nos que “as metodologias são guias *a priori* que programam as investigações, ao passo que método (...) será um auxiliar da estratégia”. Isto é, a metodologia serve-nos para planear a investigação, estabelece critérios gerais, informa sobre os métodos e técnicas disponíveis, em suma, é o que permite montar a estratégia para abordar um dado problema de investigação. Nesta óptica os métodos vão servir directamente a estratégia montada e a necessidade da sua escolha é um dos passos da metodologia. Por outro lado também nos diz que a estratégia, na medida em que comportar “segmentos programados”, comporta “segmentos metodológicos”. Assim, a estratégia é a metodologia tornada operativa. Assim sendo, conclui-se que a metodologia, embora derivando dos métodos, vem obrigatoriamente antes deles na prática, uma vez que é o que pode informar sobre aqueles. E a aplicação dos métodos é o que permite a concretização da estratégia.

O nosso ponto de partida é o quadro metodológico da área da Conservação, Restauro e Reabilitação no que implica a produção da documentação gráfica de base resultante de processos de levantamento. É a partir desta implicação que desenharemos as nossas estratégias de documentação em contextos variados, procuraremos avaliar o impacto no quadro metodológico base e extrairemos um conjunto de termos metodológicos com o objectivo de formular um quadro metodológico específico do tipo de estratégias que estamos a considerar, isto é, com o objectivo de formular, ou pelo menos propor recomendações, para uma metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT.

³ In Nova Enciclopédia Portuguesa, Vol 17, Ediclube, 1981

⁴ In dicionário da língua portuguesa da Porto Editora, 1984

⁵ In Nova Enciclopédia Portuguesa, Vol 17, Ediclube, 1981

⁶ In Encyclopedia of Case Study, Vol I, 2010

É também neste sentido que entendemos o termo metodologia e é com este sentido que falamos de metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT, isto é, de estratégias documentais concretizáveis pelos métodos da FDT e do VL3DT, embora também nos interesse considerar a concretização da estratégia, isto é, considerar os aspectos operativos concretos da aplicação dos métodos ao serviço da estratégia. Pensamos que este é um modo de avaliar a validade das estratégias.

1.1.2. As lacunas identificadas

Neste ponto fazemos alguma antecipação em relação ao que nos referiremos no ponto 2.2 – Para a documentação gráfica: Princípios, Orientações e Especificações.

Na Assembleia-Geral da International Society of Photogrammetry and remote Sensing (ISPRS) de 2008 fizeram-se as seguintes recomendações

i) Recomendação de que sejam feitos esforços no sentido de discutir os aspectos que versam sobre a complementaridade das nuvens de pontos e das imagens bidimensionais bem como os aspectos que dizem respeito ao rigor dos sistemas de varrimento laser 3D

ii) Recomendação para o desenvolvimento de tecnologias e produtos inovadores para suportar as actividades da arqueologia, da arquitectura e da conservação através do uso da modelação 3D, da realidade virtual e animação.

Na carta de Londres⁷ nota-se:

i) Releva que a adopção das formas de visualização informática podem ser tecnicamente e intelectualmente tão rigorosas como quaisquer outras técnicas, e que esta forma de documentar constitui uma mais valia em muitos casos e permite o acesso a um tipo de acesso à informação não viável por outros meios, embora não se deva assumir sempre que esta é a estratégia mais adequada.

ii) Recomendação que as estratégias de documentação devem considerar mecanismos de avaliação e comparação entre as diversas modalidades adoptadas de modo a detectar eventuais problemas e limitações.

iii) Recomendação de que um método documental deve ser tornado o mais compreensível possível para uma dada comunidade se para ela for menos comum.

Os aspectos que acabámos de colocar em relevo tocam em questões de princípio e permitem-nos identificar vários níveis de lacunas do conhecimento de diversas naturezas: teóricas, empíricas e metodológicas.

⁷ A carta de Londres trata de um conjunto de princípios observar na visualização informática do Património Cultural (<http://www.londoncharter.org/>)

Não podendo naturalmente pretender resolver todas estas lacunas, pretendemos debruçar-nos sobre os aspectos metodológicos da produção de documentação gráfica de base para Conservação, Restauro e Reabilitação produzida por processos de levantamento não intrusivos como a FDT e o VL3DT, não deixando de colocar algum enfoque na sua divulgação dirigida à comunidade dos arquitectos e conservadores, e não deixando de considerar contributos teóricos ou empíricos que, cremos, também o nosso trabalho traz.

1.1.3. As questões e objectivos da investigação

A nossa hipótese de trabalho resulta de um conjunto de três premissas que derivam directamente das lacunas identificadas no ponto anterior:

i) As técnicas da FDT e do VL3DT, nas suas vertentes operativas, são ainda relativamente desconhecidas por parte da comunidade dos agentes que intervêm na salvaguarda do património construído, em particular os arquitectos, conservadores e arqueólogos, pese embora o facto de tenderem a tornar-se cada vez mais usadas. Como novas disciplinas, ou como disciplinas com desenvolvimentos recentes, carecerão de enquadramento metodológico, sob pena de serem encaradas como uma espécie de caixa negra que permite obter determinados resultados mas cujos processos permanecem mais ou menos obscuros e, por isso, mais difíceis de aceitar.

ii) No campo da aplicação das técnicas da FDT e do VL3DT em Conservação, Restauro e Reabilitação, há lugar para o desenvolvimento de procedimentos e produtos inovadores bem como de melhoramento de procedimentos existentes.

iii) a FDT e o VL3DT permitem dar resposta à generalidade dos problemas da produção da documentação gráfica descritiva de base encontrados no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação, pelo que eventualmente se pode antecipar o desenvolvimento de um novo paradigma no campo da documentação dos edifícios antigos e/ou patrimoniais com repercussões nos processos de análise e interpretação de que deriva a documentação de síntese que apoia as tomadas de decisão.

As premissas da nossa hipótese de trabalho levam-nos directamente às nossas questões de investigação:

i) Como é que as técnicas da FDT e do VL3DT permitem produzir de forma mais eficiente o mesmo tipo de suportes que são usualmente produzidos através da adopção de técnicas tradicionais?

ii) Que tipo de produtos e procedimentos inovadores e úteis para os processos de análise e diagnóstico em Conservação podem derivar da aplicação da FDT e do VL3DT e como é que são conseguidos?

iii) É possível considerar uma metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT, aplicada à produção da generalidade da documentação gráfica descritiva de base no

processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação? E definir a que termos deve obedecer, e quando, onde e como pode e deve ser aplicada?

Com efeito não se trata de questões isoladas e sem relação entre si podendo ser consideradas faces da mesma questão.

Estas questões implicam naturalmente um conjunto de objectivos com naturezas distintas.

As questões do tipo “Como” implicam objectivos descritivos.

As questões do tipo “O quê” implicam objectivos de identificação.

As questões do tipo “Quando” implicam objectivos preditivos.

As questões do tipo “Onde” implicam objectivos explicativos.

Concretizando para as questões colocadas podemos então definir como objectivos da nossa tese os seguintes:

i) Descrever os procedimentos próprios da FDT e do VL3DT que estão na base da produção dos produtos clássicos da documentação gráfica descritiva (plantas, cortes, alçados, imagens rectificadas, ortoimagens) relevando os aspectos distintivos em relação aos procedimentos ditos tradicionais ou clássicos.

ii) Propor produtos e procedimentos inovadores da FDT e do VL3DT úteis para os processos de análise e diagnóstico em Conservação e descrever os seus processos de produção.

ii) Identificar e descrever os termos que devem caracterizar uma metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT, como contributo para o projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação, e sistematizar as condições da sua aplicabilidade (quando e onde).

Ao definir uma hipótese de trabalho multifacetada, o que resulta em mais que uma questão de investigação e mais que um objectivo, corre-se naturalmente o risco de não se conseguir aprofundar os vários aspectos a que nos propomos. Contudo esse é um risco calculado e assumido na medida em que não pretendemos dar respostas fechadas aos problemas que apresentamos. Por outro lado pretendemos estar sensíveis e atentos ao desenvolvimento da investigação no sentido de identificar oportunidades que não detectámos à partida, isto é, pretendemos estar atentos a possibilidades de relações interdisciplinares que não prevemos à partida e que podem revelar-se frutíferas.

O entendimento e a justificação das questões e objectivos propostos clarificar-se-á com o desenvolvimento dos capítulos 2 – A problemática da documentação gráfica de base no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação, e 3 – Os métodos e os processos da Fotogrametria Digital Terrestre (FDT) e do Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT), em que se fará a revisão da literatura e o estado da arte.

1.2. Os dados

Qualquer processo de investigação pressupõe um conjunto de dados, que podem assumir características diversificadas, que devem ser primeiramente recolhidos, e de seguida devem ser de alguma forma analisados, processados e/ou interpretados no sentido de conduzir a conclusões. Neste ponto procuraremos colocar em evidência que dados foram os nossos, qual a sua natureza e origem.

1.2.1. A unidade de análise

A nossa análise centra-se no processo da produção e utilização da documentação gráfica oriunda da FDT e VL3DT em contexto afim do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação. Naturalmente, assim definida a nossa unidade de análise central, assume-se um carácter abstracto que implica uma impossibilidade de tratamento directo sem que este processo se consubstancie em processos de documentação reais.

1.2.2. As unidades de observação e a amostra

Com efeito, as unidades observadas, isto é, aquelas sobre as quais recolhemos dados concretos, foram processos de documentação reais.

Idealmente, esses processos começam, num extremo, com a expressão ou identificação de necessidades documentais associadas a intenções de intervenção em edifícios e terminam, no outro extremo, com a utilização dessa informação no contexto do projecto de Conservação, Restauro ou Reabilitação. Pelo meio encontram-se todas as etapas de planeamento e de produção. É sobre estes processos concretos, que eventualmente podem não estar completos, ou em relação aos quais pode haver nuances, que recolhemos os nossos dados para análise.

Quando dizemos que pode haver nuances, estamos a considerar que no decurso desses processos pode ter sido identificada a necessidade de abordar um problema concreto fora do foro metodológico, cuja resolução se constitui mais como contributo empírico ou até mesmo teórico, embora também possa contribuir para a questão metodológica. Voltamos a salientar que estes contributos correspondem ao que identificámos em 1.1.3 como “possibilidades de relações interdisciplinares que não prevemos à partida”, de acordo com o segundo objectivo de investigação. Ou dito de outra forma, oportunidades que vislumbrámos serem possíveis em abstracto mas não definidas à partida. Estamos a referir-nos em concreto ao que acabou por resultar no desenvolvimento de uma ferramenta fotogramétrica elementar e à aplicação das técnicas de processamento de imagem à análise e diagnóstico de superfícies arquitectónicas utilizando múltiplas imagens de reflectância de VL3DT.

Listamos de seguida os processos documentais que constituíram a amostra sobre a qual recolhemos, analisámos e processámos os nossos dados:

A.1. Levantamento da fachada principal da Igreja Matriz de São João da Talha, Concelho de Loures.

A.2. Levantamento da fachada principal e perímetro da Igreja Matriz de Santa Iria de Azóia, Loures.

A.3. Levantamento do muro do Hospital de St. Louis, Lisboa.

A.4. Levantamento das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço, Lisboa.

A.5. Levantamento do Chafariz dos Canos, Torres Vedras.

A.6. Restituição gráfica do levantamento de edifício do século XIX na Rua do Sol, Lisboa.

A.7. Levantamento do Palácio e Quinta de Valflores, Loures.

A.8. Levantamento dos Paços do Infante e Pátio dos Carrascos, Convento de Cristo, Tomar.

A.9. Levantamento do exterior da Nave Manuelina, Convento de Cristo, Tomar.

A.10. Levantamento do Arco da Rua Augusta, Lisboa.

Sendo constituída apenas por 10 casos de estudo, não pretendemos que a nossa investigação tenha uma validade estatística, porém pensamos que alguma generalização pode ser feita no sentido de caracterizar um conjunto de orientações metodológicas.

Estes casos de estudo serão individualmente tratados no volume II desta tese e serão analisados em conjunto no ponto 5 deste volume.

1.2.3. A natureza e a origem dos dados

A definição dos nossos dados não é um processo linear.

Uma primeira categoria de dados consiste em fotografias, orto-imagens, nuvens de pontos de VL3DT, nuvens de pontos de apoios topográficos, medições variadas.

Alguns destes dados são apenas quantitativos (as medições e as nuvens de pontos de apoios topográficos) mas outros (as fotografias, as orto-imagens e as nuvens de pontos de VL3DT) assumem a dupla natureza qualitativo/quantitativo, sendo que por dados quantitativos se entendem aqueles que se expressam através de números. Quantitativos porque podem ser expressos e tratados numericamente. Qualitativos porque ilustram condições, qualidades, aspectos semânticos, quando encarados apenas na sua dimensão visual que também é aspecto sob análise. No contexto da nossa investigação ambas as dimensões são relevantes. Esta primeira categoria de dados corresponde àqueles que permitem operacionalizar cada um dos processos de documentação e são recolhidos em campo através de instrumentação variada (câmaras fotográficas e scanners de varrimento laser). Podem ser primários (as nuvens de pontos e as fotografias) ou fornecidos pós-

processamento, isto é secundários (as nuvens de pontos para apoio topográfico e algumas orto-imagens quando tratámos apenas do problema da restituição gráfica sobre imagens).

Considerámos ainda uma segunda categoria de dados que resulta da descrição de cada um dos processos de documentação. Estes dados, que derivam do processamento dos dados da primeira categoria, assumem a natureza quantitativa, por exemplo no caso dos indicadores de desempenho dos processos ou na medição de tempos de duração de etapas dos processos, e qualitativa, por exemplo nos casos em que se referem aos aspectos descritivos e decisórios das várias etapas de processamento ou às impressões dos destinatários finais da documentação. Isto é, os processos de documentação, nos seus aspectos decisórios e operativos tornaram-se também dados primários a analisar.

1.3. A metodologia

Neste ponto referimo-nos à metodologia da tese e não à metodologia objecto da tese! Seja permitido o ponto de exclamação.

1.3.1. A estratégia da investigação

A estratégia da investigação baseia-se num processo iterativo entre a pesquisa bibliográfica e teórica, as experiências de aplicação prática e a análise dessas experiências. Quer dizer-se que não se procurou definir e estabilizar todos os aspectos teóricos antes de entrar nas aplicações práticas. Assumiu-se uma aprendizagem baseada na experiência e em que esta também informou e direccionou o sentido da pesquisa teórica de enquadramento.

Como há uma componente prática muito forte nesta tese assumiu-se a máxima que “saber é saber fazer” em vez de se procurar uma pesquisa excessivamente teórica e com níveis de aplicabilidade e impacto efectivo mais reduzido, o que se traduziu pela opção de participação em primeira mão em todos os processos de documentação analisados, em vez de uma análise externa.

Por outro lado, entendeu-se que, como forma de dar mais significado à investigação, se deveria procurar que os casos práticos correspondessem a necessidades concretas de documentação em processos de Conservação, Restauro e Reabilitação reais, e que o *feed-back* dos agentes envolvidos nesses processos permitisse também ajudar a formular as necessidades documentais e por isso contribuir para a definição dos aspectos metodológicos. Para poder fazer a ponte entre os utilizadores e os produtores da documentação gráfica torna-se necessário compreender e encarnar os pontos de vista de ambos os lados o que implica assumir ambos os papéis, ora de utilizador ora de produtor. Assim se podem perceber as expectativas dos primeiros e mobilizar os meios dos segundos. Esta estratégia, se bem que aliciante, implicou alguns riscos e dificuldades.

Riscos porque não havia a garantia à partida de que fosse possível gerar as circunstâncias que permitissem dar origem a processos concretos de documentação nem definir à partida um número de casos com significado. Dificuldades porque a partir do momento em que se optou por esta via se deixou de estar num ambiente perfeitamente controlado, digamos laboratorial, para passar a desenvolver a nossa investigação em acção sobretudo no mundo, dito real, com uma carga de imprevisibilidade maior, o que, como sabemos foge ao paradigma clássico da experiência em ambiente controlado e isolado de influências externas.

Para dar resposta a estes riscos e dificuldades foram encetadas iniciativas que visaram, precisamente, gerar as tão queridas circunstâncias de ocorrência de processos de documentação mas também de nos dotar de recursos para as poder enfrentar.

Para este efeito contou-se com o envolvimento num projecto de investigação, designado por “Contributos para o Projecto de Conservação do Património Arquitectónico: Metodologia Documental baseada na fotogrametria digital e na digitalização laser 3D terrestres”, financiado pela FCT (ref.:PTDC/AUR/66476/2006), envolvendo a FAUTL, o núcleo de arqueologia da Universidade do Minho, o Gabinete de Candidatura a Património Mundial da Universidade de Coimbra, o Laboratório de Fotogrametria da Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidade de Valladolid, e o Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico (IGESPAR). Este projecto foi uma consequência directa do nosso projecto de tese. Daqui destacam-se as experiências desenvolvidas na Quinta de Valflores em Loures, no Convento de Cristo em Tomar e no Arco da Rua Augusta em Lisboa.

No contexto do projecto de investigação, mas também fora dele, houve o contacto com várias empresas e entidades no âmbito de processos de documentação e conservação, nomeadamente, a Nova Conservação⁸, a Insittu⁹, a Parque-Expo¹⁰/Frente Tejo¹¹, o Atelier 15 dos arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernandez, a empresa de levantamentos por varrimento laser 3D 3DTotal¹², a Câmara Municipal de Torres Vedras, a Câmara Municipal de Lisboa, a Direcção Regional da Cultura de Lisboa e Vale do Tejo. Destes contactos releva-se o levantamento do chafariz dos Canos em Torres Vedras, o levantamento das fachadas dos quarteirões envolventes do Terreiro do Paço, os

⁸ Site da empresa Nova Conservação: (<http://www.ncrestauro.pt/>)

⁹ Site da empresa Insittu: (<http://www.insitu.pt/>)

¹⁰ Site da empresa Parque Expo: (<http://www.parqueexpo.pt/>)

¹¹ Site da empresa Frente Tejo: (<http://www.frentetejo.pt/>)

¹² Site da empresa 3DTotal: (<http://www.3dtotal.pt/>)

levantamentos no Convento de Cristo em Tomar, e o levantamento do Arco da Rua Augusta.

O risco e a dificuldade inerentes à estratégia inicial acabaram por revelar-se, em nosso entender, como plataforma de elevação dos resultados e força motriz para o nosso trabalho.

De cada uma das acções documentais procurou extrair-se argumentos que corroborassem a nossa hipótese de que a FDT e o VL3DT podem dar resposta à generalidade das necessidades de documentação gráfica de base, sem nunca deixar de ter em mente eventuais contributos empíricos e teóricos. E de acordo com o princípio iterativo acima enunciado, os argumentos obtidos informaram as acções documentais seguintes. Foi a partir deste processo que se foram estabelecendo os aspectos metodológicos, objectivo da nossa tese, que se sintetizam no capítulo 6 – Proposta de metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres.

A nossa estratégia passou por uma proximidade e intervenção pessoal nos processos de documentação. Entendemos que só nesta perspectiva é que se pode atingir uma verdadeira compreensão das questões metodológicas implicadas bem como adquirir capacidades operativas. Fizemos estas opções na convicção de que é preciso fazer na prática para poder reflectir.

1.3.2. A aquisição de dados

Como expusemos acima, considerámos duas categorias de dados, aqueles que permitem operacionalizar os processos de documentação (as fotografias, as nuvens de pontos, as orto-imagens, as medições) e aqueles que resultam da descrição dos processos de documentação (indicadores de desempenho, contabilização de tempos, imagens ilustrativas, descrições escritas das fases de planeamento e operação dos processos, impressões dos utilizadores da informação final).

A recolha de cada tipo de dados obedeceu a protocolos específicos.

Assim, os dados da primeira categoria foram recolhidos em campo utilizando instrumentação adequada (câmaras fotográficas, scanners de varrimento laser, tripés, mastros) e seguindo procedimentos recomendados nas referências metodológicas que adoptámos, quando os procedimentos estavam referenciados, e seguindo um planeamento crítico em função dos fins reais a que se destinava a informação.

Os dados da segunda categoria foram sintetizados através do preenchimento de fichas descritivas dos processos baseadas em notas de campo e notas de gabinete.

1.3.3. A análise e processamento dos dados

Mais uma vez nos referimos às duas categorias de dados.

Os dados da primeira categoria foram processados através dos procedimentos próprios dos métodos da FDT e do VL3DT, que incluem entre outros, a rectificação, a orientação relativa e externa de imagens, a orientação de nuvens de pontos, a calibração de imagens, utilizando aplicações de software adequadas.

Já relativamente aos dados da segunda categoria os processos de análise numa primeira fase consistiram na análise individual de cada caso de estudo (volume 2) baseada no preenchimento de uma ficha que descreve os processos de documentação desde a fase de planeamento até à fase de execução. Numa segunda fase procedeu-se à análise cruzada dos vários campos das fichas, procurando encontrar padrões nas várias experiências (capítulo 5) no sentido de contribuir para a construção das recomendações metodológicas que são o objectivo da nossa investigação e se concentram no capítulo 6. Podemos conceptualizar o instrumento de análise seguido, através de uma matriz que tem por índice das linhas os vários campos sobre os quais incidiram as nossas descrições, e por índice das colunas os 10 casos de estudo em que trabalhamos. Estas pretendem, em última análise, contribuir para, no futuro, auxiliar processos de tomada de decisão em acções de documentação, auxiliar a própria operacionalização dessas acções, e tornar presente que existem aplicações das técnicas exploradas que, não sendo evidentes à partida, podem e devem ser consideradas.

Listamos de seguida as várias aplicações de software que utilizámos e os fins com que as utilizámos:

Para edição, tratamento e processamento de imagem: Adobe Photoshop 6 e CS2, Gimp 2, IDRISI, Hugin 3.0, PTGui 8.1.5, Olympus Master 2

Para levantamento fotogramétrico: Perspective Rectifier, Asrix, Photomodeler v2.5 e v2.6, Visual SFM, CMVS+PMVS, Photosynth.

Para processamento de nuvens de pontos: JRC3D Reconstructor, MeshLab, Polyworks 10, UVACAD 3.

Para documentação geral: Office 2003 e LibreOffice.

Para modelação e desenho vectorial: Rhinoceros 4.0, Grasshoper (Plug-in do Rhinoceros), AutoCAD 2004 e 2008, Rectificador (Plug-in para o AutoCAD desenvolvido no decurso da nossa investigação).

1.3.4. Critérios de qualidade para a investigação

Os critérios de qualidade que assumimos para a nossa investigação são de dois tipos. Por um lado foram critérios objectivos e internos que se relacionam, por exemplo, com os indicadores de desempenho das várias etapas dos processos por comparação com padrões de referência, e por outro lado foram critérios subjectivos e externos que passaram pela submissão da avaliação da investigação aos pares, através de comunicações em

encontros científicos e produção de artigos, e através de comunicações de divulgação às comunidades potencialmente interessadas na nossa investigação, como sejam os arquitectos, os conservadores, os arqueólogos, os decisores políticos.

A aplicação dos critérios identificados como objectivos faz parte da descrição dos vários processos documentais que fazemos no 2º volume da nossa tese.

A aplicação dos critérios identificados como subjectivos tem de ser aqui declarada através da identificação das situações em que teve lugar. Destacamos a nossa participação nos encontros científicos GEOS 2008, VAST 2008, na conferência do grupo de trabalho V/2 do ISPRS em 2011, nos seminários e conferências do Projecto FCT referido, com a apresentação de comunicações orais, publicação de papers e posters, e a publicação de artigos em várias revistas nacionais, entre outros¹³.

1.4. Resumo

A presente tese estrutura-se em dois volumes.

O primeiro volume divide-se em duas partes.

O segundo volume estrutura-se na apresentação de 10 casos de estudo.

A parte I do primeiro volume estrutura-se do seguinte modo.

Para além do capítulo introdutório, apresentam-se mais dois capítulos.

No capítulo 2 - A problemática da documentação gráfica de base no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação - procura-se colocar em equação o problema da documentação gráfica descritiva de base em projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação. Faz-se o enquadramento metodológico do processo do projecto, através de estabelecimento das suas várias etapas e respectivos conteúdos específicos, remetendo para as necessidades de documentação gráfica em cada uma delas. De seguida discutem-se as estratégias alternativas passíveis de serem adoptadas para a produção da documentação gráfica e postula-se que os métodos da FDT e do VL3DT, utilizados individualmente ou em combinação, são adequados à produção da generalidade da documentação gráfica de base nos processos de Conservação, Restauro ou Reabilitação, bem como permitem produzir todo um leque de informação base não passível de produção, ou de produção mais complexa, adoptando estratégias de documentação que não envolvam estes métodos. Tratou-se de um processo dedutivo que visou enquadrar este aspecto particular no contexto mais amplo da Salvaguarda e da Conservação. Faz-se a revisão da literatura no que respeita aos temas abordados no capítulo.

¹³ Uma listagem completa destas acções pode ser consultada em <http://www.fa.utl.pt/~lmmateus>

No capítulo 3 – Os métodos e os processos da Fotogrametria Digital Terrestre (FDT) e do Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT – descrevem-se os processos específicos da FDT e do VL3DT. Faz-se uma revisão da literatura ancorada na descrição dos processos. Este capítulo contribui, desde logo, para ajudar a cumprir o nosso primeiro objectivo de investigação (descritivo dos métodos e processos), contribui para tornar mais compreensível o discurso dos capítulos seguintes, e corresponde a uma das funções de qualquer metodologia, a de expor o quadro teórico que informa o seu uso.

Foi nestes dois capítulos que se fez a revisão da literatura, se documentou o estado da arte e se enquadraram as questões da investigação.

A parte II do primeiro volume estrutura-se em quatro capítulos, apresentando-se as conclusões no último.

O capítulo 4 – Desenvolvimento de uma ferramenta fotogramétrica – é um breve capítulo em que descrevemos uma ferramenta fotogramétrica por nós desenvolvida. Neste sentido, este capítulo também contribui para o cumprimento de parte do nosso segundo objectivo de investigação e que se refere aos contributos ao nível dos procedimentos.

A reflexão crítica sobre a aplicação da FDT e do VL3DT à documentação gráfica de base no contexto do projecto de Conservação, feita através da análise cruzada dos vários casos de estudo, é o objecto do capítulo 5 – Análise cruzada dos casos de estudo.

Relacionaram-se experiências de documentação distintas, discutiu-se o impacto metodológico nos processos de análise em Conservação e discutiram-se as vantagens e os inconvenientes da aplicação dos métodos da FDT e do VL3DT. Procuraram-se os argumentos no sentido de corroborar a nossa hipótese de trabalho e discutiram-se os impactos da adopção deste tipo de abordagem aos processos documentais

No capítulo 6 – Proposta de metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres – procurámos definir os termos que definem, caracterizam e orientam na adopção de uma metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT, no contexto da Conservação, Restauro e Reabilitação-

Por fim, no capítulo 7 – Conclusões – apresentam-se as conclusões finais da nossa investigação e identificam-se linhas futuras de investigação que permitirão dar continuidade ao trabalho aqui desenvolvido.

2. A problemática da documentação gráfica de base no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação

Neste capítulo procura-se fazer o enquadramento da documentação gráfica de base nos processos de Conservação, Restauro e Reabilitação em Arquitectura.

Procura-se compreender as etapas do processo de Conservação, Restauro e Reabilitação e entender as necessidades de documentação base.

Procura-se ainda caracterizar os tipos de documentação que podem ser produzidos e caracterizar a metodologia global de enquadramento da sua produção.

Procura-se fazer o enquadramento do registo e documentação gráfica em termos de princípios, orientações e especificações.

Começa-se por estabelecer a relação entre as várias etapas do projecto de conservação, restauro ou reabilitação, e a natureza da documentação gráfica a produzir para alimentar essas etapas.

Notar-se-á que em conservação, restauro e reabilitação da arquitectura o tipo de representação gráfica pretendido é o que permite expor de forma lógica, estruturada, visual e acessível o maior número de superfícies, espaços e características do objecto construído sob análise tornando-a passível de relacionar-se com outro tipo de informação, que pode não ser gráfica, constituindo o suporte para as várias análises a realizar e posterior planeamento de acções, tendo em conta que em função do maior ou menor nível de profundidade das intervenções, diferentes níveis de detalhe da documentação podem ser considerados. Esta declaração sintetiza genericamente o objectivo a que deve sujeitar-se a produção da documentação gráfica nesta área disciplinar.

Enuncia-se ainda que em função das características mais ou menos específicas dos objectos a representar ou de objectivos mais ou menos definidos deve proceder-se à selecção dos meios técnicos, instrumentais e metodológicos mais adequados para a recolha e processamento dos dados que irão resultar na documentação pretendida, e que uma única técnica ou método de documentação e registo pode não ser suficiente devendo saber-se articular as várias opções de que se dispõe de modo a cumprir os objectivos definidos. Também se considera que nenhuma técnica de documentação deve ser considerada como milagrosa e adequada para todos os fins.

Começamos por notar que a noção de que a documentação gráfica constitui um instrumento fundamental para a leitura da arquitectura construída com vista à tomada de opções de intervenção sobre a mesma não é de agora. A este respeito, e como forma de

iniciar o presente ponto, transcrevemos um excerto de uma carta ao papa Leão X, de autoria atribuída a Rafael (sec. XVI), a respeito da cidade de Roma:

“Il che in un punto mi dà grandissimo piacere, per la cognizione di tanto eccellente cosa, e grandissimo dolore, vedendo quasi il cadavero di quest'alma noble cittate, che è stata regina dle mondo, così miseramente lacerato. (...) Ma, per ritornare a dir di quello che poco avanti ho toco, dico che, avendomi Vostra Santità comandato che io ponessi in disegno Roma antica, quanto cognoscier si può per quello che oggidì si vede, con gli edifici, che di sé dimostrano tal reliquie, che per vero argomento si possono infallibilmente ridurre nel termine proprio come stavano, (...) (...) E perché ad alcuno protebbe parere che difficil fosse el cognoscere li edifici antiqui dalli moderni, o li più antichi dalli meno antichi, per non lassar dubbio alcuno nella mente di chi vorrà aver questa cognizione, dico che questo con poca fatica far si può. Perché di tre maniere di edifici solamente se ritrovano in Roma, delle quali la una è di que' buoni antichi, che durarono dalli primi imperatori sino al tempo che Roma fu ruinata e guasta dalli gotti e da altri barbari; l'altra durò tanto che Roma fu dominata da' gotti e ancora cento anni di poi; l'altra, da quel tempo sino alli tempi nostri.”

Neste documento, há o entendimento de que o desenho é um instrumento de conhecimento a partir do qual se poderá legitimamente aspirar a repor o estado anterior, de glória, em que se encontravam os edifícios, bem como a selecção dos que merecem tal tratamento.

2.1. O ciclo do projecto de Conservação

O processo de salvaguarda de um bem, aqui entendido em sentido lato, deve compor-se de três etapas fundamentais: o inventário, a intervenção, e a divulgação. Destas etapas, é na segunda que se encontra a acção física sobre os objectos. Utilizou-se aqui o termo Conservação com o sentido dado por Henriques [Hen91].

A divulgação pode ser entendida de dois modos. Por um lado a simples divulgação do bem, por exemplo através da exposição pública do inventário, ou a documentação e exposição de um processo de conservação sobre um bem.

No diagrama da figura 2-1 ilustram-se as dependências e relações entre as acções mais específicas de caracterização do objecto arquitectónico (na coluna da direita) até ao conceito mais lato de salvaguarda (à esquerda). De alguma forma o diagrama representa a estrutura que vamos seguir neste ponto da tese.

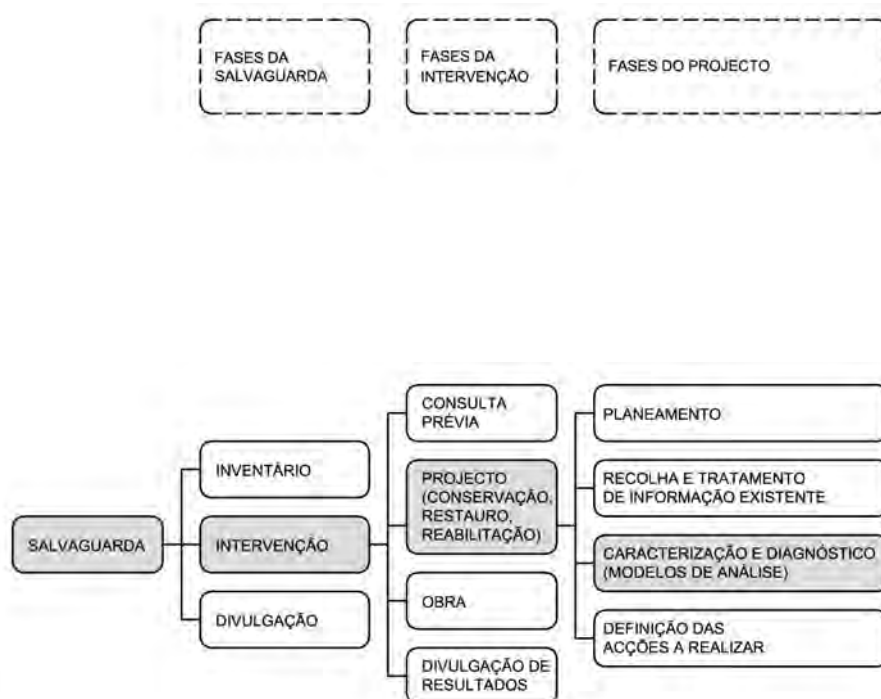


Figura 2-1: Dependências e relações entre as acções mais específicas de caracterização do objecto arquitectónico (na coluna da direita) até ao conceito mais lato de salvaguarda (à esquerda).

2.1.1. As fases da intervenção de Conservação

Aqui debruçar-nos-emos sobre a componente da salvaguarda que implica a intervenção física sobre o objecto, considerado de natureza arquitectónica, incluindo também a componente da divulgação na sua parte que documenta a intervenção física e que, por conseguinte, se pode considerar integrante da segunda etapa atrás referida. O termo Conservação no título deste ponto engloba a conservação, o restauro e a reabilitação conforme definidos em 1.1.1.1 – Os conceitos de Conservação, Restauro e Reabilitação.

Consoante se trate de conservação e restauro, ou reabilitação, as metodologias de intervenção podem variar como nos mostram vários autores.

Rato [Rat03a] identifica quatro fases de intervenção para o caso do processo da intervenção de conservação estrita de património histórico edificado: a) a preparação, b) o projecto, c) os trabalhos de intervenção propriamente dita, e a d) conclusão. A chamada fase de projecto é subdividida em três tipos de acção ou etapas: i) aquisição prévia de informação, ii) avaliação do estado de conservação, e iii) definição dos trabalhos a executar. Relativamente à fase de aquisição prévia de informação é notado um conjunto de tarefas: i.1) análise de todos os dados já disponíveis e que vão desde a informação histórica, relatórios de inspecções anteriores, descrições de trabalhos efectuados, hábitos de utilização, e inspecção visual com vista à elaboração de uma lista de materiais existentes e respectivas formas de degradação que se poderão encontrar de modo a mobilizar os meios

de diagnóstico a utilizar; i.2) a recolha e revisão dos desenhos existentes e a elaboração de novos desenhos descritivos, caso sejam necessários, dos vários elementos construtivos, e a elaboração de um levantamento fotográfico; i.3) identificação e caracterização das formas de degradação existentes, o que pode implicar a realização de análises e ensaios laboratoriais; e i.4) documentação e representação (gráfica) dos problemas detectados sobre os desenhos ou mesmo sobre as fotografias, de modo a sintetizarem o problema e a permitirem uma leitura global.

É interessante notar que, para este autor, as etapas de projecto incluem um conjunto de tarefas que poderíamos supor a montante deste, e por isso fora do seu âmbito estrito, como sejam, por exemplo, a execução de levantamentos, ou a realização de análises. O facto de estarem consideradas de forma integrada pressupõe que se trata de acções sobre as quais deve ser exercida uma acção de coordenação por parte do projectista, em que este deverá definir e controlar de forma criteriosa a execução das acções de modo a que os elementos produzidos sejam adequados às questões a abordar no projecto.

Veremos que no caso da reabilitação pode haver diferenças em relação a este princípio integrador.

No que respeita à intervenção de reabilitação, pressupõe-se quatro etapas: i) conhecer o objecto e definir o programa para a intervenção, ii) elaboração de levantamentos e reconhecimentos, iii) elaboração do projecto, e iv) a obra [App03]. É notado por este autor, sendo apontado como uma evidência, que a intervenção de reabilitação num edifício antigo deve implicar o seu conhecimento como ponto de partida. É na segunda etapa do processo que se deve realizar a elaboração do levantamento geométrico do edifício ou a correcção dos desenhos existentes. Relativamente ao levantamento geométrico do edifício é indicado como importante a representação dos elementos gráficos correntes (plantas, cortes e alçados) com as respectivas cotas planimétricas e altimétricas. Este instrumento servirá para cartografar toda uma série de dados a obter posteriormente que vão desde os que resultam de inspecções visuais, de ensaios variados, e do projecto.

Cóias [Coi06] esquematiza o processo de uma intervenção de reabilitação em cinco fases, que pressupõem um conjunto definido de actividades e objectivos: i) da detecção da necessidade de intervir até à decisão de intervir, ii) da decisão de intervir até à selecção da estratégia de intervenção, iii) da selecção da estratégia de intervenção até à intervenção, iv) durante a intervenção, e v) depois da intervenção.

Na primeira fase proceder-se-á à recolha documental, à auscultação dos utentes, à verificação das condicionantes legais, à realização de inspecções, ensaios e monitorizações preliminares. Tem-se por objectivo uma caracterização preliminar da envolvente, da construção, dos seus materiais e das suas anomalias.

Na segunda fase far-se-á o levantamento da geometria das anomalias, realizar-se-ão inspecções e ensaios complementares e modelar-se-á o comportamento da construção. Tem-se por objectivo uma correcta caracterização da geometria da construção, bem como a cartografia das anomalias existentes e caracterização dos materiais, bem como uma correcta interpretação dos mecanismos de deterioração presentes. Está aqui explícita a necessidade da obtenção de informação gráfica, consubstanciada na forma de “levantamento e caracterização da construção, sua envolvente e anomalias” de que, implicitamente, se deduz, será necessário dispor na fase de projecto. É notado que são várias as disciplinas e princípios de actuação que contribuem para a recolha de informação sobre o edificado. São indicados: “percepção sensorial, topografia, fotogrametria e varrimento laser, acção mecânica simples, acção mecânica por dispositivos electro ou oleomecânicos, propagação das ondas elásticas, detecção e análise das vibrações, reacção química, reacção electroquímica, mecanismos de ingresso e transporte, efeitos eléctricos e magnéticos, propagação da radiação electromagnética”. Alguns destes são de tradução eminentemente gráfica (por exemplo a topografia, a fotogrametria e o varrimento laser) e grande parte dos restantes pode ser sintetizado sob a forma gráfica para organizar e tornar mais fácil a sua leitura. A este respeito nota-se que a representação gráfica das anomalias é de importância muito relevante já que permite detectar padrões que podem ser indicativos dos mecanismos de deterioração que estão presentes no edifício.

Na terceira fase modelam-se as medidas correctivas e elabora-se o projecto da intervenção. Naturalmente, nesta etapa é necessário dispor de todas as bases gráficas elaboradas nas fases anteriores pois são elas que vão servir como suporte do planeamento das acções e da modelação, caso existam (e existe quase sempre), dos espaços.

Na quarta fase ensaiam-se as técnicas e os materiais a adoptar através de inspecções e ensaios de controlo de qualidade de modo a validar o que foi preconizado em projecto. Manda a boa prática que também estas acções sejam devidamente registadas, o que pode ocorrer eventualmente em suportes gráficos.

Por fim, na quinta fase avalia-se a intervenção e procede-se à sua monitorização futura.

Estes autores [App03] [Coi06], embora considerando a fase da produção da documentação base, vulgo levantamentos, como anterior ao projecto, notam que é conveniente o seu acompanhamento pelo projectista.

Muitas vezes os projectistas assumem que o levantamento é um instrumento que deve ser fornecido à partida pelo dono de obra. Contudo considerá-la de forma independente pode resultar em que ele escape a um processo geral de coordenação e controlo por parte dos projectistas que, em nossa opinião, é desejável. Para todos os

efeitos, a definição das necessidades e objectivos a que devem estar subordinados os levantamentos deve ser responsabilidade dos projectistas.

Sintetizando, consideramos que é possível definir uma sequência de etapas que pode descrever simultaneamente os processos de conservação e restauro e o processo de reabilitação, notando naturalmente que este último é de natureza mais intrusiva e que implica um maior nível de intervenção sobre a matéria construída. Assim, a descrição que se segue procura discutir o que, em nossa opinião, devem ser as etapas do processo de intervenção sobre o edificado, num contexto de conservação, restauro e/ou reabilitação. Sabendo que não existem duas intervenções idênticas e que a natureza dos problemas a abordar é em geral distinta de caso para caso, parece-nos ainda assim possível estabelecer uma sequência lógica de intervenção que pode ser considerada quer se trate de conservação, restauro ou reabilitação. É essa sequência que passaremos a expor de seguida, em forma de síntese.

Consideramos que há quatro etapas fundamentais no processo de intervenção: a) Consulta prévia, b) Projecto, c) Obra, e d) Divulgação de resultados. O projecto, por sua vez pode ser subdividido em: i) Planeamento ii) Recolha e tratamento de informação existente, iii) Caracterização geral do objecto arquitectónico, e iv) Definição e quantificação das acções a realizar.

Este processo pode não ser linear, nas fases apontadas. Com efeito, é comum que em fase de obra surjam situações não previstas em projecto que implicam uma reformulação do mesmo. Antecipamos a ideia de que os métodos documentais que pretendemos abordar, a FDT e VL3DT, são uma fonte de valor acrescentado ao lidar com esta não linearidade.

Contudo para efeitos da exposição das várias fases vamos considerar o processo linear. Abaixo descrevem-se com maior detalhe cada uma destas etapas e sub etapas.

2.1.1.1. A consulta prévia

Por norma, o desencadear do processo de salvaguarda, na sua componente que implica a intervenção física sobre o edificado, é feito pelo dono de obra, público ou privado, voluntariamente ou coercivamente, que descreve, através de uma consulta, formal ou informal, um conjunto de termos em que pretende ver avaliado um determinado problema. A descrição desses termos pode ser feita através de um caderno de encargos que serve, ou não, de base a um concurso a que os potenciais interessados devem dar resposta, sejam eles arquitectos, conservadores, engenheiros ou empreiteiros, consoante seja aplicável. O problema pode ser avaliado em várias etapas, ou ele próprio referir-se a uma das etapas de um processo mais extenso. Neste caso, a primeira fase de uma contratação pode servir

precisamente para definir e elaborar um conjunto de elementos que servem de base a futuras contratações e acções.

A definição dos termos da consulta pode ser feita recorrendo a especialistas ou pode o dono de obra assumir o ónus de definir os termos em que coloca o problema.

Os conteúdos a que se pode referir esta consulta prévia podem ser, a título de exemplo, o levantamento, a avaliação do estado de conservação, a elaboração do projecto de conservação, a elaboração do plano geral de intervenção, a elaboração do plano de manutenção, a verificação da necessidade de realização de uma inspecção ou ensaio específicos, a execução da empreitada de conservação, entre muitas outras hipóteses e combinações possíveis.

O facto de se considerar que esta etapa do processo não é ainda o projecto não invalida que o dono de obra possa contratar agentes especializados na área da arquitectura ou conservação para a preparar. Com efeito, esta área, que podemos definir como consultoria de projecto, também pode ser uma área de acção dos profissionais da arquitectura, da conservação, ou das engenharias, pois, como é óbvio, envolve um conjunto de competências científicas próprias. Na verdade, muitos donos de obra institucionais, ou não, têm nas suas equipas especialistas cujas funções são as de preparar estes processos de consulta prévia.

2.1.1.2. O projecto

A finalização lógica da etapa anterior traduz-se na resposta, por parte dos potenciais interessados, à consulta prévia. Do consentimento por parte do dono de obra dos termos destas respostas, passar-se-á à fase seguinte, a fase de projecto. Contudo consideramos que esta resposta à consulta prévia implica desde logo um conjunto de acções próprias do que designamos por projecto. Por esta razão, consideramos que a primeira fase do projecto, abaixo designada por planeamento, inclui a resposta à consulta prévia.

O projecto consiste, como vimos acima, em quatro etapas fundamentais que passamos a descrever.

Planeamento

A primeira etapa do processo de projecto consiste no equacionar das variáveis que aparecem descritas no processo de consulta prévia.

Com base nessas e em eventuais visitas que se possam fazer ao local da intervenção, o coordenador do processo deve procurar avaliar quais são os especialistas que considera necessário envolver tendo em conta o princípio da adequação entre as necessidades e os meios. Estas visitas podem ser complementadas com uma primeira

recolha fotográfica, e/ou com elementos gráficos existentes de que se disponha e sobre os quais se podem ir fazendo anotações.

Formada a equipa devem ser definidas as responsabilidades de cada interveniente e os fluxos de informação que estes devem respeitar. Cada especialista da equipa deve avaliar as necessidades específicas da sua área e propor os meios e recursos previsíveis para poder dar resposta aos problemas que identifica. Cabe depois ao coordenador do processo a conciliação das várias especialidades.

Esta conciliação pode ser conseguida através da elaboração de um organograma que sintetize as etapas, os meios, os recursos, os agentes, os prazos. No fundo, corresponde a um plano de acção ou se quisermos, corresponde a um projecto do projecto.

É desejável que este processo seja feito em articulação com o dono de obra de modo a poderem ser esclarecidas dúvidas de interpretação que a leitura dos termos da consulta prévia possa suscitar.

Já nesta fase é necessário antever tudo o que possa estar relacionado com: i) a gestão de acessos ao objecto de estudo (pedidos de autorizações e certificados, horários de funcionamento, ii) hábitos de utilização, recolha de contactos dos utilizadores responsáveis); a avaliação de constrangimentos físicos (dificuldades de acesso, necessidades de condicionar a utilização), iii) a necessidade de mobilizar meios de acesso como por exemplo andaimes, gruas, plataformas elevatórias, iv) a avaliação da segurança no local, e vi) a avaliação da necessidade de equipamentos específicos.

Desta etapa deve resultar um processo, a entregar ao dono de obra, descritivo e explicativo do modo como se pretendem desenvolver as etapas subsequentes.

O dono de obra deve pronunciar-se sobre este processo e comunicar ao projectista se aceita ou recusa a sua proposta e neste último caso exigir eventuais alterações à mesma de modo a que possa vir a merecer aprovação.

Note-se que muitas vezes nesta etapa discutem-se já rubricas orçamentais pelo que é necessário ser cuidadoso, eticamente responsável, e escrupuloso para não subavaliar custos nem a necessidade de acções que mais tarde teriam de ser consideradas e incluídas com o forçoso desvio ao planeamento. É claro que é preciso notar que por melhor que se planeie e procure antever os problemas, os imprevistos surgem sempre. Mas esta deve ser a excepção e não a regra.

Nota-se também que a preparação deste processo pode implicar que se entre antecipadamente na fase seguinte de forma mais ou menos superficial. É claro que isso pode depender da maior ou menor capacidade de suportar custos que, muitas vezes, não estão incluídos nesta etapa. Por outro lado também é possível que o dono de obra na sua consulta prévia faculte alguma informação existente que, no entanto, em teoria, poderia ser

recolhida depois. A identificação da legislação e normas aplicáveis ao caso de estudo também faz parte desta etapa.

Recolha e tratamento de informação existente

A partir do momento em que o planeamento mereceu a aprovação por parte do dono de obra, e estão formalizados os contratos que obrigam as partes, a etapa seguinte consiste na recolha e compilação sistemática de informação prévia existente sobre o objecto de estudo. Esta é de fundamental importância pois permite avaliar o problema da intervenção de forma mais abrangente e pode permitir o acesso a dados que tornem prescindível a elaboração de alguns elementos de apoio ao projecto. Por exemplo podem existir levantamentos com o nível de qualidade suficiente para a prossecução das acções que se pretendem executar.

Esta recolha de informação pode ser levada a cabo em arquivos e bibliotecas, nas entidades responsáveis pela gestão do património, junto do dono de obra, nas câmaras municipais, ou até mesmo junto dos utilizadores dos edifícios e espaços. Esta pode consubstanciar-se em referências bibliográficas, gravuras, processos de obras anteriores, relatos de uso, relatórios de inspecções anteriores, entre outros.

A recolha de informação deve traduzir-se numa compilação sob a forma de relatório com índice discriminativo dos elementos recolhidos, sejam textos, desenhos de anteriores levantamentos, ou outros. Cabe ao coordenador do projecto, coadjuvado pelos vários especialistas da equipa, avaliar esta informação de modo a estabelecer qual é pertinente considerar para a prossecução dos trabalhos, e com isto, eventualmente, reequacionar o planeamento inicial.

Caracterização geral do objecto arquitectónico material

A caracterização geral do objecto arquitectónico é um processo de conhecimento que envolve a participação de várias disciplinas e áreas do conhecimento desde a conservação, topografia, a arquitectura, a geologia, a engenharia, a fotografia, entre muitas outras.

Corresponde à etapa que Córias [Coi06] define como sendo o “exame pormenorizado e diagnóstico” estruturada em cinco partes: “i) Caracterização do edifício e dos seus materiais, ii) Caracterização das acções, iii) Caracterização da envolvente, iv) Caracterização do comportamento, v) Modelação do comportamento. A primeira destas partes decompõe-se em cinco partes, todas elas designadas por levantamento: i) levantamento geométrico, ii) levantamento das características dos materiais, iii) levantamento das anomalias, iv) levantamento de superfícies, v) levantamento não destrutivo do interior de componentes ou elementos”. Na nossa opinião, o que o autor refere

como levantamento de superfícies poderia estar incluído na etapa de definição geométrica embora se compreenda a opção. Com efeito no levantamento de superfícies, aplicando as técnicas referidas (fotogrametria, modelação foto realista, varrimento laser), não se recolhe apenas geometria, recolhe-se também radiometria o que tem a implicação de que estes meios tenham um alcance mais amplo que a simples medição geométrica. Na verdade podem ser utilizados para a caracterização dos materiais, das anomalias e das deformações, entre outros aspectos que serão explorados mais adiante neste trabalho. De acordo com o autor citado, estes levantamentos são sobretudo representações gráficas constituídas por peças desenhadas.

Em nossa opinião, e dependendo da natureza do objecto em particular, esta etapa também deve considerar outras análises consoante se considere pertinente. É por exemplo o caso de estudos estratigráficos do âmbito da arqueologia da arquitectura, ou a análise icónica e distributiva como refere Feiffer em “Il progetto di conservazione” [Fei89]. Este autor define quatro modelos de análise da arquitectura construída: i) o modelo icónico, ii) o modelo distributivo, iii) o modelo construtivo, e iv) o modelo do estado de conservação.

Assim, e para sintetizar, em contexto de conservação, restauro e reabilitação da arquitectura construída, defendemos a utilização do modelo proposto por Feiffer, mas ampliado. Isto é, consideramos que a caracterização global do objecto deverá incluir as seguintes análises: i) Análise icónica, ii) Análise distributiva, iii) Análise construtiva, iv) Análise do estado de conservação, v) Análise estrutural, e vi) Análise estratigráfica.

Metodologicamente, cada uma das análises deve estruturar-se em três momentos, considerando previamente um planeamento específico: i) recolha de dados e preparação de suportes base, ii) tratamento e interpretação dos dados, iii) avaliação dos resultados. O primeiro momento é eminentemente descritivo, o segundo momento é eminentemente interpretativo, e o terceiro parte dos dois anteriores e assume a forma de uma conclusão ou de um diagnóstico que contribui para a avaliação global do problema de modo a definir linhas directrizes sobre as intervenções a realizar, isto é, de modo a funcionar como o testemunho a passar para a fase seguinte, aquela em que se definem as acções a realizar. O esquema da figura 2-2 ilustra este fluxo.

Relativamente a qualquer das análises, pode assumir-se como invariante que necessitam de suportes gráficos adequados os quais devem ser preparados pelos requisitos informados por cada um dos tipos de análise a efectuar.

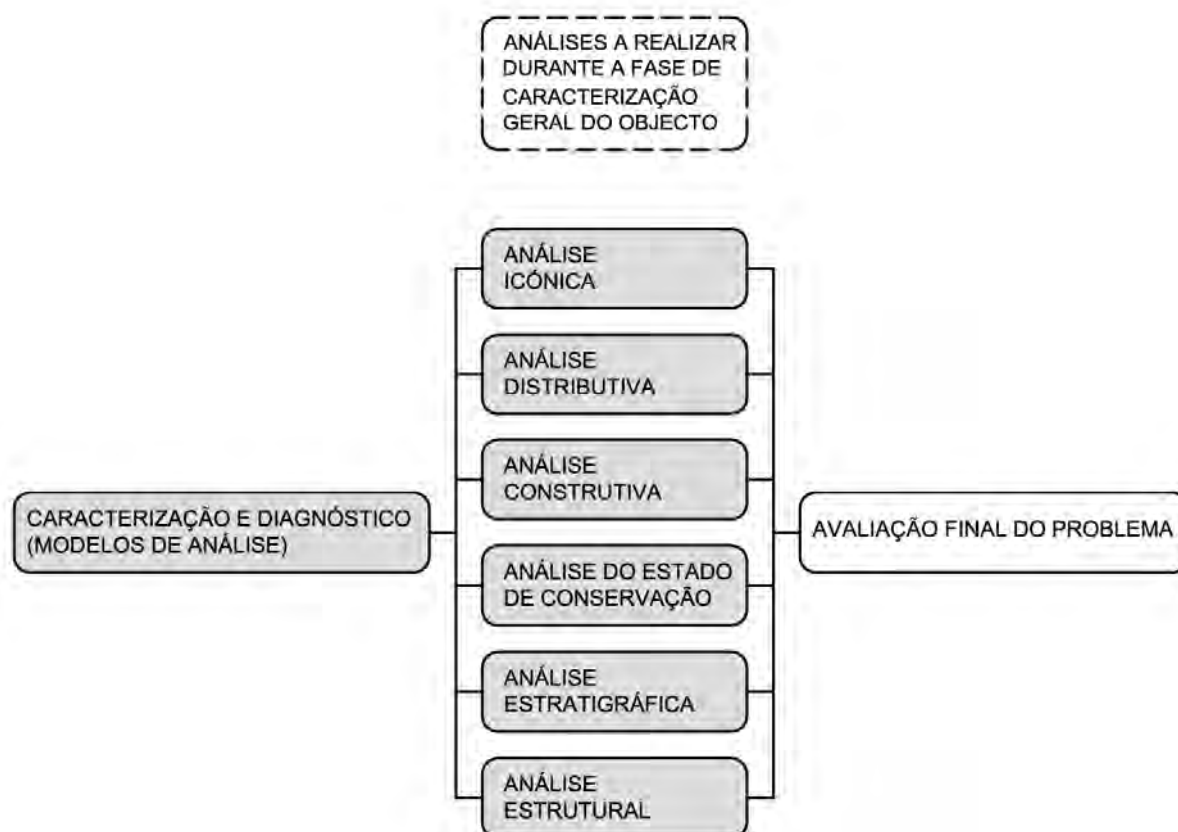


Figura 2-2: Os modelos de análise do objecto.

Definição e quantificação das acções a realizar

Antes de definir e quantificar as acções a realizar, a primeira acção a considerar é a avaliação global do problema baseada na leitura dos relatórios resultantes das análises anteriores e, em função disso, a definição do programa de intervenção. A intervenção, como já se disse, pode assumir uma de três formas: a conservação, o restauro, a reabilitação.

No essencial esta classificação dos tipos de intervenção corresponde à não existência (ou melhor dizendo, quase não existência) de obra nova no caso da conservação e, no extremo oposto, a existência de obra nova em que, em geral, devem ser considerados tanto quanto possível os níveis de exigência funcional e ambiental regulamentares actuais. Relembre-se que a intervenção de reabilitação é típica do tipo habitacional enquanto que a intervenção de conservação e restauro é típica do tipo monumento.

A avaliação global acima referida não deve assentar em questões estritamente técnicas. Deve considerar uma ponderação de valores de variada ordem: i) valores de uso, ii) valores históricos, iii) valores artísticos, iv) valores estéticos [Bra06]. Tem por isso profundas implicações culturais. Podemos considerar que o projecto de conservação na sua vertente menos intrusiva corresponde ao chamado plano de manutenção. Este não é mais que uma listagem de acções de rotina escalonadas no tempo que visam a manutenção do

bom estado de conservação. Corresponde a acções simples como limpeza de caleiras, pintura de paredes, substituição de telhas partidas.

Em conservação e restauro os projectos podem assumir formas mais ou menos fechadas. É possível considerar um projecto completamente fechado que defina em absoluto os materiais e as técnicas a aplicar para o conjunto de acções definido ou também se pode considerar a hipótese de que os materiais e as técnicas possam ser definidas pela entidade (empresa de construção ou de conservação e restauro) que irá realizar a obra definindo para o efeito um conjunto de objectivos que se pretendem ver cumpridos e listando um conjunto de procedimentos não admissíveis. Dentro destas balizas permite-se ao empreiteiro a definição das acções. Com efeito, esta última opção assenta na ideia de que não existe uma única solução para a resolução de um problema e de que a resposta, isto é, as soluções propostas, ao caderno de encargos, por exemplo em cenário de concurso público, são uma forma de distinguir e avaliar os concorrentes. No entanto é necessário ponderar o enquadramento legal destas opções.

No caso da reabilitação há lugar a obra nova e pode por isso ser necessário demolir partes da construção existente. O trabalho de análise e avaliação prévios tem aqui um objectivo muito claro: evitar que se destrua matéria culturalmente relevante apenas por ignorância. Nunca é demais salientar que o valor intrínseco de um edifício antigo assenta, em geral, na sua matéria histórica. Se esta for destruída o seu valor é perdido. Assim, na reabilitação deverá haver sempre lugar a uma componente de conservação e restauro. Verifica-se no entanto que às vezes esta é mínima ou até mesmo enganosa como no caso das intervenções de fachada. Não se reabilita o braço de um doente amputando-o completamente e colocando uma prótese! Não quer dizer que às vezes não seja necessário amputar. O problema é que às vezes se abusa da amputação sem necessidade de o fazer...

Em qualquer dos casos a informação a veicular para a obra assume sempre duas formas: i) a documentação gráfica, ii) a documentação não gráfica.

Na documentação gráfica temos os desenhos de projecto, como sejam os mapas de vãos, as plantas, cortes e alçados construtivos. No caso da reabilitação, em que pode ser necessário eliminar partes do edifício, temos os conhecidos desenhos de vermelhos e amarelos.

Na documentação não gráfica temos o caderno de encargos, o mapa de medições, o mapa de acabamentos, entre outros.

Estes dois tipos de informação devem ser articulados entre si por processos analógicos ou processos digitais, como é o caso das bases de dados. Com efeito, Cramer *et al* em “Architecture in existing fabric” [CB07] nota que este será o meio como, num futuro não muito distante, será gerida toda a informação em projecto. No entanto, na nossa

investigação centramo-nos na preparação da documentação gráfica de base, isto é, a que informa a fase anterior do projecto.

2.1.1.3. A obra

A obra consiste na realização do conjunto de acções construtivas definidas em projecto.

Nesta etapa podem surgir dados novos que devem levar à actualização das análises anteriormente executadas e eventualmente a nova avaliação do problema. Por isso é necessário haver a flexibilidade suficiente por parte do dono de obra, dos projectistas e dos empreiteiros para incorporar os novos dados e propor soluções adequadas aos mesmos. Note-se que mesmo no processo de realização física dos trabalhos deve haver lugar a uma realização de documentação gráfica que vise cartografar os trabalhos levados a cabo para documentação futura. Esta deve ser compilada sob a forma de um relatório da intervenção.

Não se deve cair no erro de considerar uma intervenção de conservação, restauro ou reabilitação nos mesmos termos em que se considera uma obra nova.

Muitas vezes, nos processos de projecto em edifícios antigos e/ou patrimoniais tem-se a tendência para tratar os aspectos relativos à conservação e restauro como sub capítulos de empreitadas gerais de obras. Este procedimento leva a que as empresas de construção civil correntes acabem por ser confrontadas com a necessidade de realizar um rol de acções para as quais não estão, em geral, tecnicamente ou culturalmente preparadas. Pensamos que a última das lacunas é a pior. Como resultado, ou acabam por realizar as acções de forma incorrecta com dano para a matéria histórica, ou se vêem na necessidade de subcontratar empresas especializadas. O problema nestes casos é que se tende a integrar estas últimas num quadro geral predefinido de tempos e orçamentos. Isto nem sempre é consentâneo com as necessidades reais das obras a realizar, que por vezes requerem um grau de delicadeza e cuidado incompatível com o contexto ordinário de obra de construção civil. Num contexto de conservação e restauro, a lógica de caderno de encargos fechado à partida pode não ser a mais adequada.

Deve pressupor-se que a empresa especializada possa e deva propor as soluções que entenda mais adequadas para a resolução dos problemas identificados. Por outro lado, a obra, neste contexto, é sempre um processo iterativo norteado por um objectivo a cumprir, e que passa pelo ensaio e experimentação no local.

É necessária uma educação dos agentes envolvidos para a sensibilização relativa aos valores patrimoniais de modo a que estes sejam desde o início variáveis integrantes na complexa equação do projecto. É no confluir da sensibilidade dos projectistas, do dono de obra, dos empreiteiros e das entidades financiadoras que se podem levar a cabo processos

estruturados, lógicos e coerentes, que observam desde início os princípios correctos, os tempos de execução adequados e salvaguardam também as questões orçamentais.

A documentação gráfica durante o processo de obra pode corresponder a acrescentar mais uma ou várias camadas de informação aos elementos anteriores, o caso da Conservação e Restauro. Essas camadas correspondem ao registo, em posição, das acções e materiais utilizados na obra. Este tipo de registo é tanto mais importante quanto maior for a componente de conservação e restauro. Os documentos que resultam desta operação constituem valiosas fontes de informação para intervenções futuras pois permitirão a compreensão mais cabal do objecto em análise. Por outro lado, este tipo de registo também tem o objectivo mais prático de permitir quantificar, de facto, a quantidade de material utilizado bem como a sua localização. Embora se possa colocar a questão se essa definição não deveria ser realizada a montante da intervenção, o que é facto é que, como se pode subentender do que foi dito acima, o processo de intervenção em conservação, restauro e mesmo na reabilitação pode não ser perfeitamente previsível à partida. Por exemplo, a observação exterior de uma junta de pedra pode não permitir determinar com precisão a quantidade de calda necessária para a preencher...

2.1.1.4. A divulgação

Todas as intervenções devem obedecer ao princípio do registo e documentação sistemáticos a três níveis que correspondem ao antes, durante e depois da intervenção, como é descrito em recomendações internacionais como é o caso da tão célebre carta de Veneza. Esta informação não deve ficar inacessível. Por um lado, após a realização dos trabalhos deve ser feito, para vários efeitos (pedagógicos, culturais, turísticos, para suportar futuras intervenções), o arquivo e divulgação de todo o processo. Este pode ser realizado sob a forma de exposições, bases de dados interactivas on-line, documentários, suportes multimédia, vídeo e infografia. Por outro lado, mesmo durante a realização das obras pode aproveitar-se a oportunidade para organizar visitas de estudo para profissionais da área ou de áreas afins, estudantes, público em geral, contribuindo para a sensibilização geral e para uma cultura de preservação do património.

A divulgação de casos exemplares de intervenção permite ainda o estabelecer de referências para intervenções futuras. Isto assenta na noção de que o processo de Conservação é cíclico. Isto é, a informação produzida hoje informa os processos de amanhã [ABB*07].

2.1.2. Da descrição à interpretação

A implementação de qualquer modelo de análise corresponde a um caminho que vai da descrição até à interpretação; descrição do objecto e dos fenómenos, e interpretação das relações entre o objecto, os fenómenos e suas causas.

Em certa medida, não é possível descrever sem interpretar e não é possível interpretar sem descrever. Porém, seja-nos permitido postular que para interpretar é preciso descrever. Estas são duas fases de qualquer processo analítico sobre a arquitectura construída. Digamos que através da descrição se produzem os suportes para o registo da interpretação, que esta se processa através de modelos de análise e que em parte também lhes serve de suporte.

Tanto a descrição como a interpretação de um objecto arquitectónico podem ter vários níveis de profundidade que implicam diferentes tipos de conhecimento por parte dos agentes dessas acções, o que vem reforçar a necessidade metodológica de distinguir descrição e interpretação. O diagrama da figura 2-3 caracteriza os modelos de análise do ponto de vista do tipo de informação que lhes é inerente.

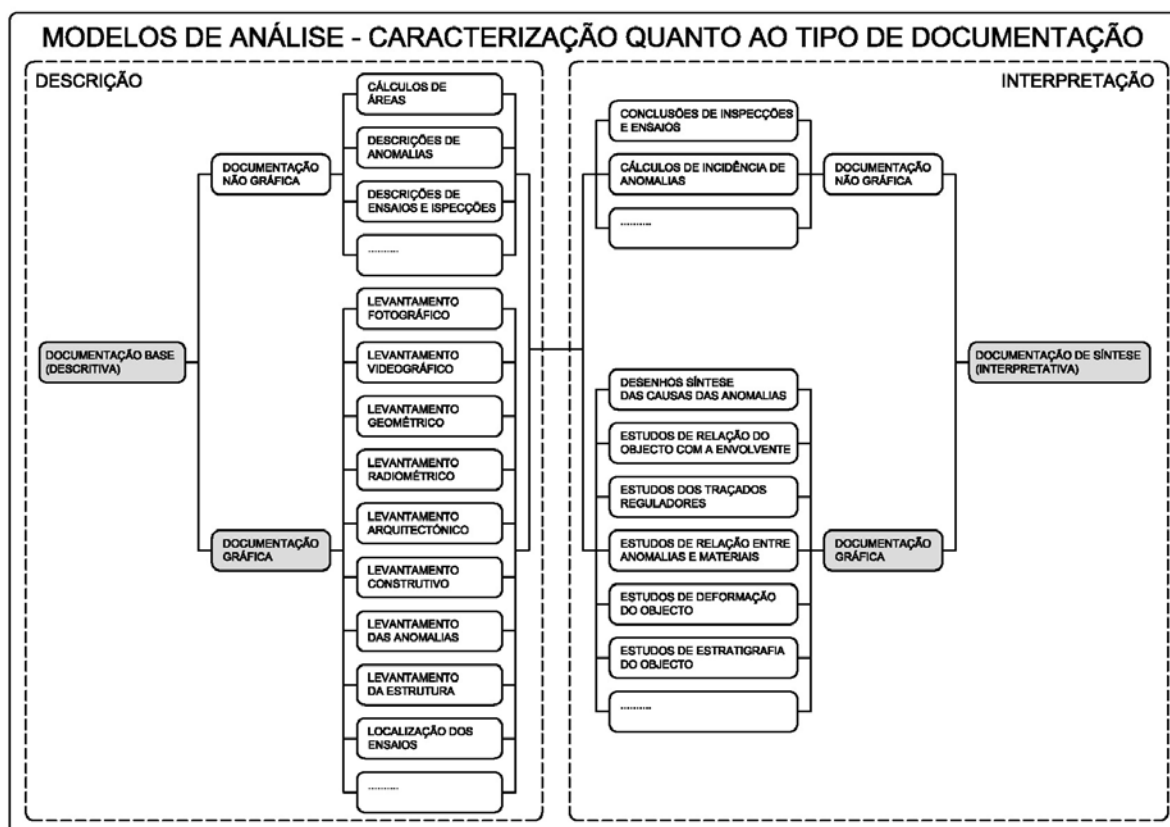


Figura 2-3: Caracterização dos modelos de análise quanto ao tipo de documentação.

Distinguímos dois tipos de documentação no processo de caracterização do objecto: a documentação gráfica e a documentação não gráfica. Esta distinção é metodológica pois temos a perfeita consciência que estes dois níveis de informação coexistem. Contudo há suportes em que a informação de um tipo é predominante. Por exemplo, num desenho de levantamento a documentação gráfica será predominante mas também há informação não gráfica, por exemplo as legendas, a notação, as cotas, entre outra. E esta é fundamental para que aquela seja inteligível.

2.1.2.1. Os modelos de análise

Os modelos de análise são o que permite uma abordagem sistemática ao processo de conhecimento da estrutura arquitectónica sob estudo. Permitem uma aproximação metódica e ordenada que procura evitar omissões e esquecimentos, com natural prejuízo para o entendimento e avaliação global dos diversos aspectos que devem informar uma intervenção consciente [Fei89]. Procuramos, de seguida, descrever sucintamente em que consistem os modelos de análise atrás designados.

Análise icónica

O modelo icónico de análise tem por objectivo a definição das características volumétricas e espaciais e daí deduzir as qualidades geométricas do edificado, o que poderá apontar para o nível cultural da construção e dos seus projectistas, o que, em última análise poderá servir para reconhecer valor. Em nossa opinião pressupõe, para além dos dois níveis de análise propostos por Feiffer [Fei89], um terceiro nível de análise como refere Appleton [App03]: i) a esquematização a uma escala pequena da composição espacial da construção e envolvente, e ii) esquematização a uma escala maior do edifício isolado, iii) leitura e análise das irregularidades específicas.

O primeiro nível compreende: i.1) a visão sintética de todos os volumes e espaços, i.2) a relação entre o objecto e a envolvente, i.3) relação interior e exterior do objecto, e i.4) relação entre espaços construídos e abertos.

O segundo nível compreende: ii.1) a relação entre as partes e o todo, ii.2) a análise da lógica geométrica geradora (traçados, operações aditivas ou subtractivas), e iii.3) a análise da agregação dos espaços.

O terceiro nível compreende: iii.1) a identificação e o entendimento das singularidades como sejam as ligações intrincadas entre edifícios, entre cruzamentos, desníveis, ressaltos, espaços ocultos, elementos decorativos, estátuas, iii.2) a hierarquização de tipos construtivos, por exemplo através da leitura de espessuras de paredes e pavimentos, da leitura de desvãos, o que pode permitir tecer conjecturas mais

informadas acerca dos tipos construtivos que devem ser confirmadas ou infirmadas nas análises posteriores.

Os suportes gráficos típicos para se proceder a este tipo de análise são as plantas, cortes e alçados, as axonometrias explodidas e as fotografias.

Análise distributiva

Este modelo de análise está intimamente relacionado com o anterior e poderá ser encarado como o seu desenvolvimento e consequência lógica. Consiste em proceder à análise da construção, piso a piso, de modo a identificar e compreender a articulação das várias funções, sendo por isso mais abstracto. Pode assumir a forma de organigramas embora se possa considerar desejável que estes se sobreponham de algum modo às representações literais do espaço (plantas, cortes, alçados, axonometrias).

Uma das formas de considerar este modelo autónomo em relação ao primeiro é considerar que o primeiro é mais formal, isto é, atende mais às características morfológicas, e que este atende mais às características funcionais. Contudo, poderá considerar-se integrado na segunda parte do primeiro modelo de análise, ao nível da análise da agregação dos espaços. Pressupõe: i) a esquematização e articulação entre as várias funções (uma relação cabal deste tipo implica considerar todos os espaços e respectivos interfaces; estes são em geral vãos), ii) a análise da relação público e privado, iii) a análise da relação entre volume/área e função, iv) o estudo da relação entre percursos e funções, v) a análise da hierarquização das funções, e vi) a análise da relação horizontal e/ou vertical de funções.

Do nível de elaboração e hierarquização funcional encontrado saem também indicadores dos níveis culturais e de elaboração associados à produção ou alteração do objecto bem como pistas para a redefinição de usos em projecto. Isto é, este tipo de análise deve informar a definição do programa de projecto, em particular no caso da reabilitação.

Análise construtiva

Trata-se de um modelo em que se analisa a componente física no seu aspecto concreto e material, devendo: i) considerar o terreno em que se insere a construção como o primeiro material da construção e que, por isso, tem implicações no que sucede nas cotas mais elevadas, ii) individualizar os elementos construtivos e ilustrar a sua lógica de articulação construtiva por exemplo através de desenhos em axonometria explodida (mostrando encaixes, estereotomias, encastramentos), iii) hierarquizar os vários elementos construtivos e identificar os materiais de que são constituídos através de uma codificação e simbologia própria e permitir o entendimento da relação entre a geometria da construção e as características dos materiais empregues (geometrias de compressão e arcos em pedra, geometrias de tracção e compressão e asnas de madeira), iv) permitir o entendimento dos

modelos estruturais presentes, v) fornecer dados que permitam uma primeira aproximação ao comportamento estrutural do edifício, e vi) considerar as deformações próprias do edifício no estado actual.

Análise do estado de conservação

Das várias análises que é necessário fazer, a recolha de informação sobre o estado de conservação é uma etapa fulcral no processo de salvaguarda e invariavelmente é uma etapa a considerar. Nesta ocorrem as acções que a seguir se descrevem. Trata-se de uma etapa que pode ocorrer de forma iterativa e prolongar-se para as fases seguintes do processo, em particular para a fase de obra.

Trata-se de um modelo de análise que tem por principal objectivo a interpretação das formas de degradação e a partir destas inferir causas que as desencadeiam (por exemplo, a relação causal entre o fenómeno da hidrólise e a arenização das rochas silicatadas, entre o fenómeno da sulfatação e as crostas negras dos calcários, entre o fenómeno das eflorescências e cripto-eflorescências e os sais solúveis, entre a humidade e a podridão da madeira; os factores climáticos, a localização na construção).

Para além da inspecção visual poderá estar implicado o recurso a equipamentos específicos (humidímetros, espectro colorímetros, termografia, microscópios, fissurómetros, “cães treinados”, entre outros) que permitem recolher informação que poderá e deverá ser registada sobre a informação métrica de base com uma simbologia adequada.

Análise estrutural

Dependendo dos casos, pode ser necessário fazer a análise do comportamento estrutural das estruturas edificadas, incluindo as fundações do edifício e por conseguinte a interacção deste com o terreno. Esta análise deve ter em consideração a caracterização construtiva acima descrita no que diz respeito às propriedades mecânicas dos materiais, e consiste genericamente em modelar o comportamento estrutural dos edifícios com o objectivo de procurar identificar as causas prováveis das manifestações das anomalias relacionadas com o desempenho estrutural. Com esta análise pode ser possível determinar as causas de determinado tipo de fissuras, de determinado tipo de deformações. Esta análise também pode e deve incluir inspecções e ensaios específicos como por exemplo a monitorização de fissuras para verificar se estão activas ou não.

Uma primeira abordagem ao problema da integridade estrutural de um edifício antigo, pode ser feita através da leitura visual dos levantamentos, procurando encontrar padrões de deformação, como a distribuição de fissuras e empenos. A este nível a documentação gráfica base desempenha um papel importante como instrumento de análise.

Numa segunda fase pode proceder-se à modelação matemática do comportamento estrutural.

Para a análise estrutural do edifício o mesmo é despidido de elementos acessórios não estruturais, pese embora o facto de que em edifícios antigos haja elementos que originalmente não tinham função estrutural e que, em virtude das deformações do mesmo ao longo do tempo, acabaram por adquiri-las. É por exemplo o caso de tabiques. Os elementos que importa considerar são as paredes estruturais, os pavimentos, as caixas de escada e as coberturas. Esta representação depurada permite a construção de modelos geométricos mais ou menos simplificados que tentam reproduzir matematicamente o comportamento estrutural das construções. Estes modelos devem ser devidamente calibrados de modo a traduzir as condições existentes.

Análise estratigráfica

O conceito de estratigrafia é proveniente da Geologia e adquiriu muitas das suas características primárias como resultado das descobertas científicas feitas do sec. XVII em diante. Uma dessas características é a que aponta no sentido de uma cronologia relacionada com os estratos e com as interfaces entre eles, associados a uma regra de deposições [Har89].

Na análise estratigráfica, a estrutura arqueológica começa por ser segmentada em unidades mínimas correspondentes a acções humanas com significado, por exemplo uma marca de canteiro, uma fissura, uma pedra. Essas unidades mínimas são designadas por unidades estratigráficas (UE). Dependendo do nível de profundidade do estudo a realizar as UE podem ser mais ou menos abrangentes. São caracterizadas através dos aspectos geométricos, posicionais e materiais. É feito o estudo da incidência geométrica das várias unidades estratigráficas entre si. Este consiste na definição do grafo de interligações entre UE. Também é estabelecida uma relação temporal entre UE adjacentes. A relação temporal entre duas UE, A e B, adjacentes assume um de três valores: i) A é anterior a B, ii) A é coetâneo de B, ou iii) A é posterior a B. Também é possível atribuir o valor de relação temporal não definida. Com base no grafo de incidências e nas relações temporais é possível sintetizar os resultados da análise sob a forma de uma matriz, designada com o nome do seu autor, a matriz de Harris. A relação temporal global designa-se por cronologia e pode ser expressa em termos relativos ou absolutos.

Várias UE podem ser agrupadas de modo a definir acções construtivas ou fases construtivas. Acções construtivas típicas são, por exemplo, paramento, arco, muro.

As fases e as acções construtivas são o nível mais alto de segmentação do edifício. Um monumento pode ser considerado como um conjunto de edifícios.

Estes resultados podem servir para entender as sequências construtivas e com isso compreender as actuais configurações espaciais das estruturas o que pode contribuir para uma hierarquização de valores sobre os vários elementos da edificação. Trata-se de uma abordagem do particular para o geral. Para esta disciplina não é relevante a caracterização do estado de conservação dos materiais.

2.1.2.2. Da descrição do objecto em função das análises a realizar

Os problemas usuais que se apresentam no processo de projecto de conservação e cuja resolução passa por dispor de suportes gráficos são: i) a definição da geometria dos objectos e seus constituintes, ii) a medição de unidades, comprimentos, áreas e volumes, iii) o registo de sínteses gráficas decorrentes das variadas análises, referidas em 2.1.1.2, iv) o planeamento de acções através do desenho ou modelos 3D, e v) a conexão entre estes elementos gráficos e os elementos não gráficos próprios do processo de projecto. Todos estes aspectos contribuem para leitura e compreensão do objecto arquitectónico sobre as quais se funda o seu conhecimento. A abordagem a estes problemas pode ser feita através de procedimentos perfeitamente estabelecidos, que notamos por tradicionais, pode incorporar métodos e técnicas inovadoras como são a FDT e o VL3DT ou valer-se exclusivamente deles. Em termos de documentação gráfica, ao que resulta dos dois problemas iniciais – i) e ii) – designamos por documentação gráfica de base e ao que resulta dos restantes problemas – iii), iv) e v) – designamos por documentação gráfica de síntese.

Critérios de segmentação do objecto

Qualquer análise que se pretenda efectuar implica a definição de um critério de segmentação do objecto construído. Não nos referimos aqui à discretização da estrutura para efeitos de medição. Falamos antes de segmentação como leitura do objecto, embora esta possa informar aquela.

Em conservação, restauro e reabilitação, a forma de segmentar um edifício antigo não é única. Pode adoptar-se o mesmo critério de segmentação para todas as análises ou definir os que melhor se adequam a cada análise o que se prende também com o nível de profundidade das mesmas. Assim, o mesmo edifício, conjunto de edifícios ou objecto, pode ser decomposto de vários modos. Por exemplo se pretendermos fazer a beneficiação do exterior de um edifício podemos subdividi-lo em fachadas e coberturas. Cada um destes elementos pode ser subdividido. Por exemplo as fachadas podem ser subdivididas em superfícies em pedra, superfícies de reboco, vãos, e elementos decorativos (brasões, cachorros, esculturas, ou outros). As coberturas também podem ser subdivididas (por exemplo, águas, trapeiras, mansardas). Se estivermos a falar de um objecto escultórico de

dimensões mais reduzidas, por exemplo um chafariz, podemos subdividi-lo em tanque, espaldar, bicas, colunas, elementos metálicos, entre outros.

Se considerarmos uma análise icónica ou distributiva [Fei89] o critério de segmentação poderá ser o das unidades formais ou das unidades espaciais, se considerarmos uma análise estratigráfica, o critério de segmentação é o da definição de unidades mínimas com significado, as UE, e se considerarmos a caracterização construtiva e o estado de conservação, o critério pode ser o das tipologias construtivas (arcos, abóbadas, fundações, paredes estruturais), podendo, neste último caso, também haver um agrupamento em função das formas de degradação.

Na prática qualquer que seja o critério de segmentação do edifício, este corresponderá a uma sequência de subdivisões cada vez mais finas e específicas, do tipo hierárquico, que permitem estruturar a informação a recolher e a tratar. Também pode haver inter-relação entre critérios, por exemplo começar pelas unidades formais e depois assumir em cada uma destas os elementos construtivos, ou começar pelas formas de degradação e agrupar os elementos construtivos em sua função. Enfim, as hipóteses de combinação são inúmeras.

A forma como se segmenta um edifício implica a estruturação da recolha e armazenamento da informação a seu respeito. Tal facto assume particular importância para o registo e gestão da informação. Nos ambientes informatizados em que hoje se opera é praticamente inevitável que a prática corrente passe por um registo e uma gestão electrónica da informação em bases de dados [CB07]. Assim um determinado tipo de segmentação do edifício apontará seguramente um caminho para o planeamento e elaboração de tais bases de dados.

Cada uma das várias abordagens, na sua área disciplinar específica, enfatiza diferentes aspectos: contextual, geométrico/posicional, material, construtivo, de articulação dos elementos, e do estado de conservação. Para cada uma dessas áreas disciplinares a lógica natural de segmentação do edifício pode ser distinta. Contudo, em alguma altura é necessário encontrar plataformas comuns de entendimento que partilhem conceitos e léxico sob pena de não haver comunicação possível entre os vários agentes que devem intervir na construção ou de esta ser deficiente.

Para a análise construtiva o objecto deve ser segmentado nos seus elementos construtivos. Não existe um único critério de segmentação e deve depender do nível de profundidade da análise a efectuar. Vários autores propõem distintos critérios e modos de segmentação do edifício. Genericamente, interessa identificar o tipo de terreno de fundação, as fundações, a constituição das paredes, a existência de elementos estruturais singulares (tirantes metálicos, ancoragens, elementos decorativos, vestígios de antigos elementos de construção), pavimentos, estruturas de cobertura, coberturas em terraço ou em telhado,

vãos, cantarias, caixilharias, e instalações. Toda esta leitura sistemática deve incluir a identificação dos materiais e a sua articulação [Fei89] [App03] [Coi06].

É importante garantir um sistema de referenciação dos vários elementos recolhidos. Este poderá pressupor o preenchimento de fichas por elemento organizadas em base de dados. Naturalmente, a informação recolhida é a que permitirá vir a informar o processo de tomada de decisão sobre a atitude mais correcta a tomar em relação à intervenção [App 03].

Definição e adopção de léxicos apropriados

Para tornar possível a prossecução de qualquer das análises, após estar definido um critério de segmentação do objecto ou dos aspectos a observar, é necessário expressá-los de acordo com um léxico adequado.

Por exemplo, para a análise do estado de conservação deve ser realizado um conjunto de visitas ao local para reconhecimento específico das formas de degradação (anomalias) presentes. A definição e adopção de um léxico de anomalias corresponde a um reconhecimento, feito no local, das formas de degradação presentes, acompanhada da sua explicitação através de texto e imagem. Esta tem o objectivo de tornar o léxico claro e o mais evidente possível aos agentes que em campo e em gabinete vão proceder à cartografia das mesmas. Deve notar-se que, o objectivo desta etapa é apenas o de descrever as anomalias remetendo-se para uma etapa posterior a identificação das causas. Definido o léxico torna-se necessário definir os critérios de recolha de informação. Esta recolha de informação pode ser apenas visual ou não. Com efeito, o termo visual emprega-se aqui como designativo da recolha de informação que se faz utilizando os sensores naturais de que o ser humano dispõe, isto é, os seus cinco sentidos. Assim, como informação não visual consideram-se os ensaios, mais ou menos destrutivos, e as análises laboratoriais. Seja de que forma for, há ainda que optar se a informação vai ser recolhida de forma exaustiva ou por amostragem. E no caso de se adoptar pela amostragem é necessário escolher as zonas de amostragem de modo a representarem troços significativos do objecto de estudo bem como antever os modos de extrapolação de informação das zonas analisadas para o geral.

Definição de critérios de contabilização

Quer se trate de caracterização construtiva, de recolha de informação sobre o estado de conservação, de análise estratigráfica, ou de análise formal, é preciso definir o critério segundo o qual os dados devem ser recolhidos. Neste caso referimo-nos simplesmente à adopção de um método de contabilização, isto é, à unidade, por comprimento, por área, ou por volume, por grupos de elementos, por unidades formais ou outros.

Escolha e preparação de suportes base para registo de dados

Feitas as considerações anteriores é necessário estabelecer quais são os suportes mais indicados para suportar a recolha de informação em campo, a sua sistematização, registo e apresentação. Estes podem assumir formas variadas desde: plantas, cortes, alçados, modelos 3D, fotografias, fotos rectificadas, orto-imagens, texto corrido, quadros e tabelas, gravações áudio e vídeo, bases de dados, relatórios, ou outros.

Ao optar por um tipo de suporte é necessário definir também o seu nível de desempenho. O nível de desempenho pode colocar-se sob vários prismas: i) métrico, ii) conteúdos, e iii) forma de apresentação. É por exemplo o caso de levantamentos, de modo a que estes possam servir, com maior ou menor profundidade, para o registo dos dados recolhidos e eventualmente servirem também como base para a definição das acções a realizar. Por exemplo, ao definir que os elementos de suporte devem ser sob a forma de plantas, cortes e alçados, é natural pensar que se estes elementos forem produzidos manualmente, por topografia com estação total, ou através de varrimento laser, diferentes níveis de precisão são expectáveis. Em conservação importa dispor do que se designa por levantamento arquitectónico sobre o qual se sintetizam outro tipo de levantamentos como o levantamento construtivo ou do estado de conservação. E o levantamento arquitectónico tem sempre por base o levantamento geométrico e por vezes o levantamento radiométrico.

Os suportes podem ser mais ou menos elaborados, mais ou menos rigorosos, de naturezas distintas. Podem demorar mais ou menos tempo a produzir e exigir mais ou menos recursos humanos, técnicos, financeiros. Mas seja qual for o caso têm de ser adequados ao registo das informações que se pretende recolher e analisar.

Esses suportes podem ser gráficos ou não. Debruçar-nos-emos aqui sobre os suportes gráficos.

Dispor-se das técnicas mais sofisticadas, só por si não é um garante da produção de suportes válidos ou mais adequados. É preciso definir claramente o que documentar, com que nível de detalhe se deve diferenciar o objecto, e com isso mobilizar os meios adequados para a produção da documentação.

Recolha de informação temática

Considerados os suportes adequados às análises a realizar, deve realizar-se um conjunto de visitas a campo para a recolha dos dados que deve ser levada a cabo seguindo escrupulosamente os critérios e planeamento previamente adoptados sob pena de, se tal não for considerado, a informação recolhida poder ser inútil.

Numa primeira fase a recolha de informação é a que permite a produção posterior de suportes base como é o caso do levantamento geométrico ou do levantamento arquitectónico. Para a recolha destes dados utilizar-se-ão câmaras fotográficas, fitas-

métricas, fios-de-prumo, estações totais, scanners de varrimento laser, ou quaisquer outros instrumentos considerados adequados.

Numa segunda fase, ou integrada na primeira fase, a recolha de informação visa informar tipos de levantamento mais específicos, como é o caso do levantamento das anomalias. Esta pode ser apenas sensorial, isto é, apenas utilizando os sentidos naturais ou pode ser sob a forma de ensaios, mais ou menos destrutivos, utilizando equipamentos específicos como humidímetros, espectrocolorímetros, termografia, ou outros. A recolha de dados deve começar por ser efectuada no local registando, por exemplo, as várias formas de degradação sobre desenhos impressos do levantamento, e registando sobre estes as localizações dos ensaios a realizar. Naturalmente também se pode pensar, sobretudo hoje em dia, em soluções que se traduzem logo no registo digital de dados sobre o estado de conservação por exemplo através da utilização de meios informáticos portáteis.

A utilização de imagens fotográficas, rectificadas ou não, também se pode constituir como um suporte de análise adequado para a recolha de informação que se relaciona com o aspecto visual.

Cada aspecto próprio de uma análise, por exemplo uma manifestação de degradação, só deve ser registada uma vez para evitar duplicação de registos e subsequente duplicação de contabilização de trabalhos ou custos.

Por exemplo no caso da análise do estado de conservação, a informação visual pode ser recolhida em campo e registada em suportes impressos, que podem posteriormente ser vectorizados de forma mais ou menos exaustiva e sobrepostos, em formato digital, aos levantamentos. Esta fase deve ser validada no local confrontando as sínteses gráficas produzidas com a observação visual directa.

A informação recolhida deve ser compilada e tratada de modo a fornecer um conjunto documental de base e/ou de síntese sobre os vários aspectos do objecto consoante seja pretendido.

Esta síntese é feita sobre a forma de suportes gráficos variados. É preciso considerar a hipótese que o tratamento dos dados obrigue a redefinir alguns dos critérios de recolha e que por isso seja necessário voltar a campo para proceder a novas recolhas de dados. Nota-se que esta situação deve constituir a excepção uma vez que pode obrigar a mobilizar meios que se julgava não serem mais necessários e que por isso não se encontram disponíveis.

Nos casos em que se optou por uma recolha de informação através do critério da amostragem é preciso agora definir as funções de extrapolação dos dados para o restante objecto de modo a poderem ser obtidos valores globais válidos.

Como resultado do tratamento de informação deve resultar a produção de um conjunto de relatórios que deverão alimentar a avaliação a realizar com o objectivo de definir um conjunto de princípios norteadores das acções de projecto seguintes.

Salienta-se que nas várias análises a realizar pode intervir uma multiplicidade de disciplinas que se revestem de especificidades próprias. Estamos por exemplo a referir-nos a especialistas em desenho de arquitectura, em engenharia, em geologia, em conservação, história, ou outros.

2.1.3. Da produção da documentação gráfica descritiva

Do que tem sido afirmado pode deduzir-se que a documentação gráfica em Conservação, Restauro e Reabilitação é sempre um meio e nunca um fim em si, de onde resulta que não deve ser produzida sem objectivos em vista, pois são eles que norteiam a produção da informação. Não quer isto dizer que a documentação não possa servir fins não previstos inicialmente, mas partir para um processo de documentação no contexto da Conservação sem definir objectivos específicos não é, em nosso entender, o procedimento correcto.

Os tipos de documentação gráfica de base

O primeiro nível de descrição de uma estrutura arquitectónica é o da geometria e o da cor. De uma forma muito elementar, quando, ao olhar para um edifício se diz, explicitamente por notação, ou implicitamente por omissão, isto é um rectângulo castanho com dois metros por um metro contido num rectângulo branco com dez metros por três metros, estamos a este nível básico de descrição.

Se acrescentarmos a declaração de que isto é uma porta castanha numa parede branca, elevamos o nível da descrição para o da descrição arquitectónica.

Pela mesma ordem de raciocínio podemos acrescentar que a porta é de madeira de carvalho e que a parede é de pedra calcária, para nos elevarmos ao nível da descrição dos materiais; ou podemos dizer que a porta é composta por duas almofadas de determinado tipo, com guarnições encastradas na parede de determinado modo e que a parede está construída de acordo com determinado tipo de estereotomia, para passarmos à descrição construtiva. Para chegarmos à descrição do estado de conservação poderíamos acrescentar que existe colonização biológica na pedra ou que esta apresenta determinada forma de desgaste. O passo seguinte, o da descrição do comportamento estrutural passaria por descrever, por exemplo, os empenos da parede.

Os vários níveis de descrição podem ser mais ou menos implícitos. Podem ser notados através de simbologia adequada sobreposta a desenhos ou podem ser inferidos das qualidades visuais directas de imagens sem nenhuma espécie de notação ou

simbologia. Neste último caso o entendimento da mensagem veiculada pelas descrições fica sujeita à subjectividade interpretativa de quem lê, o que pode ter vantagens como inconvenientes.

Seja como for, uma fase descritiva procura sempre dar resposta a questões do tipo “o quê?”.

Nas fases interpretativas procura dar-se resposta a questões do tipo “porquê?”, isto é, procuram apurar-se as causas que justificam a forma como os fenómenos aparecem à percepção de quem os observa.

Podem procurar interpretar-se as razões de determinada configuração geométrica ou espacial, de determinada lógica de interrelação de materiais, de determinada anomalia.

Para proceder a estas interpretações é necessário dispor de modelos de análise como apontámos acima.

Documentação gráfica e levantamentos

A documentação gráfica da arquitectura construída pode assumir várias formas: i) o desenho de observação vulgo esquissos, ii) a fotografia, iii) o levantamento arquitectónico, sob a forma de plantas, cortes, alçados, axonometrias, fotografia rectificada, orto imagens iv) os modelos 3D virtuais, v) representações interpretativas (análises gráficas).

Se consultarmos qualquer dicionário de sinónimos, levantamento significa o “desenho da planta de um terreno, da carta de uma região, etc., após as necessárias medições”¹⁴, isto é, uma representação gráfica descritiva de um objecto, conjunto de objectos ou área e sua condição, após as necessárias medições. Da mesma forma podemos ver o que se entende por medir. Medir é “avaliar ou determinar uma extensão ou quantidade comparando-a com uma grandeza definida; (...) percorrer com a vista; olhar”.

Num levantamento gráfico há pelo menos dois momentos chave: Medir + Representar.

Com efeito, se quisermos adaptar estas definições formais a uma definição de levantamento que nos sirva, podemos dizer que um levantamento é uma síntese gráfica de um objecto, de um edifício, ou conjuntos, após as necessárias medições. Com efeito podemos considerar o levantamento, nas suas diversas expressões possíveis, como uma forma de documentação gráfica, isto é, um levantamento é sempre documentação gráfica. E a documentação gráfica utilizada e produzida em contexto de Conservação tem sempre por

¹⁴ In Dicionário de sinónimos da Porto Editora.

base a acção de levantamento. Neste sentido, e neste contexto, as duas designações confundem-se quando falamos da produção de documentação gráfica de base.

Por corresponderem ao primeiro nível de documentação, procuramos de seguida definir levantamento geométrico, levantamento radiométrico e levantamento arquitectónico.

No ponto seguinte definiremos um pouco melhor o levantamento geométrico, o levantamento radiométrico e o levantamento arquitectónico pois são os que estão, em princípio, na base de todos os outros.

Levantamento geométrico e levantamento radiométrico

Como já foi dito anteriormente o primeiro nível de definição do objecto corresponde ao levantamento geométrico. Em abstracto, o levantamento geométrico de um objecto corresponde à correcta definição da sua geometria, isto é, o posicionamento relativo dos seus elementos constituintes e/ou o posicionamento do objecto relativamente a qualquer sistema de referência previamente definido.

Associado ao levantamento geométrico podemos considerar também o levantamento radiométrico, isto é, a quantificação da radiação electromagnética emanada ou reflectida pelas superfícies do objecto. Esta pode ser feita, por exemplo, através de fotografia, e ser associada ao levantamento geométrico e consubstanciar-se, por exemplo, sob a forma de imagens rectificadas ou orto-imagens.

Pode pensar-se no levantamento geométrico e radiométrico de um edifício, de uma árvore, de uma estrutura industrial, de uma barragem, de uma caneca, de um osso ou de uma árvore. Cada uma destes objectos pode implicar uma área disciplinar específica que deve informar com exigências próprias as qualidades a exigir aos levantamentos. Assim é desejável que as equipas que se dedicam a estas acções de levantamento contenham nos seus quadros agentes com sensibilidades adequadas aos vários ramos disciplinares a que se pode destinar um produto de levantamento. Muitas vezes a diferença entre produzir um levantamento útil ou inútil é pequena, mas se não for percebida, o resultado pode ser irremediável. A componente da clarificação geométrica é tanto mais premente quanto se verifica que é muito pouco provável encontrar elementos iguais, mesmo que conceptualmente o sejam, em edifícios históricos. Isto deriva do facto de muitos destes edifícios terem sido construídos em contextos pré industriais em que não havia normalização da construção nem fabricação em série [Hen02] e em que os recursos técnicos, por exemplo ao nível da topografia, para a construção também não permitiam o nível de rigor que hoje possibilitam.

Levantamento arquitectónico

O levantamento arquitectónico é mais que um simples levantamento geométrico ou radiométrico, isto é, está sujeito a codificações específicas que vão um pouco além das simples normas de representação gráfica oriundas do desenho técnico. Queremos com isto afirmar que deve haver um nível mínimo de cultura arquitectónica na produção dos levantamentos. Essa deve traduzir-se por uma compreensão mínima do léxico próprio da arquitectura construída e da codificação adequada para a representação desse léxico. Nesse sentido é fruto de uma visão sobre a arquitectura e pode por isso considerar-se um acto cultural. Esta formulação exprime o âmbito genérico do levantamento arquitectónico.

É importante distinguir, em termos metodológicos, que o levantamento arquitectónico deverá corresponder o mais possível a uma descrição, devendo remeter-se para um segundo momento tudo o que está relacionado com interpretação. Com efeito, este tipo de levantamento, que contém em si o levantamento geométrico, e pode ou não conter o levantamento radiométrico, é o suporte para todas as análises referidas em 2.1.1.2. E em termos metodológicos é aí que se situa o momento central da interpretação.

Não quer isto dizer que o levantamento é totalmente objectivo e isento de interpretação. Deverá sê-lo, o mais possível, na sua qualidade métrica mas também é claro que há escolhas a fazer durante o processo, que essas escolhas podem ser diferenciadas e que, por isso, podem levar a resultados diversos. Por exemplo a escolha de maior ou menor número de pontos para a descrição de uma forma é um critério subjectivo, mas a qualidade métrica com que cada um desses pontos é registado deve corresponder a um critério objectivo.

Resumindo, o levantamento arquitectónico constitui o primeiro nível no conhecimento do edificado e deve ser sobretudo descritivo.

O levantamento arquitectónico é, em certo sentido, um processo inverso ao do Projecto de Arquitectura, pois parte-se do edifício construído para a sua representação e compreensão gráfica, enquanto que no Projecto de Arquitectura se parte da representação gráfica para o acto de construir [AGP05].

2.2. Para a documentação gráfica: Princípios, Orientações e Especificações

Wu *et al* [WDY09] abordam o tema do enquadramento da produção da documentação gráfica sob três prismas: i) princípios, ii) orientações e, iii) especificações.

O primeiro destes níveis é o mais geral. Corresponde a um nível de enquadramento disciplinar que informa e dá “alma” às intervenções e aborda as questões gerais e doutrinárias.

O segundo nível é um nível formativo, que pode consubstanciar-se através de textos, guias práticos, que “ensinam” a fazer.

O terceiro nível é o mais exigente pois implica o cumprimento de normas.

2.2.1. Princípios

Neste ponto procuraremos inventariar um conjunto de canais através dos quais se veicula informação relevante para o nosso tema de investigação. Esses canais constituem-se como uma possível fonte de acesso a: i) comunidades científicas, ii) especialistas, iii) bibliografia, iv) exemplos práticos, e iii) recomendações metodológicas.

Através da leitura das recomendações internacionais, da leitura do âmbito de acção de entidades internacionais, como o ICOMOS ou o CIPA, ou nacionais como o IGESPAR ou o IHRU, através do enquadramento legal nacional, procuramos perceber de que modo é enquadrada a documentação gráfica nos processos de salvaguarda. Serve-nos esta diligência para procurar estabelecer que as matérias relacionadas com a documentação gráfica não estão descontextualizadas de princípios gerais de intervenção sobre o Património e para tornar claro que se trata de assuntos que merecem discussão por parte da comunidade científica nacional e internacional bem como por parte das instituições que têm por objecto a promoção de medidas de protecção do Património Cultural em geral.

É através da leitura e análise da informação veiculada pelas correntes de pensamento que se podem identificar as lacunas de investigação e justificar a pertinência do tema proposto para a nossa investigação.

O ICOMOS e as recomendações internacionais

A primeira recomendação internacional visando o estabelecimento de princípios para a conservação de monumentos históricos, a serem observados além das fronteiras específicas de um estado em particular, foi a Carta de Atenas de 1931. Esta, adoptada no “Primeiro Congresso Internacional de Arquitectos e Técnicos dos Monumentos Históricos”, está dividida em sete secções. A última alínea da última secção é dedicada a um conjunto de recomendações que se prendem com o valor da documentação internacional. É feita a recomendação de que em todos os países seja feito um inventário com fotografias e notas explicativas. É também expresso o desejo de que cada país possa constituir um segundo nível de dados e informação mais detalhados sobre os monumentos históricos que tenha carácter oficial. E, acima de tudo, que desta informação, das publicações dela decorrentes, possam ser fornecidas cópias para uma entidade centralizadora internacional. Há assim um entendimento de que a documentação e sua divulgação constituem um meio privilegiado de conhecimento.

Na sequência de uma crescente consciencialização de que o património construído constitui uma herança transfronteiriça, a UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – fundada em 1945) propôs a criação de uma organização não

governamental para os monumentos e sítios no sentido de promover a sua salvaguarda. Foi assim criado o ICOMOS (International Council of Monuments and Sites) no contexto do “Segundo Congresso de Arquitectos e Especialistas em Edifícios Históricos” que decorreu em Veneza em 1964, congresso em que se aprovou também a conhecida Carta de Veneza sobre a Conservação e o Restauro de Monumentos e Sítios. A própria UNESCO é sede de publicações e recomendações como por exemplo a recente publicação, pelo Conselho da Europa, do “Guidance on inventory and documentation of the cultural heritage” [Pal09].

Durante a sua existência, o ICOMOS tem proposto e aprovado, sob a forma de cartas, resoluções ou declarações, um conjunto de orientações dirigidas à boa prática no âmbito da salvaguarda do património. Parte dos conteúdos dessas orientações dirigem-se, como não podia deixar de ser, a questões que devem ser observadas nos processos de registo e documentação patrimonial de forma mais ou menos explícita. Mesmo que não se refiram directamente a questões documentais, depreende-se que, pelos processos referidos, estão implícitas acções desta natureza. De seguida passaremos em revista as várias recomendações do ICOMOS a este respeito, incluídas em diversos textos a que se pode ter acesso através da internet (<http://www.international.icomos.org/charters.htm>).

No artigo 16º da carta de Veneza é desde logo recomendado que em todas as obras de preservação, restauro ou escavação, deve haver documentação precisa sob várias formas e nos vários momentos das intervenções, entre as quais se encontram os desenhos e a fotografia.

No artigo 5º da Carta para a Conservação das Cidades Históricas e Áreas Urbanas, de 1987, é notado que antes de qualquer intervenção, as condições existentes na área devem ser minuciosamente documentadas.

A Carta para a Protecção e Gestão do Património Arqueológico, de 1990, aborda de forma mais extensiva, embora em contexto mais restrito, as questões relacionadas com registos, levantamentos e documentação. Assim, dedica o seu artigo 4º ao levantamento, notando que a protecção do património arqueológico tem de se basear no conhecimento o mais extensivo possível sobre a sua natureza. Parte desta exigência é conseguida através do levantamento geral dos recursos arqueológicos, que é também encarado como uma ferramenta de trabalho imprescindível e como algo que deve ser uma obrigação básica na protecção e gestão do património arqueológico. Reconhece-se que os inventários constituem o recurso primário para o estudo e investigação científicos e que devem ser encarados como processos dinâmicos e contínuos.

No artigo seguinte, relativo ao processo de investigação, é posto em relevo que a aquisição de informação acerca deste tipo de património não o deve pôr em risco mais que o estritamente necessário. Assim, é recomendado o recurso a técnicas não destrutivas, quer se trate de levantamento aéreo ou terrestre, e a escavações pontuais. As técnicas

subjacentes à nossa investigação, isto é, a FDT e o VL3DT enquadram-se perfeitamente nesta recomendação. No artigo 7º é também notada indirectamente a importância da documentação, embora ao nível da divulgação. Afirma-se que a apresentação do património arqueológico ao público é um método de promover a compreensão das origens e do desenvolvimento das sociedades modernas. Com efeito, na nossa opinião, parte desta divulgação pode passar por documentação gráfica e multimédia, e este princípio pode aplicar-se para além da arqueologia.

Na Carta sobre a Protecção e Gestão do Património Subaquático, de 1996, é notado como princípio fundamental que a preservação no local deve ser a primeira opção, e que o levantamento não intrusivo deve ser encorajado em detrimento da escavação, para além de que toda a investigação deve ser adequadamente documentada. No artigo 8º, sobre documentação, é salientado que esta deve ser fornecer um registo abrangente do sítio, que deverá incluir, entre outras coisas, plantas e desenhos, fotografias e registos de outra natureza, sempre observando os padrões da documentação em arqueologia.

Como consequência lógica das anteriores recomendações, em que as questões relacionadas com a documentação estão vertidas de forma parcial e inscritas em contextos mais específicos, o ICOMOS ratificou os “Princípios para o registo de Monumentos, Grupos de Edifícios e Sítios” na sua 11ª Assembleia-geral, que decorreu em Sofia em 1996. Este documento estrutura-se em cinco pontos: i) as razões para o registo, ii) a responsabilidade pelo registo, iii) o planeamento do registo, iv) conteúdo dos registos, e v) gestão, disseminação e partilha de registos. A Herança Cultural é definida como monumentos, grupos de edifícios e sítios de valor patrimonial, constituindo o ambiente histórico construído. Entende-se que o registo é, entre outras coisas, a captura de informação que descreve a configuração física num determinado instante e que é uma parte fundamental do processo de conservação. Este documento também salienta que o registo deve ser visto como uma prioridade em contexto de inventário, em contexto de acções de conservação, em particular antes, durante e depois da execução de obras. Se for previsível a actuação de alguma forma de destruição provocada pelo homem ou por causas externas também o registo é entendido como fundamental. Quanto às responsabilidades pela execução dos registos, é declarado que as entidades competentes devem assegurar-se da sua gestão, que os processos são conduzidos de forma apropriada e que, face à maior ou menor complexidade dos processos, os especialistas adequados são envolvidos. Estes podem ser das mais diversas categorias profissionais como arquitectos, engenheiros, geógrafos, historiadores ou outros. É indicado que a primeira tarefa de um processo de registo é a recolha de toda a informação existente e que em função desta se deve planear a extensão e âmbito dos trabalhos de natureza documental a desenvolver. Aqui seleccionar-se-ão os métodos de registo que podem incluir as descrições e análises escritas, fotografias aéreas ou terrestres,

fotografias rectificadas, fotogrametria, levantamento geofísico, mapas, planimetrias métricas, desenhos e esboços, réplicas ou outras tecnologias mais ou menos modernas. É notado que, sempre que possível, se deve dar ênfase a metodologias de registo não intrusivas. Relativamente ao conteúdo dos registos é listado um conjunto de metadados que devem ser incluídos fazendo-se particular ênfase na necessidade de existência de referências cruzadas na informação produzida de modo a facilitar a navegação. Da informação que se pretende obter com os registos podemos notar que esta abrange um largo espectro quanto à sua natureza. Trata-se de informação métrica e morfológica quer dos edifícios quer da envolvente, de informação relativa à significância dos materiais e processos construtivos, dos valores artísticos e científicos, de informação relativa ao estado de conservação, e de informação relativa aos riscos previsíveis de causas humanas ou naturais. Por fim é posta em evidência a necessidade de que os registos sejam arquivados de forma segura e que possam ser acessíveis ao público, nas suas diversas categorias, de modo a promover-se a divulgação e o conhecimento da Herança Cultural.

Mesmo depois desta recomendação, outras se seguem que continuam a não deixar de notar preocupações com a questão da documentação no contexto particular em que se inserem. Como exemplo temos a Carta sobre o Património Vernacular Construído, de 1999, os Princípios para a Preservação das Construções Históricas em Madeira, de 1999, a Carta sobre os Princípios para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico, de 2003, os Princípios para a Preservação, Conservação e Restauro de Pinturas Murais, de 2003.

Retemos como pontos fundamentais da leitura das recomendações: a) a necessidade de documentar antes, durante e depois das intervenções, b) a preferência por técnicas de registo não intrusivas, e c) a necessidade de planear cuidadosamente as acções de registo bem como definir os seus conteúdos, que vão desde as questões métricas, materiais, do estado de conservação, dos valores e dos riscos.

A ISPRS e o CIPA

A ISPRS (International Society of Photogrammetry and Remote Sensing – <http://www.isprs.org/>) é uma estrutura de carácter científico que abarca todos os campos de aplicação da detecção remota, no que se incluem a fotogrametria e o varrimento laser 3D, em campos que vão desde a biologia, medicina, até, naturalmente, o património cultural. O seu passado histórico remonta a 1910 quando foi criada a ISP (International Society of Photogrammetry) e a sua actual designação foi adoptada em 1980.

Em 1969 o ICOMOS em conjunto com a ISPRS formou um comité designado CIPA (antigo Comité Internacional para a Fotogrametria Arquitectónica e actual Comité Internacional para a Documentação do Património Cultural – <http://cipa.icomos.org/>)

vocacionado para a promoção e desenvolvimento de boas práticas ao nível da documentação do património. Uma das suas missões é encontrar plataformas e contextos de diálogo entre os profissionais que produzem a documentação (topógrafos, geógrafos, *surveyors*, etc.) e os profissionais que a utilizam (conservadores, arquitectos, arqueólogos, historiadores, etc.) [Pat04]. Um conceito importante introduzido é o de criar pontes (“*bridging the gap*”) entre os produtores e os utilizadores de informação [Let04]. Com este objectivo é sistematicamente promovida a realização de encontros e conferências internacionais em que se reúnem os profissionais de ambas as áreas, e é mantida uma base de dados com o acesso integral, *on-line*, às publicações científicas resultantes desses eventos. Este organismo está estruturado em grupos de trabalho dos quais emanam recomendações variadas sobre a documentação do Património Cultural. Um desses grupos de trabalho, talvez o mais significativo, operou entre 2002 e 2007, designa-se RecorDIM (Recording, Documentation and Information Management), foi o resultado da iniciativa conjunta do CIPA, ICOMOS e do Instituto de Conservação Getty e teve como objectivo central a definição de um quadro geral de actuação visando a aproximação entre os vários agentes envolvidos na salvaguarda do património [LG01] [Let01] [Let04] [Let07]. Como resultados significativos da sua actividade salientam-se dois documentos: i) *Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places – Guiding Principles* [Let07] e ii) *International Heritage Documentation Standards*¹⁵. O RecorDIM é, no fundo, uma parceria para a aprendizagem em contexto prático e reflexivo consubstanciado por um conjunto de acções de conservação concretas que visam servir de modelos de intervenção e servir como guias de boas práticas [QBE08].

A ISPRS está hoje estruturada em oito comissões. Cada uma das quais se subdivide em grupos de trabalho. O grupo de trabalho 2 (Cultural Heritage Data Acquisition and Processing) da Comissão V (Close Range Sensing: Analysis and Applications) dedica-se especificamente à aplicação da detecção remota ao património cultural. Também são fonte de informação relevante para o nosso estudo os grupos de trabalho 3 (Terrestrial Laser Scanning and 3D Imaging) e 4 (Image-Based and Range-Based 3D Modelling). À semelhança do CIPA, são disponibilizados *on-line* as versões integrais das comunicações resultantes dos seus encontros científicos. Para além disso gere ainda uma publicação científica, o ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Das Assembleias-gerais, que têm lugar a cada quatro anos, resultam sempre um conjunto de resoluções e recomendações que visam orientar e dirigir as actividades de pesquisa das várias

¹⁵ Este documento é ainda um draft e pode ser consultado em :
http://cipa.icomos.org/fileadmin/template/doc/RECORDIM/TG16_REPORT.pdf

comissões. É interessante notar o que consta das resoluções V.1 e V.3 aprovadas pela Assembleia-geral da ISPRS que decorreu em 9 de Julho de 2008 em Pequim¹⁶.

Na resolução V.1 é reconhecido o potencial da complementaridade entre as nuvens de pontos 3D e das imagens 2D, bem como a falta de entendimento sobre o comportamento dos sistemas de varrimento laser 3D no que diz respeito ao seu rigor, recomendando que sejam feitos esforços no sentido da discussão dessas questões.

Na resolução V.3 é notado o potencial das técnicas fotogramétricas para a criação de modelos 3D de alta qualidade representativos de cenas e objectos reais e é reconhecido que é necessário avaliar a sua qualidade através de padrões e procedimentos que devem ser criados para o efeito. Ainda nesta resolução é feita recomendação para o desenvolvimento de tecnologias e produtos inovadores para suportar as actividades da arqueologia, da arquitectura e da conservação através do uso da modelação 3D, da realidade virtual e animação.

O que notámos nestes dois parágrafos entronca no cerne das preocupações da nossa investigação.

As redes de conhecimento – EPOCH e a carta de Londres

Destacamos também as redes de conhecimento que servem como tubo de ensaio e repositório de boas práticas documentais. É por exemplo o caso da rede EPOCH (Excellence in Processing Open Cultural Heritage - <http://www.epoch-net.org>) que reúne mais de uma centena de instituições europeias ligadas ao património cultural e que visa tornar mais efectivo o uso das tecnologias da informação e comunicação aplicadas ao Património. No sítio da Internet da rede pode descarregar-se um conjunto de ferramentas informáticas de utilização livre bem como ter acesso às publicações da rede em formato digital. Note-se que foi do seio desta rede de conhecimento que saiu a proposta de uma das recomendações de referência do ICOMOS, a “Carta sobre a Apresentação e Interpretação do Património Cultural” ratificada na sua 16ª assembleia-geral em 2008. Esta recomendação reconhece que a apresentação e interpretação são componentes essenciais do processo de conservação do Património e são o meio pelo qual se pode melhorar o conhecimento e compreensão do mesmo pelo público em geral. A sua estrutura assenta em sete princípios e noutros tantos objectivos. É interessante notar, a respeito da documentação gráfica, que no número 4 do seu princípio 2º, acerca de fontes de informação, é escrito que “reconstruções visuais, quer sejam feitas por artistas, arquitectos, ou modeladores computacionais, devem

¹⁶ As recomendações das Assembleias-gerais do ISPRS podem ser consultadas em <http://www.isprs.org/documents/resolutions.aspx>

ser baseadas numa análise detalhada e sistemática da informação acerca do estado actual, arqueológica, arquitectónica, histórica, incluindo a análise de fontes escritas, orais e iconográficas, e fotografia. As fontes de informação sobre as quais se basearam essas reconstruções visuais devem ser claramente documentadas e reconstruções alternativas baseadas nas mesmas fontes, se disponíveis, devem ser disponibilizadas para comparação.”

Também no seio da rede EPOCH está a trabalhar-se na produção de uma recomendação internacional, conhecida por “Carta de Londres”, sobre a visualização informática do Património Cultural. O principal objectivo expresso neste documento, estruturado segundo seis objectivos e seis princípios, é o de garantir que a adopção da visualização informática ocorra sempre e apenas que for justificável e que seja reconhecida nesta forma de documentar um estatuto equivalente a outras formas de documentação tradicionalmente adoptadas. Isto é, pretende-se notar que esta forma de documentar pode ser tecnicamente e intelectualmente tão rigorosa e válida como qualquer outra e que em muitos casos constitui uma mais valia e permite um tipo de acesso à informação não viável por outros meios. Como este documento entronca de forma significativa nas nossas preocupações e tema de estudo, debruçar-nos-emos sobre ele com um pouco mais de detalhe.

Os princípios versam os seguintes temas: i) implementação, ii) âmbito e métodos, iii) fontes de pesquisa, iv) documentação, v) sustentabilidade, e vi) acesso.

Ao nível da implementação é notado que o esforço inicial adicional nesta matéria pode ser compensado pelos benefícios dos resultados e que deve ser avaliado nestes termos.

A propósito do âmbito e métodos é tornado claro que não se deve assumir sempre que uma estratégia de visualização computacional é sempre a mais adequada e que a adopção de uma tal estratégia deve ser ponderada em função dos objectivos a que se destina, embora seja notado que há contextos em que é difícil definir *a priori* que estratégia documental é mais adequada.

No que concerne à documentação propriamente dita são relevados vários aspectos interessantes. É notado que as estratégias de documentação devem considerar mecanismos de avaliação e comparação entre as diversas modalidades adoptadas de modo a detectar eventuais problemas e limitações. Por outro lado é notado que se deve declarar, a respeito de uma representação computacional, se é relativa ao estado actual, se é uma reconstituição conjectural ou uma reconstituição baseada nalgum tipo de evidência. À semelhança do que é referido na “Carta sobre a Apresentação e Interpretação do Património Cultural” também é expressa a necessidade de que as fontes que serviram de base à produção da documentação sejam declaradas. É ainda notado que se um método

documental for menos comum para uma determinada comunidade, devem ser feitos esforços no sentido de o tornar mais compreensível. Esta preocupação é também central para o nosso trabalho.

A respeito da sustentabilidade são referidos aspectos relacionados com utilização futura da informação e que se prendem com a escolha mais adequada do método de arquivo, com a preocupação de que os formatos virtuais possam facilmente migrar para outras aplicações de *software*. É feita a observação de que a forma ideal, ou mais durável, de preservar um resultado decorrente da aplicação de uma metodologia documental computacional pode não ser apenas o registo virtual. E se tal for reconhecido devem considerar-se os meios mais adequados de preservação como sejam por exemplo a impressão de desenhos.

É também feito o enfoque no aspecto do acesso à informação e das múltiplas formas inovadoras que a documentação computacional permite por comparação com a documentação analógica.

Em suma, podemos notar que sempre que, de alguma forma, se intervém sobre o Património Cultural, em geral, e Património Arquitectónico, em particular, a necessidade de documentação gráfica é incontornável, e sempre que possível deve adoptar-se métodos de registo não intrusivos. Enquadram-se nesta categoria todas as abordagens que se possam classificar como sendo detecção remota. É o caso da fotografia, da fotogrametria, do varrimento laser 3D, do GPS, entre outros. Por outro lado é feita uma ênfase na divulgação do património ao público em geral. Esta divulgação também é suportada por acções de natureza documental em meios de natureza diversa como a infografia ou os suportes multimédia.

O enquadramento nacional

Naturalmente que o enquadramento internacional é vertido para o contexto nacional através de várias formas, por exemplo através das representações nacionais dos organismos internacionais, como é o caso do ICOMOS Portugal (<http://icomos.fa.utl.pt/>).

O enquadramento nacional legal actual, no que diz respeito às normas que regem as intervenções no Património Cultural, é o que resultou da aplicação do Programa de Reestruturação da Administração Central e do Estado (PRACE). Foram criados: i) o Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico (IGESPAR), que funde o antigo Instituto Português do Património Arquitectónico (IPPAR) e o Instituto do Património Arqueológico (IPA) e que também assumiu algumas das competências anteriormente atribuídas à antiga Direcção dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN), e ii) as Direcções Regionais da Cultura (www.igespar.pt).

O Sistema de Informação do Património Architectónico (SIPA), bem como todo o acervo arquivístico da antiga DGEMN, foi integrado no Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana (IHRU). Este acervo, alojado no Forte de Sacavém, é de fundamental importância para compreender o que foram as políticas de intervenção no Património Architectónico nacional no séc. XX, e em particular perceber a natureza e o papel que desempenhou a documentação gráfica nas intervenções, e reúne documentação de vários tipos: desenhos de levantamentos antigos dos bens móveis, relatórios e desenhos de projectos e obras, fotografias, publicações como são os famosos boletins que descrevem as intervenções realizadas no património architectónico durante o Estado Novo, entre outros. É de notar que parte deste acervo é digital e de acesso livre através da internet (<http://www.monumentos.pt>). Faz ainda parte deste arquivo a chamada Carta de Risco em que estão registadas e cartografadas, através de metodologias expeditas, as anomalias de um conjunto significativo de edifícios de valor cultural em risco [Car01].

Esta descrição permite perceber que há pelo menos três instâncias, isto se ignorarmos as autarquias, com competências e instrumentos, nem sempre claros ou adequados, para intervir sobre o património construído. A este respeito note-se o facto acima referido acerca do SIPA e a obrigação do inventário atribuída ao IGESPAR definida legalmente pela Portaria 376/2007 de 30 de Março. No âmbito desta competência, e em cooperação com o IHRU, o IGESPAR publicou em 2008 o número 1 dos Kits-Património. Este documento é um guia prático sobre a inventariação do património architectónico que visa dotar os vários agentes do património, institucionais ou particulares, colectivos ou individuais, de um instrumento que lhes permita reconhecer e documentar de forma sistemática e abrangente o património architectónico.

Do ponto de vista da legislação, a lei nº 107/2001 estabelece as bases da política e do regime de protecção e valorização do património cultural. Nesta lei assume-se que a política do património cultural deve, entre outros, obedecer ao princípio geral da inventariação, artigo 6º. De acordo com este, deve ser assegurado o levantamento sistemático, actualizado e tendencialmente exaustivo dos bens culturais existentes com vista à respectiva identificação. É de notar que a inventariação exaustiva é também um instrumento de segurança que, por exemplo no caso dos bens móveis, ajuda a prevenir o roubo e a falsificação.

No artigo 16º aponta-se que a protecção legal dos bens culturais assenta na classificação e inventariação e que a cada uma destas acções corresponderá um nível de registo. Os artigos 18º e 19º descrevem os conceitos de classificação e inventariação, sendo o primeiro entendido como o resultado final do procedimento administrativo mediante o qual se determina o valor de certo bem, e sendo o segundo entendido nos mesmos termos do

que é descrito no artigo 6º. Este deverá, de acordo com o artigo 24º, ocorrer no prazo de um ano após a classificação do bem.

No que diz respeito a projectos e obras, artigo 45º, é imposta a realização de um relatório em que deve constar a natureza da obra ilustrado com documentação gráfica, fotográfica, digitalizada ou de outro tipo sobre os processos seguidos na intervenção. Contudo, nada é dito acerca de eventuais requisitos a que devem obedecer os levantamentos para projecto sendo no entanto várias vezes afirmado que os projectos devem ser conduzidos por técnicos de qualificação legalmente reconhecida, o que em nossa opinião se deveria estender também aos aspectos relacionados com a produção da informação gráfica, pelo menos em certos domínios.

O Decreto-lei nº 140/2009 de 15 de Junho concretiza estes aspectos. Neste instrumento legal é definido um conjunto de princípios a que devem obedecer a realização de estudos, projectos, relatórios, obras ou outro tipo de intervenções no património cultural. Mais uma vez se nota que as várias acções devem ser desenvolvidas por técnicos com habilitação adequada e nota-se como aspecto interessante a referência à obrigatoriedade da documentação gráfica, o levantamento fotográfico ou videográfico, integrar os relatórios prévio e final do processo de intervenção.

A respeito dos requisitos legais a que deve estar sujeita a produção da informação gráfica para projectos de intervenção podemos afirmar que são praticamente inexistentes. Isto é, qualquer empresa que efectue levantamentos de arquitectura não necessita de apresentar nenhuma espécie de alvará que ateste as suas competências como o tem de fazer, por exemplo, uma empresa de construção civil. Notamos no entanto que, a nível nacional, o que de mais próximo se encontra são os alvarás para a produção de cartografia topográfica ou temática de base topográfica cuja atribuição é da competência do Instituto Geográfico Português (IGP – <http://www.igeo.pt/>). Naturalmente muitas das empresas que detêm aquele alvará acabam por fornecer serviços de documentação de escala arquitectónica. Pela leitura do Decreto-Lei 193/95, de 28 de Julho, que regula estes aspectos, percebe-se que os requisitos legais são apenas impostos para aqueles casos em que a produção da cartografia se destina aos serviços públicos estatais, responsáveis pela produção e manutenção da cartografia nacional, e a respeito da cobertura cartográfica do território nacional, deixando de fora a produção cartográfica e topográfica de grande escala (por grande escala referimo-nos às escalas arquitectónicas) e/ou a que se destina a fins estritamente privados.

Porquê, para quê, quando e o que documentar?

Nas várias fases da intervenção em Conservação (em sentido lato) a documentação gráfica tem presença de variadas formas. Procuramos agora estabelecer o que entendemos

por documentação gráfica e considerar um conjunto de questões que na sua formulação são bastante óbvias mas que não podem deixar de se colocar: i) O que é?, ii) Porquê?, iii) Para quê?, iv) Quando, v) O quê?, vi) Como? [Ico90] [Get07] [Let07].

De alguma forma, a resposta à primeira questão aqui colocada foi dada no ponto 1.1.1.2

A imposição de documentar, de representar a realidade construída resulta da necessidade que o homem tem de sobre ela intervir de alguma forma e de o procurar fazer tendo um nível determinado de informação sobre o objecto da intervenção. A documentação é, para além de meio de perpetuar a memória de uma situação actual para as gerações vindouras, o suporte do planeamento de acções sobre o existente e um instrumento para o conhecimento acerca do construído, que passa por trazer luz sobre a evolução do edifício, sobre a sua forma, estrutura, uso e decoração, com vista a informar as múltiplas opções e contextos de acção ou simplesmente para funcionar como repositório de informação em caso de catástrofe [Ico90]. É aqui que se situa o cerne da resposta à questão: Porquê?

Os fins da documentação gráfica, e em particular dos levantamentos, são variados e podem corresponder a áreas disciplinares ou contextos de aplicação específicos.

Sem prejuízo de outros fins que se possam considerar, e considerando apenas a área disciplinar da Arquitectura ou afins podemos enumerar o seguinte conjunto de fins possíveis a que se pode destinar a documentação gráfica do construído resultante do levantamento: i) a conservação, restauro e reabilitação, ii) a análise estratigráfica e arqueológica, iii) a análise histórico arquitectónica, iii) a análise formal, iv) a divulgação e visualização, v) a modelação estrutural, vi) o inventário e a catalogação, vii) a produção de cartografia, viii) a avaliação imobiliária, ix) disputas legais, x) fins didácticos. Isto responde à questão: Para quê?

Nem sempre é oportuno proceder à documentação. Se não houver um objectivo para a sua produção, levá-la a cabo pode corresponder a um dispêndio de recursos desnecessário bem como tornará mais estéril a definição de critérios a que esta deve sujeitar-se. Isto não quer dizer que a documentação gráfica produzida num contexto não possa servir noutros, bem pelo contrário. Com efeito, parece-nos boa prática que, definido um objectivo, se procure verificar se a documentação existente é adequada. Parece-nos mais oportuno proceder à documentação com objectivos definidos.

Tais objectivos podem ser: i) documentar um edifício por ser significativo de uma época, tecnologia construtiva, uso, ou de um acontecimento relevante, ii) a necessidade de intervenção, ou a documentação da intervenção iii) o risco de fenómenos de destruição naturais ou humanos, ou após o acontecimento destes fenómenos, iv) quando a documentação existente não é suficiente para um dado fim actual.

A definição de objectivos é a resposta à questão: Quando?

Trataremos de dar resposta agora à questão: O que documentar?

Considerando a área da conservação, restauro e reabilitação, e em função dos fins específicos a que se destina o levantamento devem equacionar-se várias variáveis. Assim, há que definir uma escala de representação, um nível de tolerância na precisão da documentação, um nível de resolução, e o tipo de dados que se deve recolher. Com efeito a resposta a esta questão pode envolver a definição de uma tipologia de levantamento, que implicará a definição e adopção de uma metodologia adequada. Naturalmente cada um destes tipos pode pressupor uma análise específica a realizar, por exemplo a análise construtiva, ou a análise do estado de conservação.

Como exemplo referimos as seguintes tipologias de levantamento: i) levantamento arquitectónico, ii) levantamento fotográfico, iii) levantamento do estado de conservação, iv) levantamento dos tipos estruturais, v) levantamento de fissuras, v) levantamento das fundações. Estas, só por si, já descriminam o tipo de informação a diferenciar e recolher.

Deve também entender-se que, a par da documentação gráfica, existe todo um conjunto de notações destinadas a facilitar o entendimento daquela e a complementá-la.

A resposta à questão “Como?” será dada no próximo capítulo.

2.2.2. Orientações

Num documento de orientação pode esperar-se enquadramento metodológico e aconselhamento no modo de fazer. Um guia tem também uma função formativa e metodológica. Pode traduzir-se sob a forma de um texto, um artigo ou um livro.

Existe bibliografia variada sobre os métodos e processos de levantamento, de entre a qual destacamos os guias produzidos no âmbito do CIPA/ICOMOS, em particular os que se relacionam com o programa RecorDIM [Leb05] [Let05], e os guias produzidos no âmbito da English Heritage.

2.2.2.1. Entre os métodos tradicionais e os métodos digitais

A representação da arquitectura para a conservação, restauro e reabilitação, consiste na elaboração de um modelo que traduza um conjunto de características relevantes para os processos de análise a desenvolver. Tradicionalmente o modo de produzir essa representação consistia no levantamento manual e topográfico, a que se dava corpo, em gabinete, através de desenhos produzidos segundo as regras da geometria descritiva. Geralmente isso conduzia a um tipo de representação fortemente interpretada na medida em que era necessário proceder a uma elevada discretização do objecto [AA07].

Essa necessidade de interpretação não se considerava necessariamente má e contribuía para a afirmação de corpo de conhecimentos próprios da disciplina do levantamento arquitectónico como defendem Feiffer [Fei89] e Docci *et al* [MD05].

Feiffer [Fei89] refere-se ao conceito de “projecto de levantamento” dividindo-o em: i) escolher a metodologia, ii) escolher as técnicas, iii) escolher a instrumentação, iv) escolher a escala de representação, v) definir o que medir, com que detalhe e com que objectivo. É notado que o objectivo do projecto de levantamento é o que permite “operar em campo com a máxima segurança e a mínima perda de tempo (...) com a certeza e a tranquilidade de registar sempre as medidas correctas e modo preciso e homogéneo, evitando ter de as verificar em segundo momento, e como acontece muitas vezes, ter de voltar a campo para integrar no levantamento outras medições posteriores”

Estes autores entendem que o levantamento tem uma autonomia disciplinar, independentemente da sua finalidade operativa específica, que envolve um corpo de conhecimentos e procedimentos que podem escapar à disciplina da Conservação, mas que naturalmente, quando elaborado com este fim específico deve vir informado de um conjunto de exigências próprias desta área que se devem consubstanciar em determinados tipos e critérios para a informação a recolher. Por outro lado entendem que o levantamento, ou documentação gráfica de base, é um dos instrumentos para o conhecimento de uma estrutura sobre a qual se vai intervir. Relativamente a esse instrumento de conhecimento referem três etapas: i) conhecimento da obra a documentar e escolha das técnicas de levantamento, ii) recolha das medidas, iii) representação gráfica.

Integrando o processo da documentação gráfica de base no processo geral do conhecimento da estrutura arquitectónica em estudo, consideram ainda a documentação histórica, as fontes de arquivo, e as leituras a realizar sobre a documentação gráfica base.

Reconhece-se então a existência de uma fase inicial de planeamento que corresponde à etapa i), e uma fase de execução que corresponde às etapas ii) e iii). Entende-se ainda que a etapa que se identificou como sendo de planeamento pode subdividir-se em duas: a) conhecimento da obra a documentar, e b) escolha das técnicas de levantamento (montagem da estratégia de documentação). A primeira destas corresponde a um primeiro nível de diálogo que é necessário estabelecer com a estrutura a documentar e do qual resulta um entendimento que permite traçar objectivos para a produção da documentação.

Cramer *et al* [CB07] apresentam uma interessante síntese que relaciona: i) os objectivos de intervenção com o tipo de elementos que importa descrever graficamente, ii) a escala adequada para a representação dessa informação, e iii) a tolerância dimensional expectável. São definidos cinco níveis de detalhe a que a recolha de dados gráficos da documentação deve sujeitar-se. A tabela 2-1 é uma adaptação dessa síntese. Contudo insiste-se que se deve sempre procurar verificar se a documentação existente serve os propósitos definidos.

Níveis de detalhe na documentação de levantamento – Objectivos / Conteúdos / Escalas / Tolerâncias	
Nível de detalhe I	
Escala 1/200 a 1/100; Tolerância ± 10 a 5cm	
Levantamento esquemático de todo o edifício	
Objectivo de projecto	Conteúdo das peças desenhadas de levantamento
- estudo de viabilidade - estimativa da áreas e volumes - gestão de instalações - manutenção de rotina (apenas)	- apenas deformações graves - apenas irregularidades muito marcadas - representação simplificada da espessura das paredes e tectos - sem detalhar preenchimento de vãos (portas, janelas) - sem acabamentos
- não serve para planejar acções que impliquem alterações formais - não serve para efectuar medições rigorosas do edifício	
Nível de detalhe II	
Escala 1/100 a 1/50; Tolerância ± 5 a 2,5cm	
Levantamento quase exacto de todo o edifício	
Objectivo de projecto	Conteúdo das peças desenhadas de levantamento
- planeamento funcional - aplicações de projecto - planeamento de trabalhos relativos a apenas um andar - planeamento de obras em edifícios que não apresentem deformações graves - planeamento de obras que não afectem a capacidade de carga da estrutura	- deformações ≥ 10cm - apenas irregularidades relevantes - representação quase exacta das espessuras de paredes e tectos - indicação dos elementos de construção principais - representação esquemática de elementos de preenchimento de vãos (portas, janelas) - representação esquemática dos elementos de revestimento principais (painéis em paredes, tectos falsos, etc)
Nível de detalhe III	
Escala 1/50 1/25 1/20; Tolerância ± 2 cm	
Levantamento métrico fiel às deformações de todo o edifício	
Objectivo de projecto	Conteúdo das peças desenhadas de levantamento
- planeamento de obras em edifícios com patologias e deformações mais graves - planeamento de obras que impliquem intervir em vários andares (elevadores, escadas, chaminés, ductos, etc) - planeamento de obras em edifícios com elevada importância material - medidas construtivas em edifícios históricos classificados	- deformações ≥ 5cm - desenhos exactos com todas as irregularidades ao longo das paredes - apresentação da construção em detalhe - materiais da construção anotados - desenhos detalhados dos elementos de preenchimento dos vãos (portas e janelas) - superfícies principais e acabamentos (acabamento das paredes, acabamentos dos pavimentos, etc) - plantas de tectos (travejamento, estuques, molduras, etc) - elementos históricos relevantes principais
Nível de detalhe IV	
Escala 1/50 1/25 1/20; Tolerância ± 2 cm	
Levantamento métrico analítico e abrangente de todo o edifício	
Objectivo de projecto	Conteúdo das peças desenhadas de levantamento
- medidas de salvaguarda em edifícios históricos significantes - análise estratigráfica	- deformações ≥ 2cm - todos os aspectos referidos no nível III - todos os acabamentos das superfícies (paredes, tectos, pavimentos) - todos os acabamentos e elementos de preenchimento de todo o tipo de vãos - todos os elementos históricos relevantes (nalguns casos trata-se de desenhos parciais de pormenor)
Nível de detalhe V	
Escala 1/20 1/10 1/5 1/1; Tolerância ± 1 cm a 2mm	
Levantamento de detalhe para efeitos de conservação	
Objectivo de projecto	Conteúdo das peças desenhadas de levantamento
- planeamento estrutural complexo em edifícios evidenciando distorções sérias - medidas de reparação detalhadas - planeamento interior detalhado - planeamento detalhado para trabalhos de restauro	- todas as deformações - todos os aspectos da construção individualizados - todos os aspectos das superfícies individualizados - todos os trabalhos de estereotomia de pedra - toda a decoração mural (em geral trata-se de desenhos parciais de pormenor)

Tabela 2-1: Níveis de detalhe do levantamento. Adaptado de “Building in existing fabric” [CB07].

Este quadro pode e deve servir como referência mas não deve nunca ser lido e entendido de forma rígida. Isto é, é preciso entender cada caso particular e em função de objectivos específicos e concretos estabelecer os níveis de detalhe adequados.

Tem ainda a qualidade de estabelecer os conteúdos gráficos próprios e adequados às várias escalas de representação o que ajuda a resolver aquele que é um problema da representação da arquitectura, o nível de diferenciação e detalhe da representação do objecto.

Por fazer referência específica a escalas, percebe-se que se trata de um quadro vocacionado para os produtos clássicos da representação, ou seja, os desenhos bidimensionais sob a forma de plantas, cortes e alçados, isto é, desenhos que podem traduzir: i) levantamentos da relação entre a estrutura e a sua envolvente, ii) levantamento das fissuras, iii) levantamento da humidade, iv) levantamento da degradação dos materiais, v) levantamento das cores, vi) levantamento das paredes, vii) levantamento dos pormenores decorativos e construtivos; tudo isto para além do levantamento arquitectónico de base que ainda pode dar origem a uma série de representações temáticas diversas, desde estudos de proporção, cronologias do edifício, entre outros.

Se removermos as referências a escalas, no sentido mais estrito, e considerarmos os aspectos relativos às tolerâncias, podemos perfeitamente utilizar este mesmo quadro como base de um sistema de referência da documentação de natureza virtual como sejam os modelos 3D oriundos da FDT ou do VL3DT. Ou talvez seja melhor pensar na designação de uma escala não apenas como um factor de redução de medidas mas sim como um nível de discriminação e descrição do objecto. Seja como for, pode fornecer as bases para a definição de critérios de validação métrica e de conteúdos da documentação gráfica a produzir para um dado fim de intervenção.

Embora a tabela 2-1 esteja vocacionada para o edifício, não nos devemos esquecer que este existe sempre num contexto envolvente, do qual não pode ser isolado, e que contribui para o seu próprio entendimento. Assim, este contexto envolvente também deve ser registado de forma mais ou menos extensiva consoante se considere adequado pois há determinado tipo de análises que o consideram. Introduz ainda uma questão nova que é a da relação entre a escala da representação e a precisão a que deve estar sujeita a representação. Também introduz o critério do desempenho métrico através da expressão de uma tolerância. Diferentes métodos de levantamento são caracterizados por diferentes expectativas de desempenho métrico, o que terá uma implicação na escolha dos métodos.

No que respeita a métodos tradicionais de levantamento [Fei89], [Ico90], [Mar90], [Nps04], [MD05] distinguem-se em três metodologias operativas: i) o levantamento manual, ii) o levantamento instrumental (topográfico), e iii) o levantamento estereofotogramétrico. Quanto à primeira metodologia são, em geral, apontadas as fases de: a) planeamento, b)

medição, e c) restituição. Relativamente à segunda metodologia subentende-se que o seu campo de aplicação é o de proceder ao controlo da aplicação dos métodos manuais, através do levantamento de estruturas geométricas de enquadramento como são as poligonais, ou ao controlo dos métodos fotogramétricos através da medição de coordenadas de alvos que funcionam como pontos de apoio. No que diz respeito à terceira metodologia designada enumeram-se quatro fases ou etapas: a) projecto de levantamento, b) recolha fotográfica, c) apoio topográfico, e d) restituição gráfica.

Os procedimentos topográficos são encarados com o meio que permite garantir o rigor de enquadramento geral. Nesta disciplina existem padrões de qualidade que, não resultando de nenhuma lei particular, são normalmente aceites e praticados. É costume definir-se três níveis de precisão para os trabalhos topográficos: i) corrente, ii) precisão, e iii) alta precisão. Para cada uma destes níveis de precisão são definidas tolerâncias específicas para os vários tipos de trabalho topográfico, como sejam as operações de nivelamento, as observações de distâncias, e erros de fecho angulares e lineares de poligonais [GMS08].

Os procedimentos mais correntes, digamos tradicionais, assentam na adopção preferencial de métodos directos de documentação, na acepção que definiremos em 2.3.1.3, o que obriga geralmente a uma grande proximidade com o objecto, o que não é necessariamente negativo, embora em alguns casos se possa considerar indesejável, por exemplo por questões de segurança ou valor patrimonial. Esta forma de documentar obriga também a que o tempo de permanência em campo para recolha de medidas seja elevado e implica equipas extensas, mesmo que se opte por procedimentos instrumentais. Por isso também costumam ser procedimentos mais intrusivos.

A forma mais corrente de operacionalizar as metodologias operativas referidas, provavelmente a mais seguida, traduz-se no facto de que toda a recolha de informação é feita em função de desenhos específicos a produzir (por exemplo uma planta ou um alçado). Isto é, recolhe-se informação para produzir um alçado específico, uma planta específica ou um corte específico. Por exemplo, se pretendermos uma planta adicional em relação ao inicialmente previsto, provavelmente terá de ser recolhida informação suplementar em campo para permitir a sua produção. Esta característica é determinante na forma como se procede à recolha dos dados. Com efeito, a preparação da recolha dos dados, em campo, assenta na produção de esboços que antecipam o desenho final a ser elaborado após as medições que se entenderem necessárias. Nesse esboço é planeada a discretização do objecto o que determina o modo como são recolhidas e registadas as medidas que vão permitir a reconstrução rigorosa do desenho. A recolha das medidas pode ser efectuada de vários modos, através da modesta fita-métrica ou através de taqueómetros ou estações totais. Contudo, nos casos mais extremos, a componente instrumental topográfica tende a ser mínima ou inexistente, e resumindo-se, nos casos em que existe, à produção de

informação de controlo, por exemplo na implementação e medição de uma poligonal de apoio a partir da qual se procede a recolha de medidas pelo processo manual de acordo com o sistema de referência da trilaterização ou das coordenadas rectangulares.

Como já dissemos, a estereofotogrametria pode estar incluída no processo sobretudo para a produção de alçados ou para o registo de elementos decorativos, através da utilização de técnicas de restituição que utilizam a faculdade da percepção estereoscópica, ou através da rectificação o que implica, tradicionalmente, o recurso a agentes especializados.

Sendo estratégias fundamentalmente dirigidas à produção de peças gráficas bidimensionais acabam por tornar indirecto o processo de modelação tridimensional caso seja pretendido. Naturalmente exceptuam-se os casos em que a recolha de informação resulta logo em dados tridimensionais, como é o caso da utilização de estação total, ou como é o caso da fotogrametria.

Formas alternativas de operacionalizar a metodologia documental poderão consistir em colocar o enfoque na produção de modelos 3D virtuais ou modelos 3D reais, vulgo maquetes, ou ainda em sistemas de produção de imagens para além daquelas com as qualidades da fotografia, a integração em bases de dados, ou em suportes colaborativos à distância através da internet, entre outros.

A etapa de processamento dos dados inclui todas aquelas operações que implicam alguma forma de tratamento dos dados recolhidos em campo com vista à produção de materiais documentais gráficos de base, o que inclui a implementação de procedimentos de validação adequados.

Resumidamente distinguem-se dois grupos de procedimentos: i) procedimentos analógicos, e ii) procedimentos informáticos.

A descrição dos procedimentos é dependente dos métodos utilizados.

Para um estudo passo a passo dos métodos do levantamento manual, do levantamento instrumental (topográfico), e fotogramétrico (clássico) aplicados ao contexto da Conservação e Restauro podem ser consultadas várias fontes bibliográficas [Fei89], [Ico90], [Mar90], [Nps04], [MD05].

2.2.2.2. Referências institucionais

O RecorDIM

No âmbito da iniciativa RecorDIM, acima referida, foi publicado um documento de extrema relevância: “Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places” [Let07] com um volume de exemplos ilustrados [Get07].

Neste documento estrutura-se o processo de documentação em três etapas: i) avaliação das necessidades, ii) determinação do âmbito das acções de documentação, iii) implementação das acções de documentação.

São definidos três níveis de detalhe de levantamento que são cruzados com objectivos para a documentação a produzir, com o rigor da documentação, tipo de materiais a produzir e custos, conforme se ilustra na figura 2-4. Trata-se de uma abordagem mais simplificada que a referida na tabela 2-1.

Levels of Heritage Recording			
	A Reconnaissance Record Low Accuracy	B Preliminary Record Midrange Accuracy	C Detailed Record High Accuracy
Purpose of Recording	Reconnaissance Initial inventory Initial planning Reference data	Planning Initial condition Investigation Stabilization Pre-design Reference data	As-found condition Design Construction As-built record Maintenance/monitoring Posterity
Accuracy of Drawings	Not to scale	Plans and elevations ± 5.0 in. (± 10 cm) Details ± 1.0 in. (± 2 cm)	Plans and elevations ± 0.5 in. (± 1 cm) Details ± 0.1 in. (± 2 mm)
Results	Photographic report Photo-key plan Initial condition Descriptive sketches	Measured drawings Asset description/condition Observations Photographic report	Measured drawings Asset description/condition Observations Photographic report
Cost (will vary in absolute terms with scale and complexity of site)	Low (a few days on site by recording team)	Moderate (several weeks or more on site by heritage recording team and input by conservation professionals)	Moderate to high (extensive and possibly ongoing activity on site by recording team and increased input by conservation professionals)

Figura 2-4: Os níveis de detalhe do registo. Retirado de “Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places” [Let07].

Coloca-se a ênfase na necessidade de um planeamento das acções de registo e documentação participado pelos vários agentes, quer sejam conservadores, arquitectos, *surveyors*, topógrafos, ou quaisquer outros, expressando a convicção que esta articulação é fundamental para que os resultados do registo sejam adequados aos objectivos.

Faz-se uma comparação entre as ferramentas tradicionais e as novas tecnologias na sua aplicação ao processo de registo e documentação. Salienta-se que as ferramentas tradicionais apresentam as vantagens de serem: i) mais baratas, ii) exigirem menos tempo de treino, e iii) obrigarem a uma proximidade com o objecto que é útil para uma compreensão mais íntima do mesmo. São apresentadas como desvantagens o facto de: i)

serem menos rigorosas em geral, ii) serem menos verificáveis, iii) consumirem mais tempo, e iv) implicarem mais trabalho de campo.

Define-se o registo digital do património como sendo a actividade de produzir e manusear informação digital (desenhos métricos, fotografias, orto-imagens) num computador para serem usados por conservadores também em suportes informáticos. Sublinha-se que, para a utilização das novas ferramentas, mais tecnológicas, é necessário uma literacia digital que passa pela familiarização com ferramentas e processos digitais, (câmaras fotográficas digitais, *software* CAD, *software* de processamento de imagem), poderá implicar trabalho altamente especializado (SIG, fotogrametria, varrimento laser), pelo desenvolvimento de normas e padrões de actuação, e por saber partilhar informação digital (por exemplo através da internet).

Estabelece-se ainda uma relação entre as ferramentas disponíveis para o registo, o tipo de produto expectável com o seu uso, e sua aplicabilidade aos vários níveis de detalhe do registo, conforme se ilustra na figura 2-5.

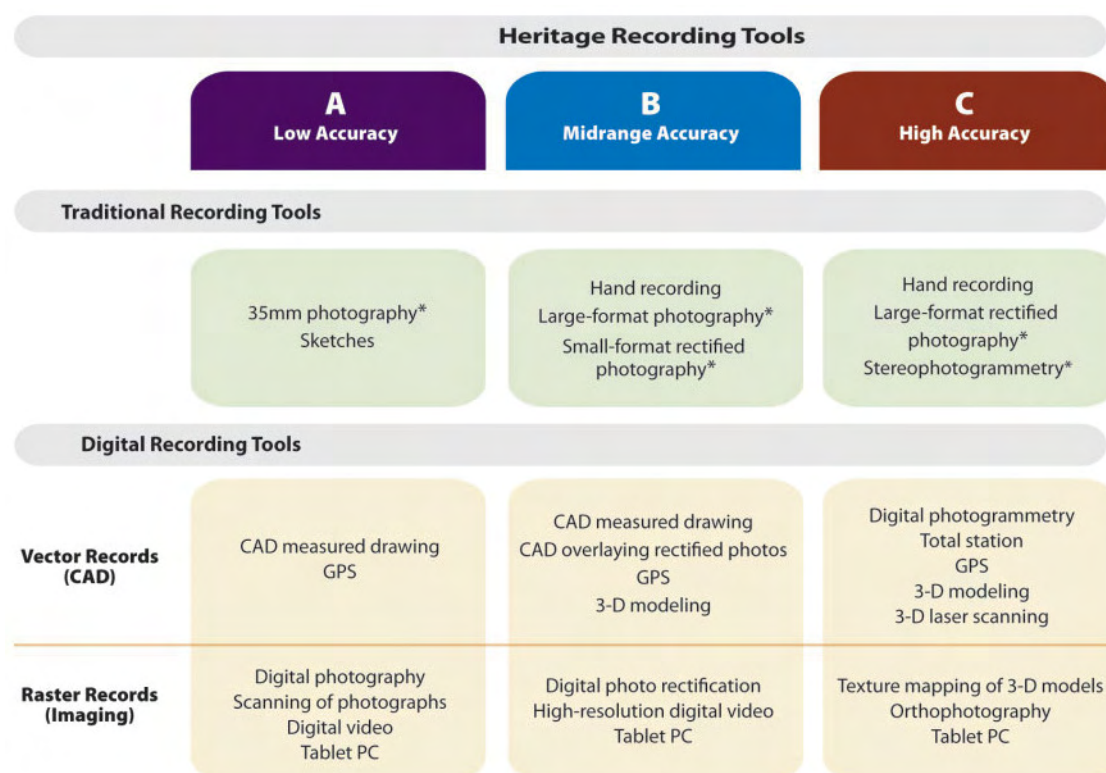


Figura 2-5: As ferramentas tradicionais de registo e as ferramentas digitais de registo. Retirado de “Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places” [Let07].

Uma ideia recorrente, e que aqui se reafirma, é a de que não se deve registar se já existirem registos com a qualidade suficiente para as análises que se pretendem levar a

cabo. Por isso nota-se, como princípio, que a primeira acção do processo de registo é a investigação sobre a informação existente.

A última parte deste documento é dedicada à importância da gestão da informação relevando-se que é o único meio de garantir a partilha de dados entre uma comunidade.

Nota-se que falta de integração de informação leva a que cada vez que se pretende intervir num edifício patrimonial é necessário proceder a um novo levantamento e a novos estudos. Este facto tem várias causas. Os levantamentos e estudos existentes são acessíveis mas não têm o nível de informação desejável para as acções que se pretende efectuar; sabe-se que os levantamentos existem mas estão perdidos num qualquer arquivo; podem existir levantamentos e informações prévias mas a pessoa que sabe onde encontrá-los já não está nos serviços; não se sabe se se pode confiar nos levantamentos existentes porque não existe informação sobre como foram feitos e que critérios de qualidade foram utilizados¹⁷, entre outros. O mesmo se passa com a informação qualitativa.

Tal problema levanta várias questões:

a) Como integrar toda a informação que pode existir sobre determinado imóvel de modo a torná-la acessível a quem tem de intervir sobre ele?

b) Como integrar a informação do projecto de intervenção no leque de informação acima considerado?

c) Como integrar a informação relativa ao que efectivamente foi feito sobre o imóvel?

Para gerir de forma eficaz toda a informação relativa a um imóvel, conjunto ou sítio deve considerar-se a ideia de Sistema de Informação.

A opção por não o fazer, como acontece com algumas instituições que não investem em sistemas que permitam essa partilha, é notado como motivador de pouca divulgação, de duplicação de acções, de ausência de diálogo.

Os guias da English Heritage

A English Heritage¹⁸, que pode ser considerada como a entidade homóloga do IGESPAR no Reino Unido tem sido uma instituição bastante profícua no que respeita à elaboração de guias e especificações para a documentação do património.

A produção da documentação está hoje mais democratizada, existe maior literacia digital, e existe uma panóplia de ferramentas de baixo custo que tornam acessível o acto de documentar e registar ao cidadão comum. Isso pode ter um lado positivo, na medida em que

¹⁷ A este respeito consulte-se o documento de NARA sobre autenticidade disponível no site do ICOMOS: (http://www.international.icomos.org/charters/nara_e.htm).

¹⁸ English Heritage (<http://www.english-heritage.org.uk/>)

os cidadãos podem ser mais activos, podem ajudar na documentação do património que lhes é mais próximo, fazê-lo notar-se, o que até pode levar ao reconhecimento de valores pelas instituições e conduzir a processos de classificação [QV09]. Porém esta aparente facilidade também pode ter efeitos indesejáveis, pois pode criar a noção que qualquer pessoa pode fazer qualquer tipo de registo, o que não é verdade, sobretudo em contextos específicos de conservação e restauro. A facilidade do digital pode fazer com que aspectos disciplinares que antes eram adquiridos através de uma prática continuada de trabalho de campo e gabinete, traduzida por longas horas dedicadas ao desenho, se perca. Blake [Bla10], membro da English Heritage, sublinha este perigo e refere que começa a ser comum ver-se produtos da documentação que não cumprem de forma adequada com a sua função comunicacional.

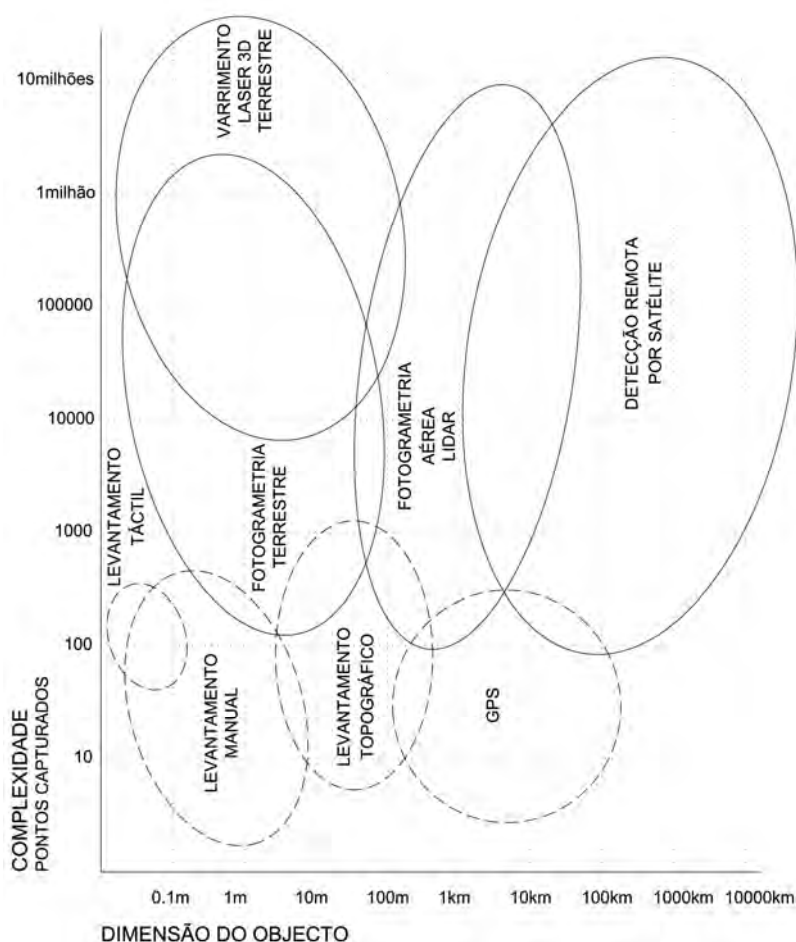


Figura 2-6: Adequação dos métodos de levantamento em função da complexidade e dimensão dos objectos a registar.

Blake *et al* [BAB*03] classificam, em “Metric survey for Heritage Documentation – Documentation for Conservation, A manual for teaching metric survey skills”, os métodos de

levantamento e registo em duas grandes categorias: i) directos e, ii) indirectos. O esquema da figura 2-6, adaptado daquela publicação, permite-nos enquadrar as várias técnicas e métodos disponíveis dentro destas duas categorias notando ainda a sua aplicabilidade em termos de extensão dos objectos a representar bem como o seu desempenho expresso em quantidade típica de pontos que é possível adquirir com a sua aplicação. O esquema da figura 2-6 é ainda uma adaptação da classificação da adequação dos métodos de levantamento, em função da complexidade e dimensão dos objectos a documentar, proposta por Boehler *et al* [BH99].

Os métodos indirectos estão representados a traço contínuo e os métodos directos a traço interrompido na figura 2-6.

Dentro dos métodos indirectos temos a fotogrametria aérea e terrestre, o VL3DT, o LIDAR (Light Detection and Ranging) e as imagens de satélite.

Nos métodos directos apresentam-se o levantamento manual, os métodos topográficos e o posicionamento por GPS.

Esta classificação assenta na seguinte distinção entre estes dois tipos.

Nos métodos indirectos, no acto de recolha de informação, é seleccionada uma zona mais ou menos ampla do objecto e a recolha e registo dos pontos é indiferenciada. Na prática recolhe-se e regista-se uma quantidade de pontos que seria impraticável recolher pelos métodos directos, isto é, procede-se a uma amostragem de grande dimensão dos objectos na área da representação.

Nos métodos directos cada ponto do objecto a registar é criteriosamente seleccionado e registado no acto de recolha de informação. Na prática selecciona-se e regista-se um número relativamente pequeno de pontos do objecto, isto é, procede-se a uma amostragem de reduzida dimensão dos objectos na área da representação. Como consequência, há maior nível de interpretação na recolha de dados o que implica também mais tempo para se proceder a essa mesma recolha.

Esta classificação também pressupõe, de alguma forma, que nos métodos indirectos não há contacto com os objectos a representar e que nos métodos directos esse contacto existe. Este entendimento é próximo do que expressa Cesare Feiffer [Fei89]. A classificação de um método como indirecto pressupõe que o trabalho de selecção dos elementos significativos a representar é feito posteriormente à recolha de dados.

Embora seja esta a classificação que nos interessa e que adoptaremos, vamos notar que em metrologia, ou mais particularmente em topografia, a classificação de um método de medição como directo ou indirecto não corresponde ao que acima foi descrito. Nos métodos directos as quantidades a medir são obtidas directamente através da comparação com um padrão. É por exemplo o caso da medição de um comprimento com uma fita métrica ou de um ângulo com um transferidor. Estão incluídos nestes métodos os levantamentos manuais

clássicos. Em geral aplicam-se à medição de objectos de pequenas dimensões. Nos métodos indirectos as quantidades a medir não são obtidas por comparação com um padrão. São antes medidas quantidades de outro tipo que, depois de processadas, nos permitem obter as quantidades que queremos determinar. A determinação de coordenadas através da medição de distâncias e ângulos cai nesta categoria.

Em “Understanding Historic Buildings – a guide to good recording practice” [Eng06] [Eng06a] são descritos quatro níveis de detalhe para a documentação de edifícios históricos. Porém estes níveis de detalhe são aplicáveis apenas a estudos históricos. É reconhecida a necessidade de outros níveis de detalhe, mais exigentes, quando se trata de intervir ou de efectuar projectos de arquitectura ou de estruturas.

“Measured and Drawn: Techniques and practice for the metric survey of historic buildings (second edition)” [ABB*09] pode-se considerar uma espécie de versão mais actualizada de “Metric survey for Heritage Documentation – Documentation for Conservation, A manual for teaching metric survey skills” [BAB*03]. Trata-se de um documento muito interessante na medida em que ilustra graficamente os procedimentos relativos às várias técnicas. Ilustra por exemplo o modo de registar uma poligonal com estação total, o modo como os alvos de apoio a um levantamento fotogramétrico devem ser colocados e observados, como deve ser conduzido um levantamento manual, como registar as medidas, como fazer a captura fotográfica para a estereofotogrametria. Refere também o varrimento laser. Porém, a este respeito é mais lacónico na ilustração. Não são referidas situações tipo de observação e não se referem estratégias a observar. Limita-se a descrever sumariamente as várias tecnologias de varrimento laser. Também no caso da fotogrametria apenas refere os casos canónicos.

Para finalizar notamos ainda o documento “The presentation of historic building survey in CAD” partes 1 e 2 [Eng98] [Eng98a] que, embora se possa considerar já datado, ainda apresenta validade no que respeita à organização da informação nos ficheiros CAD.

Referências de rigor métrico

A adoptar por um determinado sistema de medição há ainda uma expectativa de desempenho métrico relacionável com a sua aplicabilidade. Na figura 2-7 é apresentado um gráfico que relaciona um conjunto de métodos de medição, com o rigor que deles se espera e com o seu âmbito de aplicação no que diz respeito à extensão típica do objecto da representação. Trata-se de uma tabela adaptada de “Close range photogrammetry” [LRK*06].

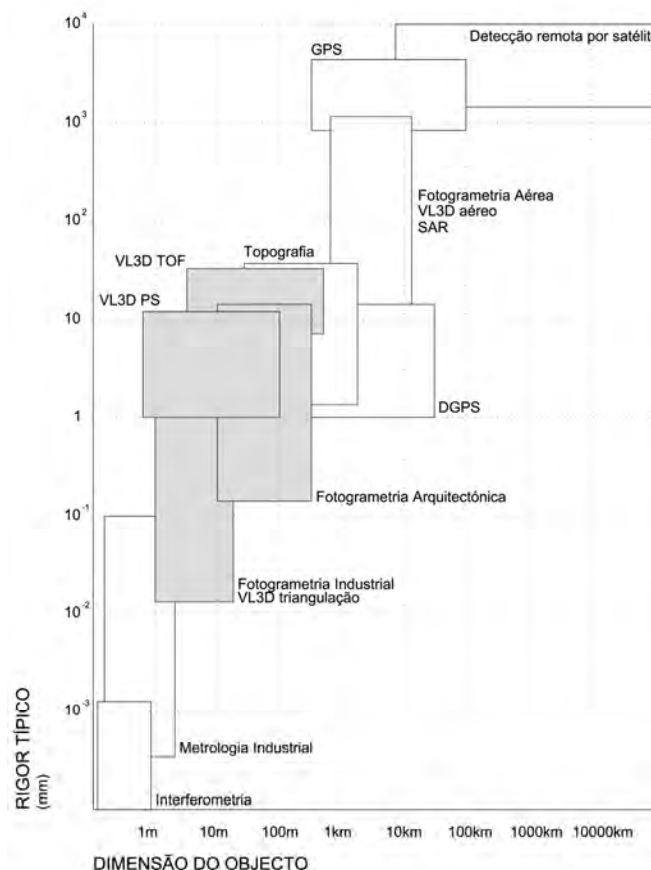


Figura 2-7: Métodos de medição em função do rigor expectável e da dimensão do objecto.

2.2.2.3. Os métodos indirectos e a detecção remota

Quando não há contacto com os objectos a representar, entra-se no domínio da detecção remota. De acordo com Lillesand [LKC04], a detecção remota é a arte e a ciência que permite obter informação sobre um objecto, área, ou fenómeno através da análise de dados adquiridos com um dispositivo que não está em contacto com o objecto, área ou fenómeno sob investigação. O mesmo autor dá um exemplo bastante evocativo dizendo que quando se lê um texto se está a aplicar o princípio da detecção remota. Na mesma linha de raciocínio, por exemplo um invisual a ler uma inscrição em Braille já não aplica o princípio da detecção remota.

Para aplicar o princípio do não contacto, os dispositivos devem possibilitar a recolha de alguma espécie de manifestação do que está em análise. Essa manifestação traduz-se nalgum tipo de energia ou radiação passível de ser lida ou capturada. Um dos tipos de radiação considerados na detecção remota é a radiação electromagnética. Na figura 2-8 é feito o enquadramento dos métodos da fotogrametria e do varrimento laser num quadro que assume vários critérios de classificação e diferenciação, como sejam a aplicação do princípio da detecção remota, da utilização de um determinado tipo de energia, de serem

métodos activos ou passivos. De alguma forma, as células sombreadas, no esquema da figura 2-8 resumem o objecto do capítulo 3.

Para melhor compreender os métodos de documentação que utilizam a detecção remota, como é o caso da FDT e do VL3DT, é preciso compreender algumas propriedades da radiação electromagnética para que se entenda como ela é produzida, como se propaga, como pode ser capturada e utilizada para medir e, no fundo, documentar.

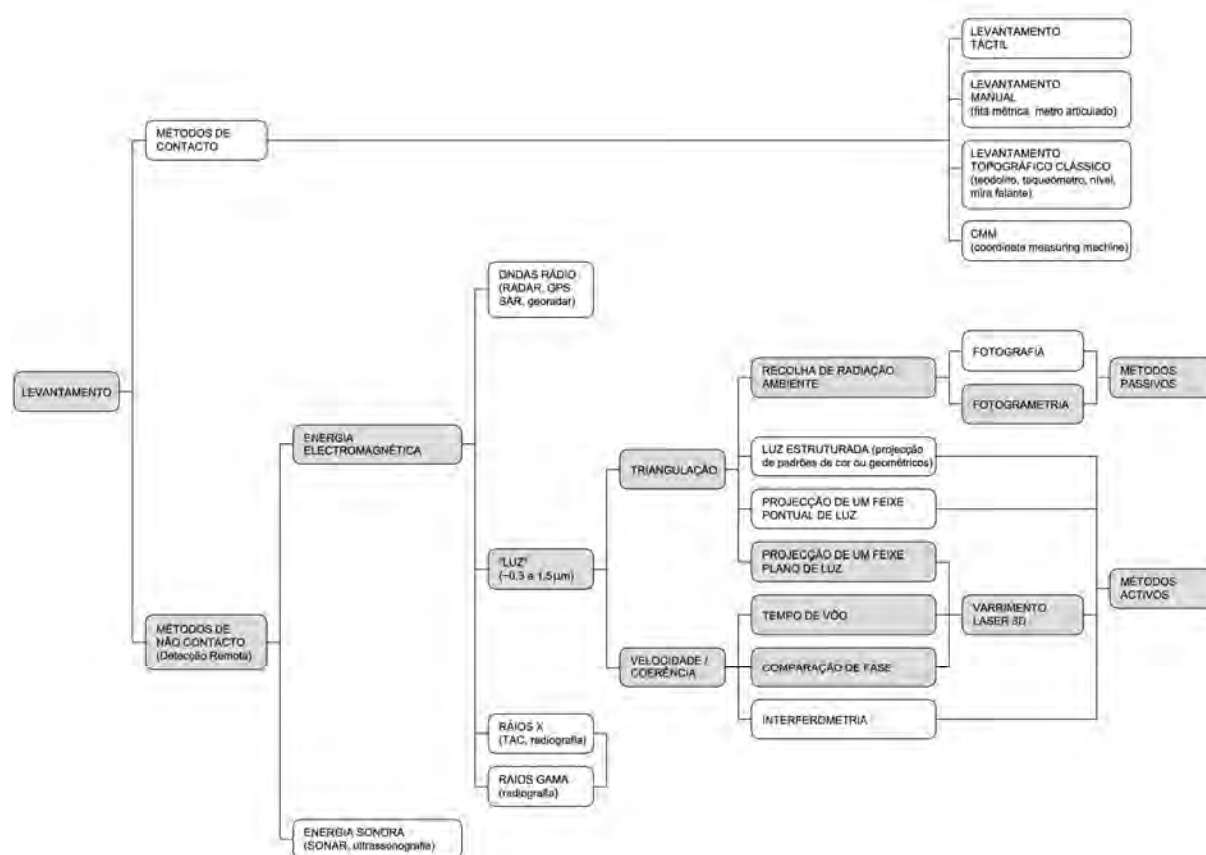


Figura 2-8: Classificações dos métodos de levantamento.

2.2.3. Especificações

As especificações correspondem ao nível mais alto de enquadramento da produção da documentação, na medida em que são de cumprimento obrigatório. Normalmente estas colocam-se a nível institucional. Com relevância para o nosso trabalho considerámos dois casos: i) as especificações do programa americano “Historic American Building Survey” (HABS), e ii) as “Metric Survey Specifications for Cultural Heritage (MSSCH)”.

O programa HABS – entre um guia e uma especificação

Nos EUA o Departamento do Interior, através do National Park Service¹⁹ (NPS), tem em curso um conjunto de programas de documentação do património, cada um vocacionado para um tipo específico de objecto. Trata-se dos programas Historic American Building Survey (HABS), Historic American Engineering Record (HAER), Historic American Landscape Survey (HALS) e Cultural Resources Geographic Information Systems (CRGIS). Cada um destes programas tem um conjunto de *guidelines*, que podem ser comuns entre si. Por exemplo o programa HABS implementa um conjunto de *guidelines* relativas: i) à produção de relatórios históricos, ii) à produção do levantamento fotográfico, iii) à produção de desenhos métricos, e iv) ao modo de apresentação da informação para transmissão à Biblioteca do Congresso, que é um dos repositórios da documentação produzida. No que diz respeito à produção de desenhos métricos, é feita ainda referência a uma publicação que deve ser consultada a par das *guidelines* e que, no fundo, sintetiza parte delas. Trata-se de “Recording Historic Structures” [Nps04], que também é aplicável aos programas HAER e HALS. Nesta são dadas as indicações metodológicas e processuais para a produção de relatórios históricos, de levantamento fotográfico e de desenhos métricos, bem como um conjunto de exemplos ilustrados. É relevado que o objectivo principal dos levantamentos é estritamente documental da condição actual com todas as adições ou subtracções ao original, embora também se note que podem servir como suporte de acções de restauro dado que os padrões de qualidade impostos têm como consequência a adequação dos desenhos a este fim.

É notado que a perspectiva de longo curso no tempo que estes programas de documentação têm, implica que se coloque a ênfase na descrição do produto final mais que na questão operativa ou processual da sua produção, bem como nos aspectos relacionados com o arquivo. Ou seja, como as técnicas e os métodos evoluem muito rapidamente, os procedimentos que se podem entender como adequados hoje para produzir um tipo de informação podem, num futuro próximo, ser substituídos por outros mais eficientes, permanecendo como invariante o objectivo com que a informação deve ser produzida e a sua forma de apresentação final.

O facto destes programas estarem em curso há muitos anos²⁰ é um aspecto interessante que ajuda a colocar em perspectiva o problema da documentação e a refrear o entusiasmo, que eventualmente possa ser excessivo, relativamente às novas tecnologias.

¹⁹ National Park Service, EUA: <http://www.nps.gov/index.htm>

²⁰ O programa HABS está em curso desde 1933 (<http://www.nps.gov/history/hdp/habs/index.htm>)

Com efeito, é referido que embora se utilize o varrimento laser para documentar estruturas grandes, este é sempre utilizado para a produção de documentação bidimensional, em CAD, que acabará invariavelmente na forma impressa (analógica) por questões de cumprimento de *standards* de apresentação e arquivo, e por ser um suporte de maior facilidade de manuseamento e entendimento pelo público em geral. É dito que o varrimento laser é sempre articulado com levantamentos manuais porque, só por si, não permite produzir uma documentação que cumpra as especificações do programa documental HABS.

Um aspecto interessante é o facto de o sistema de arquivo base não ser electrónico ao contrário do que, eventualmente, seria de esperar, dado que não é hoje conhecida a perspectiva de durabilidade deste tipo de armazenamento. Os desenhos devem ser impressos em formatos normalizados em suportes estáveis às deformações. Os suportes utilizados (o MYLAR) têm uma durabilidade reconhecida de 500 anos se forem garantidas boas condições de conservação. É interessante a este respeito notar a carta da UNESCO para a preservação do património digital²¹ e a preocupação que actualmente existe sobre a continuidade dos registos digitais e possibilidade de migração entre aplicações e *software*, no sentido de garantir a transmissão desse património (digital) para as gerações futuras.

O meio privilegiado para a produção dos desenhos métricos é a medição manual, eventualmente com apoio topográfico. As técnicas da fotogrametria ou do VL3D são encaradas como formas adicionais de recolha de informação que devem informar a produção dos referidos desenhos. Sendo os desenhos métricos bidimensionais assume-se que a utilização daqueles meios de registo, inerentemente tridimensionais, deve resultar numa redução do 3D ao 2D. Com efeito, é colocada alguma reserva na utilização de meios que não se compreendam bem pois podem implicar que características mais subtis de uma estrutura possam passar despercebidas se não for usado um olhar atento. Mas não se rejeitam meios de medição por princípio.

Por outro lado é ainda feita a consideração de que, para os objectivos assumidos para estes programas de documentação, não se encontrou uma necessidade premente de modelos tridimensionais virtuais uma vez que a generalidade dos edifícios registados têm subjacente uma matriz ortogonal que pode facilmente ser descrita e representada através de desenhos bidimensionais. É adicionada a este facto a consideração de que os modelos tridimensionais implicam maiores capacidades de arquivo, maiores capacidades computacionais e mão-de-obra mais especializada para a sua produção. Este princípio

²¹ Carta Sobre a Preservação do Património Digital: (http://portal.unesco.org/en/ev.php-URL_ID=17721&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html)

revela, quanto a nós, um sinal de sobriedade e de procura de adequação dos meios aos fins que também defendemos.

A abordagem às questões de desempenho métrico é pouco focada. Remete-se para uma abordagem do tipo erro de grafismo (ver anexo) embora menos conservadora em termos de premissas que o referido nesse ponto. É tomada por base para a definição de um nível de rigor de uma dada escala o que se considera como a unidade mínima a representar nessa escala. Por exemplo, considera-se que a unidade mínima a representar na escala 1/48 é de uma polegada (2.54cm). De seguida verifica-se se a espessura de linha de referência, 0.25mm, pode afectar o rigor do desenho de forma significativa. No caso da escala referida, aquela espessura corresponde a 12mm na realidade, tomando-se este valor como base para o rigor do desenho. Contudo este não é expresso sob a forma de tolerância nem baseado na estatística.

A metodologia empregue assenta em quatro etapas fundamentais.

Primeiro coloca-se a questão da necessidade ou não de proceder à documentação. A resposta a esta questão é orientada pelo significado da estrutura, pela consideração do período relevante que ela documenta e pelo que resta desse período, e pelo nível de degradação. A resposta à questão passa sempre por uma visita ao sítio para observar os aspectos citados e para estimar, através de medições grosseiras, o que implicaria a produção da documentação em termos de escala e composição de desenhos.

Se a resposta à questão for afirmativa, o passo seguinte consiste em definir o tipo de informação a incluir nos desenhos finais. Esta decisão é orientada por uma série de questões adicionais que passam pela escolha do tipo de desenhos que melhor explicam as características e significado da estrutura, pela definição do tipo de detalhe a incluir no desenho e a escala a que deve ser produzido, pela definição da quantidade e rigor das medições e anotações necessárias, e pela dimensão de folha de desenho a ser utilizada.

Passada a etapa anterior, procura-se uma ou mais fontes para a obtenção das medições. Mais uma vez, a decisão é orientada por um conjunto de questões adicionais. Primeiro verifica-se se existem desenhos e se têm a qualidade suficiente para os fins com que se vai produzir a documentação de modo a poderem extrair-se deles as medições necessárias. Se for preciso medir de outra forma verifica-se qual a experiência e recursos disponíveis para a execução da documentação. Por fim procura-se determinar se as características da estrutura, como o tamanho, condição, uso e acessibilidade, condicionam o modo como deve ser medida. De qualquer modo, como os recursos humanos em geral empregues para produzir a documentação são estudantes, e por isso com níveis de especialização não muito elevados do ponto de vista do domínio das tecnologias da representação, o meio privilegiado para a produção da documentação consiste nas medições manuais. E sobre este modo de proceder são dadas inúmeras indicações.

Tomadas todas estas decisões começa o trabalho de campo. Sobre o trabalho de campo são tecidas algumas considerações preliminares. É colocada a ênfase nos registos efectuados em campo e na qualidade que devem ter. Faz-se notar que esta informação pode ser considerada mais valiosa que os desenhos finais, já que estes não podem ser mais rigorosos que as medições que lhes deram origem. Diz-se que estes registos de campo traduzem a metodologia utilizada. Assume-se que estes registos de campo e anotações podem ser feitos sobre desenhos originais ou posteriores anotados para evidenciar a configuração actual da estrutura. Por desenhos originais entende-se os desenhos de arquitectura ou engenharia que se relacionam com o momento da construção do edifício. Consideram-se os desenhos conceptuais, os desenhos preliminares, os desenhos de projecto, os desenhos de construção e os desenhos *as-built* (desenhos realizados imediatamente após o final da construção). Por desenhos posteriores consideram-se aqueles que foram produzidos em momento posterior à construção em contexto de intervenções. Definem-se três tipos de desenho: os desenhos de alteração, os desenhos da condição existente, e os desenhos de restauro. Nota-se que os primeiros tendem a ser parciais e a referir-se apenas aos troços das estruturas alterados, e que os últimos tendem a colocar a ênfase nas medidas preventivas de uma acção de conservação ou restauro. Relativamente aos segundos, os desenhos da condição existente, é dito que constituem o modelo de desenho a produzir, e caso existam devido a obras anteriores poderão ser utilizados como base para as anotações.

Estes programas de documentação estão abertos a doações de desenhos fornecidos por entidades externas, por empresas de conservação, ou outras fontes. A única condição que impõem é que estes correspondam aos padrões preconizados. Estes padrões correspondem a quatro *standards* que a seguir se transcrevem:

1. A documentação deve explicar e ilustrar adequadamente o que é significativo ou valioso sobre o edifício histórico, sítio, estrutura ou objecto a ser documentado.
2. A documentação deve ser rigorosamente preparada a partir de fontes fiáveis com limitações perfeitamente declaradas para permitir verificação independente da informação.
3. A documentação deve ser preparada em materiais que sejam imediatamente reproduzíveis, duráveis e com dimensões padronizadas.
4. A documentação deve ser claramente e concisamente produzida.

Acrescenta-se ainda que são definidos três níveis de detalhe para a produção da documentação por ordem decrescente de exigência. Cada um destes níveis de detalhe refere-se aos três tipos de informação a produzir e já referida acima: os desenhos métricos, as fotografias, e os relatórios escritos.

É no nível I que se impõe a produção de um conjunto completo de desenhos de uma estrutura e naturalmente são os desenhos deste nível que são considerados adequados

como suporte às acções de conservação e restauro. Em todo o caso é relevado que caso a documentação esteja a ser produzida com este fim específico, para além das exigências relacionadas com o aspecto documental de arquivo, devem considerar-se todas aquelas que derivam dos processos de intervenção concretos.

A English Heritage - MSSCH

Os padrões de referência são o meio que permite assegurar o entendimento entre os produtores e os utilizadores da informação num determinado contexto. Aos segundos permite-lhes impor um dado nível de exigência na produção e aos primeiros obriga à escolha das técnicas e instrumentação adequadas ao cumprimento dos objectivos prescritos. Estes padrões podem referir-se a vários aspectos do processo de produção da documentação. Podem ir desde a qualidade métrica até aos modos e formatos de apresentação passando por recomendações ao nível operativo. Os padrões tanto podem ser oriundos da área dos produtores da informação (por exemplo da topografia ou cartografia) como da área dos utilizadores (por exemplo no caso das instituições de gestão de património).

A adopção de um qualquer padrão é, em nosso entender, melhor que a adopção de procedimentos *ad-hoc* na requisição de serviços documentais, embora reconheçamos que devem ser as necessidades específicas a informar os requisitos e especificações a que a documentação deve sujeitar-se, uma vez que nos permitem ser mais sistemáticos e não esquecer aspectos relevantes do processo.

Neste ponto vamos fazer referência a um padrão em contexto inglês que entendemos como exemplar.

No contexto inglês, há dois documentos de referência incontornáveis: i) “Metric survey specifications for English Heritage” [Eng00] com as suas adendas relativas ao VL3D, e ii) “Metric Survey Specifications for Cultural Heritage” [BBB09]. A segunda publicação referida é uma consequência directa da primeira²². Com efeito trata-se da atribuição de um título mais genérico de modo a ser mais inclusivo e a permitir uma abordagem mais abrangente à documentação do património cultural..

Mais que simples publicações sobre especificações métricas, nestes documentos definem-se os termos a que deve sujeitar-se a elaboração de contratos de serviços de levantamento para aquela entidade. Como o segundo documento substitui o primeiro, referir-nos-emos sobretudo ao segundo documento.

²² Ambas as publicações podem ser encontradas e descarregadas gratuitamente a partir do endereço da English Heritage: (<http://www.english-heritage.org.uk>) na secção de publicações.

As MSSCH dividem-se em sete secções: i) Condições gerais e Informação acerca do projecto, ii) Desempenho geral e controlo do levantamento métrico, iii) Formato, apresentação e fornecimento dos dados de levantamento, iv) Especificação normalizada para levantamentos baseados em imagens, v) Especificação normalizada para levantamento métrico de edifícios, vi) Especificação normalizada para levantamento topográfico, e vii) Especificação normalizada para a recolha e arquivo de dados de varrimento laser terrestre.

As três primeiras partes correspondem a condições gerais de desempenho comuns a todos os serviços de levantamento a prestar para a English Heritage, e as restantes referem-se a condições específicas em função do tipo de materiais ou produtos.

A importância de documentos deste tipo centra-se na possibilidade de introduzir um carácter sistemático à prescrição de serviços que vai, seguramente implicar um acréscimo na qualidade das respostas a dar. Quanto a nós, um dos aspectos mais interessantes desta publicação são as notas e referências paralelas. Estas denotam uma experiência e saber acumulado por parte dos seus autores e visam evitar erros ou presunções típicas. Uma das que nos merece maior relevo é a nota de que as limitações de uma técnica ou método não podem servir como justificação para deixar incompleta uma acção de documentação.

Nota-se ainda a abertura para aceitar que se apliquem procedimentos não descritos no documento desde que se faça prova de que eles são capazes do desempenho pretendido. Também se refere explicitamente que neste documento não se encontram normas para a produção de modelos 3D. Encorajamos a leitura detalhada destes documentos pois entendemos que são uma referência importante no domínio da documentação no contexto da Conservação.

Estas especificações referem-se a três aspectos de desempenho da documentação: i) o desempenho métrico, ii) o desempenho de conteúdos, e iii) o desempenho de apresentação.

Sem procurar ser exaustivo, pois para isso serve a leitura dos documentos originais, referimos alguns aspectos dos vários critérios de desempenho.

No caso do desempenho métrico são referidas questões como: tolerância gráfica da escala, densidade de amostragem de pontos em função da escala, erros de fecho de poligonais, rigor de pontos de controlo, resolução das câmaras fotográficas, resolução das imagens fotográficas, rigor dos processos fotogramétricos, processos de orientação das nuvens de pontos, entre muitos outros.

No caso do desempenho de conteúdos são referidas questões como: selecção e diferenciação de elementos, níveis de completamento dos levantamentos, níveis de detalhe, simbologia, léxicos, anotações, cor, vazios e oclusões em nuvens de pontos e em fotografias, entre muitos outros.

Por fim, no caso do desempenho de apresentação são referidas questões como: metadados, designações de ficheiros informáticos, formatos de ficheiros, suportes e meios, organização da informação em ficheiros de desenho, formatos de impressão, resolução da impressão, numeração, legendagem, número de exemplares, *layouts*, *layers*, tipos de letra, entre outros.

Trata-se ainda de uma especificação que respeita padrões mais gerais como sejam os impostos pelo Royal Institute of Chartered Surveyors (RICS).

No caso português o que de mais próximo, mas ainda assim a distância considerável, podemos encontrar são os procedimentos instrutórios para a produção da documentação relativa à Carta de Risco do Sistema de Informação do Património Architectónico [Car01], hoje gerido pelo Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana. De qualquer modo, neste caso trata-se de normas internas e não de algo que tivesse por objectivo o suporte à contratação de serviços. No caso do IGESPAR o procedimento para a contratação de serviços consiste numa avaliação caso a caso não estando definido um documento de referência de acesso público que sirva de suporte à contratação de serviços de documentação e levantamento nem como padrão de referência de desempenho a que esses serviços devem sujeitar-se.

2.3. Síntese

Chegados a este ponto, procuraremos efectuar uma síntese direccionada para definição de um fluxo operativo do processo documental.

Como é evidente não existe uma única estratégia para proceder à documentação gráfica de base em Conservação mas reconhecemos como invariável a existência de duas grandes etapas: a) o planeamento, e b) a execução.

Passaremos de seguida à descrição do que, sob o nosso ponto de vista, deverá ser incluído em cada uma dessas etapas, e que é sumariado no diagrama da figura 2-9

Independentemente do modo de operacionalizar esta ou aquela estratégia, o que implica a escolha de métodos concretos, o que nos interessa reter neste ponto são as ideias de projecto de documentação e de execução da documentação, numa perspectiva neutral do ponto de vista das técnicas e métodos operativos, e sintetizar as etapas desse processo.

A noção de projecto de documentação gráfica descritiva corresponde à fase de planeamento da produção da documentação e pode subdividir-se em: i) Identificação e contextualização do problema, ii) Definição de objectivos, critérios para a informação a recolher, e condicionantes, iii) Definição da estratégia de documentação gráfica descritiva.

Segue-se a produção do registo e documentação que se traduz pela implementação da estratégia definida e incide sobre três fases: i) a recolha de dados, ii) o processamento dos dados, incluindo a validação, e iii) apresentação dos materiais finais.

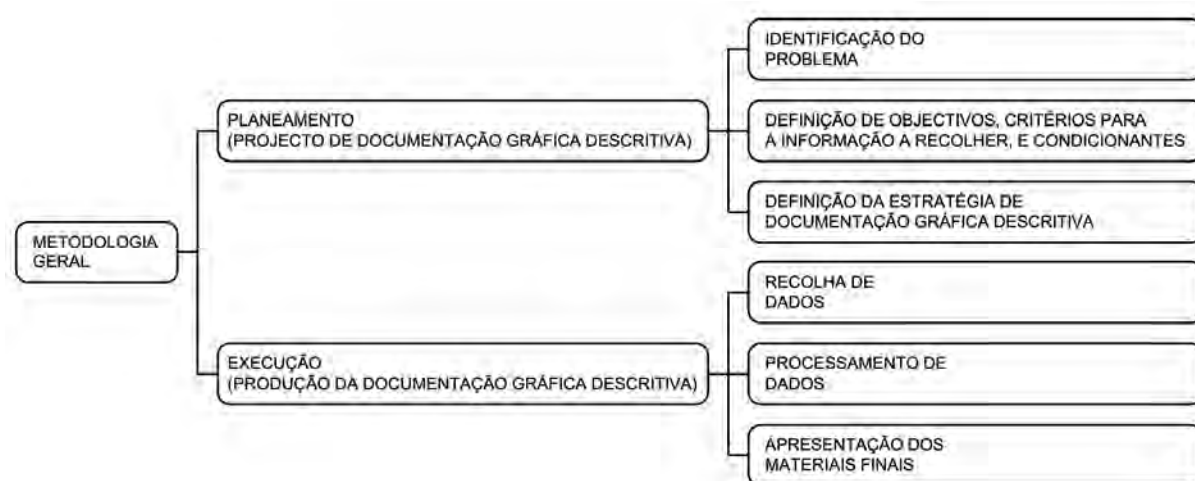


Figura 2-9: Diagrama de síntese da metodologia para o planeamento e produção da documentação gráfica de base.

2.3.1. O planeamento

A etapa de planeamento é de fundamental importância na medida em que exige um esforço de antecipação dos problemas e dos procedimentos a utilizar. Beneficia da experiência acumulada e é sempre melhorada com base na reflexão de experiências anteriores. Planear, executar e reflectir para voltar a planear, executar e reflectir... constitui um modo de aprendizagem verdadeiramente iterativo com o qual se vão desenvolvendo melhores práticas.

Por isso entendemos que esta etapa nunca deve ser desconsiderada, embora possa haver a ilusão que, face à variedade tecnológica de que hoje se dispõe, se possa prescindir dela.

2.3.1.1. A identificação e contextualização do problema

Só faz sentido falar em projecto de documentação se tiver sido colocado um problema de documentação, o que implica, em primeiro lugar, tomar a decisão de encetar um processo de documentação. Os termos da colocação de um tal problema são aqueles que levarão à decisão de documentar. Estes podem colocar-se a montante do processo do projecto de Conservação, numa fase que designámos por consulta prévia (ver o ponto 2.1.1.1), ou podem colocar-se, e de acordo com o posicionamento que assumimos, e é aí que o consideramos, no seio do projecto de Conservação. Esta etapa decisória corresponde ao que consideramos ser o embrião do projecto de documentação. Para que tal aconteça tem de existir um objecto definido, com localização determinada, e uma vontade expressa por alguém, numa determinada altura.

Podemos sintetizar estes pontos:

-
- a) Identificação e localização do sítio.
 - b) Identificação das entidades intervenientes (quem produz a informação e para quem a informação é produzida).
 - c) Identificação das razões que justificam a necessidade da produção da documentação.
 - d) Data.
- Por outro lado, é necessário:
- e) Identificar o tipo de documentação gráfica a produzir
 - g) Delimitar a área a documentar

A intervenção sobre um edifício antigo existente deverá ser sempre sustentada por uma recolha de informação a vários níveis. Por um lado a informação pode ser recolhida directamente a partir do edifício ou indirectamente a partir de fontes documentais, fontes orais, relatórios de inspecções e ensaios anteriores, elementos gráficos existentes (desenhos de projecto originais, desenho de projectos de alterações, levantamentos), e outro tipo de dados como por exemplo enquadramento legislativo e valores patrimoniais já reconhecidos. Quando se recolhe a informação directamente a partir da realidade material do edifício, está a considerar-se o edifício como documento passível de ser lido, analisado e interpretado. Parte desta informação é de natureza gráfica, por exemplo os levantamentos arquitectónicos, ou pelo menos pode assumir a forma de documentação sintetizada graficamente.

Naturalmente a informação do primeiro tipo pode condicionar a do segundo tipo de vários modos. Por exemplo, pode tornar dispensável a necessidade de efectuar um levantamento ou pode levar a tomar precisamente a decisão inversa; pode levantar suspeitas sobre determinado facto construtivo hoje não visível e assim conduzir à necessidade de efectuar pesquisas específicas, por exemplo arqueológicas. Os exemplos são infindáveis.

Resumindo, deve verificar-se:

- h) a existência de documentação prévia (gráfica e não gráfica).

Se existir, deve-se analisá-la e decidir se a documentação gráfica (e não gráfica) de que se dispõe é adequada aos fins presentes e se, não o sendo, pode ser adaptada. Propõe-se, sempre que possível, a adopção do fluxo decisório do organigrama da figura 2-10.

Em suma, esta primeira etapa corresponde a um primeiro nível de contacto com o objecto a documentar, a um primeiro nível de conhecimento e consciência que tem consequência directa na decisão de proceder ou não à execução de documentação gráfica.

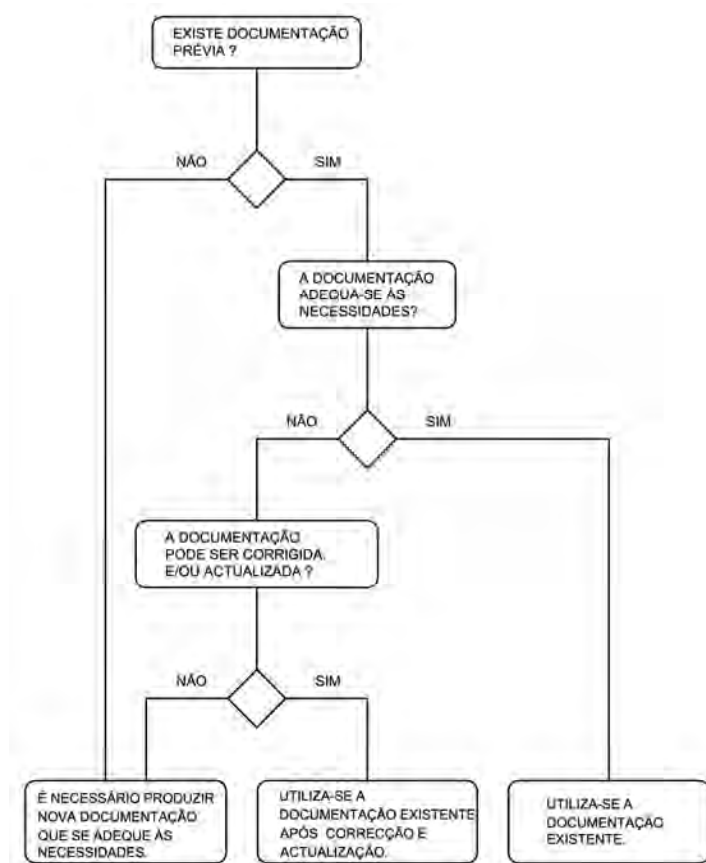


Figura 2-10: Fluxo decisório da avaliação da necessidade de proceder à documentação gráfica de base.

2.3.1.2. Definição de objectivos, imposição de critérios de desempenho para a informação a recolher, observação prévia de condicionantes.

Tendo sido decidido proceder-se à execução de nova documentação ou complemento da documentação existente, devem prescrever-se os requisitos que devem ser respeitados e em função destes escolher-se os métodos e processos para a sua produção. Deve notar-se que não há métodos e técnicas inerentemente melhores para a produção da documentação. O que há é métodos e técnicas que se podem considerar mais ou menos adequados a um determinado fim.

Assim, é necessário:

- a) Definir objectivos em função dos fins projectuais a que se destina a documentação.
- b) Impor critérios de desempenho para a documentação a produzir (ao nível dos conteúdos, do rigor métrico, de validação, e das formas de apresentação).
- c) Fazer uma observação prévia de aspectos condicionantes e restrições (definição de prazos e orçamento, autorizações de acesso, condições de segurança, condições de

acessibilidade, retenção de materiais, impactos admissíveis no objecto, legislação e regulamentação aplicável, direitos de autoria e reprodução). A isto somam-se outras considerações como sejam restrições de tempo, orçamentais, de experiência dos recursos humanos a envolver no processo, ou ainda de restrições de outro tipo como seja o perigo de acesso directo aos objectos ou a necessidade de considerar valores, por exemplo artísticos ou históricos, que por si também sejam impeditivos do acesso directo.

Uma abordagem ao tópico a) deve considerar uma ponderação global dos aspectos referidos no ponto 2.1.2 – Da descrição à interpretação. Isto é, a definição de objectivos passa por ter uma ideia clara do que se pretende fazer com a documentação de modo a poder informar a sua produção, ao nível dos critérios.

Uma abordagem aos tópicos b) e c) pode ser feita nos termos das orientações e especificações que referimos no ponto 2.2 – Para a documentação gráfica: Princípios, Orientações e Especificações.

2.3.1.3. Definição da estratégia de documentação gráfica descritiva

Assim, em função: i) dos fins e objectivos definidos, ii) do conhecimento da aplicabilidade dos métodos de registo e documentação, iii) do rigor expectável para cada método de documentação, e iv) dos aspectos condicionantes, pode-se proceder à adopção de uma qualquer metodologia ou estratégia que se considere adequada.

É necessário definir:

- a) Quem produz, (que experiência tem, de que recursos dispõe)
- b) Quem fiscaliza (os utilizadores da informação, uma entidade ou figura externa)

Consideramos que, em alguns casos menos complexos, e com o desenvolvimento de ferramentas de *software* amigáveis, o processo de documentação pode ser levado a cabo directamente pelos agentes da Conservação.

Há porém casos em que, pela complexidade das operações a realizar, o processo de registo e documentação tem de ser levado a cabo por agentes especializados externos à área da Conservação. Nestes casos deve haver o cuidado de envolver de forma relativamente activa os utilizadores da informação no processo, que devem acompanhar e ir testando os resultados.

Classificação das estratégias de documentação

Depois do exposto torna-se evidente que a estratégia documental a adoptar deverá ser aquela que melhor responda aos objectivos e critérios previamente definidos, e que esteja no correcto balanço dos custos e níveis de especialização disponíveis.

De acordo com a classificação proposta dos métodos de levantamento podemos classificar as estratégias de documentação em quatro grupos de acordo com o esquema da figura 2-11.

No primeiro grupo temos as estratégias que utilizam exclusivamente os métodos directos como é o caso, por exemplo, da utilização exclusiva das medições manuais.

No segundo grupo temos as estratégias que utilizam preponderantemente os métodos directos como é o caso, por exemplo, da combinação entre procedimentos topográficos de controlo, medições manuais e levantamento fotogramétrico localizado.

No terceiro grupo têm-se as estratégias que utilizam preponderantemente os métodos indirectos, como é o caso, por exemplo, da combinação entre procedimentos topográficos de controlo com o levantamento e modelação fotogramétrica.

No quarto grupo temos as estratégias que utilizam exclusivamente os métodos indirectos como é o caso, por exemplo, da aplicação exclusiva dos métodos do VL3DT e/ou da FDT

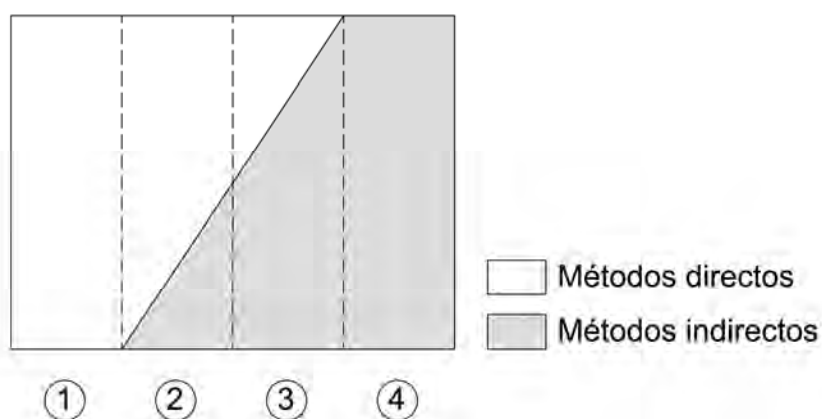


Figura 2-11: Classificação das metodologias documentais.

O âmbito da nossa tese trata dos métodos da FDT e do VL3DT que se enquadram nos métodos indirectos de levantamento. Estes métodos são ainda métodos de não contacto, isto é, métodos não intrusivos que aplicam o princípio da detecção remota.

Podemos afirmar que, em contexto de Conservação, Restauro e Reabilitação da Arquitectura, as estratégias de documentação em geral adoptadas, se enquadram nos dois primeiros grupos (correspondendo o primeiro à adopção das chamadas técnicas tradicionais), sendo no entanto de notar que cada vez mais as estratégias dos terceiro e quarto grupos tenderão a assumir preponderância.

Naturalmente uma estratégia documental baseada na FDT e no VL3DT enquadra-se nos dois últimos grupos.

A FDT e o VL3DT também podem ser incluídos no segundo grupo se não forem os métodos preponderantes (veja-se o exemplo do HABS). Considere-se por exemplo os casos em que se executa a generalidade da documentação de um edifício por métodos directos e se utiliza a fotogrametria para registar uma fachada ou o VL3DT para registar um pormenor decorativo.

Assim, quando falamos numa metodologia baseada na FDT e no VL3DT estamos a considerar os casos em que estes métodos assumem o protagonismo do processo de documentação.

A consubstanciação do planeamento passa por definir a:

c) Estratégia de recolha dos dados (escolha e justificação da metodologia de recolha dos dados; escolha, descrição e justificação dos meios técnicos a envolver; planeamento da recolha dos dados; estimativa de recursos humanos necessários, tempos de execução e custos)

d) Estratégia de processamento dos dados e apresentação dos materiais finais (escolha e justificação da metodologia de processamento e validação; escolha, descrição e justificação dos meios técnicos; planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação dos materiais finais, estimativa de recursos humanos necessários, tempos de execução e custos)

A definição de uma estratégia é que nos permitirá actuar em campo e em gabinete com a menor perda de tempo possível e a maior rentabilidade possível.

O planeamento da recolha dos dados pode incluir a definição dos pontos de estação de equipamentos topográficos, a preparação de desenhos base para anotação de medidas, a avaliação da necessidade de plataformas elevatórias, a avaliação das condições de segurança dos lugares, a avaliação da necessidade de recursos humanos, a estimativa de tempo de duração das acções, entre muitos outros aspectos. Naturalmente este planeamento é função directa da relação entre a escolha dos métodos e das características da estrutura a documentar.

2.3.2. A produção da documentação gráfica descritiva

Definida a estratégia, chega a altura de a colocar em prática.

A produção da documentação gráfica descritiva ou de base, ou dito de outra forma, a implementação da estratégia documental, tem três etapas que já ilustrámos no diagrama da figura 2-9.

Interessa-nos agora expandir os aspectos relacionados com a estratégia, o que fazemos de forma esquemática através do organigrama da figura 2-12.

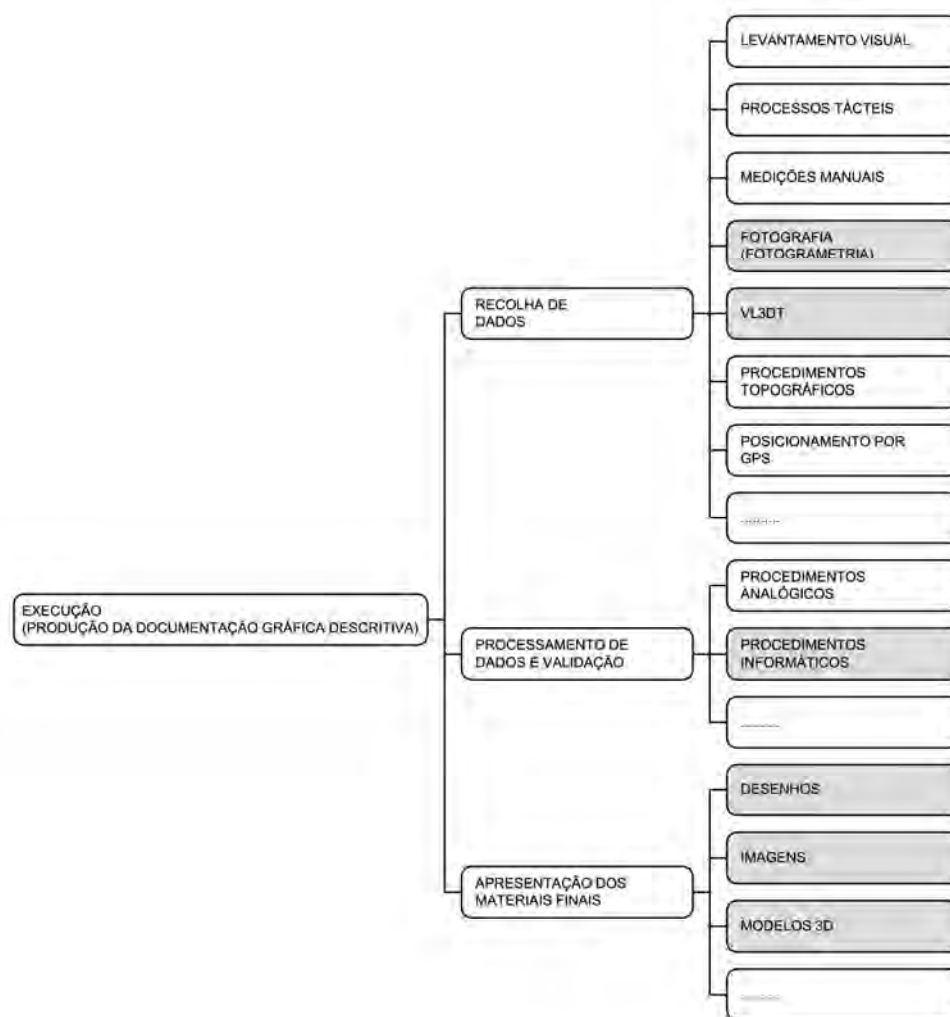


Figura 2-12: As fases da etapa de execução do registo e documentação gráfica de base.

As células sombreadas correspondem aos aspectos que nos interessa relevar na presente investigação.

A implementação da estratégia corresponde a todos aqueles passos que é preciso dar desde a recolha de medidas ou outro tipo de dados em campo até à produção dos materiais finais, elaborada em princípio em gabinete. Independentemente da forma como são produzidos, os suportes gráficos bidimensionais têm sido o meio privilegiado para a prossecução das variadas análises inerentes ao processo do projecto de Conservação bem como ao planeamento de acções nesse contexto. Tradicionalmente, estes suportes revestem-se sob a forma de desenhos lineares: as plantas, os cortes e os alçados. A sua produção é usualmente feita através de levantamentos manuais com apoio topográfico, ou, sobretudo no caso de alçados, através da fotogrametria com visão estereoscópica. Esta utilizava, na sua vertente analítica, imagens analógicas que eram restituídas por operadores altamente especializados, o que também tornava este processo de uso mais dispendioso que nos dias de hoje. Menos comum, mas também utilizados, encontram-se as fotografias

rectificadas e as orto-fotos. Dizemos menos comum porque a sua produção no tempo da imagem analógica não estava tão facilitada como hoje. Mais raramente há o recurso a modelos 3D, e quando há, estes são produzidos indirectamente a partir de desenhos.

Hoje, vivendo sob o paradigma digital, é de esperar que os procedimentos de recolha, processamento e apresentação, utilizem formas mais tecnológicas (FDT, VL3DT, procedimentos de processamento por computador, apresentação digital).

2.3.2.1. Recolha de dados

A primeira fase da colocação em prática da estratégia é:

a) Recolha dos dados (descrição do processo de recolha dos dados incluindo equipamentos utilizados; descrição dos dados recolhidos; desvios em relação às previsões)

Deve seguir-se o planeamento efectuado na etapa anterior.

Por definição, a estratégia implica um plano mas implica também o estar atento a imprevistos e integrá-los no processo se isso se revestir de vantagem. Significa rigor a seguir o plano mas não rigidez ao ponto de recusar a possibilidade de melhoramentos que se identifiquem durante a execução. Por isso, não será de estranhar que ao confrontar a execução com o plano se encontrem desvios. Mas deve também notar-se que a estratégia não significa ir ao acaso sem planear absolutamente nada ou sem estar minimamente preparado. É exactamente ao contrário. Deve ir-se o mais bem preparado possível mas estar disponível para integrar a surpresa e o imprevisto, que acontecem sempre.

2.3.2.2. Processamento dos dados

O processamento dos dados consiste em todas aquelas operações que são necessárias para tornar inteligível e utilizável a informação produzida nas fases anteriores. À medida que os dados vão sendo processados devem ir entrando numa estrutura de organização de informação, seja ela de que tipo for, pelo que a apresentação dos materiais finais é o culminar desta acção.

Nesta etapa é importante:

a) Descrever e registar todas as operações do processamento dos dados incluindo os meios técnicos utilizados, a validação, e as formas de organização dos materiais finais.

Esta sistematização do processamento é o que permitirá a sua verificação no futuro, é o que permite detectar os momentos em que algo não correu como esperado, e é fundamental para aperfeiçoar a aplicação dos métodos. Serve ainda como documento do processo. Esta descrição pode passar pela produção de textos explicativos, folhas de cálculo com o registo dos processamentos, pela realização de listagens sistemáticas, entre outros procedimentos que se considerem adequados.

2.3.2.3. A apresentação dos materiais finais

Efectuado o processamento, chega-se aos materiais finais que são o culminar lógico do processo documental numa primeira fase. É claro, e nunca é demais reforçar, que os produtos daqui resultantes são sempre meios a ser utilizados por outros, numa espiral de adição de novas camadas de informação para as quais poderá eventualmente ser necessário voltar ao campo e recolher novos dados e proceder a novos processamentos.

Em todo o caso é necessário nesta fase:

a) Proceder à descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de apresentação, tema, suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais).

No esquema da figura 2-12 são descritos muito genericamente os produtos base da documentação gráfica quanto ao seu tipo. Em momento anterior estes produtos foram caracterizados do ponto de vista da representação em plantas, cortes e alçados, designações correntes para o tipo de desenhos próprios da arquitectura, sob as possíveis formas temáticas de levantamento geométrico, levantamento arquitectónico, levantamento dos materiais, levantamento do estado de conservação, entre outros. Interessa-nos agora voltar de novo ao plano conceptual base e expandir a classificação exposta no esquema referido, integrando também as formas de apresentação, os suportes de distribuição e armazenamento, as formas de organização da informação, e as formas de utilização da informação.

Embora o nosso contexto de aplicação seja o da Arquitectura, no campo específico da Conservação, Restauro e Reabilitação, faremos ainda referência a outros contextos disciplinares no sentido de perceber o posicionamento da área da Arquitectura nas suas vertentes de Conservação, Restauro e Reabilitação.

Assim, nos esquemas da tabela 2-2 amplia-se o âmbito da classificação dos materiais gráficos base passíveis de produção pela aplicação dos variados métodos de documentação disponíveis, no que diz respeito à sua caracterização sob vários aspectos (tipo, formas de apresentação, tema, suportes de distribuição e armazenamento, formas de organização, formas de utilização, contextos disciplinares).

TIPO	FORMAS DE REPRESENTAÇÃO	TEMA	SUPORTES DE DISTRIBUIÇÃO E ARMAZENAMENTO
DESENHOS 2D	PLANTAS	DESCRIÇÃO GEOMÉTRICA	PAPEL
IMAGENS 2D	CORTES	DESCRIÇÃO FOTOGRÁFICA	CDs, DVDs, DISCOS RÍGIDOS
MODELOS 3D	ALÇADOS	DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS	CARTÕES DE MEMÓRIA
VIDEOS	PERSPECTIVAS	DESCRIÇÃO DAS ANOMALIAS	SERVIDORES COM ACESSO À INTERNET
	AXONOMETRIAS	DESCRIÇÃO ARQUITECTÓNICA	OUTROS MATERIAIS (no caso dos modelos físicos)
	FOTOGRAFIAS	DESCRIÇÃO DAS FUNDAÇÕES	
	IMAGENS RECTIFICADAS	DESCRIÇÃO DAS PAREDES	
	ORTO-IMAGENS	LOCALIZAÇÃO DE ENSAIOS	
	MODELOS TEXTURADOS		
	MODELOS CAD		
	MODELOS BIM		
	FILMES		
	ANIMAÇÕES		
	HOLOGRAMAS		

FORMAS DE ORGANIZAÇÃO	FORMAS DE UTILIZAÇÃO	CONTEXTOS DISCIPLINARES
LAYOUTS EM PAPEL	VISUALIZAÇÃO, INTERACÇÃO, INTERPRETAÇÃO (INTERNET / INTRANET / PC LOCAL)	CONSERVAÇÃO E RESTAURO
LAYOUTS EM FICHEIROS	MANIPULAÇÃO ANALÓGICA (DESENHO MANUAL)	ARQUITECTURA E ENGENHARIA
FORMAS DE DESIGNAÇÃO DOS FICHEIROS	MANIPULAÇÃO DIGITAL (MODELAÇÃO CAD, NURRS, BIM)	TURISMO E MUSEALIZAÇÃO DIGITAL
FORMAS DE DESIGNAÇÃO DOS DESENHOS	SIMULAÇÕES VIRTUAIS (ESTRUTURAIS, AMBIENTAIS, FÍSICAS, HISTÓRICAS)	COMPUTAÇÃO GRÁFICA
FORMAS DE DESIGNAÇÃO DOS MODELOS	LISTAGENS A PARTIR DE BASES DE DADOS	ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE IMAGEM
CAMPOS DE BASES DE DADOS		ENGENHARIA ESTRUTURAL
LAYERS DE INFORMAÇÃO		DESIGN
CAMPOS DE BASES DE DADOS		HISTÓRIA
ESTRUTURAS DE DADOS EM FICHEIROS		

Tabela 2-2: Caracterização das formas de apresentação dos materiais finais.

O que pretendemos salientar com esta abordagem à classificação dos materiais finais é que pode haver, e há, contextos disciplinares que podem beneficiar de abordagens próprias de outros sectores. A título de exemplo refere-se a aplicação das tecnologias de videojogos, próprias da computação gráfica, à musealização virtual de modo a permitir interações entre os visitantes virtuais e estruturas arqueológicas em aplicações de internet utilizando, por exemplo, modelos fotogramétricos [Bia05]. Este é um exemplo de entre muitos outros que poderiam ser dados.

2.4. Conclusões

Neste capítulo fizemos a revisão da literatura relativa ao enquadramento metodológico da relação entre a documentação gráfica de base e seus usos em Conservação, Restauro e Reabilitação.

Começámos por encarnar o ponto de vista dos utilizadores da documentação para compreendermos o papel da documentação gráfica no processo de projecto. Fizemos uma descida do geral (a noção de salvaguarda) ao particular (os métodos e os processos para produzir a documentação e o registo gráfico), enquadrando o projecto nesse caminho.

Verificámos que existe variada documentação de enquadramento do problema da documentação gráfica ao nível dos princípios, das orientações e das especificações.

Verificámos que o VL3DT e a FDT começam a ser técnicas bem implementadas e cada vez mais divulgadas, conhecidas e utilizadas. Porém, parece-nos que ainda se justifica orientação adicional no sentido de clarificar processos e procedimentos.

Verificámos que os guias que referem estas tecnologias ainda permitem espaço para melhoramento e desenvolvimento, em particular no que respeita ao VL3DT, caso em que o nível de ilustração de princípios práticos é ainda relativamente lacónico ao contrário do que acontece com as técnicas tradicionais.

Concluímos este capítulo com uma síntese da organização do processo da produção da documentação gráfica estruturado em dois grandes blocos: i) a preparação, ii) a execução. Consideramos que essa estruturação pode constituir-se como um embrião de sistema de gestão do processo do registo e levantamento.

Esta estruturação é independente dos métodos ou das técnicas que se possam vir a adoptar para proceder à documentação. Enquadra um conjunto de aspectos relevantes para as duas fases do processo de documentação. Utilizaremos esta estrutura para documentar os casos de estudo que fazem parte do volume II desta tese.

Concluímos que as abordagens mais tradicionais de documentação apresentam algumas limitações, que nos parecem ser supridas pelo uso mais generalizado da FDT e do VL3DT, sendo esta motivação suficiente para cunhar uma metodologia nos termos em que pretendemos fazer (baseada na FDT e no VL3DT). Entendemos igualmente que o nosso

contributo também se pode situar no preenchimento de uma lacuna de conhecimento que entendemos ainda existir nesta área por parte de arquitectos, conservadores e arqueólogos, enfim, aqueles que geralmente são os utilizadores da documentação gráfica, e também no dar a conhecer aos produtores da informação o que são as necessidades documentais no contexto da Conservação, Restauro e Reabilitação da Arquitectura. Neste sentido contribuiremos para ajudar a divulgar estes métodos de documentação e para a clarificação de alguns termos e conceitos que permitirão a sua adopção de uma forma mais consciente.

3. Os métodos e os processos da Fotogrametria Digital Terrestre (FDT) e do Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT)

Feito o enquadramento metodológico do papel da documentação gráfica de base em conservação, restauro e reabilitação, passamos agora à revisão das técnicas e métodos de levantamento e documentação, em particular aquelas que são o cerne da nossa investigação, a FDT e o VL3DT.

O objecto do terceiro capítulo é explicitar de forma ordenada e sistemática os processos operativos da FDT e do VL3DT, sem os quais os capítulos seguintes seriam de difícil ou impossível leitura. Faz-se a revisão do estado da arte relativamente às metodologias da FDT e do VL3DT.

Optamos por uma estruturação do capítulo baseada em processos uma vez que o nosso objectivo é metodológico. A par da descrição dos processos far-se-á uma revisão da literatura. Para além de outras, serviram-nos de referência fundamental duas fontes: i) a base de dados do CIPA/ICOMOS²³ com os proceedings das conferências organizadas por aquela entidade, e ii) os arquivos da ISPRS²⁴.

Desde o aparecimento e divulgação do VL3DT que um dos tópicos de discussão se prende com a comparação e integração desta tecnologia com a fotogrametria. Essa comparação serve para destacar vantagens e inconvenientes de um e outro método, e para propor estratégias de integração destes procedimentos entre si e com outros, como por exemplo os métodos topográficos ou manuais. As palavras metodologia, comparação e integração são palavras-chave nesta matéria.

3.1. A radiação electromagnética, a luz e fenómenos associados

De acordo com a teoria ondulatória uma onda electromagnética pode ser caracterizada por: i) modo de propagação, ii) frequência, iii) comprimento de onda, iv) amplitude do campo eléctrico, v) energia transportada, e vi) modo de polarização [Eur98].

A radiação electromagnética viaja pelo espaço à velocidade da luz (c) através de um padrão sinusoidal. A distância entre picos consecutivos designa-se por comprimento de onda (λ) e o número de picos contabilizados na passagem por um ponto fixo no espaço, num dado intervalo de tempo, é a frequência da onda (ν). Estes três parâmetros relacionam-se de acordo com a seguinte expressão [LKC04]:

²³ Base de dados do CIPA/ICOMOS: (<http://cipa.icomos.org/PASTSYMPOSIA.HTML>)

²⁴ Arquivos da ISPRS: (<http://www.isprs.org/publications/archives.aspx>)

$$c = \nu\lambda \quad (3.1)$$

Um dos modos de caracterizar as formas de radiação electromagnética é através do seu comprimento de onda expresso em micrómetros (μm)²⁵. Os comprimentos de onda da radiação electromagnética podem ser tão distintos como os $10^{-6} \mu m$ dos raios gama e os $10^8 \mu m$ das ondas rádio. Uma onda electromagnética associada apenas a uma frequência distinta diz-se monocromática [Eur98].

A luz visível corresponde a uma porção do espectro da radiação electromagnética que vai, aproximadamente, dos $0.4 \mu m$ aos $0.7 \mu m$ e que corresponde sensivelmente ao intervalo do espectro electromagnético que os nossos sensores naturais, os nossos olhos, conseguem detectar. Isto é, desde o limite superior dos ultravioletas até ao limite inferior dos infra-vermelhos. Na figura 3-1 adaptada de “Introduction to modern photogrammetry” [MBM01], ilustra-se o posicionamento da luz visível e de outras formas de radiação no espectro electromagnético.

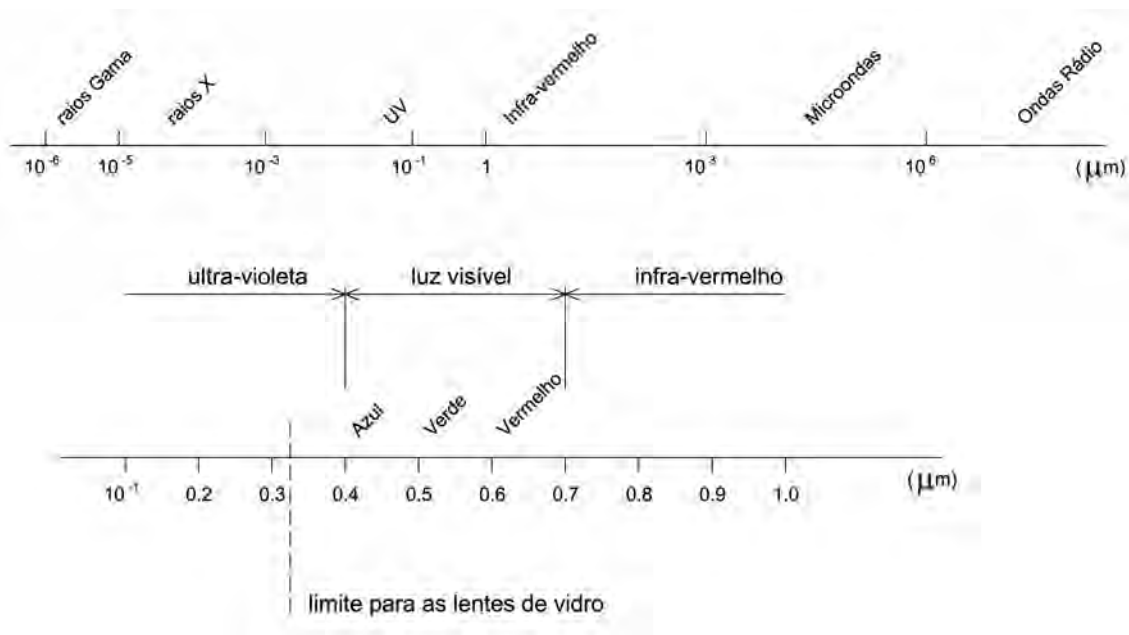


Figura 3-1: O espectro electromagnético.

Contudo, é preciso notar que o termo luz pode ser aplicado de forma mais extensiva a toda a radiação electromagnética que tem comportamento semelhante ao da luz o que pode incluir a radiação electromagnética com comprimentos de onda entre $1nm$ e $2\mu m$, isto

²⁵ $1000nm = 1\mu m = 10^{-6} m$

é, incluindo a radiação ultravioleta e a radiação infra-vermelho próximo. A razão de ser desta convenção prende-se com o facto do olho humano conseguir detectar um pouco destas radiações e de alguns animais serem sensíveis a estes comprimentos de onda. Para além disso a radiação electromagnética um pouco abaixo e um pouco acima do intervalo correspondente à luz visível comporta-se de forma semelhante a esta [Dav07] [Ap92].

Pelo facto de a luz natural ser resultado da emissão produzida por transições atómicas espontâneas muito curtas, e por isso consistir em sucessões distintas de ondas sem fase fixa, isto é sem correlação de fase, diz-se que a luz natural é incoerente [Eur98].

O entendimento de como se propaga a radiação electromagnética e como é que ela interage com o meio é importante para compreender como é que ela pode ser utilizada. Em particular, no nosso caso, como pode ser utilizada para medir e documentar.

A disciplina que estuda a medição e quantificação das propriedades da radiação electromagnética transmitida é a radiometria. Se essas se referirem à porção do espectro designado por luz visível então a disciplina considerada é a fotometria [MBM01].

Os fenómenos principais associados à propagação da radiação electromagnética são: i) reflexão, ii) refacção, iii) absorção, iv) dispersão, v) polarização, e vi) difracção [Dav07].

Quando a luz, ou mais genericamente a radiação electromagnética, viaja num meio e incide noutro meio, parte dela é reflectida, outra parte é absorvida pelo novo meio, e outra parte é transmitida no novo meio. De acordo com o princípio da conservação da energia podemos dizer que a energia incidente é igual à soma da energia reflectida com a energia absorvida e com a energia transmitida. É importante notar que a manifestação destes fenómenos depende do comprimento de onda da radiação incidente o que significa que diferentes comportamentos podem ser lidos num interface entre meios se diferentes comprimentos de onda incidentes forem considerados [LKC04]. Este facto é particularmente importante para compreendermos as qualidades das imagens de VL3DT.

Por outro lado, quando a luz viaja num meio, por exemplo na atmosfera, pequenas partículas em suspensão, como o pó, produzem reflexões arbitrárias de partes pequenas da luz. Ao conjunto destas reflexões dá-se genericamente a designação de dispersão. Também nesse meio, digamos inicial, se pode dar o fenómeno da absorção. Os maiores responsáveis pela absorção são o vapor de água, o dióxido de carbono e o ozono. Se a interface entre dois meios de propagação da luz tiver propriedades polarizadoras então apenas atravessa essa interface a parte da onda que oscila num determinado plano.

O caso da atmosfera como meio no qual se propaga a energia electromagnética é de particular importância para a detecção remota pelas razões óbvias. Por isso é importante compreender o comportamento da energia electromagnética ao atravessar este meio. Em particular é importante compreender como se caracteriza o fenómeno da absorção e da

transmissão da energia em função dos vários comprimentos de onda. Este entendimento permitirá proceder à escolha adequada dos intervalos do espectro que podem ser utilizados, e por conseguinte permitirá escolher os sensores adequados para captar esses comprimentos de onda [LKC04].

As superfícies podem reflectir a luz, e em geral a radiação electromagnética, de modos distintos em função das características dos materiais de que são compostas.

Superfícies especulares ideais reflectem a luz de modo que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão sendo única a direcção de reflexão. Superfícies de reflexão ideal difusa (superfícies Lambertianas) reflectem a luz de modo idêntico em todas as direcções. Com efeito estas superfícies ideais não existem mas definem o intervalo aberto em que se situam todas as superfícies da natureza. Como nos explica Lillesand [LKC04] se o comprimento de onda da radiação incidente for muito menor que as variações das irregularidades da superfície ou do que as partículas que compõem a superfície, então a reflexão é difusa. Este tipo de reflexão dá-nos informação espectral sobre a superfície, e esta pode ser utilizada para identificar e estudar as suas características enquanto que a reflexão especular não o permite. O objecto de interesse principal da detecção remota é a medição das propriedades de reflexão difusa dos elementos da superfície da Terra.

À razão entre a radiação reflectida e a energia incidente numa superfície dá-se o nome de reflectância ou albedo e é geralmente expressa em percentagem. A reflectância de uma superfície varia em função do comprimento de onda da energia incidente.

A difracção é o fenómeno de inflexão e dispersão dos raios de luz ao passarem junto aos limites de uma obstrução.

As superfícies Lambertianas, isto é, que reflectem a luz de forma difusa, são aquelas que se podem documentar de forma mais eficiente utilizando dispositivos que detectem a energia electromagnética por elas reflectida, incluindo-se nestes a fotogrametria e o varrimento laser 3D.

3.1.1. A luz laser

O termo laser é o acrónimo de *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (amplificação de luz por emissão estimulada de radiação). O termo laser, para além de designar um tipo de luz, também designa o dispositivo utilizado para a produzir. Trata-se pois de um dispositivo mecânico-quântico que utiliza a interacção entre luz e matéria para produzir um tipo de luz quase monocromática, direccionada e de grande intensidade. Um feixe de laser pode ter espessuras desde a de um cabelo até espessuras na ordem de vários metros. A razão pela qual nos referimos ao laser como luz laser e não simplesmente laser deriva do facto de que a maior parte dos lasers existentes emite radiação no intervalo do espectro a que se convencionou chamar luz [Dav07].

3.1.1.1. Conceitos relacionados com a luz **LASER**

A natureza discreta do átomo é de fundamental importância para entender os princípios de geração da luz laser. Esta pode ser explicada através da mecânica e física quântica. Porém há fenómenos que são melhor explicados através da teoria ondulatória, dando origem e significado à Teoria Dual da Luz.

Geralmente a interacção da luz com a matéria assume o comportamento de onda enquanto que a interacção com campos eléctricos assume o comportamento de partícula [Eur98].

Para se entender melhor o que é a luz laser, como se produz, e como pode ser utilizada, é importante aprofundar alguns conceitos

Níveis de energia dos electrões num átomo

Se o comprimento de onda da vibração do electrão for igual à circunferência²⁶ da sua órbita este encontra-se à menor distância possível do núcleo e no nível mais baixo possível de energia. Diz-se que se encontra no estado fundamental. Se dois ou mais comprimentos de onda couberem na circunferência da órbita do electrão, então a sua distância ao núcleo aumenta e maiores níveis de energia são obtidos. Aos níveis energéticos acima do nível base dá-se o nome de estados excitados e só podem ser obtidos se for fornecida energia ao electrão. Estes estados são, em princípio, instáveis e apenas podem ser mantidos por um período muito curto, tipicamente 10^{-9} s. O número de comprimentos de onda que cabem na circunferência de um electrão é designado por número n , ou por número quântico principal. Os números quânticos l e m são, respectivamente, o segundo e terceiro números quânticos e traduzem o momento angular do electrão e a sua direcção. A rotação dos electrões em torno do seu próprio eixo determina ainda um quarto número quântico (*spin*) resultante do momento angular da rotação. Os momentos angulares (o momento angular de uma partícula é o produto externo do seu vector posição em relação ao centro de rotação pelo vector do seu momento linear) dos electrões e dos átomos levam à geração de campos magnéticos dado que estão associados à rotação de cargas eléctricas. Isto é de grande importância para explicar as propriedades magnéticas da matéria e para compreender a interacção da energia electromagnética com a matéria [Eur98].

²⁶ Na realidade a órbita do electrão é aproximadamente elíptica, apresentando-se aqui o modelo com órbitas circulares por questões de simplificação da explicação.

Níveis de energia das moléculas

Na natureza normalmente os átomos agrupam-se em moléculas através de forças eléctricas que permitem a vibração dos átomos em torno da sua posição de equilíbrio. Estas vibrações estão associadas a níveis de energia quânticos (à semelhança dos níveis de energia dos electrões num átomo). As moléculas também têm um ou mais eixos de simetria em torno dos quais podem rodar. A energia associada a estas possíveis rotações também pode ser quantificada através de níveis discretos. Assim a energia total da molécula é composta pela energia dos electrões e pelas vibrações e rotações da molécula. Exclui-se aqui a energia do núcleo dos átomos que, embora desempenhando um papel fundamental na tecnologia nuclear, é constante na física dos lasers [Dav07].

A quantização das energias atómicas e moleculares está relacionada com o facto de a luz poder trocar energia com a matéria apenas por um ou mais, embora menos prováveis, níveis quânticos, ou *quanta*, de energia, dados pela energia do fotão e dependentes da frequência da luz. A energia de um fotão é dada pela expressão:

$$E_q = hf \quad (3.2)$$

em que f é a frequência e h é a constante de Planck [Eur98].

Interacção entre luz e matéria

Um átomo encontra-se, em geral, no estado fundamental, isto é, com a mínima energia possível. Se for adicionada energia aos electrões sob a forma de colisão com partículas ou electromagneticamente através da absorção de luz, então estes são excitados para um nível de energia mais elevado. A energia transferida durante este processo corresponde à diferença quântica possível entre o estado excitado e o estado fundamental para a energia fornecida. Como foi acima dito os electrões mantêm-se no estado excitado por um período típico de 10^{-9} s voltando depois ao estado fundamental sem qualquer influência externa. O excedente de energia é libertado sob a forma de uma nova colisão ou sob a forma de um fotão dizendo-se, neste último caso, que houve emissão espontânea. Este é o processo pelo qual se produz quase toda a luz que acontece no nosso mundo.

Para que a luz seja absorvida por um átomo é necessário que a frequência da onda electromagnética esteja em ressonância com a rotação do electrão e que, para além disso, a direcção do campo eléctrico da onda seja sempre oposta à da velocidade angular do electrão, isto é, haja oposição de fase. Deste modo o electrão é sempre acelerado e a energia da onda é absorvida pelo átomo.

Se a frequência da onda electromagnética estiver em ressonância com a rotação do electrão mas a direcção do campo eléctrico for idêntica à direcção da velocidade angular do electrão então este é desacelerado o que significa que o átomo perde energia que vai

amplificar a onda inicial. Este processo é designado por emissão estimulada. Esta emissão assim definida pode por sua vez induzir o mesmo efeito noutros electrões produzindo-se um efeito cumulativo que amplia a luz incidente original como veremos adiante. Na emissão estimulada induz-se o electrão a emitir luz com o comprimento de onda desejado irradiando-o com luz do mesmo comprimento de onda o que implica que os saltos energéticos dos electrões são predeterminados, e de modo a que estejam em fase. Em termos de mecânica quântica o electrão ocupa um estado excitado de energia e leva a cabo uma transição para um estado energético inferior através do efeito de estimulação de uma onda incidente com um *quantum* de energia igual à diferença entre os dois níveis energéticos em causa [Eur98] [Dav07].

Inversão e amplificação da luz

Considere-se um meio, por exemplo composto de átomos, ao qual é fornecida de forma contínua energia capaz de excitar os electrões de um nível de energia mais baixo, E_1 , para um nível mais elevado, E_2 . Num determinado instante há uma população, N_1 , de electrões que ocupa o nível mais baixo de energia e outra população que ocupa o nível mais elevado de energia, N_2 . À medida que há fornecimento de energia ao meio e esta vai sendo absorvida, a população N_2 vai aumentando enquanto que a população N_1 vai diminuindo. Quando a população do nível mais elevado se torna maior que a do nível mais baixo diz-se que se deu a inversão de população ocorrendo a amplificação da radiação [Eur98].

Elementos constituintes de um *laser*

Os três elementos essenciais que constituem o laser são: i) um meio activo, ii) uma fonte de bombeamento de energia, e iii) uma cavidade ressonante. O meio activo ou amplificador é um conjunto de átomos, moléculas ou iões que, de alguma forma, são capazes de emitir radiação óptica. Este meio pode ser sólido, líquido ou gasoso. Desempenha o papel de acrescentar energia à radiação que o atravessa e deve permitir a sua libertação sob a forma de luz. A fonte de bombeamento de energia tem o papel de emitir energia capaz de excitar os electrões do meio activo. A cavidade ressonante é constituída, num dos seus topos, por espelhos de alta reflectividade (quase 100% para o comprimento de onda em causa), e no outro topo por espelhos de reflectividade parcial, que reflectem sucessivamente a radiação obrigando-a a passar múltiplas vezes pelo meio activo. O espelho com reflectividade parcial permite a saída da luz laser. A cavidade ressonante desempenha ainda o papel de diminuição da divergência e de purificação espectral do feixe [Fer03] [Dav07]. O esquema da figura 3-2 ilustra estes três componentes.

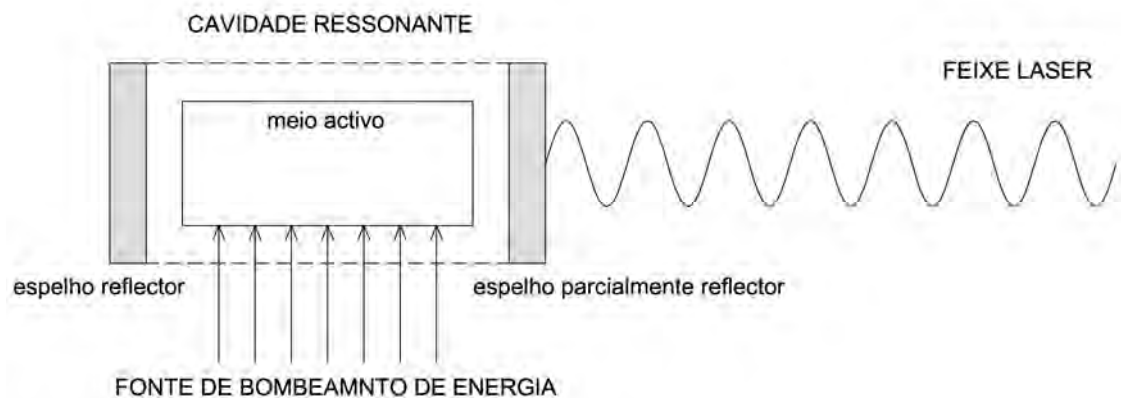


Figura 3-2: As componentes da cavidade ressonante.

Tipos de *lasers* e aplicações

Os lasers têm uma aplicação bastante difundida na actualidade em vários domínios da actividade do homem. São utilizados em leitores de códigos de barras nos supermercados, nos leitores de CDs e DVDs, em impressoras, em ponteiros, em espectroscopia, na indústria, na conservação e restauro para a documentação, diagnóstico e limpeza de superfícies, e também em metrologia na medição de distâncias.

Dependendo da utilização podem ser adoptadas diferentes configurações, geometrias e potências. Podem ter a espessura de um cabelo humano ou a espessura de um edifício. Podem ter potências que vão desde os 10^{-9}W a 10^{20}W . Podem ter comprimentos de onda que vão desde as regiões espectrais das microondas até aos raios X [Sil04].

Os lasers de aplicação mais frequente em sistemas de medição de distâncias são os lasers de meio activo sólido como o laser de Neodímio, Ítrio, Alumínio, Granada (Nd:YAG) e os lasers de semicondutores como o de Gálio, Arsénio (GaAs) [ST09] e operam em comprimentos de onda que variam entre os $0.4\mu\text{m}$ e os $1.6\mu\text{m}$ [VM10].

Os feixes laser podem ser colimados ou divergentes. Note-se que um feixe por mais bem colimado que esteja também apresenta divergência. A colimação dos feixes é feita através de dispositivos ópticos, vulgo lentes.

Os feixes laser designam-se por feixes gaussianos, isto é, trata-se de feixes que têm uma fonte plana de pequenas dimensões e que se comportam como onda plana muito perto da fonte e como onda esférica a grandes distâncias da fonte. A figura 3-3 ilustra os três tipos de onda [Eur98].

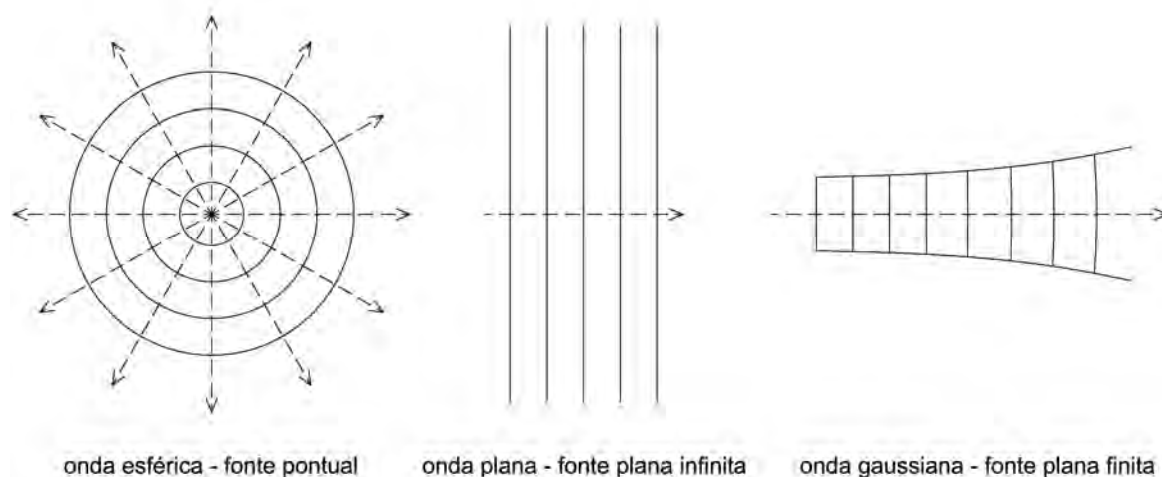


Figura 3-3: Os três tipos de onda: esférica, plana e gaussiana.

À intersecção do feixe laser com uma superfície dá-se o nome de pegada do laser. A pegada de um laser colimado produzida num plano perpendicular ao seu eixo é aproximadamente circular. À medida que o plano se inclina em relação ao eixo do feixe a pegada deforma-se assumindo a forma aproximadamente elíptica. A dimensão da pegada do laser aumenta com a distância do laser à fonte e é mínima na designada cintura do feixe. Este aumento relaciona-se com o ângulo de divergência de um feixe. Este corresponde a um ângulo assintótico para o qual tende o feixe à medida que se afasta da fonte. Na prática, assume-se que a partir de certa distância o feixe assume a forma cónica. Esse ângulo é referido ao eixo do feixe e tem origem perto da fonte do laser. Na figura 3-4 ilustra-se o conceito de pegada do laser e de ângulo de divergência.

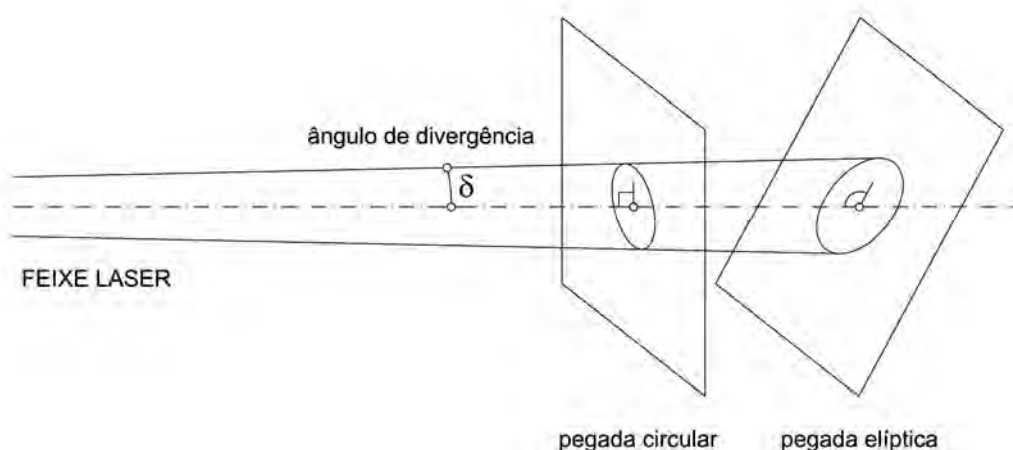


Figura 3-4: Ilustração dos conceitos de pegada do laser e ângulo de divergência.

O que se referiu em 3.1 relativamente aos tipos de reflexão da luz em superfícies especulares ou lambertianas é aplicável aos lasers.

Em termos de geometria simples, e para algumas explicações, um feixe laser pode ser representado como uma linha recta. Nesta representação a pegada do laser é considerada como um ponto.

Um feixe laser pode, através da utilização de mecanismos ópticos apropriados, ser transformado num feixe plano, considerando o mesmo nível de simplificação adoptado anteriormente. Neste caso a pegada do laser numa superfície deixa de ser um ponto para passar a ser uma linha. Este tipo de feixe plano é utilizado em alguns sistemas de varrimento laser 3D de curto alcance, em particular nos sistemas de triangulação óptica, a que nos referiremos em 3.3.1.3. Nos outros tipos de sistemas de varrimento laser 3D são utilizados lasers rectos, na acepção acima considerada, entenda-se.

3.1.1.2. As classes de segurança dos sistemas laser

De acordo com o standard IEC 60825 de 2007, da International Electrotechnical Commission, os *lasers* podem agrupar-se em várias classes de segurança. A classificação numa classe é resultado da comparação entre a radiação acessível do sistema laser com um nível admissível de radiação atribuído a cada classe. Esta comparação é feita obedecendo a três condições que implicam vários parâmetros. A aplicação das condições depende da natureza dos feixes, colimados ou não, do facto de poderem ser amplificados por meios ópticos, de se pretender calcular a potência ou a energia do feixe. Os parâmetros são, entre outros, a duração e o tipo de emissão, a potência, o comprimento de onda, a geometria do feixe.

O standard IEC 60825-1:2007 aplica-se aos sistemas laser que podem emitir radiação no intervalo entre os 180nm e 1mm, e por isso é aplicável aos sistemas de varrimento laser 3D. Subdivide os sistemas laser em quatro classes de segurança, as classes 1, 2, 3 e 4. Estas classes representam, por ordem crescente, o risco potencial que pode ocorrer na operação de tais sistemas. A classificação tem, por isso, o propósito de ajudar os utilizadores a avaliar os perigos potenciais de utilização de modo a que assim possam adoptar as medidas de segurança e controlo adequadas. No entanto, é preciso notar que esta norma apenas refere os perigos potenciais da exposição à radiação laser por parte da pele e olhos humanos. Isto é, exclui outros perigos potenciais como sejam o risco de choques eléctricos, a exposição a radiação electromagnética secundária, o risco de incêndio, ou outros riscos mecânicos e químicos. Para além disso, pretende estabelecer um conjunto de exigências perante os fabricantes no sentido de fornecimento de informação, por exemplo etiquetagem dos equipamentos, para que possam ser adoptadas medidas de

segurança apropriadas e com isso reduzir os riscos de acidente e minimizar ao estritamente necessário o acesso às fontes de emissão da radiação laser.

Apesar das condições de teste de classificação dos sistemas laser serem bastante exigentes e restritivas e presumirem sempre o pior acondicionamento possível, é preciso notar que existem sempre situações raras que podem constituir perigo para além do previsto para cada uma das classes.

As classes 1 e 2 são na prática, cada uma delas, 2 classes, isto é, existem as classes 1 e 2 e as classes 1M e 2M. Os sistemas laser classificados como sendo de classe 1M ou 2M são sistemas que são na sua generalidade de classe 1 ou 2, respectivamente, mas que podem apresentar perigos potenciais adicionais se os feixes laser forem observados utilizando instrumentos de amplificação óptica. Com efeito, a letra M associada à classe deriva da inicial do termo inglês “magnifying”. A classe 3, por sua vez, está subdividida em dois grupos, a classe 3R e 3B. O termo R deriva da inicial dos termos ingleses “reduced” ou “relaxed” aplicado aos requisitos exigidos quer aos fabricantes quer aos utilizadores. O termo B tem uma razão histórica e relaciona-se com edições anteriores do standard em que havia a classe 3A e a classe 3B.

A classificação é baseada em três componentes: i) o valor do limite de emissão de radiação acessível para as diferentes classes, ii) os requisitos de medição da radiação em termos de distância de medição, diâmetro da abertura e ângulo de aceitação para reflectir condições potenciais de exposição; estes requisitos permitem determinar, para uma sistema laser dado, a radiação acessível que é comparada com o limite de emissão acessível (AEL – do inglês *accessible emission limit*) para determinar a classe, e iii) as condições de teste sob as quais a emissão acessível é determinada, o que também inclui a consideração de possíveis condições de falha do equipamento, as condições operacionais, de manutenção e serviço, e também a consideração do uso de acessórios e diferentes condições do sistema que podem previsivelmente ocorrer sem a utilização de ferramentas.

Cada um destes três componentes tem certos pressupostos implícitos. Por isso, em condições raras, em que esses pressupostos não são cumpridos, pode ocorrer perigo para além do entendimento usual que existe sobre a classe do equipamento.

O conceito de radiação acessível é fundamental no processo de classificação uma vez que, embora o sistema possa ter a capacidade de produzir níveis de radiação elevados, apenas aquela que for acessível durante a sua operação, manutenção ou falha, é considerada para efeitos de classificação. Quer isto dizer que o sistema pode estar dotado de mecanismos que impedem o acesso aquela radiação tornando-a não acessível. Muito resumidamente, a classificação de um sistema numa classe assenta na comparação, perante determinadas condições de teste, entre o valor da radiação laser acessível máxima que o sistema pode debitar e o AEL definido para a classe, tendo em linha de conta a

combinação da capacidade energética do sistema e o comprimento de onda da radiação acessível.

Os valores de AEL para as várias classes estão expressos em tabelas no standard supracitado e devem ser articulados com coeficientes de correcção que são, genericamente, função do comprimento de onda, da duração da emissão, do número de pulsos e do ângulo subtendido da emissão. Os valores de AEL são, regra geral, expressos em Joule (J) no caso de emissões pulsadas e em Watt (W) no caso de emissões contínuas.

Estes valores são derivados dos valores de exposição máxima permissível (MPE – do inglês *maximum permissible exposure*) para pele e olhos humanos. Os valores de MPE são expressos, regra geral, em Jm^{-2} ou Wm^{-2} consoante se trate de emissões pulsadas ou emissões contínuas. Os valores de MPE são estabelecidos de acordo com o conhecimento detido actualmente pela comunidade científica, baseado em estudos experimentais, sobre os impactos da radiação laser nos tecidos biológicos e são publicados pela International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

No anexo C da parte 1 do standard, com carácter informativo, é feita uma descrição sucinta das classes que aqui se resume.

Sistemas laser da classe 1

Os sistemas laser de classe 1 são aqueles que se consideram seguros durante a sua utilização incluindo a observação directa do feixe laser por tempo prolongado mesmo que ocorra utilizando instrumentos de amplificação óptica como sejam lupas ou binóculos. Incluem-se também nesta classe os sistemas laser de alta potência que, pelas suas características construtivas impedem o acesso a radiação laser acessível potencialmente perigosa. Em todo o caso importa notar que a observação directa do feixe pode provocar efeitos de encandeamento especialmente em ambientes pouco iluminados.

Sistemas laser da classe 1M

Os sistemas da classe 1M são aqueles que se consideram seguros, incluindo a observação directa do feixe por tempo prolongado desde que a olho nu. Se a exposição se fizer através de instrumentos de amplificação como lupas ou binóculos pode ocorrer lesão ocular. As condições específicas em que a lesão pode ocorrer dependem da natureza do feixe, isto é, difere para feixes divergentes e feixes colimados. No caso dos feixes divergentes pode ocorrer a lesão se o feixe for observado directamente através de dispositivos de amplificação, como os referidos anteriormente, colocados a distância inferior ou igual a 100mm da fonte. No caso dos feixes colimados, se estes tiverem diâmetro superior ao especificado para determinadas condições, expressas na tabela 11 do standard, pode ocorrer a lesão se o feixe for observado directamente através de dispositivos de

amplificação. As condições expressas naquela tabela são uma combinação do comprimento de onda da radiação laser, do diâmetro do feixe, e da distância da frente de onda em relação à fonte. O intervalo de comprimentos de onda aplicável aos sistemas laser de classe 1M está restringido à região espectral em que os materiais vítreos ópticos utilizados na generalidade dos dispositivos ópticos pode transmitir radiação de forma significativa, isto é, entre os 302,5nm e os 4000nm. A exposição directa, a olho nu, a radiação laser de sistemas de classe 1M que emitam na banda do visível pode ainda causar efeito de encandeamento à semelhança do que ocorre com a classe 1.

Sistemas laser da classe 2

Os sistemas laser de classe 2 são aqueles que emitem radiação laser na banda visível do espectro electromagnético, isto é, entre os 400nm e os 700nm e que são seguros para exposições directas momentâneas do feixe mas podem ser perigosos se o feixe for observado directamente de forma fixa. Por observação momentânea considera-se observação por um intervalo de tempo igual ou inferior a 0,25s associada à presunção de que existe um risco muito reduzido de lesão para exposições momentâneas que não excedam significativamente aquele intervalo de tempo. São expressos três factores que concorrem para aquela presunção: i) as exposições não intencionais ao feixe laser apenas reflectirão o pior cenário possível, isto é, o do alinhamento da pupila com feixe, ii) há uma margem de segurança inerente à definição do valor de MPE sobre o qual é baseado o valor de AEL, e iii) há uma aversão natural à exposição a fontes luminosa muito brilhantes que evoca o reflexo de piscar os olhos. Nesta classe, a utilização de dispositivos ópticos de amplificação não aumenta o risco de lesão ocular. Em todo o caso a observação directa de um feixe laser de classe 2 pode provocar perturbações momentâneas na visão sobretudo em ambientes pouco iluminados. Há ainda implicações indirectas de segurança que devem ser consideradas em particular no caso de se estar a manobrar instrumentos que requeiram especiais condições de segurança. Por isso, os utilizadores devem ser instruídos, através de etiquetagem apropriada para não olharem fixamente para os feixes, para o que pode ser adequado simplesmente desviar o olhar.

Sistemas laser da classe 2M

Os sistemas de classe 2M são aqueles que emitem radiação laser visível e que são seguros para exposições directas momentâneas do feixe apenas no caso de exposição a olho nu. No caso de exposição ocular através de dispositivos de amplificação como lupas ou binóculos podem ocorrer lesões como descrito para a classe 1M. No caso dos feixes divergentes pode ocorrer a lesão se o feixe for observado directamente através de dispositivos de amplificação, como os referidos, colocados a distância inferior ou igual a

100mm da fonte. No caso dos feixes colimados, se estes tiverem diâmetro superior ao especificado para determinadas condições, expressas na tabela 11 do standard, pode ocorrer a lesão se o feixe for observado directamente através de dispositivos de amplificação. As implicações indirectas de segurança são idênticas às referidas para a classe 2.

Sistemas laser da classe 3R

Os sistemas laser de classe 3R são aqueles que emitem radiação laser que pode exceder os valores de MPE para as classes 1 e 2 sob observação directa do feixe, mas o risco de lesão é considerado reduzido porque o AEL para a classe 3R é apenas 5 vezes superior ao AEL para a classe 2 (feixes laser visíveis) e classe 1 (para feixes laser não visíveis). O risco de lesão aumenta com a duração da exposição e são perigosos para exposição directa deliberada embora com baixo risco. Devido a esse baixo risco são aplicáveis requisitos e medidas de controlo por parte do utilizador menos exigentes que no caso dos sistemas laser de classe 3B. O risco é limitado porque: i) as exposições não intencionais raramente reflectem a pior das condições, por exemplo, de alinhamento directo do feixe com a pupila, ii) há uma margem de segurança na definição dos valores de MPE, e iii) há uma aversão ocular natural à exposição a fontes de luz muito brilhantes, no caso dos lasers visíveis, e também uma resposta natural ao aquecimento da córnea para radiação infravermelha. Um laser de classe 3R pode provocar encandeamento ou ofuscar a visão, em suma, perturbar momentaneamente a visão, no caso de se situar na banda do visível particularmente em situações de baixa iluminação ambiente. Isto pode ter reflexos indirectos de segurança se houver necessidade de executar operações que exijam fortes medidas de segurança como seja trabalhos em altura, com risco de choques eléctricos ou condução. Os lasers de classe 3R só devem ser utilizados onde a exposição directa ao feixe é improvável.

Sistemas laser da classe 3B

Os sistemas laser de classe 3B são, normalmente, perigosos quando há exposição ocular directa ao feixe dentro da distância nominal ocular de perigo (NOHD – do inglês *Nominal Ocular Hazard Distance*). A observação da radiação difusa é normalmente segura. Lasers da classe 3B cujos valores de AEL se aproximam dos valores limite para a classe podem produzir pequenas lesões cutâneas e podem mesmo representar riscos de ignição de materiais inflamáveis, embora tal só seja provável se o feixe tiver diâmetro reduzido e/ou estiver focado.

Sistemas laser da classe 4

Os sistemas laser de classe 4 são aqueles que representam perigo para a pele e olhos se houver exposição directa ao feixe. A exposição a radiação difusa também pode ser perigosa. Naturalmente estes lasers também representam um perigo real de incêndio.

Os sistemas laser e a conservação

Este standard apenas se refere aos perigos potenciais que a utilização dos sistemas laser representam para a pele e olhos. Contudo, em conservação outros factores têm de ser considerados. A utilização de sistemas laser na conservação é bastante vasta, desde os levantamentos métricos, limpeza de materiais, até à identificação de materiais e anomalias. Por exemplo se os sistemas laser forem utilizados para limpeza de superfícies de valor histórico e artístico têm de ser considerados os limites de ablação quer do tipo de sujidade quer do substrato para que não seja introduzido dano neste, isto é, para que a radiação não constitua perigo (agora não para olhos ou pele) de destruição de substância histórica. Note-se que a limpeza do substrato ocorre quando a densidade da energia se situa entre o limiar de ablação da sujidade e o limiar de ablação do substrato, admitindo que o deste é maior que o daquela. As “Metric survey specifications for english heritage” [Eng00] na sua adenda de 2006 relativa ao varrimento laser 3D referem que não é ainda bem conhecido o comportamento de alguns líquenes em relação à radiação laser pelo que algum cuidado deve ser tido em conta quando é preciso documentar superfícies nas quais se manifestam aquelas espécies biológicas dado que não sabemos que danos involuntários podemos estar a potenciar, e aqui estamos a falar de lasers de relativa baixa potência. Para a identificação de materiais e anomalias será necessário ter em consideração os comprimentos de onda em que estes reflectem ou aqueles que podem, de alguma forma, excitar os agentes da anomalia.

3.1.1.3. A adopção de medidas de segurança

Na parte 14 do standard IEC 60825 de 2007, que é um relatório técnico, é definida a metodologia que deve ser seguida para a adopção de medidas de segurança ao operar com sistemas laser.

A metodologia consiste em 3 etapas: i) identificar as situações potencialmente perigosas, ii) avaliar o risco para essas situações, e iii) seleccionar as medidas de controlo apropriadas.

A identificação das situações perigosas pode ser feita de forma mais ou menos sistemática e depende das condições específicas em que vai ser operado um sistema laser. Corresponde a efectuar uma listagem do que eventualmente pode correr mal na utilização do laser. Esta listagem pode considerar aspectos tão diversos como a localização do

sistema, a sujeição a vibrações, sujeição às condições atmosféricas, o risco de colisão com pessoas que possam circular na área de operação, o risco de circulação de pessoas dentro do campo de visão do laser.

A avaliação do risco de cada uma das situações identificadas anteriormente deve ser feita em duas etapas. Primeiro define-se um nível de probabilidade de ocorrência do risco e em seguida define-se um nível de severidade expectável para o dano decorrente daquele risco.

A probabilidade de ocorrência pode ser expressa em: i) provável, ii) possível, e iii) improvável.

A severidade do dano pode ser expressa em: i) menor, ii) moderada, e iii) elevada.

Da análise destes aspectos define-se se é admissível correr o risco ou se é conveniente adoptar medidas de controlo de segurança para evitar o risco, e que, no limite, podem mesmo corresponder a não operar o sistema laser. Entenda-se risco como qualquer condição ou agente capaz de causar um dano. E por dano pode entender-se qualquer implicação na saúde das pessoas na envolvente do sistema sob operação, uma perda de rendimento ou a destruição do equipamento.

As medidas de controlo podem ser de três tipos: i) impedimento de acesso físico, ii) controlo administrativo, e iii) utilização de equipamento de protecção.

As medidas de impedimento de acesso físico podem corresponder à colocação de barreiras num perímetro de segurança, como podem corresponder a dispositivos associados aos próprios sistemas laser tal como mecanismos de interrupção de operação se alguma pessoa se aproximar a menos que uma dada distância.

As medidas de controlo administrativo correspondem à colocação de avisos, ao treino dos operadores, à instrução das pessoas na proximidade do sistema, à definição de proibições.

Por fim, o último tipo de medidas corresponde à adopção do equipamento de protecção adequado, por exemplo luvas ou protecções oculares, por parte dos operadores dos sistemas e eventualmente por parte das pessoas que possam circular nas imediações.

A tabela 3-1, correspondente à tabela 9 da parte 14 do standard e sumariza, a título indicativo as medidas de controlo adequadas à generalidade das condições de operação de sistemas laser. Isto significa que outras medidas, não referidas, podem ser consideradas tão ou mais adequadas que as referidas face a circunstâncias específicas.

Classe laser	Natureza do perigo	Exemplo de área controlada	Medidas de controlo
Classe 1 Classe 2	Mínimo	Sem restrições i.e. uma área de segurança não é normalmente prescrita	Seguir as medidas presentes nas etiquetas dos fabricantes
Feixe divergente Classe 1M Feixe divergente Classe 2M (i.e. produtos que falharam a classificação na classe 1 ou 2 na condição 2)	Risco localizado ocular se observados através de instrumentos ópticos	Localizado Pode ser em espaço aberto se forem tomadas medidas efectivas de controlo na vizinhança imediata do laser	Treino recomendado Evitar o uso de ópticas de amplificação do laser Prevenir a refocagem ou colimação do feixe
Feixe colimado Classe 1M Feixe colimado Classe 2M (i.e. produtos que falharam a classificação na classe 1 ou 2 na condição 2)	Risco a distâncias grandes se o feixe for observado por ópticas de ampliação como binóculos ou telescópios	Fechado ou espaço aberto. Acesso à zona de risco deve ser controlado por procedimentos adequados, i.e. pelo uso de sinais, instruções e treino. Quando em espaço aberto o acesso público à zona de risco deve ser evitado.	Exigido treino. Recomendada a presença de um responsável pela segurança de lasers. Evitar o uso de telescópios e binóculos. Evitar refocar o feixe.
Classe 3R	Baixo risco ocular	Sem restrições i.e. a segurança depende do uso responsável	Treino recomendado Evitar a exposição directa dos olhos.
Classe 3B	Risco ocular Possível risco para a pele em níveis mais elevados da classe	Fechado e auto protegida. i.e. acesso controlado por meios barreiras físicas.	Treino e recomendação de responsável pela segurança de lasers. Assegurar segurança das chaves de acesso. Fechar o máximo possível o laser, se possível todo. Implementar sistemas seguros de trabalho. Usar PPE se o risco de exposição for inevitável.
Classe 4	Risco ocular e cutâneo. Possível risco de fogo e gases	Fechado e auto protegida. i.e. acesso controlado por meio de barreiras físicas.	Treino e recomendação de LSO. Assegurar segurança das chaves de acesso. Fechar o máximo possível o laser, se possível todo. Implementar sistemas seguros de trabalho. Usar PPE se o risco de exposição for inevitável. Proteger contra perigos associados (ex. fogo, gases)

Tabela 3-1: Resumo das medidas de controlo a adoptar em função das classes de segurança dos lasers.

3.1.2. Noção de sensor

No domínio da detecção remota um método, dispositivo ou sistema de recolha de dados pode dizer-se: i) passivo, ou ii) activo.

Um sistema passivo é aquele que se limita a recolher radiação electromagnética reflectida pelo ambiente.

Um sistema activo é aquele que recolhe radiação reflectida pelo ambiente mas emitida pelo próprio dispositivo.

Um exemplo muito simples permite perceber esta diferença. Uma máquina fotográfica sem a utilização de *flash* é um dispositivo passivo. Se for utilizado o *flash* passa a ser um dispositivo activo.

Quer se trate de um sistema passivo ou activo, deve haver um dispositivo sensível a uma determinada forma de radiação electromagnética e capaz de a capturar. Este dispositivo designa-se por sensor.

Um sensor é tipicamente um conjunto de células, em geral quadradas, dispostas em linha ou em matriz, sensíveis à luz num determinado intervalo mais ou menos amplo do espectro electromagnético. Cada uma dessas células desempenha o papel de capturar fotões com comprimentos de onda compreendidos no intervalo a que é sensível

transformando-os depois em electrões de forma proporcional que vão dar origem a um sinal de intensidade que, sozinho ou combinado com o sinal das células vizinhas, é associado ao *pixel* da imagem correspondente à célula do sensor.

Consoante o intervalo do espectro, mais largo ou mais estreito, a que os sensores são sensíveis assim estes assumem designações próprias. Assim podemos ter sensores: i) monocromáticos, ii) pancromáticos, iii) multi-espectrais, e iv) hiper-espectrais.

Os sensores monocromáticos são sensíveis apenas a um comprimento de onda. É o caso dos sensores utilizados na maior parte dos dispositivos de varrimento laser 3D.

Os sensores pancromáticos são sensíveis a um intervalo amplo do espectro. Por exemplo um sensor sensível, de forma indistinta, ao intervalo de comprimentos de onda que vão desde os $0.3\ \mu m$ até aos $0.7\ \mu m$ dará origem a imagens numa única escala (por exemplo de tons de cinzento).

Os sensores multi-espectrais são sensíveis à radiação em vários intervalos do espectro recolhendo-a de forma separada em canais próprios. As vulgares imagens a cores em formato RGB capturadas pelas câmaras fotográficas digitais correntes podem ser consideradas como imagens multi-espectrais. Com efeito elas são produzidas através de radiação capturada nas bandas espectrais do azul ($0.4\ \mu m$ a $0.5\ \mu m$), do verde ($0.5\ \mu m$ a $0.6\ \mu m$) e do vermelho ($0.6\ \mu m$ a $0.7\ \mu m$) correspondentes à luz visível. Neste caso há células sensíveis aos diferentes intervalos do espectro quer por diferença dos materiais de que são compostas, quer pela sua disposição, quer pela aplicação de filtros.

Os sensores hiper-espectrais são uma extensão dos anteriores. Captam de forma segmentada radiação com intervalos de comprimento de onda muito pequenos. Essas imagens podem ser percepcionadas através de pseudo cores, isto é, atribuindo uma escala de cores ao intervalo total que abarca as várias bandas da imagem.

Genericamente podemos designar por imagem o resultado processado da captura da radiação electromagnética por um sensor.

3.1.2.1. Sensor fotogramétrico

Tradicionalmente restringia-se a designação de sensor fotogramétrico às câmaras aéreas calibradas. Pode actualmente designar-se por sensor fotogramétrico aquele que permite a aquisição de imagens que podem ser tratadas através dos modelos matemáticos da fotogrametria [MBM01]. No nosso caso interessam-nos as imagens digitais obtidas através de câmaras fotográficas de sensor de matriz. As máquinas fotográficas são dispositivos, em geral passivos nas aplicações fotogramétricas, com sensores que operam nas bandas do espectro electromagnético correspondentes à luz visível e por vezes do infravermelho próximo.

No caso das máquinas fotográficas digitais a superfície sensível à luz é um sensor do tipo CCD (*charge-coupled device*) ou CMOS (*complementary metal-oxide-semiconductor*). É neste aspecto que reside a principal diferença entre a câmara fotográfica analógica e a câmara fotográfica digital. Uma das questões importantes a realçar é a natureza discreta (descontínua) das imagens digitais quer no que diz respeito à geometria quer no que diz respeito à radiometria, o que tem implicações no modo como estas são processadas e no modo como se pode retirar delas informação.

Uma das distinções entre os sensores do tipo CCD e do tipo CMOS reside no modo como as cargas eléctricas são descarregadas e armazenadas. Nos primeiros há uma transferência em linha e nos segundos a transferência é feita célula a célula de forma independente e por isso mais rápida e com menor consumo de energia. Por esta razão a tecnologia CMOS tenderá a substituir a tecnologia CCD, pese embora o facto da melhor estabilidade dimensional deste último tipo de sensores. Os sensores CCD podem ainda ser de três tipos distintos: i) *frame transfer*, ii) *full-frame transfer*, e iii) *interline transfer*. A diferença entre estes três tipos reside no modo como se articula a zona de sensor propriamente dita, isto é, onde se situam as células sensíveis, e a zona de transferência das cargas eléctricas capturadas [LRK*06].

Interessa ainda referir que no caso das câmaras a cores pode ser utilizada uma de três técnicas de separação de cor: i) através de sensores 3-CCD, ii) através de aplicação de máscaras, iii) através da utilização de sensores de cor verdadeira (disponível na tecnologia CMOS). No primeiro e terceiro casos são gerados valores de vermelho, verde e azul por cada célula do sensor directamente. No segundo caso cada célula é sensível apenas a um intervalo, correspondente ao vermelho, verde ou azul, do espectro. Assim, neste caso a cor é gerada através de processos de interpolação. No primeiro caso a cor é separada através da utilização de filtros e micro prismas. No terceiro caso é utilizada a propriedade da luz ter diferentes níveis de penetração à silicone. Na figura 3-5 ilustram-se estas três técnicas.

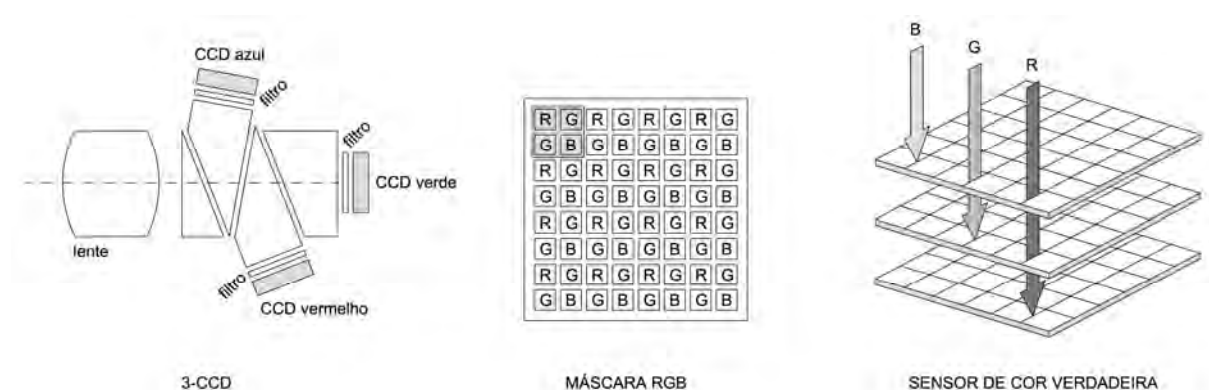


Figura 3-5: Esquemas de sensores do tipo CCD ou CMOS.

3.1.2.2. Sensor laser 3D

Também nos sistemas de varrimento laser tem de existir um sensor sensível ao comprimento de onda do laser utilizado e, à semelhança do que acontece com os sensores fotogramétricos, capaz de capturar aquela radiação e de a transformar num sinal eléctrico, de modo proporcional, a ser processado de modo a gerar imagens de intensidade e coordenadas tridimensionais.

Os sensores podem ser detectores foto-voltaicos, também designados por foto-diodos, ou foto-multiplicadores [VM10]. Nos sistemas de triangulação também podem ser utilizados sensores do tipo CCD, como é o caso do sistema Vivid 700 da Minolta.

O tipo de tecnologia empregue num sensor depende do comprimento de onda da radiação a ser medida. Para evitar que os sinais possam ser confundidos, por exemplo com parte da luz solar, podem ser utilizados filtros apropriados.

3.2. A Fotogrametria Digital Terrestre (FDT)

A fotogrametria pode ser classificada de acordo com vários critérios: i) a relação e distância entre a câmara e o objecto, ii) o número de imagens utilizadas, iii) o princípio operativo, iv) pelo tempo de disponibilização dos resultados da medição, e v) a área disciplinar de aplicação [MAR01] [LRK*06].

No primeiro caso temos a fotogrametria de satélite, a fotogrametria aérea, a fotogrametria terrestre, a fotogrametria próxima, a fotogrametria microscópica e a fotogrametria aquática.

No segundo caso temos a fotogrametria de imagem única, a estereofotogrametria (duas imagens e tradicionalmente visão estereoscópica) e a fotogrametria de múltiplas imagens, também designada por fotogrametria de convergência ou monoscópica.

No terceiro caso temos a fotogrametria analógica, a fotogrametria analítica e a fotogrametria digital. Podem ainda considerar-se aqui as técnicas de produção de panoramas bem como a fotogrametria vídeo, ou vídeogrametria.

No quarto caso temos a fotogrametria em tempo real, a fotogrametria *off-line*, e a fotogrametria *on-line* [LRK*06].

No quinto caso temos a fotogrametria arquitectónica, a fotogrametria de engenharia, a fotogrametria industrial, a fotogrametria forense, a fotogrametria biomédica.

Parece-nos ainda oportuno, embora os adeptos mais puristas da fotogrametria possam achar abusivo, que podemos subdividi-la ainda em fotogrametria 2D e fotogrametria 3D. A fotogrametria 2D englobará todas aquelas operações que se restringem à manipulação do plano da imagem sem utilizar a terceira dimensão, como é o caso das rectificações de imagem. A fotogrametria 3D englobará as operações que fazem uso da

terceira dimensão. Em ambos os casos considera-se que o objectivo é a obtenção de medidas acerca de um objecto a partir de medições feitas em imagens desse objecto, tal como aponta a definição da disciplina da fotogrametria.

Os métodos fotogramétricos tridimensionais pressupõem sempre a existência de duas ou mais imagens de uma cena tridimensional obtidas de pontos de vista distintos e com sobreposição, isto é, os elementos a considerar na cena devem estar representados pelo menos em duas imagens. Note-se no entanto que se forem conhecidas algumas características da cena, como sejam relações de direcção ou dimensão entre elementos, pode ser possível utilizar, embora com maior limitação, apenas uma imagem [Heu01] [SH99]. É por exemplo o caso da representação de uma cena triortogonal. Neste caso, admitidas restrições à direcção de linhas da cena representada é possível utilizar apenas uma imagem para obter informação tridimensional acerca do objecto representado. Mas este não é o caso geral.

Assim, na fotogrametria estereoscópica, são observadas simultaneamente duas imagens, que devem ser obtidas com eixos aproximadamente paralelos entre si. Tradicionalmente, estas imagens, chamadas pares estereoscópicos ou anaglifs, são observadas em simultâneo através da faculdade humana da percepção estereoscópica. O operador, através da utilização de dispositivos adequados, percorre o modelo virtual percebido procedendo à restituição gráfica tridimensional. No entanto também é possível proceder à restituição gráfica de pares estereoscópicos sem utilizar aquela faculdade da percepção que implica um grande tempo de preparação e adestramento, isto é, podem utilizar-se os processos geralmente aplicados à fotogrametria monoscópica.

Na fotogrametria de convergência, também dita monoscópica, não é feita a utilização desta capacidade humana de observar em estereoscopia. Assim as várias imagens são observadas independentemente fazendo-se a marcação de elementos homólogos (pontos, linhas ou primitivas geométricas com paralelepípedos, prismas, cilindros, ou outras) sobre as várias imagens o que permite o cálculo da sua posição espacial e como consequência a restituição do objecto.

No processo fotogramétrico são, em geral, utilizadas imagens que sintetizam as cenas representadas através de perspectivas de quadro plano. Contudo, em alguns trabalhos recentes [LT04] [SM04] [Fan07] [AF09] [Fan10] faz-se referência à utilização de panoramas esféricos e cilíndricos para a modelação tridimensional de cenas arquitectónicas. No entanto a situação mais comum é a utilização de múltiplas imagens planas que, depois de devidamente orientadas, permitem a construção de modelos 3D e a restituição gráfica dos objectos representados. Assim é possível extrair áreas, comprimentos e volumes com distribuições espaciais. Por outro lado é ainda possível utilizar estes modelos para visualização em ambientes virtuais ou como elementos integrantes de bases de dados.

Parte do processo pode ser automatizado através da aplicação de técnicas de correlação entre imagens que permitem a obtenção de elementos homólogos de forma mais rápida e automática.

Sob este ponto de vista faz sentido classificar a fotogrametria quanto ao tipo de processamento em: i) manual, ii) semi-automática, iii) automática.

No processamento manual, o operador tem de calibrar a câmara e identificar pontos homólogos nas várias imagens de modo a poder orientá-las e proceder à restituição gráfica. É por exemplo o procedimento implementado pela versão *standard* do *software* Photomodeler²⁷.

O processamento semi-automático pode fazer-se a vários níveis. Uma das implementações de automatismo é por exemplo no reconhecimento automático de alvos ou padrões de geometria predefinida [OF04] [Fra05]. Este é o tipo de procedimento que se utiliza no *software* Photomodeler na calibração de câmara ou no reconhecimento e orientação de imagens através de alvos codificados. A outro nível, é possível correlacionar imagens para facilitar a marcação de pontos ou efectuar a reconstrução automática de superfícies. Este tipo de procedimento é implementado nos *softwares* Photomodeler Scanner, o Zscan²⁸ ou no Image Master²⁹.

No outro extremo temos o processamento completamente automático, podendo incluir ou não a calibração da câmara, a orientação das imagens e a reconstrução tridimensional através de modelos de nuvens de pontos ou malhas trianguladas. A inclusão ou não da calibração da câmara no processamento distingue duas abordagens ao problema do automatismo.

Quando o processamento inclui simultaneamente a calibração da câmara e a orientação das imagens, fala-se da metodologia SFM (Structure From Motion). Exemplos de aplicações SFM on-line são: o ARC3D³⁰, o Photofly³¹ [AFM*11] e o Photosynth³² [SSS06].

²⁷ Photomodeler (<http://www.photomodeler.com>).

²⁸ O *software* Zscan da marca Menci (<http://www.menci.com/zscan/>) permite a produção de nuvens de pontos a partir de 3 imagens de eixos paralelos tiradas de uma cena. Ao fotografar uma cena a 15m de distância com distância focal de 24mm consegue-se um rigor posicional em profundidade na ordem dos 16mm.

²⁹ Image Master (<http://imagemaster3d.com/imagemaster.html>).

³⁰ O portal <http://www.arc3d.be/> permite o carregamento de um conjunto de imagens digitais para construção remota e completamente automatizada de um modelo 3D triangulado que pode ser descarregado e visualizado pelo utilizador.

³¹ Photofly (http://labs.autodesk.com/utilities/photo_scene_editor/).

³² O portal <http://photosynth.net/> funciona de modo semelhante ao anterior. Permite que o utilizador faça o carregamento de qualquer número de imagens digitais, idealmente até 300, que são orientadas remotamente de modo a produzir um modelo de nuvens de pontos. O modelo produzido

Outras aplicações SFM são o Bundler [SSS06] [Sna08] [Sna10], o VSFM (Visual SFM) [Wu07] [Wu11] [WAC*11] e o Apero [DC11]. Estas são aplicações FOSS (Free Open Source Software). Há outras aplicações SFM não abertas como o Samantha [FFG09] [GTG*11], o Orthoware [PCN11], e o EyeDEA [RRF11].

Fora da metodologia SFM (não incluindo a auto calibração) notamos o *software* Atype [BRS10] [BRS11].

Normalmente o processamento automático decorre em duas fases: i) orientação das imagens e reconstrução esparça de nuvens de pontos, e ii) reconstrução densa de nuvens de pontos. As aplicações até agora referidas implementam a primeira destas fases.

Nesta primeira fase é necessário: a) extrair e correlacionar pontos homólogos entre as várias imagens (através dos algoritmos SIFT [Low04], SiftGPU [Wu07], SURF [BET*08], ou outros), e b) orientar (e calibrar no caso do SFM) as imagens e reconstruir a nuvem de pontos esparça (através os algoritmos Bundler [SSS06] [Sna08] [Sna10], Multi-core bundle Adjustment [WAC*11], ou outros).

A reconstrução densa da geometria a partir de múltiplas imagens faz-se através da metodologia MVS (Multi View Stereo). Exemplos de *software* MVS são o Clorama [BRS10], (não livre), o MicMAC [DC11] e o CMVS/PMVS (Clustering Multi-view Stereo / Patch Multi-View Stereo) [FCS*10], [FCS*10a] [FP09], FOSS.

O resultado final da reconstrução densa é um modelo de nuvens de pontos texturados com a informação radiométrica das imagens fotográficas.

Este tipo de processo fotogramétrico automático apresenta uma vantagem em relação ao varrimento laser 3D que consiste no facto do posicionamento tridimensional dos pontos e a sua associação a um valor de cor ser um processo que ocorre em simultâneo, ao contrário do varrimento laser em que o processo de aquisição tridimensional e o processo de aquisição da cor ocorre sempre com um desfasamento com o consequente erro de paralaxe no mapeamento da textura. A limitação deste processo é a sua forte dependência da textura dos objectos uma vez que é a partir desta característica que se torna possível a identificação de elementos homólogos. Trata-se de um processo de aplicabilidade limitada para o registo de superfícies lisas, mas de grande utilidade em superfícies fortemente texturadas, como são em geral as superfícies dos edifícios antigos.

Embora inicialmente a utilização deste tipo de abordagem se destinasse sobretudo à visualização, começa a ser possível construir, a partir destas nuvens de pontos, modelos digitais de superfície com bastante qualidade. Pensamos que estes métodos permitem obter

pode ser visualizado na internet e pode ser descarregado para um computador local para processamento adicional.

informação gráfica de base com a qualidade necessária para utilização em contexto de conservação, restauro ou reabilitação com a vantagem evidente do tempo de processamento ser mais reduzido que nos procedimentos manuais. O nível de precisão que se pode obter depende dos equipamentos utilizados, dos algoritmos utilizados e do nível de experiência dos operadores envolvidos.

A metodologia SFM pode também ser aplicada para a modelação 3D a partir de sequências de vídeo. As sequências de vídeo são analisadas de modo a obter os parâmetros de orientação das várias frames procedendo-se de seguida à modelação reconstrução 3D da cena registada. Esta modelação pode ser feita manualmente, por exemplo no caso da aplicação VideoTrace³³, ou ser feita on-line de forma automática, no caso da aplicação ProFORMA³⁴ (Probabilistic Feature-based On-line Rapid Model Acquisition). O resultado, em ambos os casos, é um modelo 3D triangulado com textura associada. Em todo o caso, os modelos obtidos por esta via apenas apresentam qualidade suficiente para efeitos de visualização.

Na presente tese interessa-nos sobretudo considerar a aplicação da fotogrametria digital à representação da arquitectura. Excluimos a restituição fotogramétrica que faz uso da faculdade de percepção estereoscópica dado corresponder a um *workflow* já bem definido, datado e testado. Interessa-nos comparar procedimentos manuais e automáticos, verificar a adequação dos outputs no contexto da Conservação e Restauro e propor metodologias que permitam a complementaridade entre a fotogrametria digital e o varrimento laser 3D, que é tema de investigação por parte de vários autores [Rem06] [ALF*06] [LGV*07] [NF09] [RGV*09] [RR09] [FAF*10].

3.2.1. Sistemas fotogramétricos digitais

Um sistema fotogramétrico digital tem sempre duas componentes distintas: i) componente de Hardware - câmara(s) fotográfica(s), plataforma, estação de trabalho, e ii) componente de *software*. Voltaremos, com maior detalhe, a este aspecto em 3.2.1.7.

³³ No endereço <http://www.acvt.com.au/research/videotrace/> pode aceder-se a uma série de informação acerca do modo de funcionamento desta aplicação.

³⁴ Nos endereços <http://mi.eng.cam.ac.uk/~qp202/> e <http://www.youtube.com/watch?v=vEOMzjImsVc> pode visualizar-se esta aplicação em funcionamento.

3.2.1.1. A câmara fotográfica

O modelo mais simples de uma câmara fotográfica corresponde ao da câmara escura em que a superfície de formação da imagem é sensível à luz e permite de alguma forma tornar permanente a imagem formada.

Se considerarmos o modelo simplificado da câmara escura, podemos colocar em evidência um princípio importante relativo ao processo geométrico da criação das imagens fotográficas. Trata-se do princípio, ou condição, de colinearidade segundo o qual um ponto objecto, R_o , o respectivo ponto imagem, R_i , e o centro de projecções, O , se encontram em linha recta. Neste caso (figura 3-6), um ponto O ideal corresponderia a um orifício sem espessura no qual passaria apenas um raio de luz, também ideal e sem espessura nem sujeito a fenómenos de difracção, que incidiria num ponto adimensional do plano da imagem. Neste sistema ideal o eixo óptico, e , é perpendicular ao plano da imagem e intersecta-o no seu centro. A este dá-se o nome de ponto principal, P .

Neste sistema ideal a geometria do processo fotográfico seria completamente dada pelas regras da geometria das projecções cónicas. O único parâmetro a considerar num sistema deste tipo é a distância d_p , do centro de projecções ao plano da imagem, também designada por distância principal.

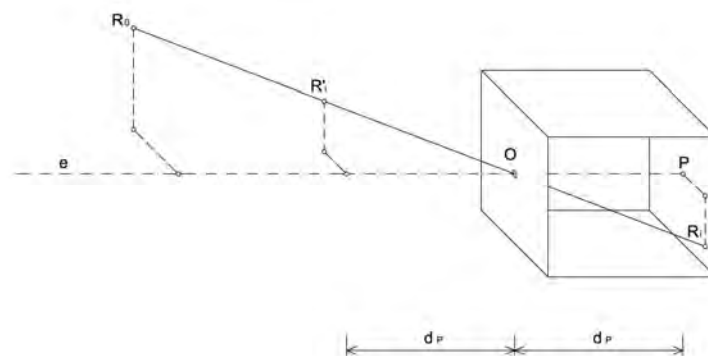


Figura 3-6: Modelo da câmara pin-hole.

Note-se também que a imagem produzida se encontra invertida. Pode considerar-se uma imagem virtual, não invertida, colocada simetricamente em relação ao ponto O que preserva as mesmas propriedades que a imagem original e que para efeitos de algumas explicações é mais conveniente.

As máquinas fotográficas reais são dispositivos sujeitos a erros e leis da física que tornam mais complexa a geometria dos sistemas e que vão influenciar os processos de formação das imagens.

Com efeito, as modernas câmaras fotográficas são mais complexas. Os seus elementos constituintes principais são: i) a objectiva e, ii) o corpo.

A objectiva consiste numa ou mais lentes articuladas e inclui um diafragma.

O corpo inclui um espelho móvel, uma ocular e uma superfície sensível à luz, que no caso das câmaras digitais é um sensor do tipo CCD ou CMOS.

A imagem da figura 3-7 representa esquematicamente uma máquina fotográfica.

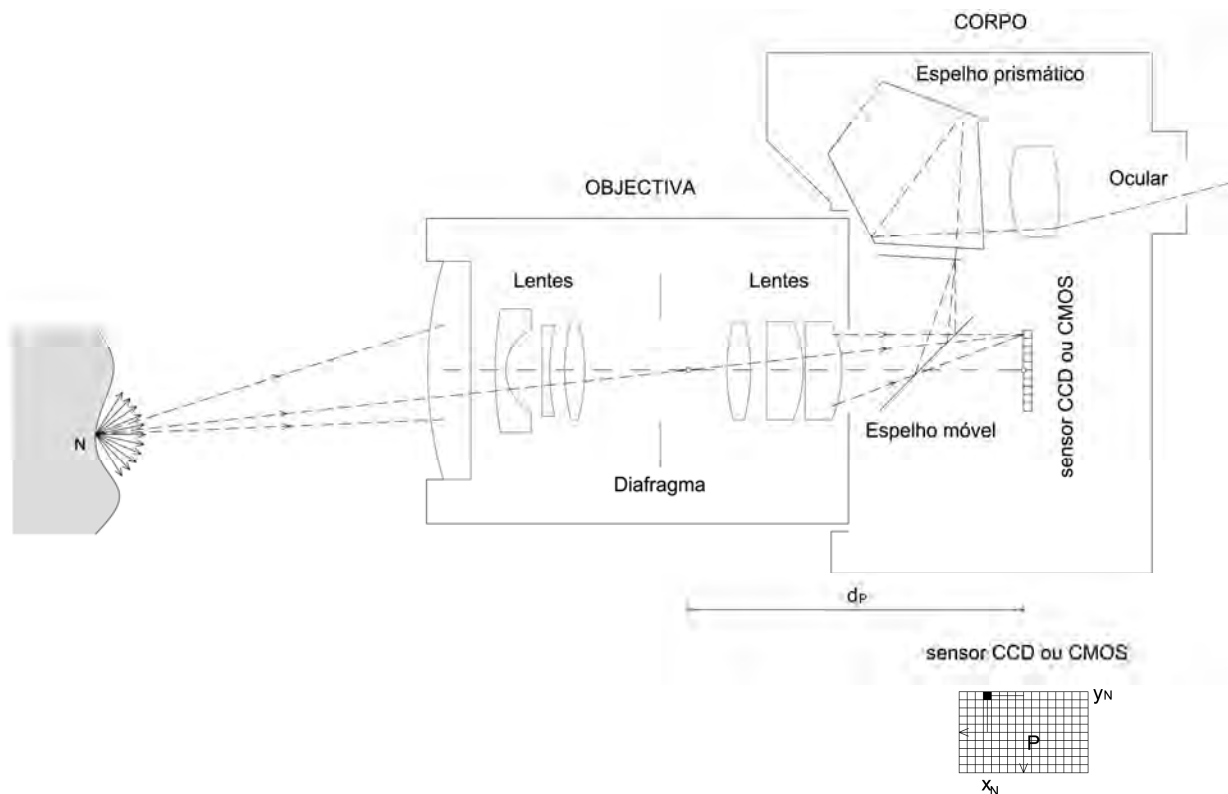


Figura 3-7: Representação esquemática de uma câmara fotográfica digital.

O diafragma permite controlar o tempo de exposição e a quantidade de luz que entra no sistema óptico. O espelho móvel permite deflectir a luz no sentido de a cena ser observada através da ocular obstruindo a sua passagem até ao sensor. No momento de efectuar a captura da imagem esse espelho move-se deixando, por um intervalo de tempo limitado, que a luz incida directamente no sensor [Fer03].

3.2.1.2. Óptica do sistema fotográfico

Para melhor entendermos as características das imagens produzidas através da utilização de uma câmara fotográfica é necessário compreender alguns aspectos e conceitos relacionados com a óptica geométrica do sistema fotográfico.

Seguiremos de perto as explicações dadas em “Introduction to modern photogrammetry” [MBM01] e em “Remote sensing and image interpretation” [LKC04].

Refracção

Tal como já notámos, quando a luz encontra a interface entre dois meios parte dela é transmitida ao novo meio. A luz que passa a viajar no novo meio não o faz na direcção que trazia ao encontrar a interface, isto é, sofre uma inflexão a que se dá o nome de refacção. Esta inflexão pode ser quantificada em função dos índices de refacção dos dois meios e do ângulo de incidência do raio de luz com normal à interface no ponto de incidência através da lei de Snell ($n_i \sin i = n_r \sin r$), em que n_i e n_r são os índices de refacção do meio inicial e do meio a que é transmitida a luz, respectivamente, e i e r são os ângulos da luz incidente e da luz refractada, com a normal à superfície no ponto de refacção, respectivamente. É interessante notar, através da observação desta expressão, que nem sempre existe refacção da luz entre dois meios, isto é, eventualmente a luz pode ser apenas reflectida não sendo nenhuma componente refractada. A consideração da refacção coloca-se em fotogrametria uma vez que cada raio de luz, antes de atingir a superfície do sensor, é refractado, pelo menos duas vezes, para meios distintos do anterior. É o caso em que o dispositivo óptico é constituído apenas por uma lente. Neste a luz percorre a atmosfera, é refractada para a lente e de seguida volta a ser refractada para o ar alcançando o sensor de seguida.

As lentes

O objectivo de uma lente é o de refractar um feixe de raios de luz reflectido por um ponto objecto de modo a que esse feixe convirja noutro ponto. A figura 3-8 ilustra este trajecto.

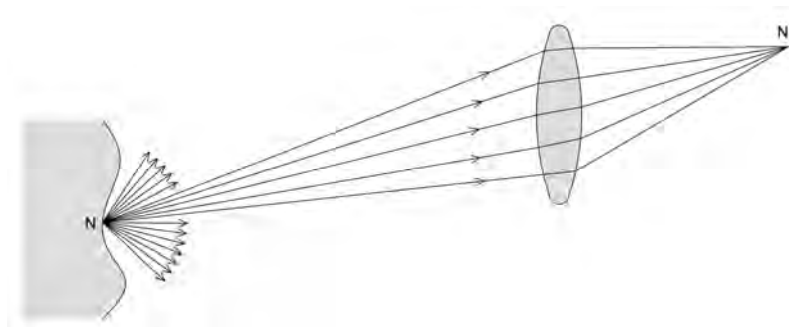


Figura 3-8: Lente simples.

Podemos considerar lentes de dois tipos: i) lentes delgadas, e ii) lentes espessas. Nas primeiras a espessura pode ser desprezada enquanto que nas segundas tem de ser tida em consideração.

No caso da lente delgada, de superfícies esféricas, se considerarmos que o ponto objecto está suficientemente afastado da lente de modo a que se possa considerar

impróprio, isto é, de modo a que o feixe incidente na lente se possa considerar composto de raios paralelos entre si e ao eixo da lente, então à distância do ponto de convergência, dos raios depois de refractados pela lente, ao plano médio da lente, dá-se o nome de distância focal, f conforme se ilustra na figura 3-9.

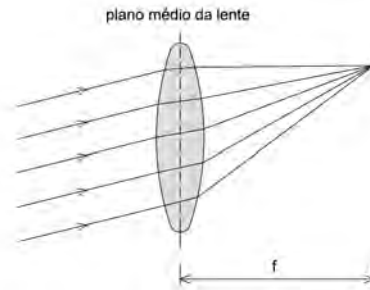


Figura 3-9: Distância focal de uma lente simples.

A distância focal é função dos raios de curvatura das superfícies da lente e do índice de refração da lente. A distância focal pode ser positiva ou negativa. No caso de ser positiva pode formar-se uma imagem numa superfície disposta para o efeito.

Se utilizarmos uma lente delgada para registarmos uma cena colocada no “infinito” o plano onde se pode produzir uma imagem focada da cena encontra-se à distância focal do plano médio da lente, isto é, a distância principal $d_p = f$. No caso em que a cena não se encontra no “infinito” este plano encontra-se a uma distância maior que a distância focal, isto é, a distância principal $d_p > f$. Ao plano onde se pode formar uma imagem focada dá-se a designação de plano focal. A figura 3-10 ilustra estes conceitos.

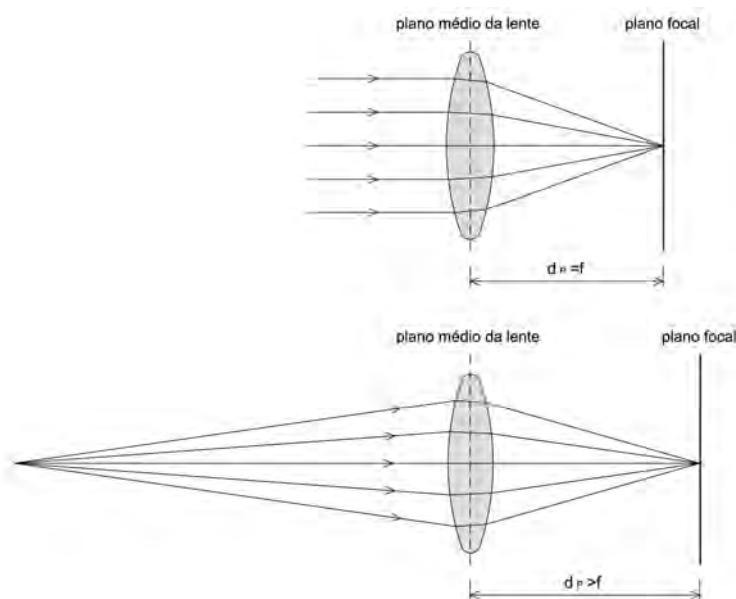


Figura 3-10: distância focal e plano focal.

Ao ponto de intersecção do eixo óptico com o plano médio da lente dá-se o nome de ponto nodal da lente.

No caso da lente espessa podem definir-se dois pontos nodais como resultado da intersecção do eixo óptico com dois planos especialmente posicionados, designados planos principais, perpendicularmente ao eixo. Se considerarmos a remoção da porção de lente compreendida entre os planos principais de modo a podermos considerar coincidentes os dois pontos nodais, e mantendo integra a geometria dos dois lados dos planos principais, então podemos modelar a lente espessa como se de uma lente delgada se tratasse.

Os sistemas fotográficos podem não ser, e em geral não são, compostos por uma única lente. Quer se trate de um caso ou outro, existe sempre um ponto equivalente a um centro de projecções cónicas, O , que legitima as propriedades perspectivas das imagens produzidas.

A abertura

Tal como acima referimos, um dos componentes de uma máquina fotográfica é o diafragma. Este elemento desempenha o papel de controlar a quantidade de luz que entra no sistema óptico. À razão entre a distância focal e o diâmetro da abertura do diafragma dá-se a designação de número $f \#$. Num sistema óptico os incrementos possíveis deste valor não são contínuos começando em geral em 1 e variando com rácios de $\sqrt{2}$. Note-se que ao incrementar o número $f \#$, por exemplo, de 1 para 1.4, está a diminuir-se para metade a área da abertura o que significa que para manter a mesma exposição, o indicador do tempo de exposição, que se expressa em segundos, terá de ser o dobro. O que significa que a velocidade de disparo passa para metade.

Campo de visão

Uma das formas de nos referirmos aos sensores fotogramétricos é através do seu campo de visão. Este campo de visão pode ser expresso através de um ângulo que corresponde ao dobro do ângulo que as geratrizes de um cone de revolução fazem com o seu eixo. O cone em causa determina a abrangência máxima da cena que o sensor pode ler. Normalmente, em sensores fotográficos faz-se referência a dois ângulos, um correspondente ao campo de visão vertical e outro correspondente ao campo de visão horizontal. Em geral o campo de visão horizontal é superior ao campo de visão vertical.

Iluminação

Mesmo que provenha de uma fonte homogeneamente reflectante, a luz que incide num dispositivo óptico não ilumina a superfície do sensor de forma uniforme. Este efeito é tanto maior quando maior for o campo de visão.

Este efeito pode ser quantificado como função de vários parâmetros: i) a distância da fonte de luz até à superfície do sensor, ii) a inclinação da luz incidente com a lente, e iii) a inclinação da luz relativamente ao plano focal.

A combinação destes parâmetros traduz-se numa diminuição da exposição da superfície sensível com o aumento do ângulo da luz incidente relativamente ao ângulo do eixo óptico. No entanto este efeito pode ser minimizado através da utilização de filtros apropriados ou, no caso dos sistemas digitais, através de compensação de *software*.

Aberrações

Todos os sistemas fotogramétricos, se constituídos apenas por lentes esféricas, produzem aberrações, isto é, desvios em relação à imagem teoricamente perfeita. Dos cinco tipos de aberração geométrica principais os quatro primeiros tipos (aberração esférica, vírgula, astigmatismo, curvatura de campo) podem já ser negligenciados face ao desenvolvimento actual da tecnologia de fabrico de lentes. O único tipo de aberração que ainda tem de ser considerado e modelado é a distorção geométrica. Para além destas aberrações que são monocromáticas as lentes podem ainda introduzir aberrações radiométricas uma vez que, como se sabe, o índice de refração varia com o comprimento de onda.

Distorção geométrica

Esta distorção deve ser considerada em fotogrametria uma vez que afecta as propriedades métricas da imagem e por isso tem de ser considerada e quantificada. Divide-se em duas componentes principais: i) a distorção radial e, ii) a distorção tangencial.

A distorção radial corresponde ao desvio radial de um ponto imagem relativamente à sua posição teoricamente correcta. Esta pode ser positiva ou negativa. Na figura 3-11 ilustra-se a diferença entre estes dois tipos de distorção.



Figura 3-11: Tipos de distorção radial de uma imagem fotográfica.

Em muitos casos é suficiente considerar apenas a distorção radial.

A distorção radial, d_r , é função da distância dos pontos da imagem relativamente ao ponto principal P e pode ser modelada como uma função polinomial de expoentes ímpares da distância radial, r .

A distorção tangencial não é propriamente uma aberração da lente. Resulta antes de erros na montagem das componentes das lentes que afectam a simetria rotacional das mesmas resultado do eixo óptico não ficar exactamente perpendicular à superfície do sensor onde se forma a imagem. Por isso é mais comum referir este tipo de distorção como distorção de descentramento. A distorção de descentramento tem duas componentes: i) componente tangencial, e ii) componente radial.

No plano da imagem pode ser traçada uma linha passante pelo ponto principal da imagem (intersecção do eixo óptico com o plano da imagem) que tem a propriedade dos pontos sobre ela colocados apenas serem afectados pela componente tangencial e em que esta assume o valor máximo. Esta linha é a ortogonal, contida no plano da imagem, ao eixo da objectiva. Pode ser também traçada uma linha perpendicular a esta passante pelo mesmo ponto que tem a propriedade de que os pontos sobre ela colocados apenas serem afectados pela componente radial e em que esta atinge os valores máximos. Designemos por ϕ_0 o ângulo que a linha de distorção tangencial máxima faz com o eixo x do referencial da imagem, e por ϕ o ângulo que um vector $\overrightarrow{TP}$ (em que T é um ponto qualquer da imagem) faz com o mesmo eixo x .

Profundidade de campo e profundidade de foco

Como já vimos, uma lente tem por objectivo focar um feixe de raios luminosos de configuração cónica com origem num ponto objecto, a uma determinada distância da lente, num ponto imagem sobre uma superfície sensível, por exemplo um sensor, disposta para o efeito a uma determinada distância da lente. Se tal acontecer diz-se que a lente está focada para aquela distância. Um feixe de raios luminosos com origem num ponto objecto localizado a uma distância superior ou inferior ao ser refractado pela lente cruza a superfície sensível num círculo em vez de num ponto. Esse círculo designa-se por círculo de confusão. A maior ou menor dimensão do círculo de confusão implica que um ponto imagem se perceba mais ou menos nítido. Há um limite na dimensão dos círculos de confusão até ao qual se considera que o ponto imagem é nítido ou, dito de outra forma, a imagem está focada. Esse limite corresponde no espaço a um intervalo delimitado por dois planos equidistantes dos pontos objecto que aparecem perfeitamente focados na imagem. Esse intervalo designa-se por profundidade de campo. A profundidade de campo é função da abertura do diafragma. Para maiores aberturas (menores números $f \#$) menores profundidades de campo.

A profundidade de foco é o intervalo em que se pode variar a posição do plano focal mantendo um ponto imagem dentro dos limites do que se pode considerar nítido. Trata-se de um conceito inverso ao de profundidade de campo e com influência na resolução da imagem.

Colocados em evidência todos estes aspectos relativos aos sistemas fotográficos torna-se evidente que a geometria associada à produção de imagens fotográficas não é simplesmente descrita pelo princípio, acima enunciado, das projecções cónicas. Com efeito, não é um único raio de luz que é responsável pela formação da imagem de um ponto mas sim um feixe mais ou menos aberto. A imagem de um ponto ideal não existe, isto é, os pontos reais têm dimensão. Cada raio de luz não viaja sempre ao longo da mesma linha recta ao atravessar a câmara fotográfica. As lentes introduzem distorções geométricas e radiométricas na formação das imagens. O dispositivo fotográfico não é uma máquina perfeita mas está sujeito a erros que implicam um não-alinhamento do eixo óptico com o centro do sensor e uma inclinação diferente de 90° relativamente a este plano que introduzem mais distorções geométricas (distorção de descentramento) na formação das imagens. O ponto principal P não coincide com a origem do referencial fiducial.

Todos estes aspectos têm de ser considerados e quantificados, com maior ou menor rigor dependendo dos objectivos práticos, quando se utiliza uma imagem fotográfica para efectuar medições sobre ela de modo a deduzir grandezas sobre os objectos representados, como é o objectivo da fotogrametria.

3.2.1.3. As imagens digitais 2D

Uma imagem digital 2D pode ser encarada como uma matriz em que cada elemento da matriz tem associado a si um valor e uma dimensão. A cada um destes elementos dá-se o nome de *pixel* (*picture element*). Uma imagem digital pode ser descrita em função da sua geometria e da sua radiometria.

Tal como se referiu a imagem digital é o resultado do processamento dos sinais eléctricos em que foram convertidos os fotões que incidiram nas células do sensor. Se o sensor é sensível apenas a um intervalo do espectro de forma indistinta, a imagem que se forma é monocromática. Se é sensível a mais que um intervalo, a imagem é multi-espectral ou hiper-espectral. Em geral, na fotogrametria, utilizam-se sensores monocromáticos ou sensores policromáticos sensíveis a três intervalos do espectro, em geral nas bandas do vermelho, do verde e do azul.

A cada célula do sensor corresponderá um *pixel* na imagem resultante. Cada *pixel* é calculado directamente a partir das intensidades registadas na célula correspondente ou é calculado a partir de algoritmos que interpolam valores a partir das intensidades registadas nas células vizinhas. Este processo é tanto mais necessário quando há sistemas em que

uma célula do sensor pode ser apenas sensível a um dos intervalos do espectro, por exemplo o vermelho, o verde ou o azul.

3.2.1.4. Geometria das imagens digitais

No que diz respeito à geometria: i) a maioria das imagens digitais é composta por *pixels* de formato quadrado ou rectangular, ii) podem ser descritas em termos de campo de visão instantâneo (IFOV – *instantaneous field of view*), e iii) também podem ser descritas em termos da distância de amostra ao solo (GSD – *ground sampling distance*). O parâmetro IFOV é função da distância focal e do tamanho do *pixel*. O parâmetro GSD é função da distância focal, do tamanho do *pixel* e da distância do sensor à superfície do objecto representada na imagem. Para algumas aplicações, em particular em fotogrametria arquitectónica o GSD pode ser encarado como uma medida de resolução espacial da imagem [MBM01]. No entanto, há autores que propõem uma forma mais conservadora de cálculo da resolução baseada na possibilidade de se distinguirem elementos na imagem [BF07].

3.2.1.5. Radiometria da imagem digital

No que diz respeito à radiometria, cada *pixel* representa um valor resultante do quantum de um sinal contínuo original. Cada nível quântico dará origem a um valor de intensidade na imagem. Depreende-se que há intervalos de valores do sinal original que podem ficar representados pelo mesmo nível quântico, o que significa que este processo implica uma perda de informação. Para que haja o mínimo de perda na quantização de um intervalo de valores, a frequência de amostragem deve ser igual ou superior a duas vezes esse intervalo³⁵. Também é possível que os *quanta* não sejam uniformes se os valores de entrada não estiverem uniformemente distribuídos. Numa imagem digital monocromática um *pixel* pode ter associado um valor numa escala de 0 a 255 (8 bits) representativos de valores de claro e escuro, correspondendo o 0 ao preto e o 255 ao branco. Já numa imagem de 16 bits um pixel pode ter associado um valor de 0 a 65535, correspondendo o 0 ao preto e o 65535 ao branco. Isto é, numa imagem de 16 bits há mais intervalos na escala de cinzentos, ou dito de outra forma, há mais níveis quânticos do sinal original.

Uma imagem a cores pode ser encarada como o resultado da sobreposição de vários canais, cada um correspondendo a uma imagem produzida considerando mais ou menos níveis quânticos. Por exemplo, as imagens no formato RGB correspondem à

³⁵ Teorema de amostragem de Nyquist [BF07].

sobreposição de três imagens correspondentes aos canais vermelho (R), verde (G) e azul (B). Isto é, um *pixel* da imagem final corresponde a um vector com três componentes, ou seja, é representado por três coordenadas, não espaciais mas sim radiométricas.

A representação da cor não é única. É possível representá-la em vários formatos. Cada um desses formatos pode ser encarado como um modelo passível de ser tratado algebricamente o que permite a conversão entre modelos ou espaços de representação da cor.

Alguns modelos de representação de cor comuns são o: i) RGB, ii) HSB, iii) CMYK, e iv) CIELab.

Na representação RGB a cor é representada através de 3 coordenadas, tal como acima referido. Este modelo pode ser geometricamente definido como um cubo em que um dos seus vértices representa um ponto de coordenadas (0,0,0), correspondente ao preto, e o vértice diametralmente oposto representa um ponto de coordenadas (255,255,255), no caso dos 8 bits, correspondente ao branco. Assim, um ponto com as três coordenadas com igual valor corresponderá a um cinzento, ficando as restantes cores com as diferentes combinações possíveis entre valores de vermelho, verde e azul. Neste modelo de representação da cor podem representar-se 256^3 cores, isto é, aproximadamente 16.8 milhões de cores.

Na representação HSB a cor também é representada através de 3 coordenadas. As coordenadas são o matiz (H, do inglês Hue), a saturação (S) e o brilho (B). Este espaço de cor pode ser representado geometricamente como um cilindro. O matiz é dado por uma coordenada angular variando entre 0 e 360° , as distâncias ao longo do eixo do cilindro representam a variação do valor de intensidade (brilho) numa escala de 0 a 100, a distância ao eixo representa a saturação numa escala de 0 a 100. O branco é representado pelas coordenadas (0,0,100) e o preto é representado pelas coordenadas (0,0,0). Assim, um ponto no eixo do cilindro corresponde a um valor de cinza. Um cinzento terá as duas primeiras coordenadas iguais a 0.

Na representação CMYK a cor é representada através de 4 coordenadas. As coordenadas correspondem à decomposição da cor nas cores primárias, azul cyan, magenta e amarelo, e numa escala de cinzentos. Cada uma das coordenadas pode ser expressa numa escala de 0 a 100. Esta representação é talvez um pouco mais difícil de entender que as anteriores. É a representação usada pela maior parte dos dispositivos de impressão. Baseia-se na utilização de uma percentagem de preto para produzir cores mais escuras em vez de utilizar apenas uma combinação de cores primárias que poderia ser inviável na prática pois poderia levar à utilização de um excesso de tintas na impressão. Neste modelo o branco é representado por (0,0,0,0) e o preto pode ser representado por qualquer combinação das três primeiras coordenadas com a quarta coordenada igual a 100.

Na representação CIELab, ou simplesmente Lab (CIE é o acrónimo da *Commission Internationale de l'Eclairage* que desenvolveu o espaço de cor CIELab), a cor é representada através de 3 coordenadas. As coordenadas são a luminosidade (L), que varia de 0 a 100, e dois parâmetros de cor a e b . O parâmetro a representa uma escala entre o magenta e o verde. Valores negativos correspondem ao verde e valores positivos correspondem ao magenta. O parâmetro b representa uma escala entre o amarelo e o azul. Valores negativos correspondem ao azul e valores positivos correspondem ao amarelo. O branco é representado por (100,0,0) e o preto é representado por (0,0,0). Os cinzentos correspondem a variações da primeira coordenada mantendo as coordenadas a e b com valor 0. A utilização deste espaço de cor é muito útil para efectuar manipulações em imagens quando se pretende alterar o valor de claro escuro de uma imagem preservando ao máximo a cor. Esta operação é por vezes requerida na produção de fotomosaicos resultantes de rectificações para eliminar a percepção das linhas de junção entre imagens adjacentes ou para corrigir zonas de sombra das imagens.

Resumindo, uma determinada célula de um determinado sensor fotográfico captura fotões, que são convertidos em sinais eléctricos, que por sua vez são transformados em valores de intensidade. Estes valores de intensidade corresponderão a intensidades num determinado espaço de representação de cor, em princípio o espaço RGB. Cada *pixel* da imagem resultante é calculado a partir do valor de intensidade da correspondente célula do sensor podendo participar deste cálculo os valores de intensidade das células vizinhas. A razão de ser do envolvimento das células vizinhas pode dever-se a: i) as células não ocupam toda a área dos sensores, ii) células distintas podem ser sensíveis a diferentes comprimentos de onda, ou iii) pretende-se maior nível de qualidade na reconstrução da cor das imagens [LRK*06].

3.2.1.6. Resolução e escala da imagem digital

É comum ouvir-se falar em resolução de uma imagem expressando-a como um rácio entre um determinado número de *pixels* por um comprimento, por exemplo 300 dpi. Neste exemplo está a dizer-se que 300 *pixels* se distribuem pelo espaço de uma polegada. O mesmo é dizer que aproximadamente 118 *pixels* se distribuem pelo espaço de um centímetro e ainda que aproximadamente 11 *pixels* se distribuem pelo espaço de um milímetro. De forma equivalente se pode falar em linhas por milímetro ou em pares de linhas por milímetro. Este conceito prende-se com a capacidade de distinguir entre um determinado número de linhas brancas e pretas alternadas com igual espaçamento entre si numa imagem impressa. Esta distinção é feita visualmente. É uma medida do conteúdo de informação de uma imagem, ou dito de outra forma, da possibilidade de distinguir detalhes

numa imagem [LRK*06]. Em geral considera-se que a percepção humana não consegue distinguir mais que 10 linhas por milímetro [BF07].

A resolução de uma imagem expressa nestes termos, é um indicador de resolução física da imagem, e apenas é útil para efeitos de controlo da qualidade de impressão da mesma mas nada diz acerca da forma como ela representa um objecto, do detalhe com que esse objecto é percebido ou da resolução espacial referida ao espaço do objecto. Assim é preciso considerar outros termos para nos referirmos à resolução da imagem digital que nos sejam mais úteis no contexto da fotogrametria. Em todo o caso, a medida de resolução de pares de linhas por milímetro, se considerada numa imagem a que é atribuída uma escala, também pode ter algum interesse na medida em que, considerando a escala, é possível estabelecer uma relação entre aquela medida de resolução e a estrutura mínima do espaço do objecto representado que fica resolvida na imagem.

A escala de uma imagem pode ser definida em termos médios como a razão entre a distância principal (ver o ponto 3.2.1.1 para a definição deste conceito) e a distância ao objecto. Essa razão corresponde ao rácio entre uma medida tirada sobre a imagem e a medida homóloga no objecto, se esta for paralela ao plano da imagem, como se ilustra na figura 3-12. Neste caso a escala é dada por $[A'B']/[AB]$. Assim, para que se possa falar de uma única escala de uma imagem é conveniente que o plano da imagem esteja aproximadamente paralelo a um plano de referência do objecto fotografado. Escusado será dizer que num contexto espacial complexo não existe uma única escala da imagem.

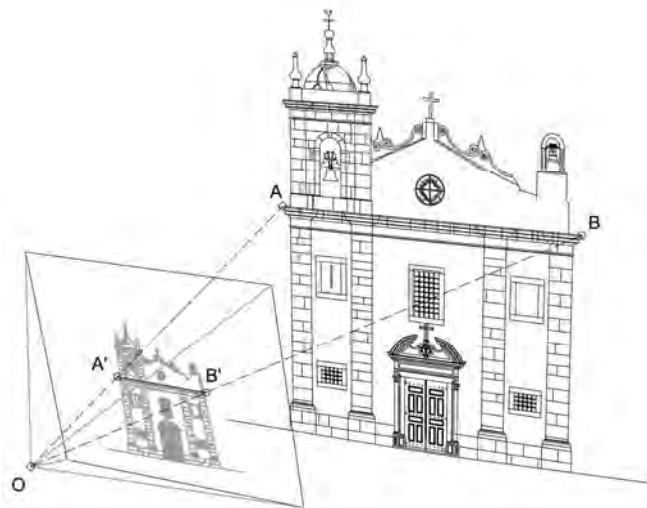


Figura 3-12: Noção de escala da imagem baseada no rácio entre uma medida na imagem e a medida homóloga no objecto.

Outra forma de expressar a escala da imagem é através da dimensão de amostra ao solo (GSD), como referido em 3.2.1.4.

Um exemplo de expressão do GSD pode ser 1 pixel na imagem corresponde a 2cm no objecto. Porém, neste caso não se está a afirmar que é possível diferenciar elementos no objecto com aquela dimensão mínima. Para isso é necessário introduzir o conceito de resolução espacial da imagem (SR – Spatial Resolution).

Bernardini *et al* [BF07] propõem uma forma de definir a resolução espacial, como correspondendo ao mínimo detalhe do objecto que pode ser diferenciado numa imagem de uma imagem digital, em função do GSD, da distância focal, e do teorema de amostragem de Nyquist. De acordo com este autor, a resolução da imagem acaba por ser igual ao dobro do valor de amostragem ao solo (GSD). Isto é, se o GSD for 1cm, a imagem só permite a diferenciação de detalhes do objecto maiores que 2cm, devendo adoptar-se este valor para a SR. Estes conceitos são importantes na medida em que condicionam a precisão com que se podem diferenciar características do objecto na imagem. Estes parâmetros devem informar o planeamento de uma recolha de imagens fotogramétricas na medida em que condicionam a precisão dos resultados e o nível de detalhe que é possível extrair.

Outra forma de avaliar a capacidade de resolução é através da função de modulação de transferência (MTF – Modulation Transfer Function) [MBM01] [AS03]. Porém trata-se de um procedimento menos expedito e mais difícil de praticar. Implica que se fotografem padrões com variação de intensidade e variação de frequência modelados através de uma função sinusoidal e que depois se compare o padrão sinusoidal da imagem resultante com o padrão inicial.

Pode-se definir a RS e o GSD em função de uma escala de impressão de uma imagem para um determinado produto fotogramétrico a cores, adoptando como erro de grafismo (ver anexo) inerente o valor aceite de que a habilidade humana para distinguir detalhes sobre uma imagem se situa no intervalo de 0.1 a 0.2mm, quando esta é observada a uma distância normal de observação de 50cm. Dito de outra forma, a capacidade visual humana de observação máxima é de 5 pares de linhas por milímetro a 5 linhas por milímetro. Assim este valor pode servir desde logo para definir a SR de uma imagem adequada à impressão na escala 1/1, que é obviamente 0.1 a 0.2mm, com os respectivos GSD iguais a 0.05 ou 0.1mm. Vamos utilizar o valor menos favorável de 0.1mm para a SR. Em todo o caso, assumir estes valores implica que os detalhes das imagens têm contraste suficiente para poderem ser distinguidos e que esta não contém problemas com a focagem.

Na tabela 3-2 vamos considerar imagens produzidas com uma câmara fotográfica com sensor de 8Mp (3264x2448 $pixel$), com tamanho de $pixel$ de $0.53\mu m$, e distância focal de 14mm. Vamos notar que, para escalas distintas, aquele valor de 0.1mm considerado na impressão, corresponde a diferentes valores de SR e GSD que, por sua vez, e em função da escala, implicam diferentes distâncias câmara / objecto, e por conseguinte diferentes áreas

no objecto cobertas pelo sensor (definidas na tabela através da largura total e altura total). Consideramos que o plano do sensor e o plano do objecto são sensivelmente paralelos.

Câmara Olympus E-500					
f=14mm					
sensor=3264x2448px			3264	2448	
largura do sensor (mm)=			17,3		
Escala da Representação	SR (mm)	GSD (mm)	largura total (m)	altura total (m)	distância ao objecto (m)
1/ 1	0,1	0,05	0,33	0,24	0,13
1/ 2	0,2	0,1	0,65	0,49	0,26
1/ 5	0,5	0,25	1,63	1,22	0,66
1/ 10	1,0	0,5	3,26	2,45	1,32
1/ 20	2,0	1	6,53	4,90	2,64
1/ 50	5,0	2,5	16,32	12,24	6,60
1/ 100	10,0	5	32,64	24,48	13,21
1/ 200	20,0	10	65,28	48,96	26,41

Tabela 3-2: Cálculo da resolução espacial (SR), amostragem ao solo (GSD) e distância máxima à superfície a registar, em função da escala de impressão.

Na prática, estando definida uma dada escala para a representação, esta condiciona a distância ao objecto com que devem ser produzidas as imagens para que seja possível uma leitura do objecto adequada à diferenciação de detalhes máxima possível num desenho impresso àquela escala. Remetendo para a tabela 3-2, a distância indicada na última coluna deve ser um limite máximo que não deve ser ultrapassado, sendo desejáveis distâncias inferiores. Note-se que as imagens podem ser sujeitas a vários tipos de processamento que lhe podem reduzir a qualidade, ou porque, face às características intrínsecas da cena fotografada diferentes combinações de distâncias e ângulos em relação ao objecto são necessárias. Note-se ainda que aquela tabela corresponde a um exercício teórico para a câmara e distância focal consideradas.

Não se pretende tomar os valores de SR da tabela 3-2 como indicadores para a prescrição de um nível de precisão e rigor de um levantamento fotogramétrico. Com efeito, essa prescrição deve ser resultante dos fins a que se destina a documentação e poderá ser superior ou inferior aos valores apresentados para SR.

A definição que demos de SR, de acordo com Bernardini [BF07], é simplificada e corresponde a uma situação limite e ideal, pois há outros factores que contribuem para este parâmetro: i) qualidade de exposição da imagem, ii) a profundidade de foco, iii) as características da lente, iv) as características intrínsecas da própria cena como sejam a sua cor, iluminação, contraste, condições atmosféricas, vibração. É por isso uma medida difícil de quantificar e as quantificações teóricas que se possam fazer raramente têm correspondência na prática [MBM01], servindo apenas de referência.

3.2.1.7. Equipamentos de aquisição e processamento

O equipamento necessário ao fluxo de trabalho fotogramétrico consiste em: i) câmara fotográfica e seus acessórios (cartões de memória, baterias), ii) plataformas (tripé, balão, papagaio), iii) estação fotogramétrica (para algumas aplicações pode reduzir-se a um vulgar computador pessoal), e iv) *software* adequado.

Tradicionalmente as câmaras utilizadas em fotogrametria classificavam-se em métricas e semi-métricas. As primeiras caracterizavam-se por terem uma estabilidade elevada e durável dos mecanismos óptico-mecânicos geralmente com uma lente fixa, pelo que podiam ser calibradas em laboratório assumindo-se que os parâmetros obtidos se mantinham válidos por um grande período de tempo. As segundas distinguiram-se das primeiras por terem uma grelha incorporada, designada *reseaux*, que era imprimida das imagens fotográficas possibilitando assim estimar os parâmetros de calibração.

Em ambos os casos, estas câmaras permitiam a recuperação, através das imagens, do referencial fiducial (ver definição em 3.2.2 – Referenciais geométricos) materializado nestas através de marcas na periferia das imagens. De acordo com este critério de classificação, as câmaras que não permitiam a recuperação do referencial fiducial recebiam a designação de câmaras amadoras ou não métricas.

Esta categorização, pelo critério citado, não faz grande sentido para as câmaras digitais uma vez que, pela natureza da imagem digital, o referencial fiducial está sempre presente. Com a tecnologia digital este tipo de classificação deixa de fazer sentido, embora haja fabricantes que adicionam o termo métrica ao modelo da câmara, como no caso da marca Rollei, para designar um tipo de câmaras vocacionadas para a fotogrametria. Mas isso não quer dizer que uma câmara não é adequada para fotogrametria pelo facto de não ter a designação métrica incorporada. Na tabela 3-3 fez-se uma recolha de marcas e modelos de câmaras adequadas à fotogrametria. Esta recolha foi feita entre 2009 e 2010.

COMPARAÇÃO ENTRE CÂMARAS FOTOGRÁFICAS DIGITAIS					
MARCA	MODELO	tipo sensor	tamanho Mp	formato mmxmm	pixel [μm]
Rollei (www.rollei-metric.com)	Rolleiflex 6008digital metric P20	CCD	16	36.9x36.9	9
	Rolleiflex 6008digital metric P25	CCD	32	48.9x36.9	9
	Rolleiflex 6008digital metric P45	CCD	39	49.1x36.9	6,8
	PanoScan Mark III	(panorama)	54		
	D90 (Nikon calibrada pela Rollei)	CMOS	12	23.2x15.5	
	D300 (Nikon calibrada pela Rollei)	CMOS	12	23.2x15.5	
Hasselblad (www.hasselbladusa.com)	H3DII-31	CCD	31	33.1x44.2	6,8
	H3DII-39	CCD	39	36.8x49.1	6,8
	H3DII-50	CCD	50	36.8x49.1	6
	H4D-60	CCD	60,1	40.2x53.7	6
Fuji (www.fujifilm.com)	FinePix S5 Pro	CCD	12	23.0x15.5	
	FinePix S2 Pro	CCD	12	23.3x15.6	
	FinePix S3 Pro	CCD	12	23.0x15.5	
	Finepix S9500	CCD	9		
	Finepix 6900 zoom	CCD	6		
Imetric (www.imetric.com)	Icam		22		
Sigma (www.sigmaphoto.com)	SD14	CMOS	14	20.7x3.19	
Canon (www.canon.com)	EOS-1Ds (Mk III)	CMOS	21		
Phase One (www.phaseone.com)	P65	CCD	60,5	53.9x40.4	6
	P40	CCD	40	43.9x23.9	6
	P45	CCD	39	49.1x36.8	6,8
	P30	CCD	31,6	44.2x33.1	6,8
	P25	CCD	22	48.9x36.7	9
Jenoptik (www.sinarcameras.com)	Sinar ar Tec Hy6-e75r		33	48x36	
	Sinar ar Tec Hy6-e54r		22	48x36	

Tabela 3-3: Comparação entre câmaras fotográficas digitais.

Relativamente às plataformas utilizadas em fotogrametria, em particular na fotogrametria digital arquitectónica, podemos considerar os tripés, balões para fotografar a baixa altitude, mastros, ou qualquer outro dispositivo que sirva para apoiar a câmara fotográfica.

Dependendo das necessidades de processamento, há no mercado uma grande variedade de opções de estações de trabalho operando sob os mais diversos sistemas operativos que podem ser adequadas ao processamento fotogramétrico. As especificações de *software* a utilizar, a quantidade de dados a processar, e os sistema de processamento ditarão qual a melhor solução de configuração de uma plataforma de trabalho.

Também ao nível de *software* há no mercado uma grande variedade de oferta. A tabela 3-4 corresponde a uma recolha de soluções de *software* fotogramétrico efectuada entre 2009 e 2010. Notam-se quais a funcionalidades principais que implementam. Por modelação entendem-se as várias operações de orientação fotogramétrica que constituem a base que permite a reconstrução de um modelo tridimensional. As nuvens de pontos correspondem a um *output* que alguns *softwares* fotogramétricos permitem gerar a partir de imagens fotográficas.

COMPARAÇÃO DE SOFTWARE PARA FOTOGRAMETRIA				
FABRICANTE	DESIGNAÇÃO	FUNCIONALIDADE PRINCIPAL		
		rectificação	modelação	nuvens de pontos
Kubit (www.kubit.de)	PhoToPlan	x		
	MonuMap	x		
(nickerson.icomos.org/asrix)	Asrix	x		
RectifierSoft (www.perspectiverectifier.com)	Perspective Rectifier	x		
Autodesk (usa.autodesk.com)	ImageModeler		x	
Photomodeler (www.photomodeler.com)	Photomodeler		x	
	Photomodeler Animation		x	
	Photomodeler Scanner		x	x
Topcon (http://imagemaster3d.com/)	Image Master Photo		x	x
Technet (www.technet-gmbh.de)	Pictran-E	x		
	Pictran-O	x		
	Pictran-D		x	
	Pictran-B		x	
	Pictran-A		x	
(http://piccard.esil.univmed.fr/arpenteur/spip/)	Arpenteur		x	
DCS (http://www.photomeasure.com/)	iWitness		x	
PMS AG (http://www.elcovision.com)	Elcovision		x	
TerraDat (http://www.terrageomatics.com/)	Image Master		x	
Menci (http://www.menci.com)	Zscan		x	x
Rollei (http://rollei-metric.com)	Panoscan (Trimble)		x	
	MSR	x		
	CDW (Trimble)		x	
	CDWGraphics (Trimble)		x	

Tabela 3-4: Comparação entre software fotogramétrico.

3.2.2. Referenciais geométricos

A uma imagem fotográfica digital pode ser associado um referencial cartesiano rectangular bidimensional com origem no centro da imagem, O_f , e eixos x_f e y_f orientados pelos limites da imagem, que se pressupõe rectangular. Este designa-se por referencial fiducial, S_f (figura 3-13).

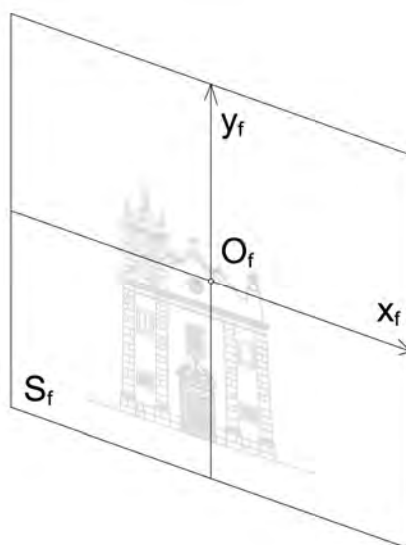


Figura 3-13: Referencial fiducial da imagem fotográfica.

A uma imagem calibrada pode ser associado um referencial cartesiano rectangular tridimensional S_i com origem no centro de projecções, O_i , e eixos x_i , y_i e z_i . Os eixos x_i e y_i são paralelos, em direcção e sentido, aos eixos do referencial fiducial. O eixo z_i é perpendicular ao plano da imagem e intersecta-o no ponto principal P , e tem sentido negativo de O_i para P . O ponto P é distinto do ponto O_f . A distância $[O_i P]$ é a distância principal e será notada por d_p .

Um referencial cartesiano tridimensional externo associado a um objecto sob representação será designado por S_e , terá eixos x_e , y_e e z_e , e origem O_e .

Um ponto genérico associado ao referencial S_e será notado por N_E .

A projecção do ponto N_E num plano imagem, removidos os efeitos das distorções, será notada por N a que poderá estar associado um índice numérico superior se houver mais que uma projecção a considerar. O mesmo critério será usado para notar referenciais do mesmo tipo.

Na figura 3-14 ilustram-se os vários referenciais acima descritos.

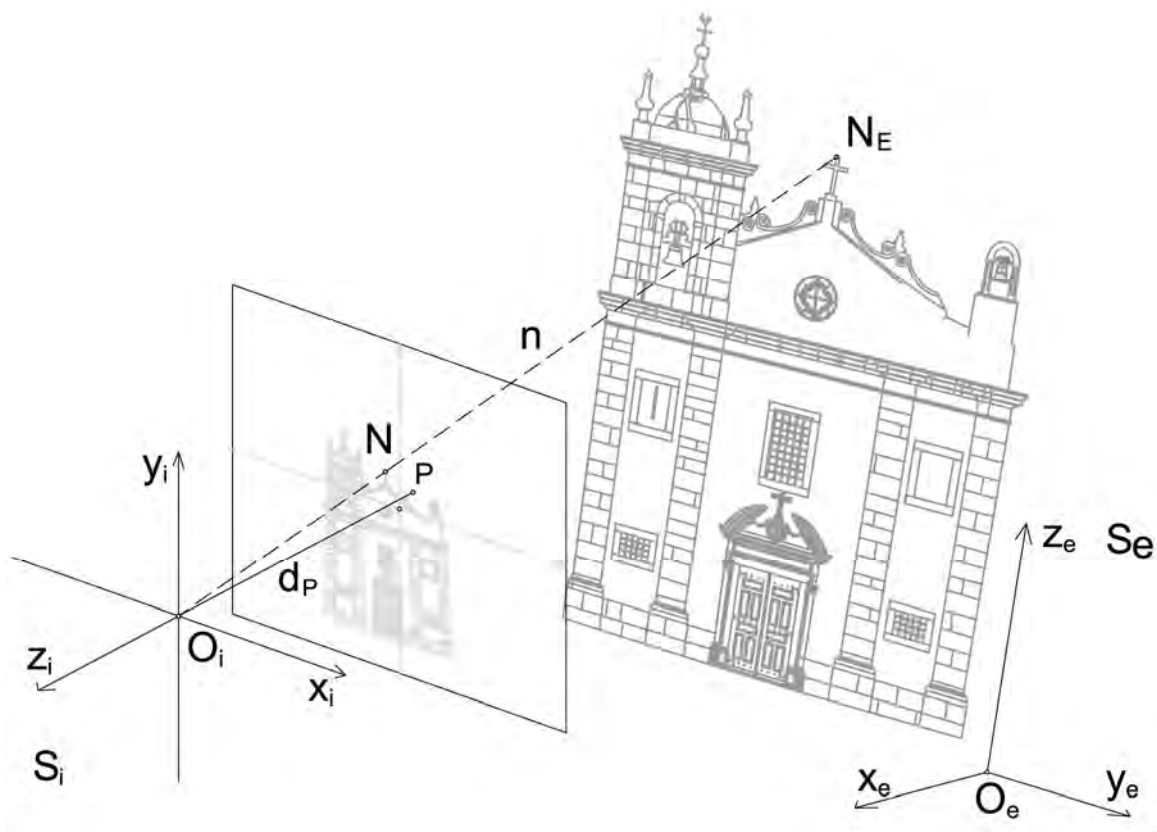


Figura 3-14: Referencial espacial da imagem.

3.2.3. Processos fotogramétricos

Os processos principais do processamento fotogramétrico são a ressecção, a intersecção e a triangulação. Genericamente a ressecção é o processo pelo qual uma imagem é posicionada no espaço, a intersecção é o processo pelo qual são determinadas coordenadas espaciais de pontos representados pelo menos em duas imagens posicionadas no espaço entre si, e a triangulação é um processo que combina os dois processos anteriores, isto é, permite a determinação simultânea da orientação das imagens e das coordenadas de pontos identificados em múltiplas imagens. Através destes processos principais resolvem-se praticamente todos os problemas de fotogrametria.

Duas das condições mais importantes em fotogrametria são: i) a condição de colinearidade, e ii) a condição de complanaridade.

A condição de colinearidade significa que os pontos N_E , N e O_i se devem encontrar numa recta projectante n , conforme a figura 3-14, e pode ser traduzida pela seguinte expressão:

$$\begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{bmatrix} = k_N M_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X_{NE} - \Delta x \\ Y_{NE} - \Delta y \\ Z_{NE} - \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Em que k_N representa um factor de escala relativo ao ponto N_E .

O vector $[\Delta x, \Delta y, \Delta z]$ corresponde às coordenadas da origem do referencial S_i expressas no referencial S_e e têm o significado geométrico de uma translação do referencial S_e no espaço até que as origens dos dois referenciais coincidam.

A matriz $M_{3 \times 3}$ representa uma matriz quadrada, com três linhas e três colunas, que traduz uma sequência de 3 rotações, do referencial S_e após a translação, em torno da origem do referencial S_i que têm o significado de colocar o eixos do referencial S_e paralelos aos eixos do referencial S_i . Primeiro uma rotação α em torno de x_e , depois uma rotação β em torno do eixo y_e rodado, e por fim uma rotação δ em torno no eixo z_e rodado pela segunda vez. Os parâmetros a_{ij} da matriz $M_{3 \times 3}$ podem ser escritos como função destes três ângulos, também designados ângulos de Euler.

Vamos notar alguns casos particulares.

Se os referenciais S_e e S_i tiverem eixos paralelos e com os mesmos sentidos, a matriz $M_{3 \times 3}$ reduz-se à matriz identidade $I_{3 \times 3}$ de onde resulta que a expressão (3.3) se transforma em:

$$\begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{bmatrix} = k_N \begin{bmatrix} X_{NE} - \Delta x \\ Y_{NE} - \Delta y \\ Z_{NE} - \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Se os referenciais S_e e S_i tiverem origens comuns e eixos com direcções distintas, a expressão (3.3) reduz-se a:

$$\begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{bmatrix} = k_N M_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X_{NE} \\ Y_{NE} \\ Z_{NE} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Se os referenciais S_e e S_i coincidirem, a expressão (3.3) reduz-se a:

$$\begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{bmatrix} = k_N \begin{bmatrix} X_{NE} \\ Y_{NE} \\ Z_{NE} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

A condição de coplanaridade implica considerar duas imagens e por conseguinte duas projecções, N^1 e N^2 do ponto N_E e as respectivas rectas projectantes n^1 e n^2 paralelas aos vectores $\overrightarrow{V_{n1}} = (x_{n1}, y_{n1}, z_{n1})$ e $\overrightarrow{V_{n2}} = (x_{n2}, y_{n2}, z_{n2})$. Tem o significado das rectas n^1 e n^2 deverem ser coplanares. Esta condição pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\begin{vmatrix} X_{N2} - X_{N1} & Y_{N2} - Y_{N1} & Z_{N2} - Z_{N1} \\ x_{n1} & y_{n1} & z_{n1} \\ x_{n2} & y_{n2} & z_{n2} \end{vmatrix} = 0 \quad (3.7)$$

Na equação (3.7) consideram-se as coordenadas dos pontos N^1 e N^2 bem como as componentes dos vectores expressas num sistema de coordenadas comum.

A figura 3-15 ilustra a condição de coplanaridade.

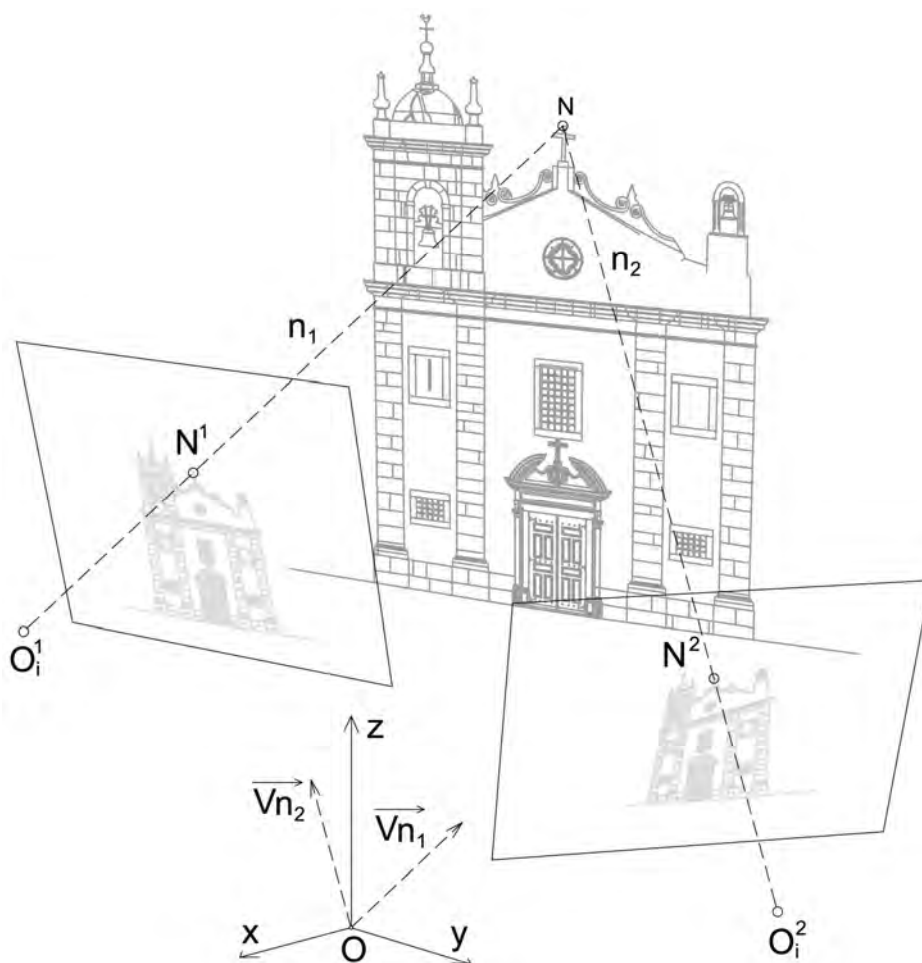


Figura 3-15: A condição de coplanaridade.

3.2.3.1. Orientação interna

Antes de uma imagem poder ser posicionada no espaço é necessário resolver a sua orientação interna. Genericamente a orientação interna de uma câmara fotográfica é o processo que permite modelar os parâmetros que possibilitam a reconstrução do feixe de raios que passam pelos pontos da imagem e convergem num centro de projecções.

Estes parâmetros incluem a distância principal, d_p , (no caso da lente focada no infinito a distância principal é igual à distância focal, $d_p = f$), a posição do centro de projecções O_i , as coordenadas do ponto principal $P_{(X_P, Y_P)}$ expressas no referencial fiducial, os parâmetros K_n da distorção radial, e os parâmetros J_n da distorção de descentramento. Também é possível, por vezes, calcular um valor, que se pode designar por constante da câmara ou por distância focal calibrada que pode ser utilizado em substituição da distância principal, pois o que interessa é a relação entre os vários parâmetros mais que os seus valores absolutos [MBM01].

A orientação interna permite associar o referencial cartesiano tridimensional S_i à imagem. Este referencial é por vezes designado por referencial da câmara.

Um ponto $N'_{(X'_N, Y'_N)}$ da imagem, com coordenadas expressas no referencial fiducial S_f , tem por coordenadas, no referencial S_i :

$$\begin{cases} X' = X'_N - X_P \\ Y' = Y'_N - Y_P \\ Z' = -d_P \end{cases} \quad (3.8)$$

Estando definido este referencial e os parâmetros da distorção é possível reconstruir o feixe perspectivo de rectas que passam pelos pontos da imagem.

A orientação interna é conseguida através de um procedimento designado por calibração. A calibração pode ser feita em laboratório através de técnicas de colimação, através de cartas de calibração ou como parte integrante de um projecto fotogramétrico. Neste último caso fala-se de auto-calibração [MBM01]. A auto-calibração é parte integrante da metodologia SFM.

Vamos notar as coordenadas do ponto N no referencial S_i , correspondente ao ponto N' , corrigidos os efeitos da distorção, por:

$$N = \begin{bmatrix} X_N \\ Y_N \\ Z_N \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Em que $Z_N = Z' = -d_P$.

O ponto N permite considerar a condição de colinearidade ao passo que considerar o ponto N' implica também considerar uma quebra do raio projectante.

3.2.3.2. Orientação externa

Genericamente a orientação externa é o processo que permite orientar o feixe de rectas, resultante da orientação interna, relativamente a um sistema de coordenadas, S_e , a que está referido o objecto representado. Dito de outro modo, é a definição das transformações geométricas que permitem expressar as coordenadas de pontos genéricos $N_{(X_N, Y_N, Z_N)}$, do plano da imagem, como função das coordenadas dos pontos homólogos $N_{E(X_{NE}, Y_{NE}, Z_{NE})}$ do espaço do objecto. Esta operação pode basear-se em informação de controlo dada por procedimentos topográficos [Fan04] ou por GPS [CKD*04] [FP04].

Vamos considerar a condição de colinearidade dada pela expressão (3.3) como ponto de partida. Esta expressão representa um sistema de 3 equações com 7 incógnitas

$(k_N, \alpha, \beta, \delta, \Delta x, \Delta y, \Delta z)$. Um desenvolvimento da expressão permite eliminar o factor de escala do cálculo dividindo, termo a termo, as duas primeiras equações do sistema pela terceira (note-se que $Z_N = -d_p$) dando origem a:

$$\begin{cases} X_N = -d_p \frac{a_{11}(X_{NE} - \Delta x) + a_{12}(Y_{NE} - \Delta y) + a_{13}(Z_{NE} - \Delta z)}{a_{31}(X_{NE} - \Delta x) + a_{32}(Y_{NE} - \Delta y) + a_{33}(Z_{NE} - \Delta z)} \\ Y_N = -d_p \frac{a_{21}(X_{NE} - \Delta x) + a_{22}(Y_{NE} - \Delta y) + a_{23}(Z_{NE} - \Delta z)}{a_{31}(X_{NE} - \Delta x) + a_{32}(Y_{NE} - \Delta y) + a_{33}(Z_{NE} - \Delta z)} \end{cases} \quad (3.10)$$

Ficamos assim com um sistema de duas equações com seis incógnitas $(\alpha, \beta, \delta, \Delta x, \Delta y, \Delta z)$. Se ampliarmos o sistema recorrendo a mais dois pares de pontos homólogos, digamos A e B , e os seus correspondentes A_E e B_E , ficamos com um sistema de 6 equações com 6 incógnitas. Daqui deduzimos que 3 é o número mínimo de pares de pontos homólogos para proceder à orientação externa de uma imagem com a orientação interna definida. Deve ser notado que na prática, quando se opta por proceder à orientação externa de imagens isoladas, são utilizados mais que 3 pares de pontos homólogos o que significa que se procede com redundância de dados permitindo maior robustez na estimação dos vários parâmetros envolvidos. Na figura 3-16 ilustram-se as transformações de translação e rotação do referencial S_e subjacentes à condição de colinearidade que estão implícitas no processo de orientação externa.

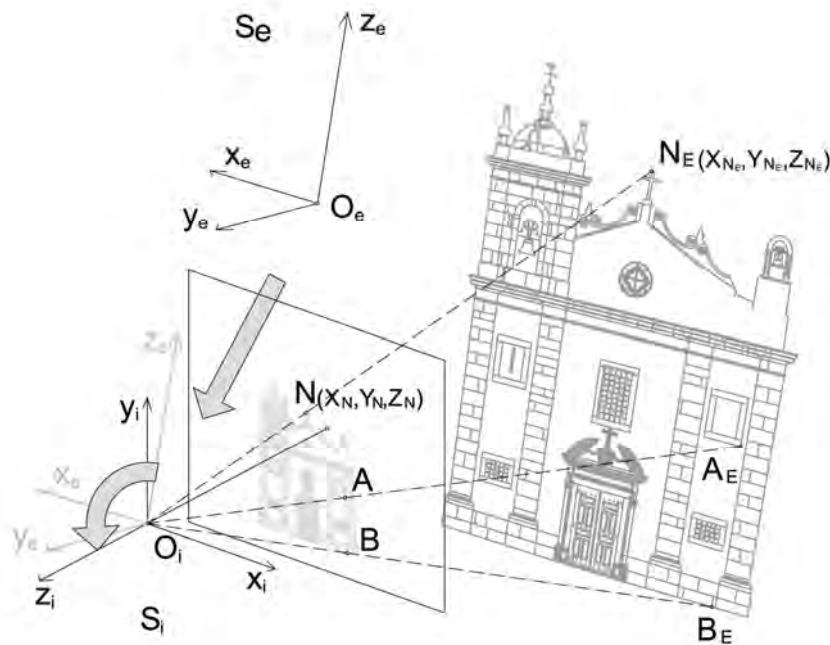


Figura 3-16: Orientação externa da câmara.

3.2.3.3. Orientação relativa

Dadas, pelo menos duas imagens, 1 e 2, com a orientação interna conhecida, a orientação relativa é o processo que permite relacionar entre si os dois feixes de rectas homólogas. Consideramos que em ambas as imagens a distância principal é a mesma.

Notaremos dois casos.

No primeiro caso vamos considerar a situação em que não existe paralaxe, isto é, em que os referenciais das duas câmaras S_i^1 e S_i^2 têm, espacialmente, a mesma origem. Neste caso os feixes de rectas homólogas são, idealmente, coincidentes. Nesta situação as duas imagens orientadas entre si não permitem a reconstrução de um modelo tridimensional mas permitem a re-projecção das imagens numa nova superfície, por exemplo um plano, uma superfície cilíndrica ou esférica que podem, particularmente para estas duas últimas, ser transformadas analiticamente em planos dando origem às típicas imagens panorâmicas.

No segundo caso vamos considerar a situação em que existe paralaxe, isto é, em que os referenciais das duas câmaras S_i^1 e S_i^2 têm origens distintas. Nesta situação as duas imagens orientadas permitem a reconstrução de um modelo tridimensional por intersecção de raios homólogos.

Na prática, quer se trate de um outro tipo de orientação relativa utilizam-se mais que duas imagens. Os procedimentos de identificação de pontos homólogos entre imagens podem ser efectuados manualmente ou automaticamente através da utilização de algoritmos de correlação de imagens.

Com a utilização de câmaras digitais correntes, e processamento manual, é possível obter valores de RSME (do inglês *root mean square error* – erro médio quadrático) no processo de orientação relativa / externa de imagem entre 5 e 10mm [ABM05] [CMC*04].

Orientação relativa sem paralaxe

Sejam N^1 e N^2 dois pontos homólogos em duas imagens distintas.

Como as origens das duas imagens idealmente coincidem, podemos exprimir as coordenadas do ponto genérico N^1 sobre a imagem 1 como função das coordenadas do ponto N^2 e de alguns parâmetros adicionais de acordo com a expressão (3.5) em que se subentende uma rotação do referencial da câmara 2 :

$$\begin{bmatrix} X_{N1} \\ Y_{N1} \\ Z_{N1} \end{bmatrix} = k_N M_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X_{N2} \\ Y_{N2} \\ Z_{N2} \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Em que:

$$Z_{N1} = Z_{N2} = -d_p$$

A partir desta expressão pode suprimir-se o factor de escala k_N à semelhança do que foi efectuado na expressão (3.10):

$$\begin{cases} X_{N1} = -d_p \frac{a_{11}X_{N2} + a_{12}Y_{N2} + a_{13}Z_{N2}}{a_{31}X_{N2} + a_{32}Y_{N2} + a_{33}Z_{N2}} \\ Y_{N1} = -d_p \frac{a_{21}X_{N2} + a_{22}Y_{N2} + a_{23}Z_{N2}}{a_{31}X_{N2} + a_{32}Y_{N2} + a_{33}Z_{N2}} \end{cases} \quad (3.12)$$

Fica-se com um sistema de 2 equações com 3 incógnitas (α, β, δ) , três ângulos de rotação. Se consideramos mais um par de pontos homólogos em ambas as imagens, digamos A^1 e A^2 , acrescentamos 2 equações. Ficamos então com um sistema de 4 equações e 3 incógnitas.

Na figura 3-17 ilustra-se a transformação de rotação do referencial da imagem 2 implícita neste processo de orientação relativa que permite que as coordenadas dos pontos da imagem 2 possam ser expressas no sistema de coordenadas da câmara 1.

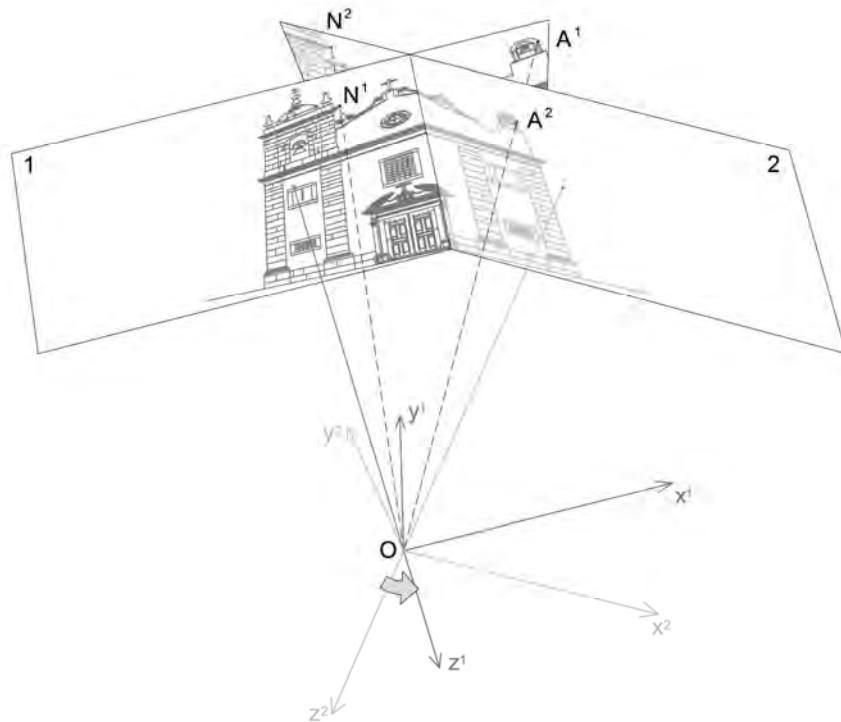


Figura 3-17: Rotação do referencial da imagem 2.

Daqui pode depreender-se que embora dois pares de pontos homólogos dados em ambas as imagens constituam os dados mínimos para proceder à orientação relativa de

duas imagens, nas condições descritas, já constituem informação redundante. Contudo na prática utilizam-se muitos mais pontos para obter soluções com maior robustez.

Orientação relativa com paralaxe

Uma das formas de proceder à orientação relativa entre duas imagens, 1 e 2, é considerar que o referencial associado a uma delas, digamos S_i^1 , permanece imóvel enquanto que o outro referencial, S_i^2 sofre, espacialmente, uma rotação e uma translação. Neste caso fala-se de orientação relativa dependente. Cada uma destas transformações pode ser decomposta em três e por isso pode dizer-se que a orientação relativa de uma imagem, mantendo imóvel o referencial da outra, é uma transformação sujeita a 6 parâmetros, três rotações (α, β, δ) e três translações $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$. Uma análise mais detalhada permite mostrar que um dos parâmetros de translação pode ser estabelecido arbitrariamente com a única consequência de o modelo resultante alterar a sua escala. Para a orientação relativa a escala do modelo é irrelevante, tratando-se de um parâmetro que pode depois ser resolvido na etapa seguinte, a etapa de orientação absoluta do modelo [MBM01].

Considerem-se então os pontos genéricos $N_{(X_{N1}, Y_{N1}, Z_{N1})}^1$ e $N_{(X_{N2}, Y_{N2}, Z_{N2})}^2$ homólogos nas duas imagens 1 e 2, e coordenadas expressas nos sistemas S_i^1 e S_i^2 respectivamente. Em cada um dos sistemas de coordenadas fica definido um raio projectante, n^1 e n^2 respectivamente. O objectivo da orientação relativa é determinar os parâmetros (de rotação e translação) que permitem transformar o sistema de referência S_i^2 no sistema de referência S_{iRT}^2 , e consequentemente o raio projectante n^2 no raio projectante n_{RT}^2 , na condição de que os raios homólogos n^1 e n_{RT}^2 sejam coplanares, isto é, se intersectem num ponto, digamos N_I .

As coordenadas do ponto N_{RT}^2 no referencial S_i^1 podem ser definidas por:

$$\begin{bmatrix} X_{N2RT} \\ Y_{N2RT} \\ Z_{N2RT} \end{bmatrix} = M_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X_{N2} \\ Y_{N2} \\ Z_{N2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

As coordenadas da origem (ponto O_{TR}^2) do referencial S_{iTR}^2 são dadas por:

$$\begin{bmatrix} X_{O2RT} \\ Y_{O2RT} \\ Z_{O2RT} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

A condição de que os raios homólogos se intersectem fica cumprida se aplicarmos a expressão (3.7) que traduz a condição de complanaridade:

$$\begin{vmatrix} X_{N2RT} - X_{N1} & Y_{N2RT} - Y_{N1} & Z_{N2RT} - Z_{N1} \\ X_{N1} & Y_{N1} & Z_{N1} \\ X_{N2RT} - \Delta x & Y_{N2RT} - \Delta y & Z_{N2RT} - \Delta z \end{vmatrix} = 0 \quad (3.15)$$

A expressão (3.15) corresponde a uma equação com 5 incógnitas. Precisamos por isso de mais 4 equações nas mesmas incógnitas. Para o efeito devemos considerar mais 4 pares de pontos homólogos em ambas as imagens. Nota-se assim que, no mínimo, são necessários 5 pares de pontos homólogos nas duas imagens para proceder à orientação relativa. A partir do momento em que está definida a orientação relativa pode construir-se um modelo tridimensional por intersecção. Na figura 3-18 ilustra-se este processo.

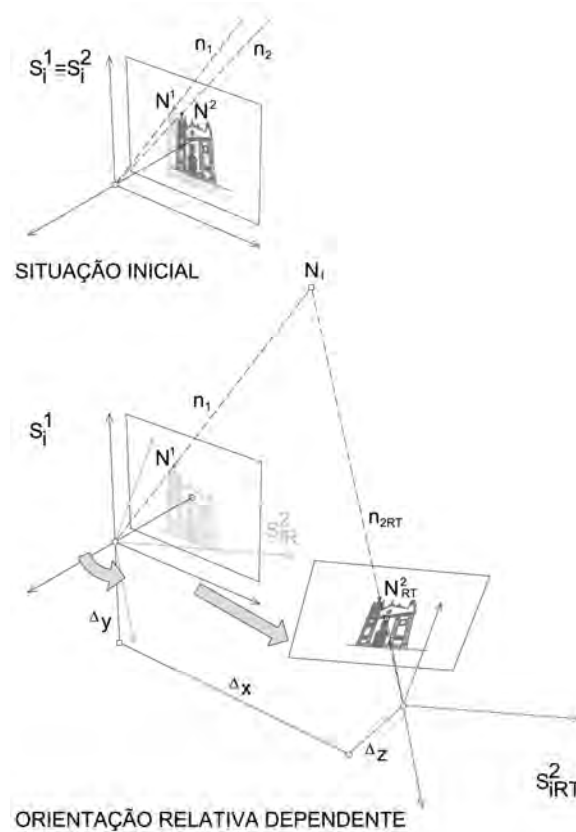


Figura 3-18: Orientação relativa dependente.

3.2.3.4. Orientação absoluta

O passo seguinte à orientação relativa é a orientação absoluta do modelo.

Genericamente a orientação absoluta corresponde à orientação externa do modelo. Trata-se de uma transformação sujeita a 7 parâmetros $(k, \alpha, \beta, \delta, \Delta x, \Delta y, \Delta z)$, um factor de escala, três rotações sequenciais e três translações. O objectivo é associar o modelo

resultante da orientação relativa, com coordenadas expressas no sistema de referência S_i^1 , a um sistema de coordenadas S_e associado ao objecto sob representação. Esta transformação pode traduzir-se por:

$$\begin{bmatrix} X_{NE} \\ Y_{NE} \\ Z_{NE} \end{bmatrix} = kM_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X_{NI} \\ Y_{NI} \\ Z_{NI} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

Esta expressão traduz um sistema de 3 equações com 7 incógnitas. Se acrescentarmos mais dois pares de pontos homólogos ampliamos o sistema a 9 equações mantendo as 7 incógnitas. Isto permite notar que embora 3 seja o número mínimo de pares de pontos homólogos a considerar para se proceder à orientação absoluta de um modelo com a orientação relativa definida estes já fornecem informação redundante. Contudo nota-se mais uma vez que na prática se utilizam mais que três pontos para obter soluções mais robustas. A figura 3-19 ilustra o processo da orientação absoluta.

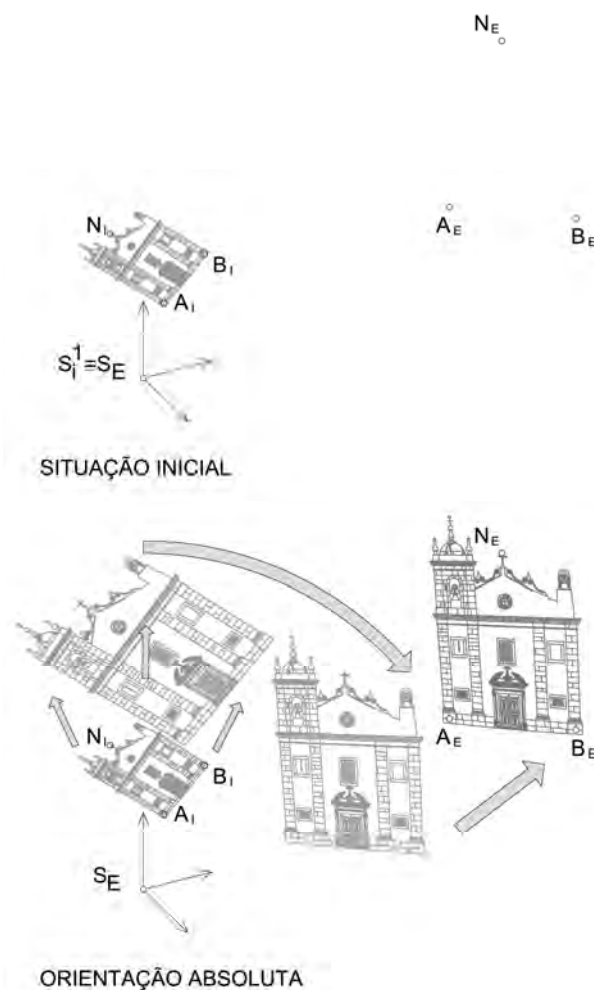


Figura 3-19: Orientação absoluta do modelo.

3.2.3.5. Os panoramas

À primeira vista a produção de panoramas poderia parecer um processo sem interesse para a fotogrametria já que, em princípio, a partir deles não se reconstróem modelos tridimensionais. Contudo, trabalhos recentes mostram processos fotogramétricos que utilizam imagens panorâmicas cilíndricas [LT04] [SM04] e esféricas [AF09] [Fan07]. [Fan10] Por outro lado, os panoramas planos podem ser o ponto de partida para a rectificação de imagens. No fundo, com um panorama pode ultrapassar-se a limitação de não dispor de um lente grande angular, embora haja câmaras fotográficas especialmente concebidas para produzir imagens panorâmicas. Por outro lado ainda, os panoramas constituem-se como um suporte bastante eficiente para a documentação de contextos envolventes que devem ser sempre considerados em qualquer processo de análise de um objecto. Por estas razões vão considerar-se os processos, descritos nas condições mínimas, que permitem o entendimento da produção deste tipo de suportes.

Começamos por estipular uma condição e fazer duas notas.

As múltiplas imagens a utilizar para produzir um panorama devem ser produzidas sem paralaxe, isto é, mantendo comum o centro de projecções. Para o efeito pode ser utilizado um dispositivo nodal montado sobre um tripé.

Uma imagem panorâmica não deve ser confundida com um fotomosaico uma vez que neste caso as várias imagens que o compõem são produzidas de pontos de vista distintos de modo a cobrir uma determinada área sob observação.

Embora haja câmaras especiais que permitem a aquisição de uma imagem panorâmica, interessa-nos antes considerar a produção de panoramas a partir de múltiplas imagens planas.

No essencial, uma imagem panorâmica é produzida em três etapas: i) aquisição de múltiplas imagens planas, ii) orientação relativa das imagens, iii) re-projecção das imagens numa superfície. Se a superfície de re-projecção não for um plano pode ainda considerar-se uma transformação dessa superfície num plano. A transformação para o plano não tem apenas uma solução e pode obedecer a vários critérios.

Uma das disciplinas que estuda a projecção sobre superfícies, em particular sobre a superfície esférica e elipsóide e trata de seguida da transformação destas superfícies em planos é a cartografia. As projecções cartográficas, podem dividir-se de acordo com vários critérios. De acordo com Casaca *et al* [CMB00] os critérios mais importantes destas classificações prendem-se com: a) as deformações produzidas pela transformação (conformes, equivalentes e afiláticas), b) a correspondência entre a transformação e uma projecção geométrica ou não (geométricas e analíticas), c) a forma da representação da malha constituída pela transformação dos meridianos e paralelos no plano cartográfico

(azimutais, cilíndricas, cónicas), d) a orientação da malha definida pela transformação dos meridianos e paralelos no plano cartográfico relativamente aos eixos cartográficos (normais, transversas e oblíquas). Para o entendimento, em detalhe, do que caracteriza cada um destes critérios recomenda-se a consulta da referência bibliográfica indicada.

A classificação desses grupos de projecção não é muito relevante no nosso contexto uma vez que as designações se relacionam com a métrica da superfície a “planificar”, que não é aquela que contém as grandezas que nos interessa considerar.

Uma vez que as duas etapas iniciais do processo já foram descritas, interessa-nos descrever a terceira etapa.

Panorama plano

Comecemos por considerar duas imagens, 1 e 2, com referenciais câmara S_i^1 e S_i^2 , respectivamente, obtidas sem paralaxe, com a orientação relativa definida nos termos descritos em 3.2.3.3. Considere-se ainda que a orientação relativa manteve o referencial S_i^1 imóvel e transformou o referencial S_i^2 no referencial S_{iR}^2 . Um ponto genérico N^2 no plano da imagem 2 corresponderá a um ponto $N_{R(X_{N2R}, Y_{N2R}, Z_{N2R})}^2$ com coordenadas expressas no referencial S_i^1 .

Se consideramos o plano da imagem 1 como o plano de re-projecção então o ponto N_p resultante da projecção do ponto N_R^2 terá coordenadas, no referencial S_i^1 expressas por:

$$\begin{bmatrix} X_{NP} \\ Y_{NP} \\ Z_{NP} \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} X_{N2R} \\ Y_{N2R} \\ Z_{N2R} \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

Em que:

$$k = \frac{-d_p}{Z_{N2R}} \quad (3.18)$$

De onde resulta obviamente que $Z_{NP} = -d_p$.

A figura 3-20 ilustra a re-projecção da imagem 2 no plano da imagem 1.

Naturalmente esta operação pode ser expandida a qualquer número de imagens desde que as condições iniciais sejam cumpridas. Note-se que, neste caso, como a superfície de re-projecção é um plano o processo termina aqui. A ser necessário considerar nova re-projecção da imagem esta será, em geral, efectuada por uma transformação projectiva, vulgarmente designada por rectificação, que será descrita no ponto 3.2.3.6.

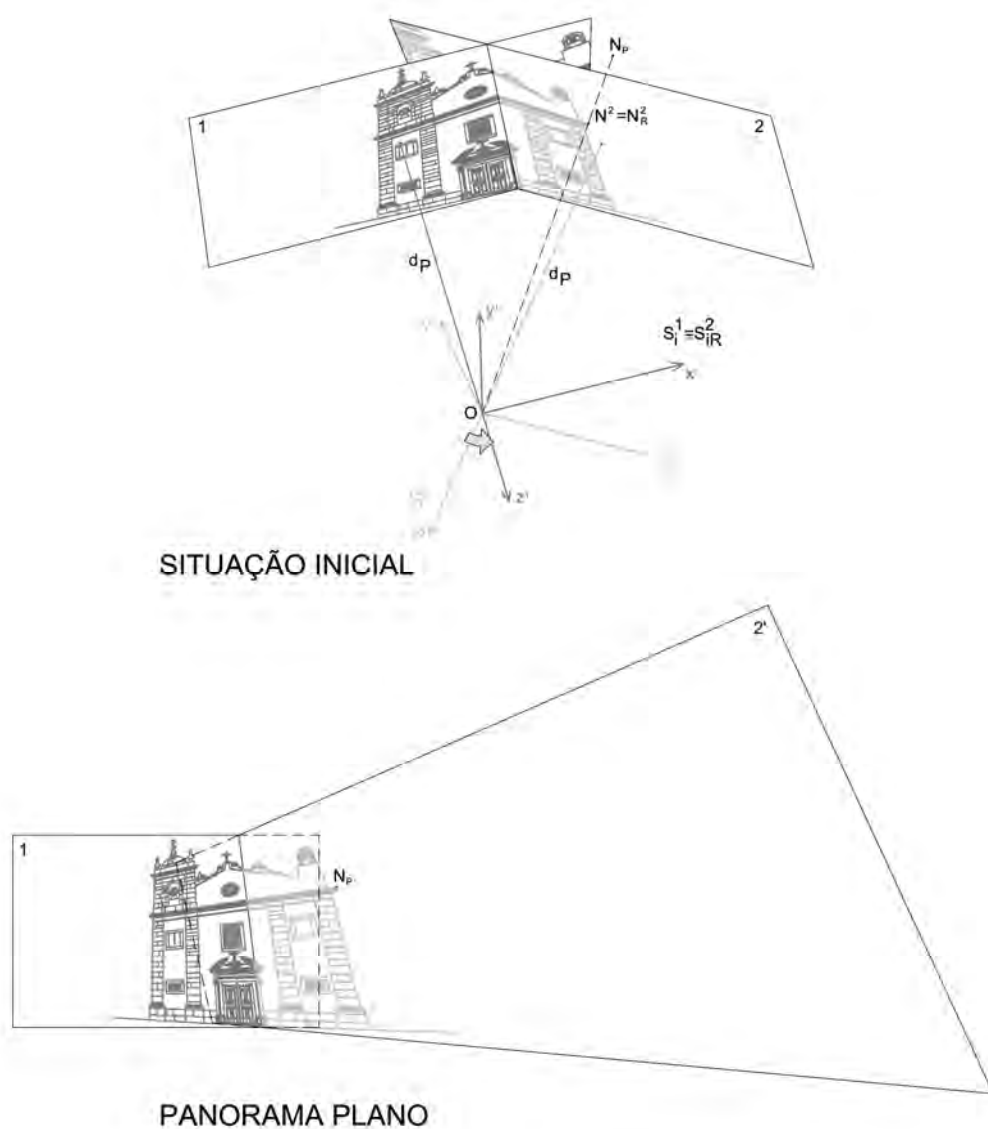


Figura 3-20: A produção do panorama plano.

Panorama cilíndrico

Considerem-se as mesmas premissas do caso anterior.

A diferença consiste em que a superfície de re-projecção é agora uma superfície cilíndrica de revolução com raio igual a d_p e eixo coincidente com o eixo y_i^1 do referencial S_i^1 .

O ponto N_p resultante da projecção do ponto N_R^2 sobre a superfície cilíndrica terá coordenadas, no referencial S_i^1 , dadas pela expressão (3.17) com a diferença de o factor de escala ser dado por:

$$k = \frac{d_p}{\sqrt{X_{N2R}^2 + Z_{N2R}^2}} \quad (3.19)$$

Note-se que, geometricamente, o ponto N_p pode ter duas posições sobre a superfície cilíndrica mas o facto de k estar definido deste modo implica que apenas se considera a projecção que fica entre o centro de projecções, O_i^1 e o ponto N_R^2 .

Efectuada a re-projecção interessa agora transformar a superfície cilíndrica numa superfície plana. Para o efeito considera-se a sua planificação para um plano tangente passante pelo ponto principal P . Trata-se do plano da imagem 1.

Assim, as coordenadas do ponto N_p após a planificação, aqui notado por N_{PP} , expressas no referencial S_i^1 são dadas por:

$$\begin{bmatrix} X_{NPP} \\ Y_{NPP} \\ Z_{NPP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \pi d_p - d_p \arccos\left(\frac{Z_{N2R}}{d_p}\right) \\ Y_{NP} \\ -d_p \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Em que o arco é dado em radianos.

Note-se que a coordenada X_{NPP} está limitada ao intervalo $[-\pi d_p, +\pi d_p]$.

A figura 3-21 ilustra a re-projecção das imagens na superfície cilíndrica e subsequente planificação desta.

Panorama esférico

Considerem-se as mesmas premissas dos casos anteriores.

A diferença consiste em que a superfície de re-projecção é agora uma superfície esférica com raio igual a d_p e centro na origem do referencial S_i^1 .

O ponto N_p resultante da projecção do ponto N_R^2 sobre a superfície esférica terá coordenadas, no referencial S_i^1 , expressas pela expressão (3.17) com a diferença de o factor de escala ser dado por:

$$k = \frac{d_p}{\sqrt{X_{N2R}^2 + Y_{N2R}^2 + Z_{N2R}^2}} \quad (3.21)$$

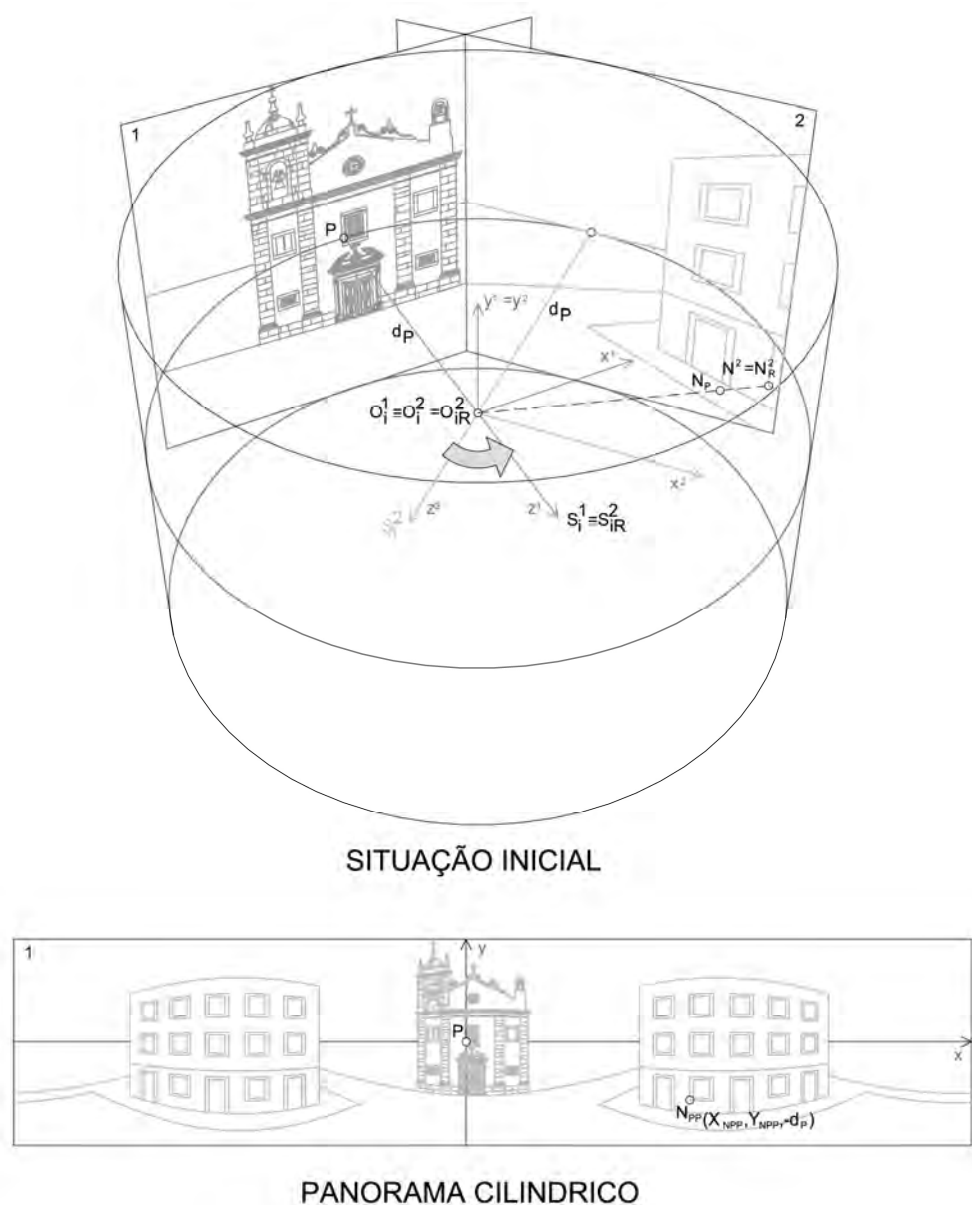


Figura 3-21: A produção do panorama cilíndrico.

Note-se que, geometricamente o ponto N_p pode ter duas posições sobre a superfície esférica mas o facto de k estar definido deste modo implica que apenas se considera a projecção que fica entre o centro e projecções, O_i^1 e o ponto N_R^2 .

Efectuada a re-projecção interessa agora transformar a superfície esférica numa superfície plana. Não existe uma única transformação possível. A título de exemplo considera-se a transformação de Postel (azimutal equidistante) para um plano tangente passando pelo ponto principal P . Trata-se do plano da imagem 1.

Assim, as coordenadas do ponto N_p após a planificação, aqui notado por N_{pp} , expressas no referencial S_i^1 são dadas por:

$$\begin{bmatrix} X_{NPP} \\ Y_{NPP} \\ Z_{NPP} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\pi d_p - d_p \arctan \left(\frac{Z_{NP}}{\sqrt{X_{NP}^2 + Y_{NP}^2}} \right) \right) \frac{X_{NP}}{\sqrt{X_{NP}^2 + Y_{NP}^2}} \\ \left(\pi d_p - d_p \arctan \left(\frac{Z_{NP}}{\sqrt{X_{NP}^2 + Y_{NP}^2}} \right) \right) \frac{Y_{NP}}{\sqrt{X_{NP}^2 + Y_{NP}^2}} \\ -d_p \end{bmatrix} \quad (3.22)$$

Em que o arco é dado em radianos.

Note-se que o ponto N_{pp} está limitado a um disco de centro em P e raio igual a πd_p . Contudo na figura 3-22 apenas se considerou uma semi-esfera e assim o diâmetro do disco da planificação é πd_p .

A figura 3-22 ilustra a re-projecção das imagens na superfície esférica e subsequente transformação desta no plano.

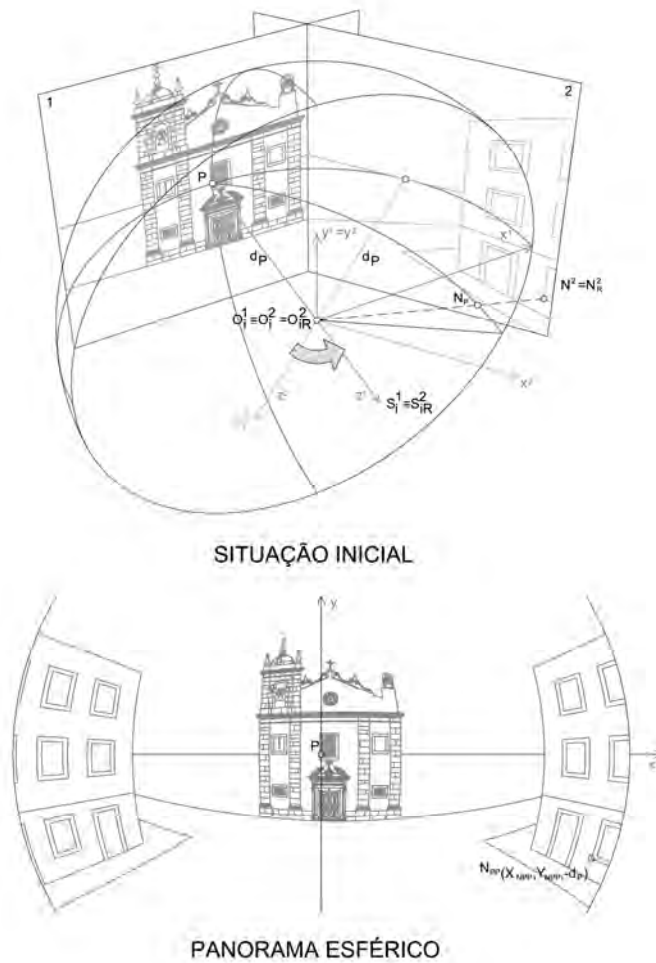


Figura 3-22: A produção do panorama esférico.

3.2.3.6. A rectificação

A rectificação é um processo que se utiliza quando se pretende repor as proporções euclidianas de um plano representado na imagem. Esta operação pode ser definida através da seguinte expressão [IJO*05]:

$$\begin{bmatrix} kX_u \\ kY_u \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 & f_1 & g_1 \\ e_2 & f_2 & g_2 \\ e_0 & f_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_n \\ y_n \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.23)$$

Que pode ser reescrita como:

$$\begin{cases} X_u = \frac{e_1 x_n + f_1 y_n + g_1}{e_0 x_n + f_0 y_n + 1} \\ Y_u = \frac{e_2 x_n + f_2 y_n + g_2}{e_0 x_n + f_0 y_n + 1} \end{cases} \quad (3.24)$$

O que permite suprimir o factor de escala k do cálculo e em que:

X_u e Y_u são as coordenadas de um ponto P_u de uma das figuras,

x_n e y_n são as coordenadas de um ponto P_n da outra figura correspondente ao ponto P_u ,

$e_0, e_1, e_2, f_0, f_1, f_2, g_1, g_2$ são os oito parâmetros da transformação projectiva.

Esta expressão permite perceber que são necessários quatro pares de pontos homólogos para definir os oito parâmetros da transformação projectiva, embora, em geral, na prática se possam utilizar mais do que quatro pares de pontos.

A figura 3-23 ilustra a operação de rectificação.

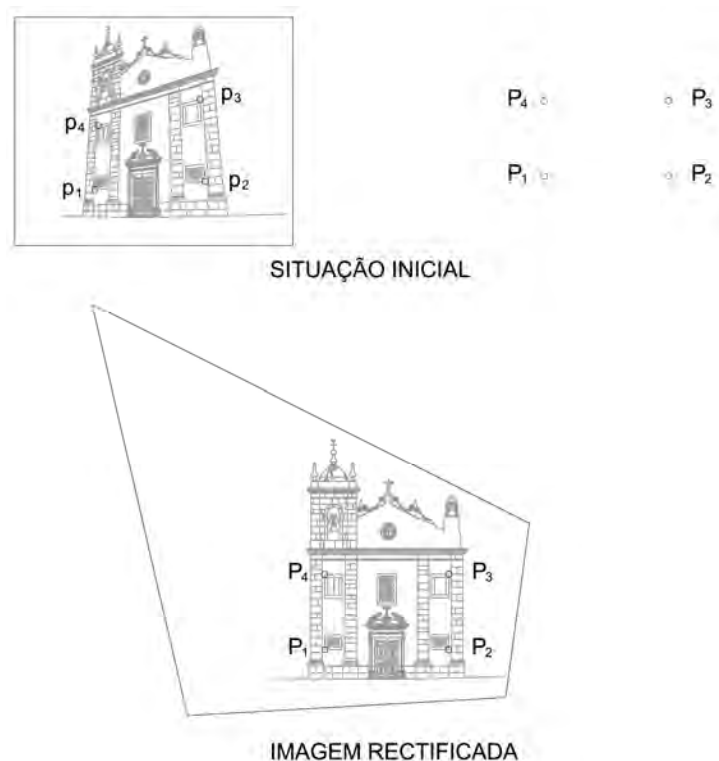


Figura 3-23: Rectificação de imagem.

3.3. O Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT)

O LIDAR (Light Detection and Ranging) é a tecnologia que está na base do varrimento laser terrestre. O seu aparecimento remonta aos anos 70 do século passado quando se demonstrou que era possível medir distâncias entre um avião e o solo com uma precisão de um metro. Porém foi só no final dos anos 80, com o desenvolvimento das unidades inerciais e do GPS que se tornou viável a utilização sistemática do LIDAR para efectuar coberturas aéreas [VM10]

O VL3DT é uma tecnologia mais recente, no que respeita a aplicações topográficas, embora os scanners de triangulação tenham tido uma utilização bem difundida já nos anos 80 do século XX. O aparecimento de scanners de tempo de voo para aplicações topográficas registou-se no final dos anos 90 do século passado [BC99] [BR04]. Foi já no princípio deste século que apareceram os equipamentos de comparação de fase. Desde o seu aparecimento, uma das linhas de investigação que se identifica é a da combinação entre a FDT e o VL3DT [BC99] [Wer99] [BMB01] [BR04].

Um aspecto interessante a notar é que os primeiros scanners terrestres não registavam o valor da intensidade do sinal recebido [FN99] o que tornava mais difícil a diferenciação de detalhes do objecto registado.

3.3.1. Sistemas de VL3DT

De forma simplificada, um dispositivo de VL3DT é composto por 3 componentes: i) uma unidade que emite o laser, ii) um dispositivo óptico-mecânico que deflete o feixe laser, e iii) um dispositivo (sensor) que recebe e regista o laser reflectido pelo ambiente [HL09]. A figura 3-24 ilustra esquematicamente um scanner de VL3DT.

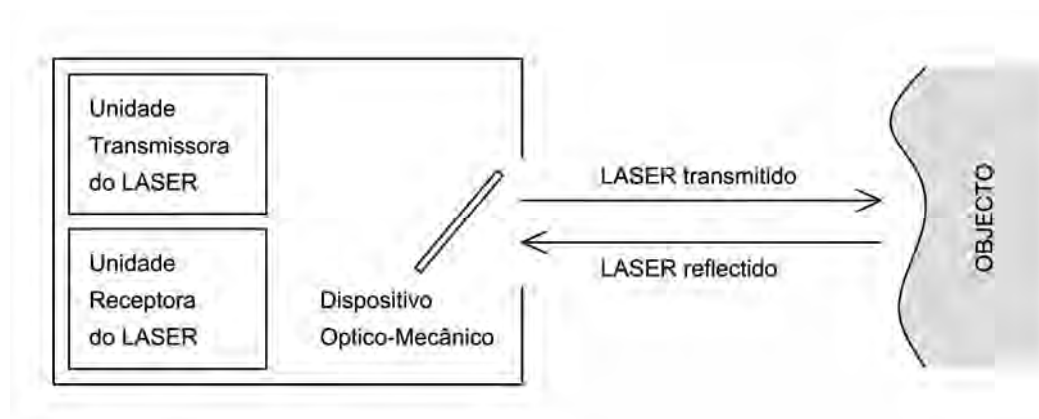


Figura 3-24: Representação esquemática de um dispositivo de VL3DT.

Podemos, de um modo geral, subdividir as tecnologias VL3D terrestres em três grupos, que correspondem a três métodos de medição de distâncias a que estão associados alcances e resoluções típicas:

- A tecnologia de tempo de voo (TOF – do inglês Time of Flight);
- A tecnologia de comparação de fase (PS – do inglês Phase Shift);
- A tecnologia de triangulação óptica.

Em qualquer dos casos trata-se de tecnologia activa (os instrumentos recebem radiação que emitem), em que há luz laser que é emitida pelos dispositivos, reflectida pelas superfícies a registar e recebida de novo pelos dispositivos, que opera de acordo com os princípios da detecção remota.

Também é possível proceder a uma classificação do VL3DT terrestre estritamente baseada no alcance dos sistemas:

- Longo alcance (mais de 500m);
- Médio alcance (100 a 500m);
- Curto alcance (5 a 100m);
- Muito curto alcance (até 5m).

Tipicamente, e por ordem decrescente, podemos estabelecer uma correlação entre o alcance do sistema e o tipo de técnica de medição utilizada [FM08]:

- Tempo de voo (até 2000m);
- Comparação de fase (até 100m);

- Triangulação óptica (até 5m).

Dependendo das marcas e dos fabricantes, estes equipamentos podem ter campos de visão piramidais, cilíndricos ou esféricos, o que pode constituir outro critério de classificação dos sistemas de VL3DT.

Os dispositivos de tempo de voo e de comparação de fase funcionam com feixes de laser lineares (em forma de linha recta de acordo com a simplificação feita em 3.1.1 – A luz laser) enquanto que os sistemas de triangulação funcionam com feixes de laser planos, isto é, nos primeiros o laser incide no objecto de forma pontual enquanto que nos segundos o laser incide no objecto segundo uma linha (resultado da intersecção do plano do laser com a superfície do objecto).

O resultado da aquisição de dados por um dispositivo de VL3D posicionado numa única estação é o que se designa por nuvem de pontos. Uma única nuvem de pontos pode ter desde milhares de pontos, até milhões de pontos.

Cada nuvem de pontos está posicionada num referencial em que a origem corresponde ao ponto de estação do equipamento laser.

As coordenadas dos pontos ficam registadas através de uma distância e dos ângulos azimutal e zenital da linha percorrida pelo impulso de luz. Estas podem ser automaticamente convertidas em coordenadas rectangulares.

3.3.1.1. Sistemas de tempo de voo

Os sistemas de tempo de voo (Time of Flight – TOF) baseiam-se na medição do tempo de ida e volta de impulsos discretos de luz laser não modulada. Conhecendo a velocidade de propagação da luz é possível estimar a distância do instrumento ao ponto de onde foi reflectida a luz. Deste modo a distância, D , do dispositivo a um alvo pode ser calculada de acordo com a expressão:

$$D = \frac{vt}{2n} \quad (3.25)$$

Em que v é a velocidade de propagação da luz no vazio, t é o tempo que o impulso de luz demora entre a emissão e a recepção, e n é o índice de refração do meio que o laser atravessa e que, no caso do ar, se considera aproximadamente igual a 1.00025. Os pulsos de luz laser, embora muito curtos, têm uma dimensão mensurável que depende do seu tempo de duração [VM10]. Por exemplo um pulso com a duração de $600ps$, característico do scanner Trimble GX 3D, corresponde a um comprimento aproximado de $0.18m$.

Na figura 3-25 ilustra-se esquematicamente os elementos constituintes de um sistema de VL3DT de tempo de voo.

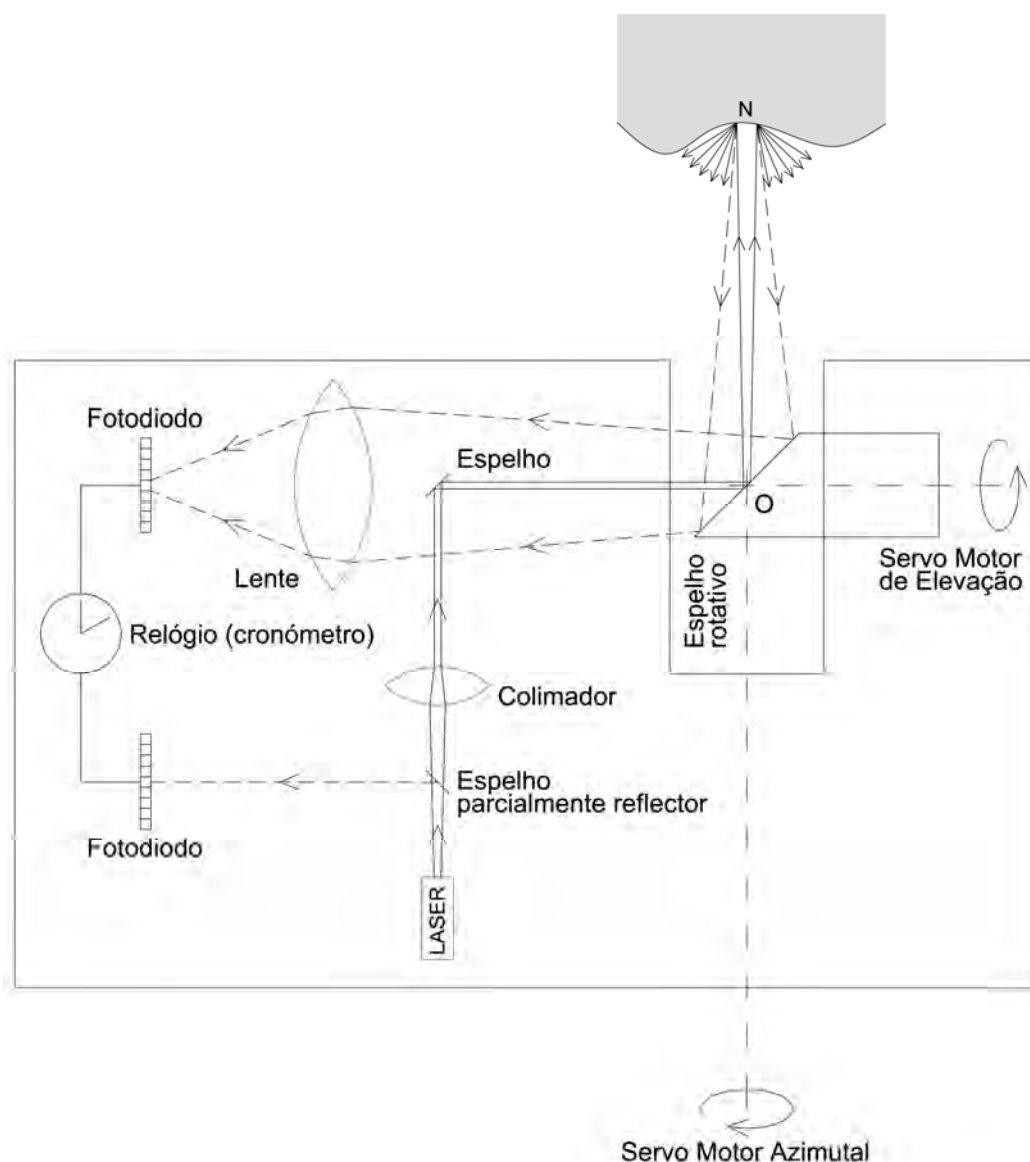


Figura 3-25: Representação esquemática de um dispositivo de VL3DT de tempo de voo.

Quando o dispositivo emite um pulso de laser, uma fracção reduzida deste é utilizada para accionar o cronómetro. Quando a energia é reflectida pelo objecto, é focada através do dispositivo óptico do sistema de modo a incidir no sensor. Após o sensor detectar um determinado nível de energia, correspondente à recepção do laser após reflexão pelo objecto, o cronómetro é parado. Há três métodos que podem determinar a paragem do cronómetro: i) detecção do pico do sinal, ii) detecção de um limite predefinido, e iii) detecção de fracção constante do sinal. Quanto à precisão de medição pode considerar-se a ordem dos $\pm 0.5\text{cm}$ a $\pm 1\text{cm}$, podendo estes valores aumentar para distâncias grandes. A resolução espacial na medição de distâncias depende da capacidade do cronómetro de medir intervalos de tempo muito reduzidos [VM10]. Por exemplo, para que se possa obter

uma resolução espacial de $1mm$, o cronómetro deve conseguir medir intervalos de tempo de $3ps$.

Cada pulso emitido só é registado se o sinal correspondente à sua reflexão for detectado antes da emissão do pulso seguinte. A frequência assim determinada limita o alcance do dispositivo [HL09]. Por exemplo, um sistema que opera a $100kHz$ poderá ter como alcance máximo os $1500m$ admitindo que o sinal reflectido tem intensidade suficiente para ser detectado.

A possibilidade de medição de coordenadas espaciais por um sistema de VL3D reside no movimento combinado de dois dispositivos: i) um servo-motor de elevação, e ii) um servo-motor horizontal. O primeiro é responsável pela deflecção do laser segundo um plano vertical, permitindo a obtenção de um perfil. O segundo possibilita o varrimento da cena criando múltiplos perfis. Assim as coordenadas de um ponto N podem ser expressas num referencial polar como $N_{(D,\alpha,\delta)}$ em que D é a distância acima calculada, α e δ são ângulos, azimutal e zenital, respectivamente, que o feixe laser faz relativamente a um referencial tri-ortogonal, xyz , associado ao dispositivo de VL3D, conforme se ilustra na figura 3-26.

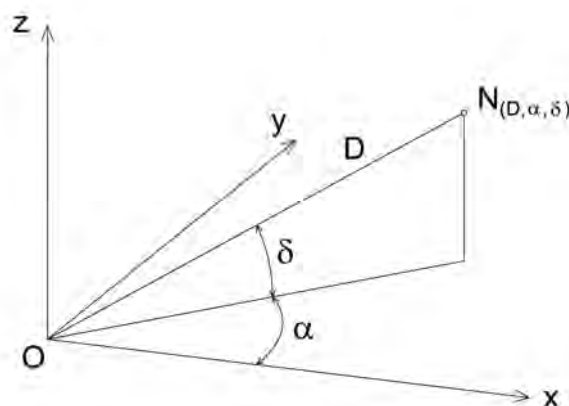


Figura 3-26: Coordenadas polares.

3.3.1.2. Sistemas de comparação de fase

Nos sistemas de comparação de fase (Phase Shift – PS) a emissão de laser é contínua e modulada, com várias modulações, sendo a medição das distâncias feita através das diferenças de fase entre os sinais emitidos e recebidos. Ao emitir o sinal modulado, parte deste faz-se incidir sobre um sensor que regista a modulação. O sinal reflectido pelo objecto é recebido pelo dispositivo de VL3D sendo ambos os sinais comparados. Deste

modo a distância, D , do dispositivo a um alvo pode ser calculada de acordo com a expressão:

$$D = \left(\frac{\Delta\varphi}{2\pi} + N \right) \frac{\lambda}{2} \quad (3.26)$$

Em que $\Delta\varphi$ é a diferença de fase entre a onda emitida e a onda recebida, expressa em radianos, e λ é o comprimento da onda modulada, e N é um número inteiro que corresponde ao número de ciclos da onda modulada e que é indeterminado. Para que a expressão possa obter de forma determinada a distância que se pretende resolver, uma das modulações da onda (a mais longa) deve ser tal que não introduza ambiguidade para o alcance das distâncias que se pretendem medir, desempenhando as outras modulações, em que há ambiguidade, o papel de resolverem a precisão da medição. Querendo conceber um dispositivo com um alcance máximo de 80m, então o comprimento de modulação maior na onda que permite uma não ambiguidade é de 160m, o que significa uma frequência de modulação de 1.88MHz . A necessidade de ter mais que uma modulação prende-se com a exigência de precisão dos dispositivos. A precisão da medição da diferença de fase é da ordem de 1% do comprimento da onda de modulação. No exemplo dado, se apenas se considerasse a modulação mais longa a precisão que se conseguiria seria de $\pm 8\text{cm}$ o que, obviamente, não é compatível com precisões elevadas [PB07]. As coordenadas polares de um ponto N qualquer são calculadas do mesmo modo que no caso anterior.

Uma vez que se trata de um processo contínuo, este tipo de *scanners* consegue ser mais rápido que os de tempo de voo e consegue também proceder a uma captura de pontos com uma taxa superior.

Na figura 3-27 ilustra-se a componente de modulação do feixe característica dos sistemas de VL3D de comparação de fase.

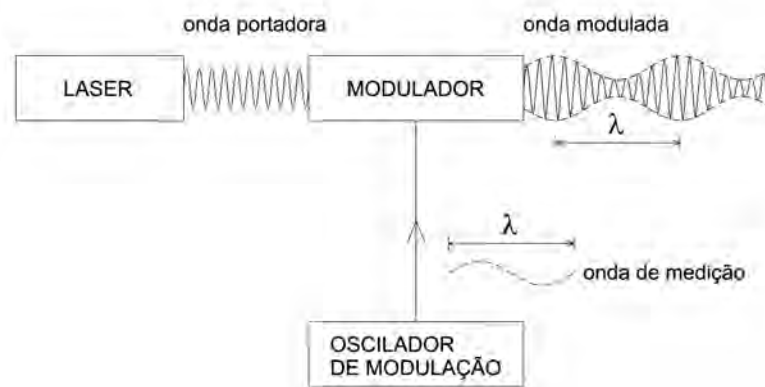


Figura 3-27: Representação esquemática do princípio de modulação da onda.

3.3.1.3. Sistemas de triangulação

Os sistemas de triangulação óptica baseiam a medição das distâncias na triangulação da posição do ponto em que o laser é reflectido. Nos *scanners*, os dispositivos de emissão e recepção do laser encontram-se separados por uma distância designada por distância de base. Com esta distância e com os ângulos de emissão e recepção do laser é possível determinar um triângulo em que o vértice oposto à base corresponde ao ponto a medir.

O sistema emite um feixe plano de laser que secciona o objecto a registar. A linha de intersecção do feixe com o objecto é capturada por um sensor do tipo CCD ou CMOS integrado numa câmara fotográfica própria. A quantidade de pontos que é possível obter para uma destas secções depende da capacidade do sensor. A figura 3-28 esquematiza o princípio de funcionamento de um dispositivo de VL3D de triangulação.

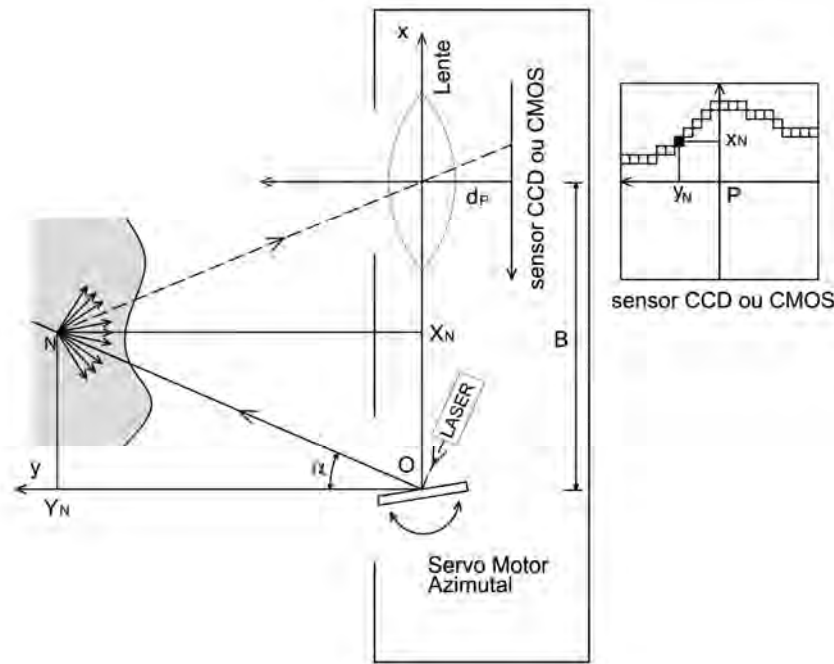


Figura 3-28: Representação esquemática de um scanner de triangulação.

As coordenadas rectangulares de um ponto $N_{(X_N, Y_N, Z_N)}$ qualquer do objecto, no referencial cartesiano XYZ associado ao dispositivo de VL3D, são calculadas em função das coordenadas do ponto imagem correspondente, x_N e y_N , da inclinação do feixe laser, α , da distância principal da câmara, d_p , e da distância da base, B .

Note-se que:

$$\begin{cases} \tan \alpha = \frac{X_N}{Y_N} \\ \frac{B - X_N}{Y_N} = \frac{x_N}{d_P} \end{cases} \quad (3.27)$$

De onde resulta que

$$\begin{cases} Y_N = \frac{B d_P}{d_P \tan \alpha + x_N} \\ X_N = Y_N \tan \alpha \\ Z_N = Y_N \frac{y_N}{d_P} \end{cases} \quad (3.28)$$

3.3.1.4. As nuvens de pontos 3D

Uma nuvem de pontos 3D é uma colecção de pontos dos quais são conhecidas as suas coordenadas num determinado referencial. No caso dos dispositivos de TOF ou PS, em que os pontos são registados num sistema de coordenadas polares, pode ainda considerar-se que estas podem ser convertidas em coordenadas rectangulares cartesianas X , Y e Z . As coordenadas de um ponto P de uma nuvem de pontos podem ser expressas por $X = D \sin \delta \cos \alpha$, $Y = D \sin \delta \sin \alpha$ e por $Z = D \cos \delta$ em que D , α e δ são as coordenadas polares do mesmo ponto como descrito em 3.3.1.1.

Uma vez que a determinação das coordenadas de pontos se baseia na emissão e recepção de radiação electromagnética, em geral os pontos das nuvens de pontos têm associado também um valor de intensidade (I), correspondente ao sinal recebido, normalmente expresso numa escala de 8 bits (0 a 255). Isto não é, em geral, verdadeiro para os sistemas de triangulação.

Assim, um ponto P de uma nuvem de pontos é normalmente expresso por um vector com quatro componentes (X, Y, Z, I) .

Como se verá adiante, podem ser adicionadas a este vector outras coordenadas. Por exemplo três coordenadas radiométricas (R, G, B) decorrentes da associação de imagens fotográficas digitais às nuvens de pontos.

Uma medida de resolução da nuvem de pontos é o espaçamento médio entre pontos.

É também relevante pensar na resolução da nuvem de pontos em função da possibilidade de se distinguirem detalhes. De acordo com o teorema de amostragem de Nyquist, para que um detalhe possa ser detectado, o espaçamento entre pontos deverá ser, no máximo, igual a metade do tamanho do detalhe a registar.

3.3.1.5. As imagens de reflectância resultantes do VL3DT

O valor de intensidade (I) associado a cada ponto de uma nuvem de pontos pode dar origem a um tipo de imagem com a designação comum de imagem de reflectância. A reflectância corresponde à razão entre a irradiância, ou densidade de fluxo radiante incidente, e a emitância, ou densidade de fluxo irradiante (reflectido) medida pelo sensor [LKC04]. Este parâmetro é função: i) da distância do dispositivo de VL3DT ao ponto de reflexão no objecto, ii) das condições atmosféricas, iii) da inclinação do feixe laser em relação à superfície do objecto, iv) da natureza, textura e condição da superfície, e v) do comprimento de onda da luz laser incidente. Normalmente as nuvens de pontos podem ser visualizadas com o valor de reflectância associado a cada ponto.

3.3.1.6. Equipamentos de aquisição e processamento

Existem no mercado várias marcas e modelos de equipamentos de VL3DT a operarem em comprimentos de onda que variam entre os $400nm$ e os $1600nm$ [VM10]. Estes variam de acordo com um conjunto de características que os tornam mais ou menos adequados para um determinado fim. A comparação entre equipamentos pode ser feita sob vários aspectos como a resolução, o princípio de medição, alcance, rigor, taxas de captura, diferenciação dos dados, comprimento de onda do feixe, potência, e outros [BHM01] [Lit04] [Der04] [BVM03] [Sgr05] [DB05] [FS05] [AGV07] [ARM*11]. As comparações que encontrámos eram sempre parciais, quer nos critérios, quer na abrangência. Procedemos a uma comparação baseada no que identificámos como denominador comum nas brochuras de vários tipos de equipamento disponíveis na internet. Nas tabelas 3-5 e 3-6 listam-se algumas marcas e modelos de sistemas de VL3DT e respectivas características.

O campo de visão, FOV (do inglês *field of view*), pode ser genericamente classificado como: i) piramidal, ii) cilíndrico, e iii) esférico. No FOV piramidal apenas uma região estreita do espaço (em forma de pirâmide rectangular) é acessível ao equipamento. No FOV cilíndrico todo o espaço, à excepção de duas regiões cónicas, é acessível ao equipamento. No FOV esférico todo o espaço, à excepção de uma região cónica, é acessível ao equipamento. Naturalmente o alcance, em termos de distância, não é ilimitado.

COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS DE VARRIMENTO LASER 3D							
MARCA	MODELO	princípio de medição	tipo de laser	classe de segurança (IEC 60825 - 1)	FOV (campo de visão) (Horizontal x Vertical)	alcance (m)	
						mínimo	máximo
Leica (www.leica.com)	ScanStation C10	TOF	532nm	3R	360° x 270°	0,1	300@80%alb. 134@18%alb.
	ScanStation 2	TOF	verde	3R	360° x 270°		300@90%alb. 134@18%alb.
	HDS 6100	fase	(visível)	3R	360° x 310°		79
	HDS 4400	TOF	905nm	3R	360° x 80°	5	600@40%alb. 150@5%alb.
	HDS 3000 v.1.5	TOF	verde	3R	360° x 270°	1	100
	HDS 3000	TOF	verde	3R	360° x 270°		300@90%alb. 134@18%alb.
(CyraX)	Cyrex 2500	TOF	verde	3R	40° x 40°		100
Riegl (www.riegl.com)	LMS Z620	TOF	IV próximo	1	360° x 80°	2	2000@80%alb. 650@10%alb.
	LMS Z420i	TOF	IV próximo	1	360° x 80°	2	1000@80%alb. 350@10%alb.
	LMS Z390i	TOF	IV próximo	1	360° x 80°	1	400@80%alb. 140@10%alb.
	VZ 400	TOF	IV próximo	1	360° x 100°	1	500@80%alb. 160@10%alb.
	LPM 321	TOF	IV próximo	1	360° x 150°	10	6000@80%alb. 1500@10%alb.
Trimble (www.trimble.com)	GX 3D	TOF	532nm	3R	360° x 60°		350@80%alb. 155@18%alb.
Z+F (www.zf-laser.com)	Imager 5006i	fase	685nm	3R	360° x 310°	0,4	79
	Imager 5006	fase	685nm	3R	360° x 310°	1	79
	Imager 5003	fase	685nm	3R	360° x 310°	1	53,5
	Imager 5003	fase	685nm	3R	360° x 310°	1	25,2
Optech (www.optech.ca)	Iliris 3D	TOF	1500nm	1	40° x 40°		800@20%alb. 350@4%alb.
Faro (www.faro.com)	Photon 120	fase	785nm	3R	360° x 320°	0,6	120
	Photon 80	fase	785nm	3R	360° x 320°	0,6	80
	Photon 20	fase	785nm	3R	360° x 320°	0,6	20
Zscanner (www.zcorp.com)	800	triangulação	(visível)	2	(livre)		0,3
	700PX	triangulação	(visível)	2	(livre)		0,3
	700CX	triangulação	(visível)	2	(livre)		0,3
	700	triangulação	(visível)	2	(livre)		0,3
	800	triangulação	(visível)	2	(livre)		0,3
Minolta (www.konicaminolta.com)	Vi 910	triangulação	(visível)	2	1,196mx0,897m a 2,5m	0,6	2,5
	Vi 9i	triangulação	(visível)	2	1,495mx1,121m a 2,5m	0,6	2,5
	Range 7	triangulação	660nm	2	0,267mx0,334m a 0,8m	0,45	0,8
	Range 5	triangulação	660nm	2	0,267mx0,334m a 0,8m	0,45	0,8
Deltasphere (www.deltashpere.com)	3000 3D Digitizer	TOF	780nm	3R	360° x 290°	0,15	15
Topcon (www.topcon.com)	GLS 1000	TOF	(invisível)	1	360° x 70°	1	1100@90%alb. 500@18%alb.

Tabela 3-5: Comparação entre equipamentos de VL3DT.

COMPARAÇÃO ENTRE EQUIPAMENTOS DE VARRIMENTO LASER 3D					
MARCA	MODELO	rígor			resolução máxima
		posição	distância	angular	
Leica (www.leica.com)	ScanStation C10	6mm (a 50m)	4mm (a 50m)	60urad	1mm
	ScanStation 2	6mm (a 50m)	4mm (a 50m)	60urad	1mm
	HDS 6100	5mm (1m a 25m) 8mm (até 50m)	2mm@90alb. 3mm@18%alb. (até 25m)	125urad	1,6mm
	HDS 4400		20mm a 50m, 50mm a 700m	0,04°	(0,108° entre pulsos)
	HDS 3000 v.1.5	5mm (a 50m)	4mm (a 50m)	60urad	1,2mm
	HDS 3000	8mm (a 50m)	4mm (a 50m)	60urad	1,2mm
(CyraX)	Cyrex 2500	8mm (a 50m)	4mm (a 50m)	60urad	1,2mm
Riegl (www.riegl.com)	LMS Z620		10mm		0,002°V 0,0025°H
	LMS Z420i		10mm		0,002°V 0,0025°H
	LMS Z390i		8mm		0,001°V 0,001°H
	VZ 400		5mm		0,0005°V 0,0005°H
	LPM 321		25mm		0,0091°V 0,009°H
Trimble (www.trimble.com)	GX 3D	12mm (a 100m)	7mm (a 100m)	60urad H, 70urad V	3,2mm a 100m
Z+F (www.zf-laser.com)	Imager 5006i	1mm (a 50m)	0,7mm@100%alb. 1,5mm@20%alb. (até 25m)	0,007°	0,0018°V 0,0018°H
	Imager 5006	1mm (a 50m)	1mm@100%alb. 2mm@20%alb. (até 25m)	0,007°	0,0018°V 0,0018°H
	Imager 5003	5mm	1,3mm@100%alb. 3mm@20%alb. (até 10m)	0,02°	0,018°V 0,01°H
	Imager 5003	3mm	0,9mm@100%alb. 1,6mm@20%alb. (até 10m)	0,02°	0,018°V 0,01°H
Optech (www.optech.ca)	Iliris 3D	8mm (a 100m)	7mm (a 100m)		0,00115°
Faro (www.faro.com)	Photon 120		2mm@90%alb. 2mm@10%alb. (até 25m)		0,009°V 0,009°H
	Photon 80		2mm@90%alb. 2mm@10%alb. (até 25m)		0,009°V 0,009°H
	Photon 20		2mm@90%alb. 2mm@10%alb. (até 25m)		0,009°V 0,009°H
Zscanner (www.zcorp.com)	800	40microns em XY			0,1mm em XYZ
	700PX	50microns em XY			0,1mm em XYZ
	700CX	50microns em XY			0,1mm em Z
	700	50microns em XY			0,1mm em Z
	600	80microns em XY			0,1mm em Z
Minolta (www.konicaminolta.com)	Vi 910	0,22mm em X, 0,16mm em Y, 1mm em Z			(640x480) em 0,111mx0,083m
	Vi 9i	0,05mm em XYZ			(640x480) em 0,23mx0,056m
	Range 7	40microns (entre alvos)			(1280x1024) em 0,079mx0,095m
	Range 5	60microns (entre alvos)			(1280x1024) em 0,150mx0,188m
Deltasphere (www.deltashpere.com)	3000 3D Digitizer		7mm	0,015°	0,067°V 0,067°H
Topcon (www.topcon.com)	GLS 1000		4mm (a 150m)		

Tabela 3-6: Comparação entre equipamentos de VL3DT (continuação).

Deve também referir-se que o facto de um equipamento estar classificado numa classe de segurança mais restritiva não é por si só um factor de risco. Apenas significa que devem ser tomadas medidas adicionais de segurança na utilização do equipamento. Com

efeito, as potências de emissão dos sistemas de VL3DT terrestres são relativamente baixas, podendo variar entre $1mW$, típico dos sistemas de tempo de voo, e os $10mW$ a $40mW$, típicos dos sistemas de comparação de fase [ST09].

Para algumas aplicações pode ser importante associar imagens fotográficas aos dados posicionais. Nestes casos convém optar por sistemas que tenham implementada e devidamente calibrada esta opção no conjunto do equipamento. A este respeito destacam-se os sistemas da marca Riegl ou alguns modelos da marca Zscanner.

Os valores expressos como rigor, na verdade referem-se em geral a precisões expressas para um desvio padrão, isto é, ocorrem em 68% das vezes. Note-se que estes valores dependem do albedo das superfícies, isto é, da percentagem de radiação que as superfícies reflectem, e variam com a distância dos dispositivos de VL3DT a estas. Em relação à resolução, nota-se ainda que esta pode ser expressa de duas formas: i) distância entre pontos, e ii) resolução angular. A resolução angular implica diferentes distâncias entre pontos consoante a distância ao objecto.

Para complementar os valores apresentados nas tabelas 3-5 e 3-6 aconselha-se a consulta das brochuras dos equipamentos disponíveis na internet.

Após a aquisição dos dados é necessário proceder ao seu processamento. Este envolve a disponibilidade de *software* e *hardware* adequado. Normalmente as marcas de *software* recomendam configurações mínimas adequadas ao correcto desempenho das ferramentas que fornecem. Ao nível das estações de trabalho há aspectos importantes a considerar face à elevada dimensão e quantidade dos ficheiros envolvidos. Note-se que não é anormal dispor de vários ficheiros com mais de 1Gb cada, como não é anormal ter de manipular em simultâneo várias dezenas de Gb de informação. Este é um dos inconvenientes destes processos. Contudo, a tecnologia informática é prolífica e rapidamente vai colocando ao dispor ferramentas com maior capacidade de processamento. Assim, e observando sempre as recomendações dos fabricantes, sugere-se que um posto de trabalho deva dispor de um ou mais monitores de grande formato, computador(es) com processadores múltiplos, placa gráfica profissional, sistema operativo de 64bits (preferível em relação aos sistemas de 32bits).

Em relação ao *software* nunca é demais recordar que, provavelmente, um único *software* não dá resposta a todos os problemas sendo necessário seleccionar os que mais se adequam aos fins pretendidos, eventualmente privilegiando *software* que permita o mais possível a integração e análise de vários tipos de dados.

Na tabela 3-7 listam-se e comparam-se algumas ferramentas de *software* comercial utilizadas para processamento de nuvens de pontos indicando as suas principais funcionalidades. Esta tabela, bem com a anterior, foram produzidas entre 2009 e 2010.

COMPARAÇÃO DE SOFTWARE PARA VARRIMENTO LASER 3D					
FABRICANTE	DESIGNAÇÃO	FUNCIONALIDADE PRINCIPAL			
		Modelação	Inspeção	Visualização	Desenho
Leica (www.leica.com)	Cyclone-Register	x			
	Cyclone-Model	x			
	Cyclone-Survey	x			
	Cyclone-Viewer Pro			x	
	Leica TruView&Cyclone-Publisher			x	
	Cyclone II Topo	x			
	Cloudworks				x
Riegl (www.riegl.com)	Riscan Pro	x	x	x	
Trimble (www.trimble.com)	RealWorks survey	x	x		
	RealWorks viewer			x	
Z+F (www.zf-laser.com)	Z+F Project view			x	
LFM (www.zf-uk.com)	LFM server				
	LFM netview			x	
	LFM modeller	x			
	LFM register	x			
	LFM viewer			x	
	LFM viewerLite			x	
Delft Tech (www.visualsensorfusion.com)	VSF 3DSM	x			
Innovmetric (www.innovmetric.com)	Pifedit	x			
	Polyworks-Imalign	x			
	Polyworks-Iminspect		x		
	Polyworks-Immerge	x			
	Polyworks-Imedit	x			
	Polyworks-Imview			x	
Gexcel (www.gexcel.it)	JRC 3D Reconstructor	x	x		
	JRC 3D viewer			x	
	3D Manager			x	
PhoCAD (www.phocad.de)	PHIDIAS	x			
PointTools (www.pointtools.com)	PointTools View Pro			x	
	PointTools Model				x
	Point Tools Rhino				x
KUBIT (www.kubit.de)	Point Cloud				x
Z corporation (www.zcorp.com)	Zscan	x	x		
Minolta (www.konicaminolta.com)	Polygon Editing Tool	x	x		
DeltaSphere (www.3rdtech.com)	Scene Vision 3D	x	x		
Geomagic (www.geomagic.com)	geomagic-Studio	x			
	geomagic-Qualify		x		
Rapidform (www.rapidform.com)	rapidform-XOS	x			
	rapidform-XOR	x			
	rapidform-XOV		x		
Technodigit (www.3dreshaper.com)	3D Reshaper	x	x	x	
Menci (http://www.menci.com)	PolyCloud				x
	Z Map Laser				x
	Zview			x	

Tabela 3-7: Comparação entre software para processamento de nuvens de pontos.

Por norma os fabricantes dos equipamentos de VL3D fornecem *software* que permite realizar um processamento mínimo dos dados recolhidos. Este processamento mínimo pode traduzir-se apenas na visualização e conversão de dados RAW para formatos importáveis por *software* genérico ou pode também implementar funcionalidades de detecção automática de alvos e orientação de nuvens. Como os fabricantes de equipamentos recomendam a utilização de alvos tipo para auxiliar nos processos de orientação, é comum

que o *software* do fabricante não tenha implementado, por exemplo, algoritmos de optimização de ajuste entre nuvens de pontos como é o caso do ICP. Note-se no entanto que alguns fabricantes já oferecem pacotes de *software* bastante completos, como é o caso do *software* RiScan da Riegl ou o *software* LFM da Z+F.

Contudo, por norma, ao pretender-se um processamento mais completo dos dados de varrimento laser é comum trabalhá-los através de pacotes de *software* genérico como o Polyworks, o JRC 3D Reconstructor, o Rapidform, entre outros.

Em geral estes *softwares* encontram-se estruturados por módulos de acordo com funcionalidades específicas. Far-se-á agora uma descrição breve de duas ferramentas de *software* testadas, o Polyworks e o JRC 3D Reconstructor.

O *software* Polyworks apresenta cinco módulos separados: i) Pifedit, ii) ImAlign, iii) ImInspect, iv) ImMerge, e v) ImEdit. O primeiro módulo permite a edição de nuvens de pontos isoladas para limpar dados indesejáveis ou espúrios. O módulo ImAlign converte as nuvens de pontos em malhas regulares e permite as operações de orientação entre nuvens. Implementa o algoritmo ICP para ajuste da posição entre nuvens de pontos e apresenta a enorme vantagem de permitir o ajuste simultâneo considerando várias nuvens móveis. O módulo ImInspect permite a visualização e inspecção através de várias funções que permitem avaliar a qualidade métrica do modelo resultante do módulo anterior. O módulo ImMerge permite a criação de malhas trianguladas, de acordo com vários critérios, a partir do modelo anterior. O módulo ImEdit permite manipular as malhas triangulares resultantes da etapa anterior. Implementa funções de preenchimento de vazios, de seccionamento, e de engenharia inversa. Este pacote de *software*, apesar de bastante versátil, não implementa as funções que permitem associar dados radiométricos RGB às nuvens de pontos e às malhas triangulares. Contudo permite a importação de nuvens de pontos com cor associada. O inconveniente deste processo é que ao produzir os modelos triangulados, a informação associada à cor baixa drasticamente de qualidade uma vez que não se dispõe da imagem para mapear sobre o modelo triangulado.

O *software* JRC 3D Reconstructor apresenta seis módulos integrados no mesmo ambiente de trabalho: i) Preprocessing, ii) Pre-registration, iii) Registration, iv) Meshing, v) Camera calibration, vi) Inspection. O módulo *Preprocessign* converte as nuvens de pontos em malhas regulares, procedendo à eliminação automática de ruído, derivando informação complementar útil para as etapas seguintes. O módulo *Registration* permite a orientação relativa entre nuvens de pontos. O módulo *Meshing* permite gerar malhas triangulares a partir das nuvens de pontos. O módulo *camera calibration* permite a orientação de imagens 2D relativamente ao modelo 3D. O módulo *Inspection* permite avaliar a qualidade métrica do ajuste entre nuvens ou malhas triangulares. Para além destes módulos, o *software* implementa ainda várias funções de extracção de informação como o seccionamento,

produção de ortoimagens, exportação em formatos variados, georreferenciação, entre outras. A vantagem principal deste *software* relativamente ao anterior reside no facto de os vários módulos estarem implementados no mesmo ambiente de trabalho o que permite uma abordagem mais linear ao processamento da informação. Outra vantagem reside no facto de implementar a função de calibração de imagens 2D. Esta permite tirar partido de toda a imagem 2D pois permite que esta seja mapeada sobre as malhas triangulares sem perda de informação. Contudo é menos versátil no processo de orientação relativa uma vez que não permite o ajuste simultâneo de várias nuvens de pontos móveis. Esta é uma limitação séria. Também não apresenta nenhum módulo de engenharia inversa o que, sob este aspecto, o torna mais limitado que o *software* Polyworks.

Há uma categoria de ferramentas de *software* que têm por objectivo permitir que os dados possam ser processados por outras ferramentas que não estavam à partida preparadas para receber a informação relativa às nuvens. Trata-se das ferramentas de *plug-in*. Estas permitem, por exemplo, utilizar os programas de CAD como o AutoCAD ou o Microstation para restituir informação sobre as nuvens de pontos. Um exemplo deste tipo de ferramenta é o *software PointCloud*. Estas podem funcionar a partir do ambiente dos *softwares* de processamento de nuvens de pontos ou a partir do ambiente das ferramentas de CAD.

Também há uma categoria de ferramentas de *software* que permite a segmentação dos modelos oriundos de VL3D e a sua associação com bases de dados alfanuméricas. É o caso do *software* 3D Manager da Gexcel. Através desta ferramenta o utilizador pode inquirir o modelo, desenhar objectos simplificados (pontos, linhas, polilinhas) ou objectos mais complexos, através do *plug-in PointCloud*, aos quais pode associar atributos que ficam registados em base de dados.

Por fim há a considerar a categoria das ferramentas de visualização. É, por exemplo, o caso das ferramentas LFM viewer, JRC 3D viewer, e CyclonePublisher. Estas permitem aos utilizadores finais, os clientes da documentação, que em geral não são especialistas em VL3DT, visualizá-la de forma intuitiva e realizar pequenas operações de inquirição como medir distâncias ou colocar anotações. Algumas destas permitem a visualização em ambiente *web* e a interacção simultânea de mais que um utilizador com o modelo.

Naturalmente há ainda que considerar toda uma gama de acessórios que fazem parte do *hardware* necessário ao funcionamento dos sistemas. Estamos a considerar os tripés, mastros, baterias, cartões de memória, câmaras fotográficas, alvos, entre outros.

3.3.2. Referenciais geométricos

A uma nuvem de pontos está sempre associado um referencial cartesiano rectangular com origem, O_c , e eixos x_c , y_c e z_c . A origem do referencial corresponde à posição do *scanner* laser relativamente ao objecto na altura do varrimento. Designa-se um ponto genérico de uma nuvem de pontos por N_c .

À semelhança do que se nota para a fotogrametria, pode-se utilizar índices superiores para distinguir nuvens de pontos.

Quando se considerar a combinação da fotogrametria com o varrimento laser adoptar-se-á para a fotogrametria a notação definida em 3.2.3 e para o varrimento laser a notação aqui referida.

Também para o referencial do objecto se utilizará a notação referida em 3.2.3.

A notação aqui referida servirá para efeitos da caracterização dos processos seguintes.

3.3.3. Processos

Os termos orientação relativa, orientação externa e orientação absoluta são oriundos da fotogrametria. Contudo há autores [PB07] [Kra07] que começam a utilizá-los para definir um conjunto de operações análogas no processamento de nuvens de pontos oriundas de VL3D.

3.3.3.1. Orientação relativa

A orientação relativa é um processo de concatenação de várias nuvens de pontos num referencial comum. Esta operação também se pode designar por registo, tradução directa do termo inglês *registration*, que é habitualmente utilizado nos pacotes de *software* de processamento de nuvens de pontos. A operação encontra-se entre a orientação relativa e a orientação absoluta da fotogrametria. Mas enquanto que na fotogrametria a primeira é sujeita a 5 parâmetros (três rotações e duas translações) e a segunda é sujeita a 7 parâmetros (três rotações, três translações e um factor de escala), no varrimento laser a orientação relativa é sujeita a 6 parâmetros (três rotações e três translações). Em termos operativos a operação é análoga à orientação absoluta na fotogrametria à parte do factor de escala, no caso terrestre.

Para que se possa proceder à orientação relativa de duas nuvens de pontos, 1 e 2, é preciso identificar pares de pontos homólogos entre ambas. Pontos homólogos são pontos que representam o mesmo ponto do objecto.

Nesta operação uma das nuvens, por exemplo a nuvem 1, é considerada imóvel, funcionando como referência, e a outra é considerada móvel, analogamente à orientação

relativa dependente em fotogrametria. Considerando um número mínimo de 3 pontos homólogos é possível estimar os seis parâmetros $(\alpha, \beta, \delta, \Delta x, \Delta y, \Delta z)$ da transformação que permite a orientação da nuvem móvel.

O objectivo é associar a nuvem de pontos 2 ao referencial da nuvem de pontos 1 de tal modo que um ponto $N_{C(X_{C2}, Y_{C2}, Z_{C2})}^2$, com coordenadas expressas no sistema de referência da nuvem 2, correspondente a um ponto $N_{C(X_{C1}, Y_{C1}, Z_{C1})}^1$, com coordenadas expressas no sistema de coordenadas da nuvem 1, passe a ter coordenadas $N_{C2RT(X_{C2RT}, Y_{C2RT}, Z_{C2RT})}^2$ idealmente coincidentes com as coordenadas do ponto N_C^1 .

Esta transformação pode traduzir-se por:

$$\begin{bmatrix} X_{C1} \\ Y_{C1} \\ Z_{C1} \end{bmatrix} = M_{3 \times 3} \begin{bmatrix} X_{C2} \\ Y_{C2} \\ Z_{C2} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

Expressando as rotações e as translações numa única matriz pode-se reescrever a expressão anterior recorrendo a coordenadas homogêneas:

$$\begin{bmatrix} X_{C1} \\ Y_{C1} \\ Z_{C1} \\ 1 \end{bmatrix} = M_{4 \times 4} \begin{bmatrix} X_{C2} \\ Y_{C2} \\ Z_{C2} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

A matriz $M_{4 \times 4}$ tem a forma:

$$M = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \Delta x \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \Delta y \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Os nove parâmetros a_{ij} da matriz $M_{4 \times 4}$ são função de três rotações sequenciais (α, β, δ) dos eixos do referencial da nuvem móvel em torno dos seus eixos, e os três parâmetros $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ correspondem a três translações do referencial da nuvem móvel. Estes três últimos parâmetros correspondem às coordenadas da origem do referencial da nuvem 2 orientada, expressos no sistema de coordenadas da nuvem 1. Costuma notar-se a matriz $M_{4 \times 4}$ como matriz de posição da nuvem de pontos ou *pose* (termo inglês). A cada nuvem de pontos orientada corresponde uma matriz de posição. Naturalmente à nuvem imóvel corresponde uma matriz de posição que é a matriz identidade $I_{4 \times 4}$. Na figura 3-29 ilustra-se este processo.

Normalmente são utilizados mais que 3 pontos homólogos, bem distribuídos pela área em causa, embora estes já forneçam informação redundante para o cálculo dos referidos parâmetros. Havendo informação redundante, os parâmetros são determinados recorrendo a técnicas de ajuste como é o caso do método dos mínimos quadrados.

Os pontos homólogos podem ser de dois tipos: i) pontos singulares do objecto, ou ii) pontos materializados para o efeito, vulgo alvos. Os pontos singulares devem ser pontos de fácil identificação para o operador não se admitindo que se trate de pontos de arestas limite do objecto pois em geral têm pior qualidade métrica na nuvem de pontos [Eng00] [BAB*03] [Eng07]. Os pontos materializados para o efeito, ou seja, os alvos, podem ser planos ou volumétricos (por exemplo esféricos ou cilíndricos).

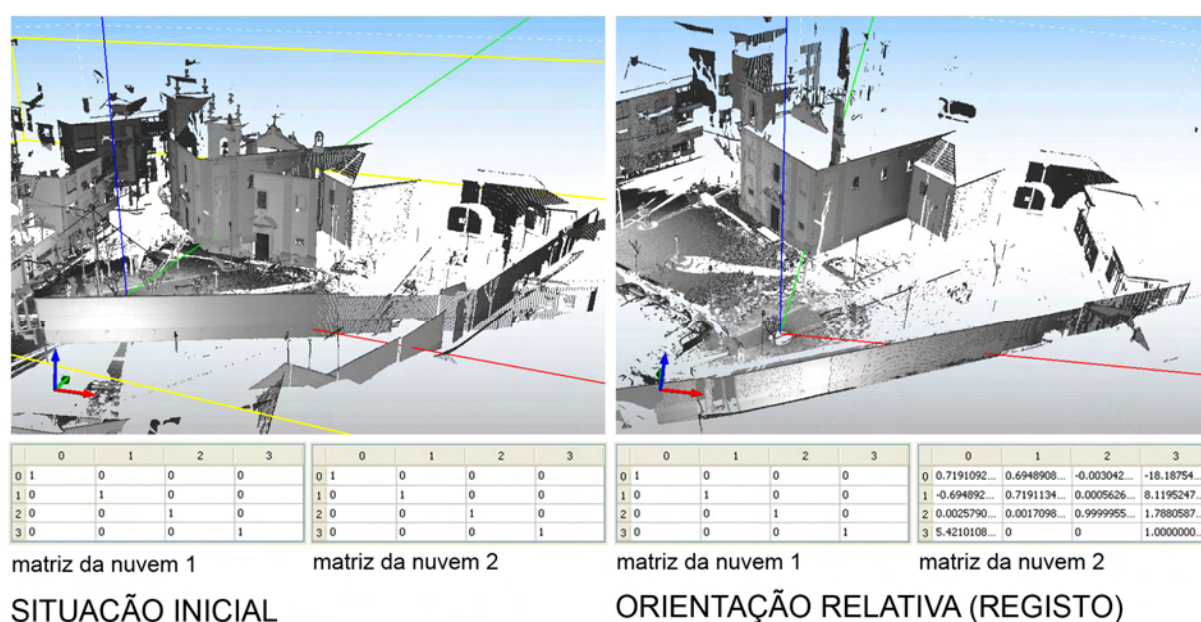


Figura 3-29: Orientação relativa de duas nuvens de pontos.

Na figura 3-30 ilustra-se um exemplo de alvo. Os alvos devem ser feitos de material apropriadamente reflectante para que a sua identificação na nuvem de pontos seja fácil e clara. À esquerda na figura tem-se uma imagem do alvo e à direita a correspondente nuvem de pontos com a identificação do alvo.

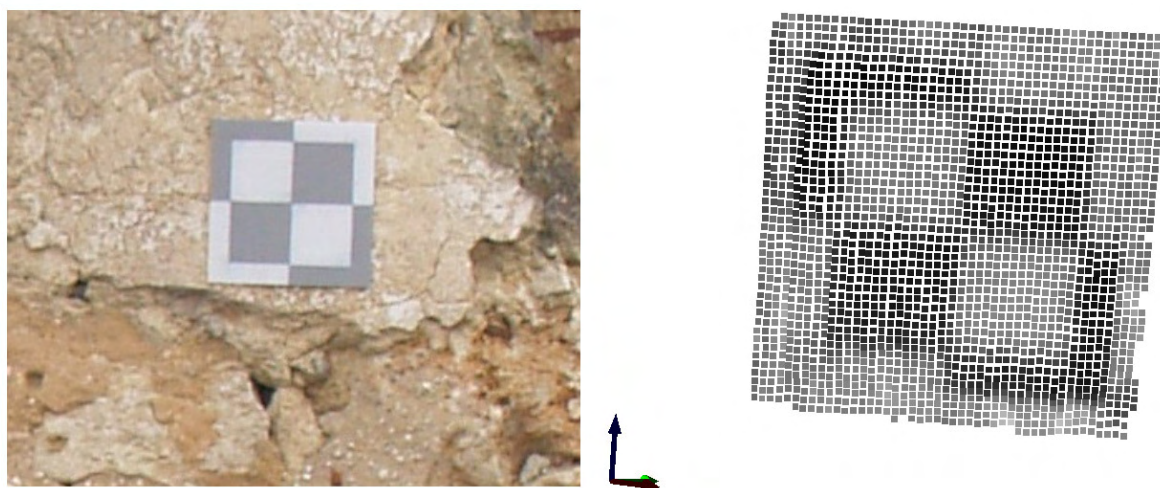


Figura 3-30: Exemplo de alvo para o VL3DT.

Os pontos homólogos podem ser identificados manualmente ou de forma automática [VT04] recorrendo, por exemplo, a ferramentas de *software* que os fabricantes dos equipamentos fornecem. Os pontos homólogos passíveis de ser identificados automaticamente com segurança são os alvos. No entanto é preciso notar que existem algoritmos que permitem determinar pontos homólogos em imagens distintas (SIFT [Low04], SiftGPU [Wu07], SURF [BET*08]) de modo automático sem que para isso esses pontos tenham de ser materializados para o efeito. Registam-se inclusivamente algumas experiências em que se utilizam algoritmos deste tipo para proceder à orientação relativa automática entre nuvens de pontos. Bae *et al* [BL04] testaram um algoritmo para a orientação automática de duas nuvens de pontos. Alba *et al* [ABS10] propuseram um algoritmo para a orientação automática de nuvens de pontos com base na detecção de pontos homólogos em imagens de reflectância. Contudo, a aplicação deste tipo de procedimento não é ainda generalizável porque apresenta problemas quando a distância base entre as estações de VL3DT aumenta o que dificulta a detecção de pontos homólogos [BRS11].

O processo de orientação relativa pode ficar esgotado neste procedimento ou pode ser otimizado através de algoritmos adequados como é o caso do ICP (*iterative closest point*). O ICP [BM92] é o algoritmo mais divulgado e utilizado para proceder à optimização da orientação relativa entre nuvens de pontos dada uma aproximação inicial. Este algoritmo pressupõe que uma orientação relativa prévia é estabelecida, por exemplo através da identificação de pontos homólogos singulares, e na essência vai permitir melhorar a estimação dos parâmetros da matriz de posição da nuvem móvel. Dependendo da implementação, este algoritmo pode funcionar apenas com pontos, com malhas trianguladas, ou tirar partido das normais à superfície.

Genericamente o algoritmo ICP procura, nas zonas de sobreposição entre as duas nuvens, dois conjuntos de pontos, um em cada nuvem. De seguida para cada ponto do conjunto de pontos da nuvem que se considera fixa, procura-se no conjunto de pontos da nuvem que se considera móvel o ponto mais próximo, utilizando a métrica euclidiana. Os pontos homólogos assim determinados permitem construir uma transformação (rotação mais translação) que ajusta as duas nuvens. O processo vai sendo repetido de modo a melhorar esse ajuste. O processo é interrompido ou abortado até que um parâmetro de corte definido pelo operador seja atingido [Kra07]. Os parâmetros de corte podem ser de vários tipos. Por exemplo o processo pode ser interrompido se o erro quadrático médio (RMS – *root mean square*) atingir um determinado valor mínimo (por exemplo 2mm) ou se a variação no movimento da nuvem atingir também um valor mínimo (por exemplo 1mm). Por outro lado, o processo pode ser abortado se não se conseguir identificar durante o processo um número mínimo de pontos homólogos predefinido, por exemplo 1000 pontos homólogos.

Existem algumas alternativas ao ICP, mas são pouco divulgadas e aplicadas na prática, como por exemplo o algoritmo NDT (Normal Distribution Function) desenvolvido por Ripperda *et al* [RC06] ou o algoritmo desenvolvido por Pottmann *et al* [PLM04].

3.3.3.2. Orientação externa

A orientação externa é o processo de orientação de uma nuvem de pontos relativamente a um referencial relacionado com o objecto da representação. Esta orientação pode ser local ou global. No essencial o procedimento é idêntico ao descrito anteriormente. Para se poder orientar a nuvem de pontos relativamente a um referencial externo é necessário ter um conjunto de dados de controlo relativos a esse referencial: i) a direcção vertical, ii) um conjunto de pontos de coordenadas conhecidas, iii) uma nuvem de pontos com a orientação externa já definida.

A consequência desta operação é a definição de uma matriz de posição, nos termos descritos para a operação anterior, que transforma as coordenadas dos pontos da nuvem expressas no seu referencial interno, em coordenadas expressas no referencial associado ao objecto.

A situação mais simples é aquela em que apenas é requerido que a direcção da vertical seja determinada. Neste caso pode ser suficiente a nivelção do dispositivo de VL3D ou a orientação da nuvem por um elemento que se presume ser vertical, por exemplo o cunhal de um edifício. Outro procedimento expedito para este fim consiste em, durante o processo de VL3D, capturar pontos de uma linha de fio-de-prumo materializada para o efeito. Em pós processamento pode ser ajustada uma linha vertical aos pontos dessa linha o que pode permitir obter a direcção pretendida. A nuvem poderá ainda ser rodada em torno

da vertical determinada se for pretendido que o sistema de referência se oriente de acordo com direcções relevantes do objecto representado.

Os dados para a orientação do modelo podem ainda ser recolhidos através da topografia clássica, com estação total, ou através do posicionamento por GPS. Nestes casos os dados de controlo consistem num conjunto pequeno e discreto de pontos cujas coordenadas locais ou globais são conhecidas. No caso de se tratar de coordenadas globais os sistemas de referência podem ser cartográficos ou geodésicos. Como no caso do VL3D terrestre se está quase sempre a produzir modelos que não extravasam o âmbito da topografia local, isto é, em áreas muito inferiores a 10km^2 [CR03a], os referenciais geométricos cartesianos utilizados na produção dos modelos, ou intrínsecos a cada nuvem de pontos, podem ser directamente ajustados ao plano cartográfico sem se considerarem as operações de redução ao elipsóide e redução ao plano cartográfico próprias dos levantamentos de áreas extensas.

Tendo as coordenadas dos pontos de controlo, por exemplo no Datum 73 ou no Datum ETRS89/PT-TM06, o processo de orientação externa corresponde a identificar, na nuvem de pontos, os pontos homólogos dos pontos de controlo, normalmente materializados para o efeito e, deste modo, calcular como é dito acima, os parâmetros da transformação que orienta a nuvem de pontos.

3.3.3.3. Orientação absoluta

Considere-se que, num qualquer sistema de coordenadas locais, em princípio o referencial de uma nuvem de pontos que foi considerada imóvel durante o processo de orientação relativa, foi produzido um modelo tridimensional através da concatenação de várias nuvens de pontos. A orientação externa deste modelo é o que se designa por orientação absoluta. Em boa verdade, a orientação externa e a orientação absoluta, no caso dos modelos obtidos a partir de dados oriundos de VL3DT, não difere em essência. Note-se, com efeito, que um modelo pode ser construído a partir de orientações externas sucessivas de várias nuvens de pontos e, neste caso, a orientação absoluta vai sendo logo definida.

Esta operação pode basear-se em informação de controlo dada por procedimentos topográficos [Fan04] ou por GPS [CKD*04] [FP04].

Considerando então a situação típica em que se dispõe de um modelo com a orientação relativa definida, em que houve uma nuvem considerada imóvel e que, por isso, tem como matriz de posição a matriz identidade $I_{4 \times 4}$, a orientação absoluta pode ser expressa através dos parâmetros (3 de rotação e 3 de translação) de uma matriz $Q_{4 \times 4}$ que orientam externamente a nuvem que fora considerada imóvel:

$$Q = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} & \Delta x_b \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} & \Delta y_b \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} & \Delta z_b \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

O produto desta matriz $Q_{4 \times 4}$ pelas matrizes de posição $M_{4 \times 4}$ resultantes da orientação relativa vai originar novas matrizes de posição $R_{4 \times 4}$ que orientam externamente todas as nuvens do modelo:

$$R_{4 \times 4} = Q_{4 \times 4} M_{4 \times 4} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{13} & \Delta x_e \\ e_{21} & e_{22} & e_{23} & \Delta y_e \\ e_{31} & e_{32} & e_{33} & \Delta z_e \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

Os nove parâmetros e_{ij} continuam a poder ser lidos como função de 3 rotações sequenciais, e os três parâmetros $(\Delta x_e, \Delta y_e, \Delta z_e)$ correspondem a três translações, ambos agora expressos no referencial externo definido.

Uma medida da precisão da orientação absoluta de um modelo é através do RMSE (Root Mean Square Error) das diferenças de coordenadas entre pontos homólogos (extraídos do modelo a orientar e obtidos por processos independentes, por exemplo por topografia). Dar uma ordem de grandeza para a magnitude dos erros não é fácil dado que isso depende das situações e configurações concretas e dos procedimentos usados para identificar as coordenadas dos pontos. No entanto, e como referência, registámos o seguinte. Quando se utilizam alvos retroreflectores e procedimentos automáticos para extracção das coordenadas de alvos, podem obter-se valores de RMSE na ordem dos 6mm [TB04] [GPP*05]. Quando os procedimentos de identificação dos alvos são manuais podem obter-se valores de RMSE na ordem dos 13mm [AL06].

3.3.3.4. Combinação da FDT com o VL3DT

A possibilidade de combinar o VL3DT com os procedimentos da fotogrametria é um dos aspectos que merece relevância neste trabalho dado que, deste modo, se pode acrescentar valor à informação produzida.

A combinação pode ser considerada de dois modos: i) orientação e mapeamento de imagens sobre o modelo de VL3DT, e ii) integração de modelos produzidos separadamente através das duas técnicas. Para já refere-se o primeiro destes modos.

Orientação e mapeamento de imagens sobre o modelo de VL3DT

O procedimento base consiste na calibração e orientação de imagens que de seguida são projectadas sobre as nuvens de pontos para dar origem a um modelo

texturado. Em geral esta operação é realizada manualmente por um operador [AHM*04], ou pode ser semi-automatizada se uma câmara fotográfica for solidarizada com o scanner e uma calibração geométrica for feita [RSU03]. Procedimentos automáticos também têm sido desenvolvidos [GKK*04] [ZZH*09] [MSS10] embora não sejam de generalização fácil sobretudo se as imagens forem tomadas de pontos de vista muito distintos em relação às estações de varrimento laser.

Tal como se viu acima os pontos de uma nuvem têm em geral uma representação do tipo (X, Y, Z, I) a que podem ser adicionadas as componentes (R, G, B) radiométricas. Deste modo cada ponto N de uma nuvem pode ser representado por um vector com sete componentes $(X_N, Y_N, Z_N, I_N, R_N, G_N, B_N)$. A adição das últimas três componentes faz-se através da combinação entre procedimentos fotogramétricos e o varrimento laser. Para poder atribuir aos pontos os valores radiométricos é necessário proceder à calibração e orientação relativa entre imagens fotográficas e nuvens de pontos. Este processo pode ser manual ou automatizado.

Para efeitos desta explicação considera-se que já se dispõe de uma imagem calibrada e por isso com o referencial S_i definido e de uma nuvem de pontos a que corresponde a matriz de posição $I_{4 \times 4}$ (matriz identidade). O referencial da nuvem de pontos será notado por S_c . Nota-se que esta operação corresponde exactamente à orientação externa de uma imagem em fotogrametria tal como definido em 3.2.3.2, isto é, trata-se de uma transformação sujeita a seis parâmetros, três rotações e três translações. À imagem associada à nuvem de pontos também pode ser associada uma matriz de posição nos mesmos termos em que se pode associar uma matriz de posição a uma nuvem de pontos.

Note-se no entanto que há situações em que a imagem não é uma imagem calibrada e que esta calibração se faz durante o processo de associação da imagem à nuvem de pontos. Nesses casos o número mínimo de pontos necessários varia em função dos algoritmos utilizados para definir a calibração. Por exemplo no algoritmo *Tsai* [Tsa87] implementado no *software* JRC 3D Reconstructor o número mínimo de pontos necessários para proceder a esta operação é onze. Noutras aplicações este número pode ser bastante reduzido se houver restrições impostas à posição do centro de projecções da câmara, por exemplo obrigando a que seja a origem do referencial da nuvem de pontos, no caso em que a imagem e o varrimento laser partilharam a mesma estação. Note-se desde já que esta é a situação em que a associação de imagem a nuvens de pontos oferece melhores resultados uma vez que a cada ponto da nuvem apenas corresponde um e só um ponto da imagem, embora por vezes seja difícil de praticar, sobretudo em sistemas em que a componente fotográfica não está integrada na componente de VL3DT.

3.4. Factores que condicionam o desempenho da FDT e do VL3DT

Falar dos factores que condicionam o desempenho da fotogrametria e do VL3D é um aspecto relevante na medida em que informa o processo de adopção de uma ou outra técnica documental para a resolução de um problema específico.

3.4.1. Fotogrametria

3.4.1.1. A natureza dos objectos

A natureza dos objectos pode introduzir maior ou menor dificuldade na aplicação da fotogrametria para a sua documentação. Objectos de geometrias mais definidas são mais fáceis de representar que objectos de geometrias indefinidas, em particular se for considerada a fotogrametria de convergência. A geometria indefinida pode dever-se a um elevado nível de deterioração dos materiais ou pode ser intrínseca ao objecto. Quando se pretende aplicar técnicas de correlação entre imagens estas ficam fortemente dependentes da textura dos objectos o que as torna pouco eficientes em objectos de textura pobre.

Outro aspecto relaciona-se com o acesso ao objecto. Refere-se, por exemplo, a dificuldade de posicionamento das estações de forma adequada por falta de espaço ou por inviabilidade de utilização de um dispositivo elevatório, ou ainda por restrições impostas à utilização dos espaços, quer por questões de segurança ou por risco de dano.

3.4.1.2. As condições atmosféricas

No contexto da documentação da arquitectura para Conservação, Restauro e Reabilitação, as condições atmosféricas têm importância a vários níveis, para além do que se prende com a integridade dos equipamentos. As imagens devem ter a qualidade suficiente que permita diferenciar o maior número de elementos possível nas superfícies. Para isso deve ter-se particular atenção à iluminação da cena, que se verá adiante, mas também a outros aspectos. Naturalmente a existência de nevoeiro ou chuva introduzirão pior qualidade nas imagens obtidas. Situações de temperatura elevada podem introduzir ruído no desempenho da electrónica dos sistemas fotográficos, e naturalmente correspondem a condições adversas para os próprios operadores em campo. Cenários com existência de poeiras são igualmente de evitar.

3.4.1.3. A iluminação das cenas

Para se obter uma boa qualidade das imagens, em termos de resolução no aspecto que se relaciona com a capacidade de distinguir elementos, as condições de iluminação são altamente relevantes. Devem evitar-se situações de incidência directa de luz solar sobre as superfícies uma vez que aumenta a amplitude do claro/escuro com a consequência de, na

criação da imagem digital, a um nível de quantização corresponder maior amplitude, o que diminui a possibilidade de diferenciar elementos na imagem. Também se deve evitar a incidência de luz solar directa ou fontes de luz muito intensa, isto é, deve evitar-se fotografar em contra-luz devido aos efeitos que a difracção da luz introduz. Nas imagens da figura 3-31 ilustra-se este efeito.



Figura 3-31: Efeito de contra-luz na fotografia.

O efeito deste tipo de fenómeno pode ser minimizado através da obstrução da luz. Esta pode eventualmente ser conseguida através do sombreamento das câmaras fotográficas ou através da obstrução das aberturas por onde entra a luz na cena fotografada, no caso de interiores.

Assim, as condições de iluminação ideais para fotografar correspondem a uma luz difusa, que no caso de ambientes exteriores acontece em dias nublados, mas também se pode conseguir ao amanhecer ou entardecer. No caso de interiores também se pode utilizar iluminação artificial para garantir uma homogeneidade da iluminação.

3.4.2. Varrimento laser 3D

3.4.2.1. A divergência do feixe e a complexidade dos objectos

A maior ou menor habilidade do dispositivo para registar uma coordenada de forma correcta também é função do tamanho da pegada do laser na superfície e das características da superfície na zona da pegada. Isto significa que mesmo que duas distâncias distintas ao objecto permitam densidades de pontos idênticas, a menor das distâncias poderá corresponder a uma maior qualidade dos dados, pois corresponder-lhe-á uma pegada menor e por isso menos sujeita à obtenção de uma distância média que não corresponde à distância efectiva do ponto singular do objecto. Na figura 3-32 ilustram-se quatro situações.

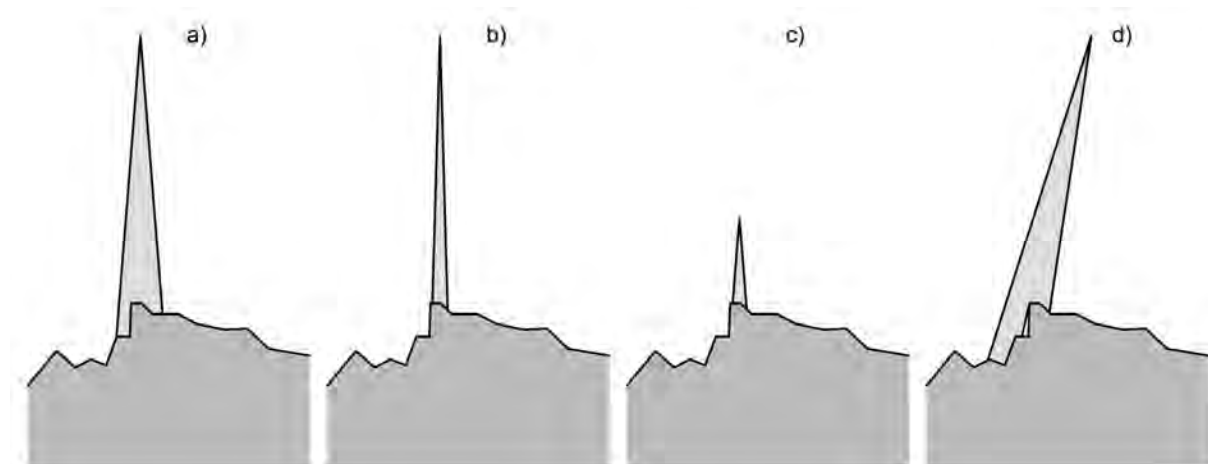


Figura 3-32: Relação entre o feixe laser e a superfície.

Nas situações a) e b) compara-se o efeito da divergência do feixe no tamanho da pegada, e por sua vez a relação entre a pegada e a complexidade da área do objecto a que diz respeito. O resultado esperado é que na situação a) se obtenha uma distância que corresponderá aproximadamente a uma média das distâncias dos vários pontos da área da pegada em relação ao dispositivo de varrimento que será menos correcta que a distância obtida na situação b). Na prática, o efeito na nuvem de pontos corresponde a uma suavização (*smoothing*) da superfície [FN99] [FFG*01]. Nas situações b) e c) coloca-se em evidência que para obter uma descrição idêntica da superfície do objecto um sistema com divergência de feixe superior deve ser colocado a uma distância menor do objecto. Também se pode depreender pela figura que as zonas de arestas dos objectos tendem a ser problemáticas pois a pegada do laser ao repartir-se por duas faces distintas não dá origem a uma posição correcta dos pontos das arestas, ou pode também acontecer que a pegada do laser se reparta por duas ou mais faces não adjacentes, como se verifica na situação d) dando origem a coordenadas erradas. Normalmente o *software* de processamento permite a aplicação de algoritmos que podem filtrar alguns dos dados espúrios resultantes deste tipo de configurações.

Em relação à complexidade dos objectos pode também notar-se um aspecto conexo que é a maior ou menor desobstrução da cena a documentar. Este aspecto que pode ser menos significativo para outros métodos de registo, para o VL3DT é particularmente relevante. Por exemplo um conjunto de objectos encostado a uma parede, que não são relevantes, obstruem o elemento relevante, a parede, que não é registado. Assim, após remoção dos elementos irrelevantes nos dados resta um vazio de informação.

3.4.2.2. A inclinação do feixe

O efeito da inclinação também se faz sentir pelo aumento relativo da pegada do feixe de modo análogo ao referido para a situação anterior. Este efeito é ainda majorado pela precisão angular do instrumento. Na figura 3-33 ilustram-se esquematicamente duas situações em que a inclinação do feixe em relação à superfície determinará a qualidade dos dados obtidos. A situação b) corresponde a um cenário muitas vezes encontrado em contexto de arquitectura na representação de formas curvas como sejam colunas e abóbadas, bem como a situação a), por exemplo em paramentos pétreos.

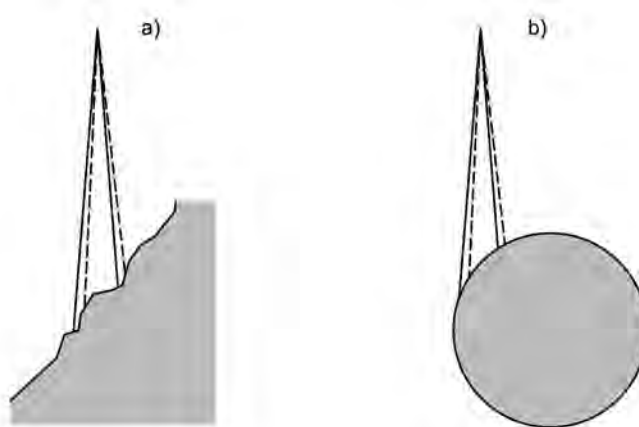


Figura 3-33: Configurações tipo de superfícies.

3.4.2.3. As características dos materiais

As propriedades dos materiais como a textura, irregularidade, composição química, reflectividade ou a cor, afectam a forma como estes interagem com a luz, em particular como a reflectem. Assim para um determinado nível de energia emitido pelo dispositivo, considerando a distância relativamente ao objecto, o tamanho da pegada do laser e a reflectividade da superfície, maior ou menor percentagem de energia reflectida é detectada. Este facto tem influência na qualidade métrica dos dados recolhidos dado que implica um rácio entre sinal e ruído mais desfavorável. A figura 3-34 ilustra este efeito. Trata-se de uma fracção de nuvem de pontos correspondente a um alvo em papel nas cores branco e preto. Verifica-se que os pontos escuros, correspondentes ao material menos reflectante, ou melhor, à cor menos reflectante, apresentam maior dispersão espacial. Poucos estudos têm sido realizados no sentido de compreender este aspecto no VL3DT. Regista um estudo de Kremen et al [KKP06] em que se procurou entender a qualidade do varrimento laser do scanner HDS3000 perante vários tipos de materiais.

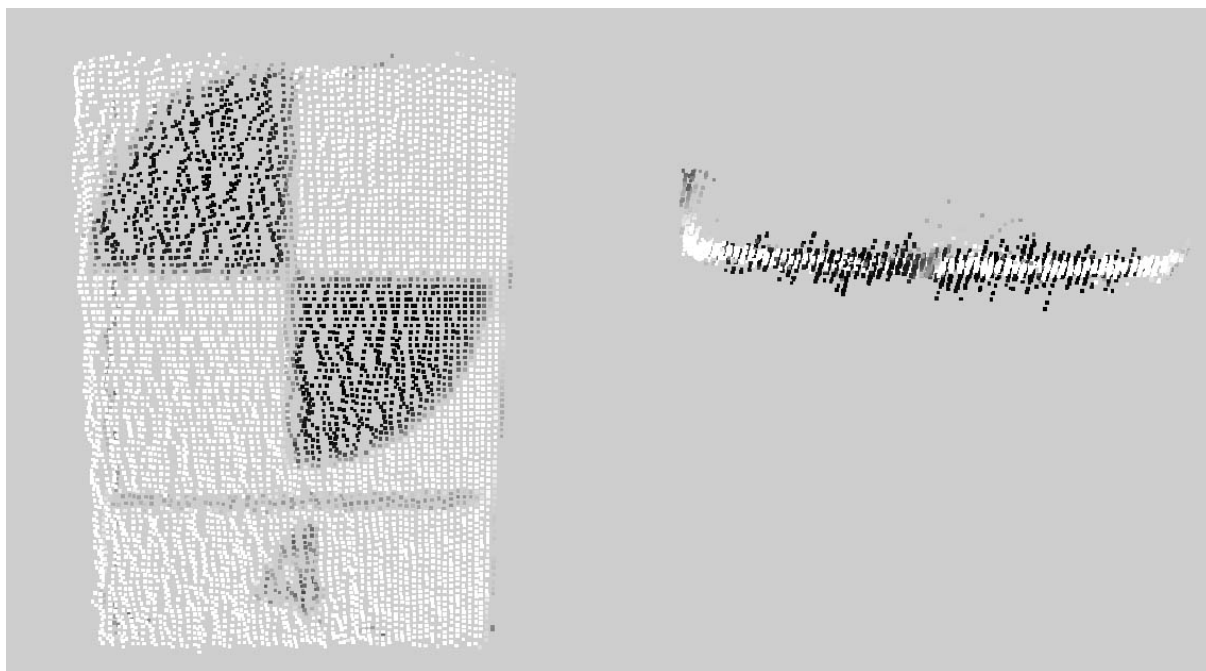


Figura 3-34: Efeito da cor na qualidade da nuvem de pontos.

Outro tipo de superfícies como o vidro, a água, ou superfícies muito polidas podem apresentar também comportamentos que as tornam piores candidatos à detecção por varrimento laser. No caso do vidro a quantidade de energia reflectida é de tal modo pequena que não é suficiente para que o dispositivo de VL3D a registe; a quase totalidade de energia é transmitida ao vidro. As superfícies muito polidas apresentam o problema de reflectirem a energia toda numa única direcção o que pode inviabilizar a sua detecção pelo dispositivo de varrimento.

3.4.2.4. A portabilidade e o tempo de varrimento

Embora os sistemas de VL3D terrestres sejam portáteis é preciso perceber que essa portabilidade tem limites. O peso de um dispositivo pode variar entre 1.5kg, no caso das soluções de triangulação da marca Zscanner adequadas a contextos reduzidos, e os 16kg a 20kg, no caso das soluções da marca Riegl ou Z+F típicas das soluções TOF e PS. Esta ordem de grandeza de valores já implica algumas limitações na definição de uma estação. Regista-se no entanto que a marca FARO lançou recentemente um equipamento PS com o peso de 5Kg. Por outro lado, tratando-se de um dispositivo de varrimento, há um intervalo de tempo que ocorre entre o início e o fim da captura de uma cena pelo que há limitações se a cena for móvel. Dizer que uma cena é móvel pode querer dizer que há pessoas, veículos ou animais a circular, ou ainda pode querer dizer que devido, por exemplo ao vento, alguns elementos da cena possam oscilar de posição. Pode ser o caso de postes, semáforos, árvores, painéis ou panejamentos. Este facto também dificulta a utilização de plataformas

elevatórias dado que se exige destas uma elevada estaticidade que nem sempre é possível obter.

A existência deste intervalo de tempo pode ainda ter implicações na segurança das pessoas que possam circular nas imediações sobretudo se forem utilizados sistemas da classe de segurança 1M, 2M ou 3R.

3.4.2.5. As condições atmosféricas

As condições climáticas são também um aspecto a considerar, não só pela qualidade dos dados, mas também pela integridade dos equipamentos. No que diz respeito a este último aspecto devem considerar-se as situações de temperaturas extremas, altas ou baixas, a presença de vento muito intenso ou altos níveis de humidade.

Se houver alguma chuva pode haver algumas reflexões devidas às gotas de água que introduzem dados espúrios. A incidência directa de luz solar sobre os dispositivos pode também afectar a qualidade dos dados que se pode traduzir pela ausência de sinal ou por ruído. A luz ambiente não controlada é um factor particularmente importante nos sistemas de triangulação. Os pontos brilhantes do objecto resultam geralmente em vazios na nuvem de pontos.

As situações de chuva também introduzem alterações ao nível das propriedades de reflexão da luz por parte das superfícies que podem implicar menor qualidade dos dados. Podem, por exemplo, tornar as superfícies mais especulares.

3.5. Fluxos de trabalho típicos da FDT e do VL3DT

Qualquer que seja a tecnologia a adoptar, individualmente ou de forma combinada, é sempre necessário efectuar um planeamento das acções. Esse planeamento pode assumir formas muito diversas. Assuma que forma assumir, passará sempre por considerar as questões discutidas no capítulo 2.

Do ponto de vista da FDT e do VL3DT, esta etapa passará por escolher as melhores posições para estacionamento dos equipamentos, os melhores pontos de vista de modo a efectuar coberturas apropriadas ao tipo e diferenciação dos materiais a obter, escolha de equipamentos, entre outros aspectos.

Nas figuras 3-35 e 3-36 esquematiza-se o fluxo de trabalho típico da FDT e do VL3DT, respectivamente, bem como se notam os diferentes tipos de produtos que podem resultar das variantes do fluxo de trabalho.

Em ambos os casos há, tipicamente, duas fases distintas: i) trabalho de campo, e ii) trabalho de gabinete.

A fase de campo é aquela em que se recolhem as imagens ou as nuvens de pontos bem como qualquer informação adicional de controlo que se entenda conveniente. Esta

informação de controlo depende dos processos a utilizar na fase de gabinete e pode ser de natureza variada. Pode ir desde a medição de um único comprimento para dar escala a um modelo fotogramétrico, até à obtenção de um conjunto de pontos coordenados por processos topográficos e/ou GPS como base para georreferenciação dos modelos. Não discutiremos aqui os procedimentos de aquisição e processamento desta informação de controlo. Estes poderão ser analisados em variada bibliografia especializada [Coo87] [CMB00] [CR03a] [CR03b] [Fan04] [GMS08] [Ghi10].

De seguida, no caso da fotogrametria, pode dar-se o caso de se pretender uma manipulação bidimensional das imagens ou uma manipulação 3D. Em ambos os casos se deve considerar a operação de calibração que, no caso 2D se pode resumir a remover os efeitos da distorção das lentes e dispensa a determinação de distâncias focais ou distâncias principais das imagens. Para proceder à orientação relativa das imagens é necessário proceder à individualização de pontos, linhas ou outras entidades geométricas que identificadas em mais que uma imagem permitem o cálculo dos parâmetros necessários a esta operação. Isto significa que, embora não seja necessário, esta operação de orientação vai dar origem a parte do modelo 3D. Isto pode ser traduzido por uma nuvem de pontos mais ou menos densa, mas também pode ser traduzido pela determinação de linhas ou outras entidades geométricas no espaço. Para além disto os procedimentos podem ser: manuais, semi-automáticos ou completamente automáticos.

Assim, os procedimentos automáticos podem dar origem a um produto final, que designaríamos de imediato por produto final primário, ou então pode ser necessário a intervenção manual, que agindo sobre as imagens completa um primeiro modelo tridimensional. Posteriormente podem ser realizadas variadas operações de modelação que implicaram um determinado nível de segmentação, agrupamento, diferenciação e estruturação dos dados, naturalmente em função de objectivos predefinidos.

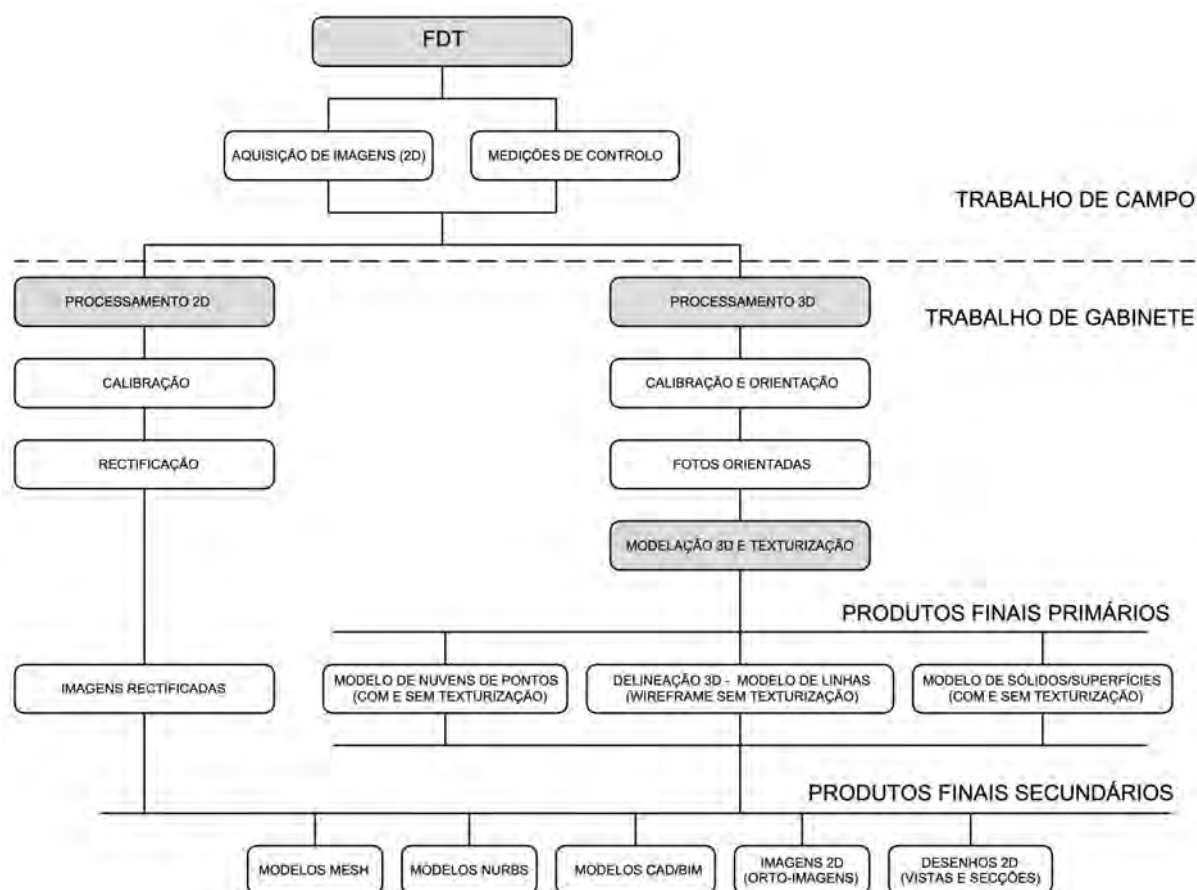


Figura 3-35: Fluxo de trabalho típico da FDT.

No caso do VL3DT, embora se verifiquem algumas afinidades com o fluxo de trabalho da FDT, nota-se que há uma diferença fundamental. Enquanto que na fotogrametria tem de haver alguma espécie de modelo matemático que permita gerar informação tridimensional a partir dos dados bidimensionais, no caso do VL3DT os dados são tridimensionais desde o início o que, à primeira vista parece simplificar a modelação, o que não é sempre verdade. Isto significa que a extracção de informação utilizável, não necessariamente acabada, a partir de VL3DT é, em geral, muito mais rápida podendo tornar possível a execução de operações que, pela sua extensão ou complexidade, seriam inviáveis apenas por recurso à fotogrametria, como é o caso de seccionamento exaustivo de modelos. Faça-se no entanto aqui um parêntesis. A fotogrametria digital tem sofrido grandes progressos que permitem, por exemplo, a obtenção de nuvens de pontos tão ou mais densas de as de VL3DT, pelo que estas aparentes diferenças tenderão a dissipar-se [FCS*10], [FCS*10^a] [FP09] [BRS10].

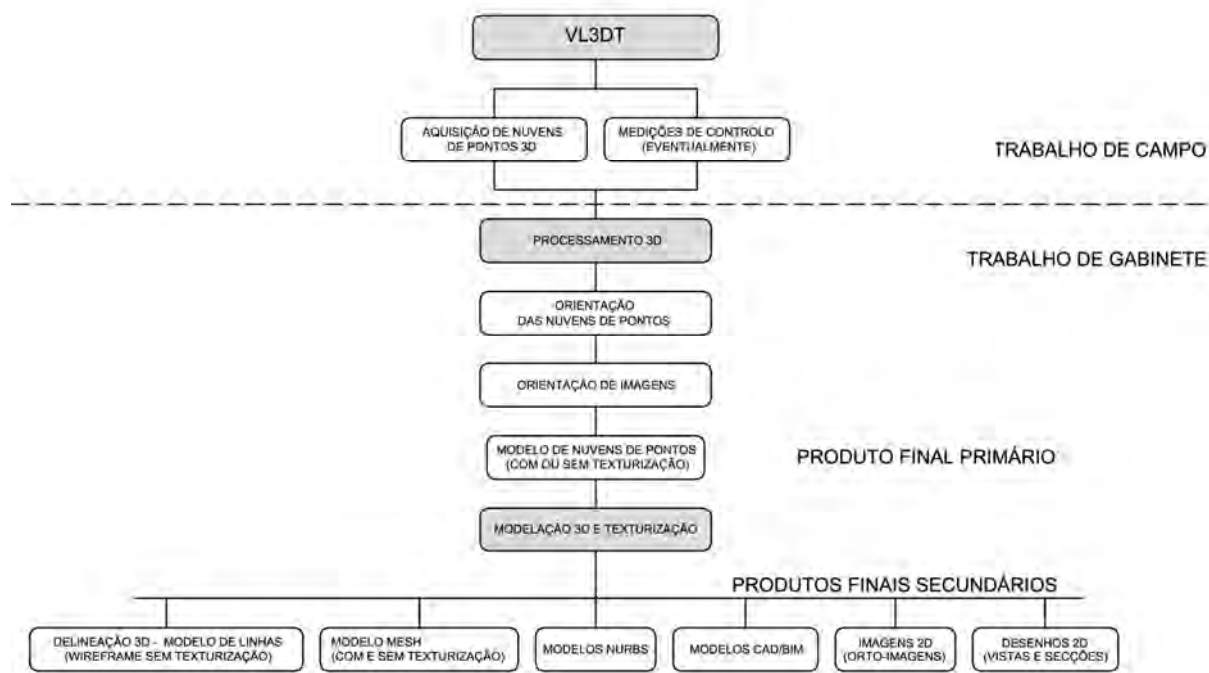


Figura 3-36: Fluxo de trabalho típico do VL3DT

Note-se que tanto a FDT como o VL3DT são técnicas inerentemente tridimensionais e que dependem dos pontos de vista sobre o objecto. Daqui resulta que qualquer tipo de obstruções ou oclusões que se possam interpor entre os dispositivos de aquisição, máquinas fotográficas ou sistemas de VL3DT, e os objectos a documentar, implicam uma perda de dados úteis, ou dito de outra forma, são registados dados inúteis. No caso da FDT este facto impede a modelação do que está oculto e no caso do VL3DT isto implica que existem dados 3D que têm de ser removidos das nuvens de pontos, provavelmente antes de estas serem orientadas. Em ambos os casos a consequência é a de que a informação que não foi recolhida com estes métodos terá de sê-lo por outros, se estes não forem aplicáveis, uma vez que não é possível reconstruir o que não foi recolhido pelos dispositivos.

Salienta-se ainda que a componente de texturização referida no fluxo de trabalho do VL3DT não é mais que a aplicação de alguns procedimentos próprios da FDT ao VL3DT.

Por fim, quanto aos produtos que se podem obter, podemos definir dois critérios de classificação: a) quanto à origem, e b) quanto ao tipo.

Quanto à origem classificámo-los em: i) produtos (ou materiais) finais primários, e ii) produtos (ou materiais) finais secundários.

Por materiais finais primários entendemos aqueles produtos utilizáveis que resultam directamente da primeira iteração, digamos assim, do processo de construção dos modelos, o que no caso do VL3DT resulta directamente da operação de orientação das nuvens de pontos, e no caso da FDT se produz a partir da operação de orientação das imagens mas

exige a aplicação, em simultâneo e/ou posteriormente, de técnicas de modelação. Por materiais secundários entendemos aqueles que carecem de modelação adicional a partir dos produtos primários ou de outros produtos secundários.

Nas figuras 3-35 e 3-36 enfatizámos a separação entre produtos primários e produtos secundários, para tornar presente um aspecto que nos parece relevante. Pode não ser uma única técnica de modelação que dá origem a um produto secundário e para além disso, um produto primário pode ser útil para uma dado fim, ou pode ser também um produto intermédio no processo de obtenção de outro produto final distinto ou que contém o primeiro, e assim dito secundário. Isto leva-nos a uma ideia de processo em série ou de processos recursivos, em todo o caso, processos que podem não ser lineares. Dá-se o exemplo da produção de um fotomosaico, que pode ser considerado um produto final, por exemplo para a leitura das qualidades de uma superfície, mas que é produto intermédio para a produção de um desenho, ou produto a retroalimentar com uma nova recolha de dados em campo para proceder a uma cartografia temática que inclui o próprio fotomosaico. Na prática, do ponto de vista do utilizador dos produtos finais, pouco importa se o produto é primário ou secundário, importa isso sim que se adeque aos fins.

Quer se trate de produtos primários ou secundários, podemos ainda classificá-los em: i) produtos (ou materiais) 2D, e ii) produtos (ou materiais) 3D.

3.6. Orientações e especificações para a fotogrametria e para o varrimento laser

Neste ponto procuraremos aprofundar os temas que iniciámos em 2.2 – Para a documentação gráfica: Princípios, Orientações e Especificações – nos campos mais específicos da fotogrametria e do varrimento laser.

Como guias de referência para a fotogrametria e varrimento laser, destacamos as célebres regras 3X3 fotogramétricas (que se sintetizam na tabela 3-8, adaptada de “Metric Survey for Heritage Documentation” [BAB*03]), e o guia da English Heritage sobre a utilização do varrimento laser no património [Eng07].

As regras 3X3 fotogramétricas

As regras 3X3 são um conjunto de regras práticas que, embora inicialmente se referissem especificamente à estereofotogrametria, podem ser aplicadas a qualquer forma de fotogrametria que implique algum tipo de modelação 3D. Este conjunto de regras foi proposto pela primeira vez por Peter Waldhäusl e Cliff Ogleby no simpósio da Comissão V do ISPRS subordinado ao tema "Close Range Techniques and Machine Vision" que decorreu em Melbourne, na Australia, em 1994 [BAB*03]. Trata-se de uma matriz que organiza um conjunto de regras a seguir num processo de documentação fotogramétrica.

São definidos três conjuntos de três regras cada: i) três regras geométricas, ii) três regras acerca da câmara, e iii) três regras de procedimento. Com efeito, para cada uma das regras é listado um conjunto de aspectos a considerar, conforme se pode observar na tabela 3-8. É interessante notar que, com poucas adaptações, o mesmo conjunto de regras poderia aplicar-se à documentação por VL3DT. Na verdade, não seria inusitado propor uma matriz idêntica adaptada a ambas as técnicas.

1- AS 3 REGRAS GEOMÉTRICAS		
1.1 - CONTROLO - Medir distâncias grandes entre pontos bem definidos. - Estabelecer, se apropriado, uma rede de pontos ou alvos coordenados em 3D. - Definir no mínimo uma medida vertical e uma medida horizontal de controlo em todas as fachadas do edifício a registar.	1.2 - COBERTURA FOTOGRÁFICA GERAL - Tirar um anel de fotografias em redor do edifício com uma sobreposição mínima de 50%. - Se possível, tirar as fotografias a meia altura dos objectos a registar. - Incluir a envolvente nas imagens, por exemplo a linha de terra ou a silhueta do edifício. - Em cada esquina do edifício tirar uma fotografia que registe as duas fachadas adjacentes. - Incluir os telhados se possível. - Garantir que há sempre sobreposição para qualquer parte de qualquer fotografia. - Adicionar fotografias gerais e frontais das fachadas para visão global e eventualmente rectificação.	1.3 - COBERTURA FOTOGRÁFICA DE DETALHE Os pares fotográficos devem: - Garantir o rácio entre a base e a distância ao objecto, dos pares fotográficos, entre 1/4 e 1/15, no caso em que os eixos das câmaras são paralelos. - Garantir o rácio entre a base e a distância ao objecto, dos pares fotográficos, entre 1/10 a 1/15 no caso em que os eixos das câmaras são convergentes. - Evitar eixos das câmaras divergentes. - Incluir pares fotográficos frontais aos detalhes a registar e garantir informação de controlo para estes. - Verificar que existe sempre sobreposição entre imagens. - Acrescentar mais fotos e informação de controlo em caso de dúvidas. - Garantir que um mínimo de 4 pontos de controlo é visível em cada par fotográfico.
2- AS 3 REGRAS ACERCA DA CÂMARA		
2.1 - PROPRIEDADES DA CÂMARA - Utilizar óptica fixa se possível. Não fazer zoom. Manter a câmara na distância focal mínima ou fixar a objectiva com fita adesiva. Manter a mesma óptica. Não utilizar a focagem automática. - Manter a distância focal fixa. Fixar no infinito ou a meia distância colocando fita adesiva para a manter fixa. Utilizar apenas uma distância focal para o anel geral de fotografias e uma distância focal para os detalhes. - Garantir que a totalidade da imagem é revelada e que os limites da imagem são visíveis e com bom contraste (importante no caso da fotografia analógica). - Considerar como documentos originais os negativos (no caso da fotografia analógica) ou os ficheiros RAW (no caso da fotografia digital). Utilizar sempre os maiores formatos e definições disponíveis.	2.2 - CALIBRAÇÃO DA CÂMARA Deve utilizar-se a melhor qualidade, a maior resolução, e o maior formato disponível. - Preferível utilizar lentes de grande angular para as fotografias gerais. Evitar o uso de lentes olho-de-peixe. - Formato médio é melhor que formato pequeno. - Câmaras calibradas (ou métricas) são melhores que câmaras não métricas. - Meio de captura: filme de alta sensibilidade e grão fino é melhor e garante maior resolução (importante na fotografia analógica). - É necessária uma calibração para cada combinação câmara/lente e distância focal. - Deve ser usada uma carta normalizada de cor.	2.3 - EXPOSIÇÃO DE IMAGEM Deve garantir-se cobertura e exposição fotográfica consistente. - Deve trabalhar-se com iluminação consistente e ter cuidado com zonas de sombras muito escuras. É preciso escolher a melhor hora do dia. - Deve utilizar-se um tripé e uma forma de controlo remoto de disparo para garantir fotos com melhor definição. - Deve utilizar-se o suporte adequado: branco e preto é suficiente mas as cores podem apresentar algumas vantagens ao nível da interpretação e documentação de cores. - Deve utilizar-se o formato RAW, ou as definições de alta qualidade e alta sensibilidade nas câmaras digitais.
3- AS 3 REGRAS DE PROCEDIMENTO		
3.1 - REGISTO DO SÍTIO, DOS PONTOS DE CONTROLO E DA LOCALIZAÇÃO DAS FOTOS Devem realizar-se os esboços e esquemas apropriados para: - Registrar a planta geral com a indicação do Norte. - Registrar os alçados de cada fachada (escalas 1/100 a 1/500). Mostrar a localização dos pontos de controlo. - Registrar a localização das fotos (com referência aos números do filme e negativos se adequado). - Identificar os pares fotográficos bem como fotos individuais. - Localizar os pontos de controlo, distâncias e prumadas.	3.2 - REGISTO DOS METADADOS Incluir o seguinte: - Nome do lugar, localização e geo-referência. Nome do dono e morada. - Data, clima, e pessoal. Cliente, adjudicatário, artistas, arquitectos, permissões, obrigações, etc. - Câmara, óptica, focagem e definições de distância. - Relatório de calibração, se disponível. - Descrição do sítio, lugar, história, bibliografia, etc. - Não esquecer de ir documentando o processo a medida que se vai avançando.	3.3 - ARQUIVO Os dados devem ser completos, estáveis, seguros e acessíveis. - Verificar se o trabalho está completo e correcto antes de abandonar o local. - Guardar as imagens num sítio fiável fora da câmara. Guardar os formatos RAW para os converter em TIFFs normalizados. Deve ter-se presente que os meios não duram para sempre. - O que for necessário escrever deve ser feito imediatamente sob pena de esquecimento. - Os negativos originais são documentos de arquivo. É preciso tratá-los cuidadosamente. - Não cortar as imagens, manter o formato integral, quer se trate de imagens analógicas ou digitais. - Garantir que as cópias e os originais dos dados de controlo, esboços e esquemas, e imagens são mantidos juntos em locais separados.

Tabela 3-8: As regras 3X3 fotogramétricas (adaptado de “Metric Survey for Heritage Documentation” [BAB*03]).

A razão pela qual se apresentam estas regras deriva do facto de serem, provavelmente, as mais populares, as mais conhecidas e mais citadas entre a comunidade da fotogrametria, e por ainda manterem a sua actualidade apesar da evolução dos procedimentos e das aplicações fotogramétricas. Pensamos que, com as devidas adaptações, também podem servir de guia para o varrimento laser 3D.

Novamente as MSSCH

Já relativamente à aplicação do VL3DT a English Heritage publicou "3D laser Scanning for Heritage" em 2007 [Eng07]. Trata-se de um documento que pretende aconselhar e servir de guia aos utilizadores do varrimento laser nas áreas da arquitectura e arqueologia.

Sintetiza um conjunto de aspectos como: i) explicação básica sobre o funcionamento da tecnologia, ii) como contratar um serviço de varrimento laser, iii) que tipo de produtos se podem obter a partir do varrimento laser e o que é o varrimento laser não permite, v) indicações para ajudar à decisão. Termina com a apresentação sumária de 17 casos de estudo que vão desde a escala do pequeno objecto até à escala do território. Nestes casos de estudo descrevem-se sumariamente as metodologias de acordo com cinco pontos: i) introdução, ii) instrumentos e software, iii) razão da opção pelo varrimento laser, iv) que problemas foram encontrados, e v) que materiais finais foram produzidos.

Trata-se de um documento de grande valor e relevância que se centra sobretudo nas questões de execução e foi produzido sobretudo como guia para os utilizadores do varrimento laser, mais que para os produtores da documentação.

Este documento e as MSSCH [BBB09] dão indicações gerais acerca de questões a considerar no planeamento e execução de uma campanha de levantamento fotogramétrico ou de varrimento laser. A apresentação de casos de estudos é uma forma eficiente de, através de exemplos, notar as variações próprias de cada caso, e perceber que cada caso exige preocupações específicas distintas.

Porém, a nossa convicção é que, se o número de casos for suficientemente lato, pode ser feita uma generalização que sintetiza um conjunto de aspectos e questões mais práticas que podem ser de grande auxílio quer para utilizadores da informação quer para produtores de informação.

O desenho da especificação relativamente ao varrimento laser começou a desenvolver-se a partir de 2003 quando o VL3DT começou a ser mais difundido e utilizado para a documentação. Sentindo aí uma lacuna, a equipa dos levantamentos métricos da English Heritage começou a trabalhar numa especificação que definisse os termos a que os produtos resultantes do VL3DT deveriam sujeitar-se para serem aceites por aquela instituição. Deram-se algumas definições (vazios nos dados, dados periféricos, nuvem de

pontos, densidade de pontos, orientação relativa, resolução, orientação do scan, origem do scan, posição do scan, artefactos, sistemas de VL3DT), definiu-se em que termos se deve medir o rigor (geométrico e narrativo), e como deve ser feito o armazenamento [BMB03].

Entre o ano 2003 e o ano 2006 foram sendo feitas adendas [MB06] às “Metric Survey Specifications for English Heritage” [Eng2000]. Finalmente, no ano de 2009, a English Heritage publicou as “Metric Survey Specifications for Cultural Heritage” [BBB09], que incluem já uma secção sobre o varrimento laser. É referido naquelas publicações que respeitam os termos para a contratação de serviços cartográficos definidos pela Royal Institution for Chartered Surveyors (RICS) em “Terms and Conditions of Contract for Land Surveying Services” [Ric01].

As MSSCH são um documento de referência central no nosso trabalho. Vamos por isso dedicar-lhe alguma atenção, em particular no que respeita à fotogrametria e ao varrimento laser.

No que respeita ao desempenho métrico da fotogrametria, são considerados aspectos como a escala das imagens recolhidas, o rigor do processamento, e a escala de output, em função das escalas de impressão. Apenas são referidas as escalas 1/10, 1/20 e 1/50. A tabela 3-9 sumariza o que a este respeito vem descrito nas MSSCH, sendo extrapolados os valores para outras escalas. As duas penúltimas colunas servem para mostrar que, face à escala requerida para o *output*, a impressão a 150dpi corresponderia a uma perda de informação real, a impressão a 300dpi corresponderia a uma situação quase limite, e a impressão a 600dpi permite respeitar a especificação com bastante folga e permite, no limite, ir buscar quase todo o detalhe das imagens recolhidas. Naturalmente que tem de se ter em conta que os suportes da impressão admitem aquela resolução.

PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO E ORTOFOTOGRAFIA (adaptado das MSSCH)						
Escala da Representação		GSD (mm)	rigor*** do processamento na realidade (mm)	Escala do output**** milímetro (mm) por pixel (px)	GSD (mm na realidade) da imagem em função da resolução de impressão (dpi)	
					150 dpi	300 dpi
						600 dpi
*1/ 1		0,05	0,2	0,1	0,17	0,08
*1/ 2		0,1	0,4	0,3	0,34	0,17
*1/ 5		0,2	0,9	0,5	0,85	0,42
1/ 10		0,5	2	1	1,69	0,85
1/ 20		1	4	3	3,39	1,69
1/ 50		2	9	5	8,47	4,23
*1/ 100		4	20	10	16,93	8,47
*1/ 200		8	40	30	33,87	16,93
*1/ 500		20	90	50	84,67	42,33

* valores extrapolados

** apenas se considera a estereofotogrametria

*** os resíduos das operações de orientação relativa das imagens não devem ultrapassar os valores indicados

**** correspondência entre a unidade de imagem (pixel) e a dimensão real respectiva

***** nas MSSCH obriga-se à impressão a 600dpi

Tabela 3-9: Tabela indicativa do desempenho da recolha de imagens, processamento e output em função da escala da representação (processamento fotogramétrico e ortofotográfico).

No que respeita ao desempenho métrico para a rectificação de imagem são considerados os mesmos aspectos que no caso anterior. A tabela 3-10 sumariza o que a este respeito vem descrito nas MSSCH, sendo extrapolados os valores para outras escalas.

PROCESSAMENTO PARA RECTIFICAÇÃO DE IMAGENS (adaptado das MSSCH)						
Escala da Representação		GSD (mm)	rigor*** do processamento na realidade (mm)	Escala do output**** milímetro (mm) por pixel (px)	GSD (mm na realidade) da imagem em função da resolução de impressão (dpi)	
					150 dpi	300 dpi
						600 dpi
						*****dpi
*1/ 1		0,1	0,5	0,25	0,17	0,08
*1/ 2		0,25	1	0,5	0,34	0,17
*1/ 5		0,5	2,5	1,25	0,85	0,42
1/ 10		1	5	2,5	1,69	0,85
1/ 20		2,5	10	5	3,39	1,69
1/ 50		5	25	12,5	8,47	4,23
*1/ 100		10	50	20	16,93	8,47
*1/ 200		20	100	40	33,87	16,93
*1/ 500		40	200	80	84,67	42,33
						21,17

* valores extrapolados

** considera-se que as imagens devem ser o mais paralelas possível ao plano a rectificar

*** pressupõe-se um erro máximo de 0,5mm na selecção de pontos na imagem

**** correspondência entre a unidade de imagem (pixel) e a dimensão real respectiva

***** nas MSSCH obriga-se à impressão a 600dpi

Tabela 3-10: Tabela indicativa do desempenho da recolha de imagens, processamento e output em função da escala da representação (processamento para rectificação de imagens).

No que respeita ao varrimento laser, é referido que a densidade dos pontos pode ser definida em função da escala da representação ou em função do menor detalhe que se pretende diferenciar nas nuvens de pontos.

Na tabela 3-11 indicam-se os valores de densidade de pontos e precisão de medição indicados na especificação e extrapolam-se valores para escalas não referidas.

RECOLHA DAS NUVENS DE PONTOS (adaptado das MSSCH)		
Escala da Representação	Densidade de pontos (mm)	Precisão da medição (mm)
*1/ 1	0,1	±0,1
*1/ 2	0,25	±0,25
*1/ 5	0,5	±0,5
1/ 10	1	±1
1/ 20	2,5	±2,5
1/ 50	5	±5
1/ 100	15	±15
*1/ 200	30	±30
*1/ 500	60	±60

* valores extrapolados

Tabela 3-11: Tabela indicativa das densidades de pontos e precisões de medição em função da escala da representação.

No caso de se pretender definir a densidade em função do menor detalhe a diferenciar, a especificação na sua versão actual é omissa relativamente ao modo como o fazer. Porém, na versão de 2006, na adenda às MSSEH, vem referida uma fórmula para o

cálculo de um parâmetro de qualidade, Q , que deverá traduzir o nível de confiança com que um detalhe é diferenciado:

$$Q = 1 - \left(\frac{m}{\lambda} \right) \quad (3.34)$$

Em que m é a densidade de pontos e λ a dimensão do elemento mínimo a registar.

Na tabela 3-12 vem referida a densidade dos pontos para vários níveis de qualidade de diferenciação, tomando por referência um detalhe com dimensão de 1cm.

DENSIDADE DAS NUVENS DE PONTOS (tomando um detalhe de 1cm como referência)	
Qualidade (Q) %	Densidade de pontos (m) (mm)
99%	0,1
95%	0,5
90%	1
80%	2
70%	3
60%	4
50%	5
40%	6
30%	7
20%	8
10%	9
0%	10

Tabela 3-12: Tabela indicativa da qualidade da diferenciação em função da densidade dos pontos, tomando por referência um detalhe com a dimensão de 1cm.

Da leitura da tabela 3-12 pode sugerir-se que, para o caso referido, se considere pelo menos um nível de 60% na qualidade da diferenciação do detalhe.

No que respeita à qualidade métrica do processamento das nuvens de pontos, a especificação volta a ser omissa. Refere apenas que deve ser feito um relatório em que constem os indicadores numéricos da qualidade das operações de orientação das nuvens de pontos bem como da operação de georreferenciação. Nota que devem ser utilizados alvos, a registar por processos independentes, para que se possa avaliar a qualidade métrica do produto final.

No entanto deve notar-se que a especificação contém uma secção sobre o levantamento métrico de edifícios cujas indicações devem ser articuladas com o desempenho do processo do varrimento laser.

Adicionalmente a especificação tem ainda uma secção sobre o controlo métrico dos levantamentos, uma secção sobre formatos e formas de apresentação dos levantamentos, e uma secção sobre levantamentos topográficos.

3.7. Produtos usuais da FDT e do VL3DT

Há um conjunto de métodos expeditos de documentação que assentam na fotografia como dado base. Podem-se designar por métodos fotogramétricos elementares, interessando neste trabalho aqueles que permitem uma abordagem métrica à representação. Estende-se o conceito de métrica também à possibilidade de contabilizar elementos. Assim considera-se, numa abordagem seguramente muito abusiva, que a utilização, para este fim, de uma fotografia simples ou de um panorama, sem nenhuma espécie de correcção à distorção ou à perspectiva, também pode ser considerada como integrante da fotogrametria. Afinal permitem a utilização de uma métrica adimensional, isto é, a contagem ou enumeração de elementos. As próprias imagens bidimensionais com os valores de reflectância associados resultantes dos varrimentos laser 3D podem servir para este mesmo efeito.

Estes produtos são em si mesmos suportes bastante eficazes para efectuar uma série de registos e análises em contexto de conservação, restauro ou reabilitação. Permitem enumerar e contabilizar elementos, informam sobre o estado de conservação, podem dar uma ideia sobre o tipo de uso e sobre o contexto envolvente, dão informação sobre as características radiométricas da cena, podem funcionar como índice de registos, ou como folhas de rosto de páginas de bases de dados. Por isso tratam-se como produtos a considerar neste contexto.

Também se considera aqui a rectificação de imagens que permite o acesso à métrica dimensional de superfícies planas, permite a produção de foto mosaicos, e permite derivar, com algumas limitações, informação métrica para além das superfícies rectificadas recorrendo às regras da perspectiva.

Para além destes produtos básicos pode-se produzir toda uma série de outros que, em geral, pressupõem alguma modelação tridimensional.

Esta modelação assenta em duas categorias: i) a que é baseada em imagens (2D) (em inglês *image based*), e ii) a que é baseada na medição de distâncias (em inglês *range based*) [Rem06].

Enquanto que os métodos fotogramétricos são baseados em imagens, o varrimento laser 3D é baseado na medição de distâncias.

Já vimos acima que podemos classificar os produtos quanto ao tipo (2D ou 3D) e quanto à origem (primários e secundários).

Os produtos 3D, pela sua natureza, implicam sempre algum tipo de modelação ou reconstrução tridimensional sobre os dados iniciais, sejam estes, imagens fotográficas, no caso da FDT, ou nuvens de pontos, no caso do VL3DT. Os produtos 2D podem ser obtidos apenas por processamento bidimensional dos dados ou como resultado de processamento

tridimensional, pelo que na exposição que se segue serão considerados em primeiro lugar os produtos 3D

Nos pontos seguintes discute-se com maior detalhe em que consiste cada um desses produtos, deixando as circunstâncias em que podem ser utilizados na área da conservação, restauro e reabilitação para serem discutidas no ponto 3.7.3 e aprofundadas no capítulo 5.

3.7.1. Produtos tridimensionais

Por produtos tridimensionais entende-se aqueles que organizam e apresentam a informação recorrendo às três coordenadas espaciais podendo ser observados de diferentes pontos de vista de forma dinâmica.

Dos materiais que foram referidos, os que aqui se enquadram são os modelos de pontos (nuvens de pontos da FDT ou do VL3DT), as delineações 3D (modelos de linhas ou modelos *wireframe* sem textura – da FDT) e os modelos de superfícies da FDT.

Note-se que um modelo pode ser produzido recorrendo à combinação de várias técnicas incluindo a FDT e o VL3DT.

Gonzo *et al* [GHP*04], El Hakim *et al* [HWG*05] propõem uma metodologia de integração da fotogrametria, do varrimento laser e de outras técnicas para a produção de modelos tridimensionais realistas. Consideram que a estrutura geral dos objectos pode ser obtida através de: i) desenhos existentes, ii) técnicas de levantamento topográfico ou manual, e iii) fotogrametria de imagens terrestres ou aéreas. De seguida propõem que as estruturas em que é necessário mais detalhe sejam modeladas através de varrimento laser e sequências de imagens de curto alcance.

A combinação entre a fotogrametria e o varrimento laser justifica-se na medida em que ambas as técnicas apresentam vantagens e inconvenientes [AL06] [GLD*08] [AGL10].

A fotogrametria é particularmente adequada para a documentação de objectos com geometrias definidas, é de mais baixo custo, requer equipamentos mais portáteis, exige operadores menos especializados, e em geral o tempo de processamento é elevado. Ao invés, o varrimento laser é particularmente adequado para a documentação de objectos de geometrias indefinidas, é de mais alto custo, requer equipamentos menos portáteis e operadores mais especializados e em princípio o tempo de processamento é mais reduzido [Rem06] [BGV04].

Há procedimentos integrados que tiram partido das qualidades de ambas as técnicas em que se utiliza o varrimento laser para definir a geometria geral e a fotogrametria para refinar as arestas dos objectos [NDS*05].

Uma das limitações que se costuma apontar no VL3DT é a sua capacidade limitada para registar as coberturas dos edifícios por serem, em geral, de mais difícil acesso. A

possibilidade de suprir essa limitação pode ser com a utilização de plataformas aéreas de baixa altitude como por exemplo mastros, balões, ou aviões e helicópteros teleguiados [SJM*04] [RLA*05]. Outra hipótese é a utilização de varrimento laser aéreo. Porém as qualidades posicionais não são compatíveis e o preço desproporcionado em relação a um levantamento terrestre, o que não o torna como verdadeira alternativa. Com as metodologias SFM e MVS pensamos que se poderá complementar o varrimento laser com modelos de nuvens de pontos, resultando num produto mais uniforme.

Se é verdade que na generalidade dos casos a produção de materiais 3D exige a contratação de serviços específicos [Eng07], também é verdade que com a disseminação da tecnologia digital e com o aparecimento de *software* fotogramétrico mais amigável, os próprios utilizadores da documentação, como os arqueólogos ou conservadores, podem passar a produtores [YY05] em algumas circunstâncias.

3.7.1.1. Modelos de nuvens de pontos

Nuvens de pontos, mais ou menos densas, constituem o primeiro produto possível da FDT e do VL3DT. As nuvens de pontos oriundas do VL3DT são, quase sempre, muito mais densas que aquelas que se podem obter por fotogrametria. Contudo há que notar que recentes desenvolvimentos da fotogrametria permitem a obtenção de nuvens de pontos bastante densas apenas com recurso a imagens 2D e técnicas de correlação como foi já referido em 3.2.

As nuvens de pontos podem ir desde algumas dezenas de pontos, por exemplo no caso de se tratar de pontos fotogramétricos para apoio da produção de um modelo tridimensional fotogramétrico, até vários milhões de pontos caso se esteja a representar um terreno ou um edifício por VL3DT. Sobretudo no caso do VL3DT, para que um modelo de pontos possa ter utilidade prática é necessário proceder a um conjunto de operações que têm por finalidade a remoção de ruído, de pontos cuja precisão é menor, ou até mesmo de elementos que não interessa documentar. Podem consistir numa única nuvem de pontos ou numa assemblagem de nuvens de pontos. Na figura 3-37 ilustra-se um exemplo de nuvem de pontos obtida por fotogrametria a partir da aplicação de técnicas de correlação a um par estereoscópico de imagens de um exemplo de gravuras rupestres.

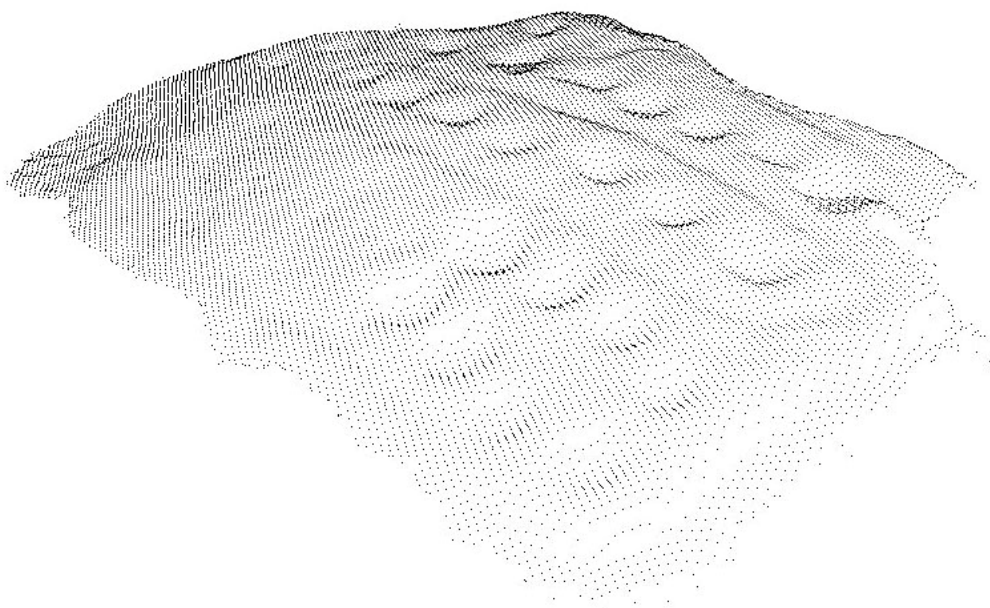


Figura 3-37: Nuvem de pontos.

Na figura 3-38 mostra-se um exemplo de modelo de nuvem de pontos de VL3DT texturizado com as imagens de reflectância. É uma vista parcial de um modelo resultante da assemblagem de várias nuvens obtidas por VL3DT do Pátio dos Carrascos no Convento de Cristo em Tomar.



Figura 3-38: Nuvem de pontos com mapeamento de reflectância.

3.7.1.2. Modelos de superfície: *mesh* e *nurbs*

A partir de modelos de pontos é possível obter, através de operações de modelação apropriadas, modelos de superfícies.

A forma mais comum de representar um modelo de superfície é através de uma malha (*mesh*). Uma malha é um arranjo espacial de polígonos adjacentes entre si, isto é,

que partilham arestas, de modo a aproximarem-se, mais ou menos, da superfície de fronteira de um objecto que se pretende representar. Os polígonos são as faces da malha [Nie05].

Numa malha, as faces podem ter qualquer número de lados e ter quaisquer tamanhos. Contudo, é normal que se adopte a configuração de faces triangulares ou quadrangulares. As malhas podem ser regulares, irregulares ou mistas. Às malhas regulares também se pode dar a designação genérica de rede (*grid*). Nestas os vértices são determinados através de padrões espaciais regulares designados tesselações [CMB00].

Uma malha triangulada pode ser produzida manualmente através do processo de modelação fotogramétrica ou pode ser gerada automaticamente a partir de nuvens de pontos. Neste último caso é necessário proceder à edição da malha para preencher vazios no sentido de construir um modelo estanque.

Se as faces forem triângulos distribuídos de forma irregular, a malha designa-se por rede triangulada irregular (TIN – *triangulated irregular network*). Na figura 3-39 à esquerda, ilustra-se um detalhe de uma *mesh* de um modelo tridimensional de uma estátua com aproximadamente 90cm de altura, que se pode observar à direita na figura. O modelo original, com 200493 pontos, foi produzido através de VL3DT de triangulação com o scanner Vivid 700 da Minolta.

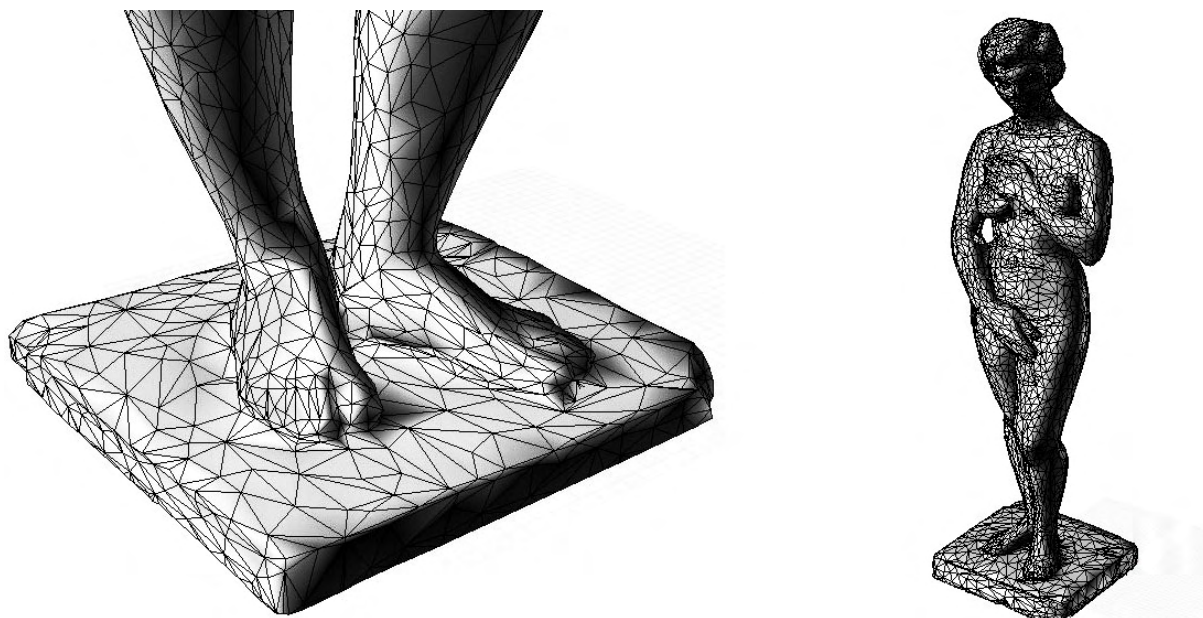


Figura 3-39: Modelo mesh de uma escultura.

O modelo da figura é uma simplificação do original e contém apenas 5539 pontos.

Os modelos de malha são a forma mais eficaz de representar superfícies a partir de pontos obtidos por VL3D. Os pontos de uma nuvem de pontos são, em geral, pontos

espaçados de acordo com um padrão resultante do varrimento. Contudo um modelo final pode não apresentar essa regularidade uma vez que se pode reduzir o número de pontos em função das características dos objectos a representar. A construção de uma *mesh* a partir de uma nuvem de pontos é feita a partir de funções matemáticas de interpolação que, de acordo com determinados critérios estipulados, permitem definir os seus vértices e as suas faces. Note-se que os vértices das malhas não têm necessariamente de ser pontos da nuvem de pontos, isto é, podem ser pontos interpolados a partir destes. Um dos algoritmos mais conhecidos para produzir um modelo de malha triangulada é a triangulação de Delaunay [Nie05].

Na figura 3-40 apresenta-se um modelo TIN da capela de São Frutuoso de Montélios [MFA*08] com textura aplicada.



Figura 3-40: Modelo triangulado texturado [MFA*08].

Uma alternativa aos modelos de *mesh* é os modelos *nurbs* (non-uniform rational B-Splines). O termo *nurbs* é utilizado para designar um tipo de linhas bastante utilizado em computação gráfica, as B-Splines não-uniformes racionais. Assim, um modelo *nurbs* é formado por uma assemblagem de superfícies que admitem aquele tipo de linhas como geratrizes [Nie05].

Tanto um tipo de modelos como o outro se caracteriza por ser modelo de superfície.

Alguns níveis de automatismo podem ser introduzidos para a produção de modelos triangulados, sendo os resultados sobretudo válidos para efeitos de visualização [KC04]

[Sus09], embora já se produzam resultados interessantes, por exemplo através do serviço on-line ARC3D.

3.7.1.3. Delineações 3D – Modelos *wireframe*

Os modelos de linhas (*wireframe*) podem ser obtidos a partir de imagens, a partir de modelos de nuvens de pontos, ou a partir de modelos de superfície. Também se pode considerar o *wireframe* como forma de visualização de outro tipo de modelos, por exemplo os modelos de CAD.

Vamos começar por notar que as delineações 3D ora aparecem como produto primário, na FDT, ora como produto secundário, no VL3DT. A razão é simples, é que no caso da FDT pode proceder-se à delineação 3D sem ter produzido um modelo prévio. Entenda-se no entanto que há um modelo implícito a partir do momento em que as imagens estão orientadas. No caso do VL3DT, quando se procede à delineação 3D, já existe explicitamente um modelo, daí considerarmos que nesse caso a delineação 3D é produto secundário. Na prática o resultado é semelhante. Fazemos ainda notar que por delineação estamos a considerar, em princípio, um procedimento manual de desenho, mas não excluimos a possibilidade de procedimentos automáticos. Em modelos resultantes de varrimento laser pode-se considerar duas abordagens à delineação 3D: i) efectuada directamente sobre o modelo seleccionando pontos, e ii) efectuada sobre imagens sendo a projecção no modelo resolvida pelo *software*. No essencial obtêm-se unindo pontos predefinidos ou através de intersecções produzidas por superfícies, em geral planos, na nuvem de pontos ou nos modelos de superfície. O modelo da figura 3-41 resultou da restituição fotogramétrica do Chafariz dos Canos em Torres Vedras (ver caso de estudo A.5 no volume II). As linhas foram obtidas por união de pontos identificados em múltiplas imagens.

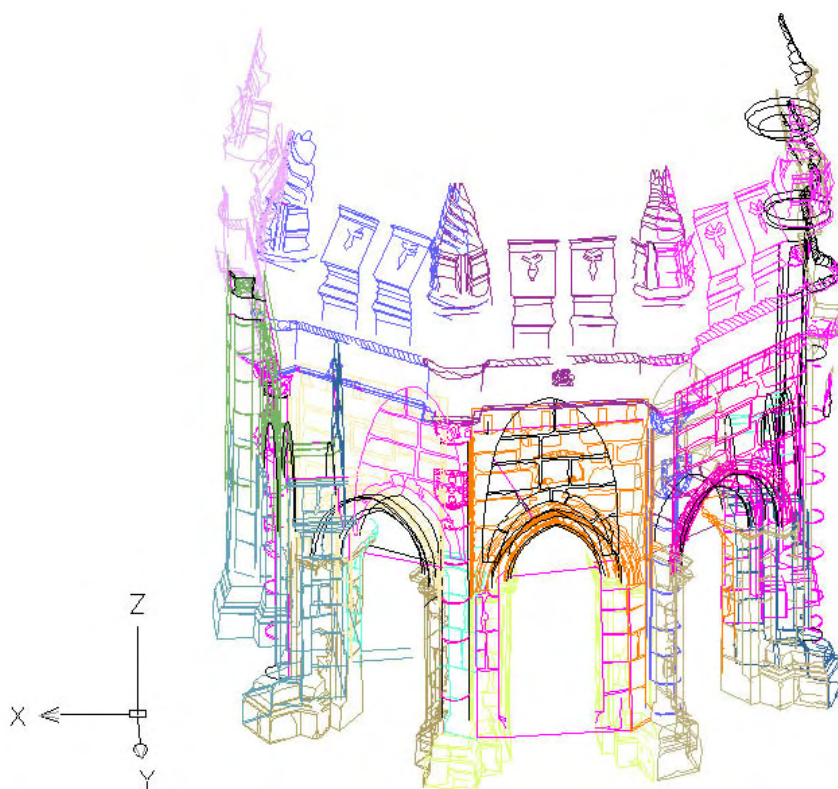


Figura 3-41: Modelo de linhas resultante da restituição fotogramétrica do Chafariz dos Canos.

Este tipo de procedimento pode ser realizado de forma automática, embora os resultados obtidos não sejam satisfatórios do ponto de vista da representação da Arquitectura [LB05], mesmo que possam ser bastante relevantes do ponto de vista da computação gráfica.

3.7.2. Produtos bidimensionais

A razão pela qual se apresenta este tipo de produtos depois dos anteriores resulta do facto de que muitos destes derivam dos anteriores, isto é, são obtidos por redução a 2D dos produtos 3D. Daí que o entendimento prévio do que são os produtos 3D se afigurasse como prioritário.

3.7.2.1. Imagens rectificadas

Uma imagem rectificada corresponde a uma imagem fotográfica, ou panorama plano, à qual foi aplicada uma transformação projectiva que remove os efeitos da perspectiva a uma dada orientação de planos e que atribui uma escala definida a um dos planos.

As imagens rectificadas não devem ser confundidas com orto-imagens em que a escala é constante. Tal como descrito em 3.2.3.6, a rectificação é uma transformação projectiva [Mes 83] do plano da imagem sobre si próprio sujeita a oito parâmetros.

Na figura 3-42 apresenta-se uma imagem original à esquerda e a respectiva imagem rectificada à direita. Na prática os dados de controlo podem resumir-se a uma altura e uma largura. Trata-se de um edifício de um quarteirão envolvente do Terreiro do Paço.



Figura 3-42: Imagem original (à esquerda) e imagem rectificada (à direita).

Se várias imagens de um objecto forem rectificadas tendo informação de controlo distribuída espacialmente, então as várias imagens podem ser orientadas no espaço dando origem a uma espécie de modelo tridimensional [NC05].

A informação de controlo para a rectificação pode resultar de simples medições com fita métrica até ao levantamento topográfico de coordenadas de alvos com estação total [WMT03].

3.7.2.2. Fotomosaicos

Um fotomosaico é uma assemblagem de imagens rectificadas de modo a cobrir uma área mais ou menos extensa. Através do fotomosaico pode fazer-se uma aproximação à orto-imagem. A razão pela qual se pode optar por um fotomosaico em vez de uma única imagem rectificada pode relacionar-se com a extensão da cena, com o facto de através de várias imagens rectificadas se poder minimizar os efeitos da perspectiva nos vários elementos constituintes da cena, ou ainda por questões de resolução. Na figura 3-43 apresenta-se um exemplo de fotomosaico composto por várias imagens com a junção entre elas removida.



Figura 3-43: Exemplo de fotomosaico rectificado

3.7.2.3. Orto-imagens

As orto-imagens podem-se obter através da projecção ortogonal, sobre um plano, de um modelo 3D com informação radiométrica associada. Esta pode corresponder aos valores de intensidade do VL3DT, aos valores RGB de imagens fotográficas, ou ainda qualquer outra combinação de valores resultante do processamento dos modelos 3D. Nas figuras 3-44e 3-45 apresentam-se exemplos de orto-imagens. A primeira resultou de um modelo de nuvens de pontos de VL3DT [MMR*10], e a segunda de um resultou de modelo fotogramétrico processado semi-automaticamente.

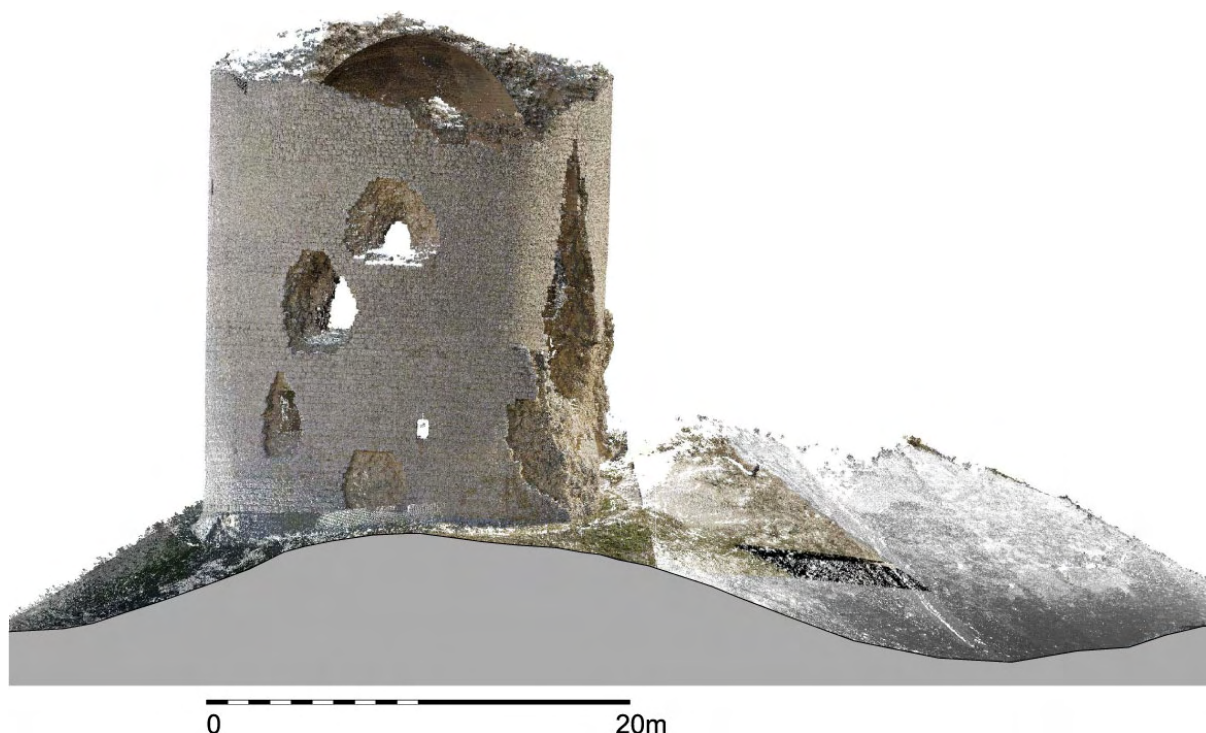


Figura 3-44: Orto-imagem associada a um corte. Castelo de Mota del Marques em Valladolid [MMR*10].



Figura 3-45: Orto-imagem de um exemplo de arte rupestre.

3.7.2.4. Plantas, cortes e alçados

Uma das vantagens de se dispor de dados tridimensionais é a possibilidade de obter as secções produzidas no objecto de acordo com as suas posições relativas. Isto permite uma maior coerência ao conjunto da informação extraída e facilita os processos de restituição gráfica [BCM05].

O desenho das curvas de nível da figura 3-46 resultou da intersecção de uma malha triangular irregular por um conjunto de planos paralelos entre si igualmente espaçados.

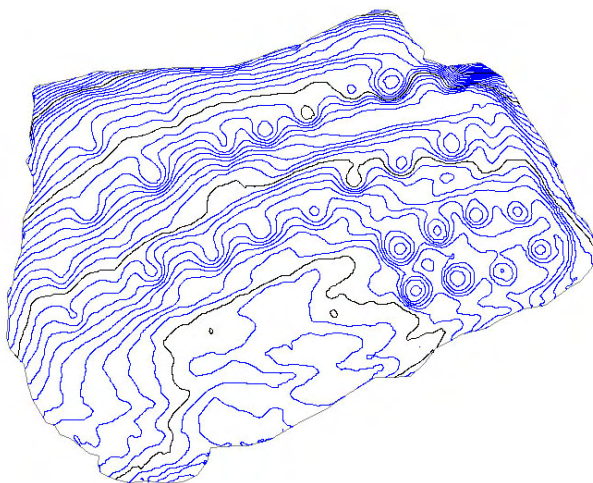


Figura 3-46: Seccionamento do modelo 3D através de curvas de nível.

Bonora *et al* [BTV05] sublinham que para proceder a um desenho arquitectónico, não é suficiente determinar uma secção no modelo tridimensional e delineá-la passivamente. É necessário seguir as convenções normais da representação da arquitectura, o que pode levar a conduzir vários planos de corte para obter um único

desenho. A produção de desenhos bidimensionais é uma operação que requer bastante tempo e um conhecimento específico da disciplina da Arquitectura.

Os desenhos de vistas, que em arquitectura são tratadas pela designação de plantas, cortes ou alçados, pode ser obtido de vários modos. Pode ser obtido por delineação de uma imagem rectificada ou de uma orto-imagem, como pode ser obtido através da remoção de uma coordenada a uma delineação tridimensional, ou ainda como forma de visualização de uma delineação do modelo tridimensional. No exemplo da figura 3-47, o desenho foi obtido através da delineação efectuada sobre uma orto-imagem de reflectância de VL3DT.

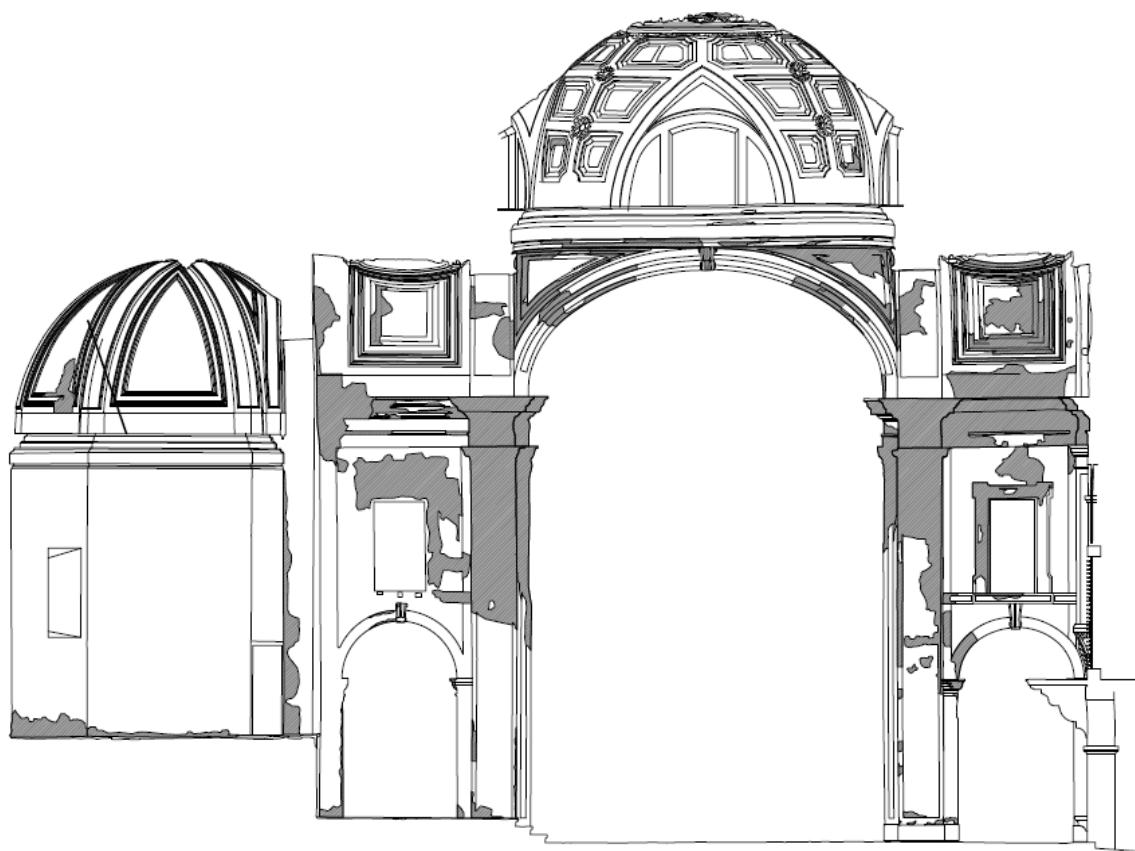


Figura 3-47: Exemplo de um corte obtido a partir de orto-imagem de reflectância de VL3DT (Igreja do Convento do Sacramento em Lisboa).

Regista-se algumas experiências na automatização deste processo através da extracção automática de contornos sobre imagens. Porém, nos casos que analisámos [YC05] [LB05], não considerámos os resultados satisfatórios do ponto de vista da diferenciação de informação para a Conservação, Restauro e Reabilitação em Arquitectura.

3.7.3. Aplicações da FDT e do VL3DT em Conservação, Restauro e Reabilitação

Consideramos este ponto para notar que os produtos da FDT e do VL3DT podem não constituir um fim em si. Eles são um meio. E nessa condição de meio, significa que podem ser utilizados posteriormente à sua produção de formas bastante diversas.

Discutiremos algumas aplicações possíveis da FDT e do VL3DT na área da Conservação, Restauro e Reabilitação e procuraremos identificar oportunidades de investigação.

Estudo da geometria

A geometria de um edifício construído pode ser representada de vários modos. Como produto do VL3DT ou da FDT é comum efectuar representações do objecto tal como construído, quer se trate de representações bidimensionais ou tridimensionais, evitando a interpretação. No caso de representações tridimensionais é comum fazer a aproximação ao objecto através de malhas trianguladas ou através do ajustamento de superfícies de Bézier [Fan05] [LGP05] [PSG07].

Por outro lado, é possível fazer interpretações sobre a geometria e comparar ou ajustar modelos conhecidos à geometria base derivada do levantamento. A interpretação da geometria pode ser feita de forma automática [DLP05] ou através de acção humana. E no caso de requerer acção humana pode constatar-se um de dois cenários: i) a evidência torna explícita a geometria [BA05] ou, ii) é necessário proceder à inquirição controlada do levantamento tridimensional no sentido de a deduzir. Esta inquirição controlada pode ser feita justapondo modelos teóricos de tratados [RT05] [CMS*11] [GR11] ou gerados através de processos paramétricos ajustáveis [CMP09], e verificando a maior ou menor concordância com os dados. Outra hipótese é através da interacção com o modelo, extraindo secções e analisando-as, num processo de parada e resposta até chegar a conclusões acerca da natureza da geometria conceptual por detrás do objecto construído. Este processo pode considerar apenas a evidência resultante da análise em si [CMP*05] ou pode utilizar informação histórica como fonte de colocação das hipóteses [San05].

Há aqui a possibilidade de fazer uma analogia entre o processo de levantamento e o processo conceptual do projecto [AGP05]. Através do processo de levantamento é possível, por meio de representações várias chegar até aos conceitos originais, e pelo processo de projecto chega-se, também através de representações, à construção de um edifício material. A representação é o denominador comum.

Cartografia temática

Embora os procedimentos fotogramétricos e de varrimento laser sejam inerentemente tridimensionais, temos a noção que os suportes bidimensionais são o suporte de registo de eleição para arquitectos e conservadores pela sua simplicidade de uso e eficácia. Mas também é verdade que parte dessa preferência resulta do facto de não estarem à vontade com alguns procedimentos e ferramentas 3D [RBJ*11].

A aplicação mais corrente da FDT e do VL3DT é a produção de desenhos bidimensionais a serem utilizados para proceder ao registo de anomalias, caracterização material e construtiva, análise estrutural, análise estratigráfica, entre outras. Adoptando uma designação própria das ciências de informação geográfica, pode-se designar este tipo de produtos como cartografia temática [CMB00].

Um desenho de cartografia temática é um produto 2D que resulta de uma delineação efectuada sobre um conjunto de dados 3D ou 2D de base, adicionando informação a esses dados prévios. Em geral, este tipo de produtos não é produzido pelos agentes que fornecem o levantamento base (em inglês *service providers*). Também não é propriamente um produto da FDT ou do VL3DT, embora possa ser feito sobre bases produzidas a partir desses processos. Normalmente este tipo de desenhos é produzido pelos agentes da conservação, restauro ou reabilitação (em inglês *information users*).

Os desenhos 2D temáticos consistem essencialmente nos levantamentos que suportam as análises descritas em 2.1.1.2. O desenho da figura 3-48 mostra a caracterização construtiva de um objecto arquitectónico³⁶.

³⁶ A caracterização construtiva ilustrada foi produzida pela empresa Insittu.

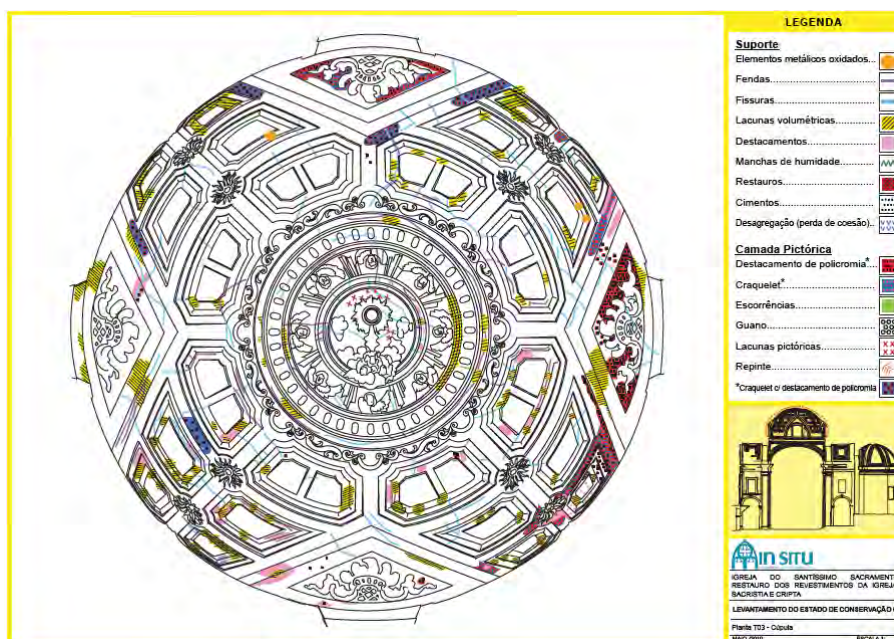


Figura 3-48: Desenho com o levantamento do estado de conservação da abóbada da Igreja do Convento do Sacramento (cortesia da empresa de conservação InSitu).

Modelos 3D (CAD e BIM)

A possibilidade de navegar pelos modelos tridimensionais assume-se como um valor acrescido no processo de projecto em conservação, restauro e reabilitação. Esta pode ser feita remotamente através da internet [Bia05] ou localmente. Com o enorme volume de dados que é produzido através dos processos do VL3DT e da FDT (em particular através do processamento automático adoptando por exemplo as metodologias SFM e MVS), para que se possa disponibilizar esses dados remotamente é necessário proceder a uma dizimação e modelação mais simplificada, e em casos de grandes conjuntos de informação isto pode ainda ser um problema [RR09]. Esta preocupação vai no sentido da emergência de uma cultura do 3D.

Tal como os modelos *nurbs*, os modelos de CAD não são um produto directo da FDT ou do VL3DT. Em geral os modelos de CAD são modelos sólidos por oposição aos referidos modelos de superfície. Isto quer dizer que as entidades geométricas volumétricas em CAD são conceptualmente concebidas com o interior preenchido [Nie05].

Deve notar-se que estas técnicas, a FDT e o VL3DT, bem como outras, permitem obter os dados que possibilitam a construção deste tipo de modelos. Os modelos CAD podem ainda ser obtidos a partir de qualquer tipo de modelo acima referido (*mesh* e *nurbs*). Para além disso também podem ser produzidos indirectamente a partir de dados 2D. Tratando-se de modelação efectuada sobre dados 3D esta far-se-á normalmente utilizando algum tipo de *software* de engenharia inversa. Este tipo de *software* permite o ajuste de primitivas geométricas, como sejam cilindros, cones e esferas, aos dados iniciais ou de

outro tipo de linhas ou superfícies. Normalmente é preciso ponderar se é conveniente e útil a construção deste tipo de modelos dado que a sua produção consome bastante tempo. Aos modelos também podem ser associadas texturas.

Os modelos de CAD podem ser expandidos através do paradigma BIM (Building Information Model), implementado através de aplicações do tipo ArchiCAD ou Revit da Autodesk, associando o modelo 3D a uma base de dados projectual tornando mais fácil e rápidas as operações de medições, de elaboração de mapas de vãos, e produção de desenhos 2D. Do ponto de vista do aspecto visual, um modelo de CAD tradicional pouco ou nada diferirá de um modelo BIM.

A modelação em CAD é relativamente acessível, por exemplo em AutoCAD, a partir de nuvens de pontos com a utilização de aplicações de *plug-in* do tipo Point Cloud da Kubit ou CloudWorks da Leica (ver tabela 3-7), este processo já não é directo no caso das aplicações CAD/BIM como as referidas. Em todo o caso as aplicações de CAD permitem exportar em formatos que as aplicações de CAD/BIM conseguem ler, como é o caso dos formatos *.dwg, *.dxf, ou mais específico, o formato *.ifc próprio das aplicações BIM. Regista-se no entanto um progresso recente nesta matéria. A partir de 2011 o Revit permite já a importação de nuvens de pontos facilitando a modelação BIM. Bennett [Ben09] identifica a área da relação entre o BIM e varrimento laser como uma área de oportunidades de investigação.

Neste tipo de ambientes é sempre necessário proceder a alguma simplificação da modelação. Elementos como colunas recortadas, capiteis, ou outros que não sejam facilmente modeláveis através de primitivas geométricas apresentam alguns problemas [KNV04].

Os modelos podem representar apenas o estado actual ou podem ser conjecturais. Sendo conjecturais, podem sê-lo relativamente a algum aspecto que não é visualmente acessível por estar oculto ou por já não existir.

Tendo por base fontes históricas, ou evidência local, é possível proceder a uma modelação diacrónica que tem por objectivo a reposição virtual de situações anteriores, como uma espécie de restauro virtual [SBN*11].

Análise e processamento de imagem

As imagens, sejam de que natureza for, podem ser alvo de interpretações ou análises visuais, que serão mais ou menos bem sucedidas consoante o nível de conhecimento que o intérprete tem acerca do assunto que está a ser estudado. Os elementos da interpretação de imagem são: i) a forma, ii) o tamanho, iii) o padrão, iv) o tom, v) a textura, vi) as sombras, vii) o lugar ou a posição, viii) a associação relativa, e ix) a resolução. Para além das análises visuais também podem ser feitas análises digitais das

imagens através de técnicas de processamento, isto é, análises feitas com o auxílio de um computador. As operações base do processamento digital de imagem são sete: i) rectificação e restauro da imagem, ii) melhoramento da imagem, iii) classificação de imagem, iv) fusão de dados e integração em SIG, v) análise hiper-espectral, vi) modelação bio-física, e vii) transmissão e compressão de imagem [LKC04]. Note-se que se um dos elementos é o tamanho, pressupõe-se a noção de escala e uma métrica o que só é possível com algum tipo de processamento fotogramétrico das imagens. As técnicas de análise e processamento de imagem permitem diferenciar, por exemplo: as diferentes espécies vegetais que ocupam uma área geográfica, a manifestação de poluição em aquíferos, ou a desertificação de áreas, isto ao nível das escalas geográficas. Note-se que no processamento de imagem os resultados são independentes da interpretação.

As classificações acima consideradas são próprias da disciplina da Detecção Remota que, tradicionalmente, é aplicada a territórios geográficos de larga escala, sendo as imagens capturadas através de sensores usualmente colocados em plataformas aéreas como aviões ou satélites. Contudo, com as devidas adaptações, os mesmos conceitos podem ser aplicados a territórios geográficos menores, no nosso caso constituídos por edifícios isolados ou pequenos conjuntos edificadas, mesmo que neste contexto a geometria da aquisição das imagens seja mais variada.

Através dos exemplos seguintes procuraremos notar que este tipo de técnicas e procedimentos, perfeitamente estabelecidos nas ciências de informação geográfica, também podem ser aplicados ao estudo da arquitectura no contexto da conservação.

A aplicação destas técnicas para a caracterização e detecção de anomalias em superfícies construídas de edifícios, com vista à conservação e restauro, já existe há algum tempo sendo contudo de aplicação mais difícil. A maior dificuldade na sua aplicação, quando se recorre à utilização de sensores passivos (que recolhem informação relativa à radiação ambiente), é o facto das condições de iluminação das cenas em análise serem muito variáveis dependendo da hora do dia, das condições atmosféricas, e da superfície dos objectos, de onde se torna difícil garantir condições de repetibilidade das experiências. Uma das formas de minimizar este problema é a utilização de filtros, para determinados comprimentos de onda, ou a utilização controlada de sensores activos, em termos de distância e ângulos de incidência com as superfícies.

Um exemplo de sensor passivo que permite a recolha de imagens multi-espectrais é o CCD das câmaras fotográficas correntes. Com efeito as vulgares “imagens a cores” não são mais que a combinação de três imagens resultantes da aquisição de luz visível (correspondente ao intervalo do espectro da radiação electromagnética que vai desde os 400 nm aos 700 nm) em três comprimentos de onda distintos, na banda do vermelho (600-

700 nm), do verde (500-600 nm) e do azul (400-500 nm), podendo por isso dizer-se que uma foto digital a cores é uma imagem multi-espectral.

Também é possível utilizar-se sensores sensíveis a outros comprimentos de onda, por exemplo de infravermelhos com ou sem filtros [LKC04] [HWM05] [MCK*09].

Com efeito, este tipo de imagens é de utilização relativamente corrente na disciplina da Conservação.

Com o aparecimento dos equipamentos de varrimento laser abriu-se um novo capítulo para a utilização de imagens em conservação, em particular no contexto da arquitectura.

Uma das formas de fazer a abordagem à integração entre o VL3DT e a utilização de imagens espectrais, por exemplo de infravermelhos ou ultravioletas, é através da utilização destas para mapeamento das nuvens de pontos [BFF*05] [BFF*05a] [PMH*07]. No entanto os exemplos encontrados não são de utilização extensiva. Também se regista a combinação da informação espectral RGB da fotografia com a intensidade do varrimento laser numa abordagem de processamento de imagem [CAA10].

Sendo sensores activos, os scanners de VL3DT emitem a sua própria radiação e medem a intensidade da mesma que é reflectida pelas superfícies dando origem às já referidas imagens de reflectância ou intensidade. Estas imagens têm um significado espectral e podem por isso revelar aspectos relevantes acerca das propriedades das superfícies sendo reconhecido que podem ajudar a diferenciar formas de degradação ou materiais [DD05] [PMH*07].

Os scanners comercializados utilizados no VL3DT não são multi-espectrais. Isto significa que apenas funcionam num comprimento de onda bem definido e a sua vocação principal é a aquisição de dados posicionais.

Na nossa pesquisa registámos duas experiências em que, em contexto laboratorial, se desenvolveram equipamentos de varrimento laser com capacidade de emissão em mais que um comprimento de onda. Num desses casos, embora se trate de um equipamento de varrimento laser, com capacidade para emissão nos comprimentos de onda de 670nm, 808nm, 980nm e 1940nm, vocacionado para a produção de imagens espectrais para processamento e detecção de anomalias, o equipamento não apresenta a capacidade de medição de distâncias [HWS*06]. No outro caso, o equipamento tem a capacidade de medição de distância, embora com pouca qualidade, e emite nos comprimentos de onda de 600nm e 800nm, com o objectivo de produzir dados espaciais e espectrais que permitam o cálculo do índice de vegetação NDVI (normalised difference vegetation index) [CRK*10]. Estes tipos de sistemas ainda não são comerciais nem de utilização generalizada.

Os Sistemas de Informação

Em vários contextos, desde a arquitectura à arqueologia, há que recolher, produzir, armazenar, manusear, cruzar, interpretar grandes quantidades de informação. Tal facto implica a definição de sistemas para gerir a informação. Nos nossos dias é natural que se assuma como ponto de partida que esse sistema seja informático e que permita relacionar dados alfanuméricos e dados gráficos, dando origem a SIG (Sistemas de Informação Geográfica) ou simplesmente SI (Sistemas de Informação). Estes sistemas podem ainda assumir a forma de plataformas colaborativas entre os vários agentes da conservação. Estes apresentam a vantagem de facilitar o processo de gestão e a inserção de informação por parte dos vários especialistas envolvidos numa acção de conservação [MJM*05].

Os sistemas de informação não são a consequência directa da fotogrametria ou do VL3D. São antes um modo de organizar e estruturar informação, parte da qual pode ter sido produzida por aqueles meios.

Do ponto de vista da gestão do projecto, o já referido *software* ArchiCAD ou o Revit, que implementam o modelo BIM, não são mais que sistemas de informação que associam dados geométricos a bases de dados alfanuméricas. Tendencialmente, à semelhança do que acontece com esta aplicação, os modelos 3D tenderão a tornar-se na interface entre a informação geométrica e a informação alfa-numérica. Neste contexto o VL3DT e a FDT desempenharão um papel importante como metodologia de aquisição de informação base para a produção de tais modelos, e é de esperar que num futuro próximo, a modelação a partir de nuvens de pontos em ambiente BIM se facilite através de aplicações desenvolvidas para o efeito. Este tipo de ferramentas permite considerar a hipótese de que os dados base para a realização das análises referidas em 2.1.1.2 se possa vir a fazer sobre suportes 3D. Imagine-se por exemplo a cartografia do estado de conservação feita directamente sobre um modelo 3D e directamente associada a uma base de dados que permitisse como saída uma listagem de áreas associada às acções correctivas a realizar no terreno.

Desenvolvido no âmbito do projecto FCT: PTDC/AUR/66476/2006, o Sistema de Informação de Conservação do Património Arquitectónico e Urbano é um sistema que permite a associação entre elementos gráficos da representação (plantas, cortes, alçados e modelos 3D) e base de dados alfanumérica que regista através de fichas um conjunto de propriedades inerentes àqueles elementos (<http://archc3d.fa.utl.pt/gallery.html>).

Neste momento ainda não existem aplicações comerciais que permitam gerir o mapeamento tridimensional de anomalias associadas a bases de dados de modo a poder quantificar de forma mais rigorosa a medição dos atributos de área, ou volume associados. Normalmente esta gestão é feita sobre suportes bidimensionais atribuindo-se coeficientes de superfície que visam traduzir a tridimensionalidade do objecto. Em nossa opinião esta é

uma área de investigação para futuro. Em contexto académico, Appolonia *et al* [AMP*07] descrevem uma ferramenta que permite o mapeamento tridimensional de anomalias.

Visualização e realidade virtual

As sequências de animação e os modelos de realidade virtual são um sub-produto da modelação 3D como também o são as imagens renderizadas. Este tipo de produtos obtém-se a partir dos modelos 3D definindo, em *software* adequado, um conjunto de parâmetros de visualização e animação, como sejam a definição de texturas, condições de iluminação das cenas, níveis de resolução das imagens, orientação e caracterização das câmaras, definição das características do movimento destas, e definição de parâmetros de interacção. Algumas ferramentas de *software* de processamento de nuvens de pontos, como é o caso do JRC3D Reconstructor, têm a funcionalidade de criação de animações incorporada, bem como a possibilidade de exportação de modelos de realidade virtual, por exemplo em VRML. Na figura 3-49 ilustra-se um modelo VRML, da Capela de São Frutuoso de Montélios [MFA*08], visualizado através do *plug-in* Cosmo Player para navegadores de Internet.



Figura 3-49: Modelo de realidade virtual.

Na figura 3-50 ilustra-se uma sequência de animação da Capela de São Frutuoso de Montélios [MFA*08].

Este tipo de produtos, não sendo de interesse directo para o acto da Conservação ou Restauro em si, é bastante importante para a divulgação do património. Torna-o mais acessível quando o acesso directo não é possível ou não é geograficamente viável. Nesse sentido pode contribuir para o conhecimento do objecto.



Figura 3-50: Sequência de animação da capela de São Frutuoso de Montélios [MFA*08]

Normalmente, os *softwares* que manipulam nuvens de pontos permitem a exportação de imagens que traduzem o ponto de vista do scanner. Estas imagens podem servir como índice de um sistema de arquivo de nuvens de pontos. Para cada uma destas imagens, por exemplo no caso de scanners panorâmicos, pode ser gerado um ficheiro de quick-time VR que permite uma visualização dinâmica do mesmo (figura 3-51).

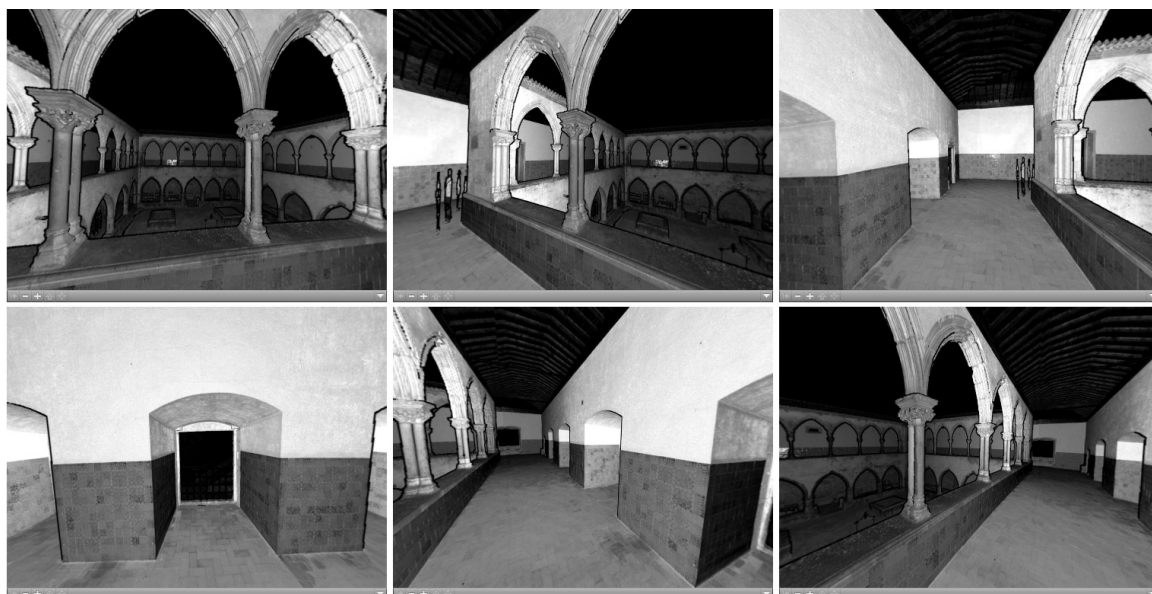


Figura 3-51: Sequência de imagens resultante da interação com um panorama interactivo produzido a partir de imagem panorâmica de uma nuvem de pontos.

Por outro lado, esta “imagem” pode por sua vez permitir a sua ligação a um visualizador de nuvens de pontos. Pode ainda ser a imagem que está no frontispício de uma ficha de inventário de nuvens de pontos. Esta ficha pode conter os metadados, ou permitir o acesso a eles, relativos à nuvem de pontos. Por outro lado deverá poder-se, através da ficha, aceder à informação que constituiu o planeamento da acção de levantamento. Se for possível essa informação poderá aparecer sob a forma gráfica “clicável” para as nuvens de pontos. Tratar-se-ia de informação de base para reconstituição 3D caso necessário.

Análise de deformações

Outra área em que a fotogrametria e o varrimento laser podem ter aplicação é na análise estrutural dos edifícios. Esta análise pode ser feita por um lado através da leitura directa de desenhos (figura 3-52).

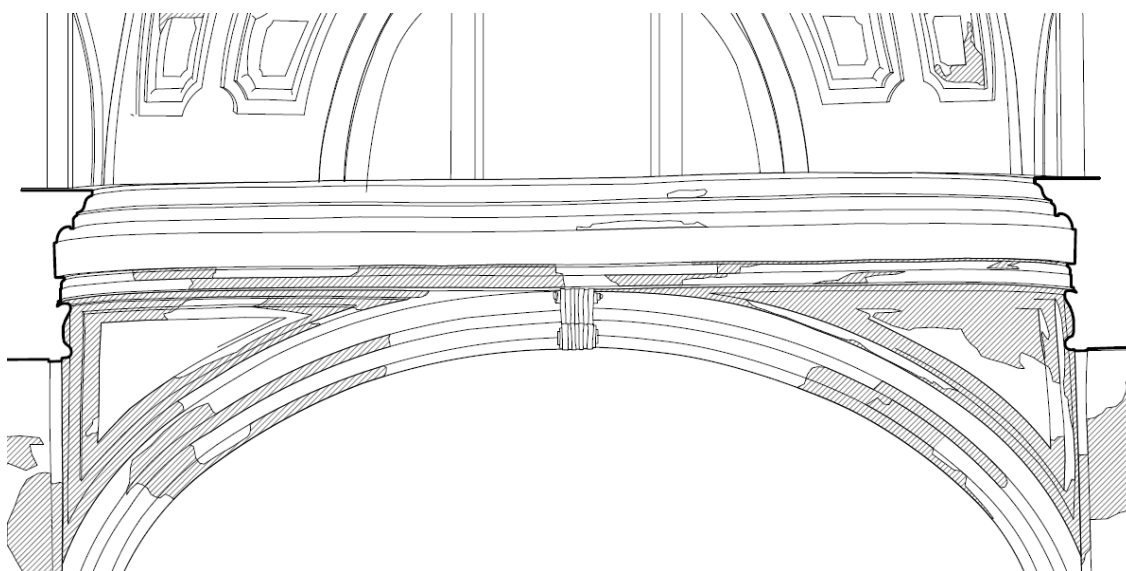


Figura 3-52: Visualização da deformação por leitura directa dos desenhos 2D do levantamento.
Tambor da abóbada da Igreja do Convento do Sacramento.

Ou pode ser realizada através de operações de inquirição dos modelos como seja a determinação de secções e verificação dos desvios em relação à vertical por simples medição [FPF*07] ou através da sua análise com algoritmos que modelam a deformação [ARA10] (figura 3-53).

IGLESIA DE VILLAMORON. BURGOS

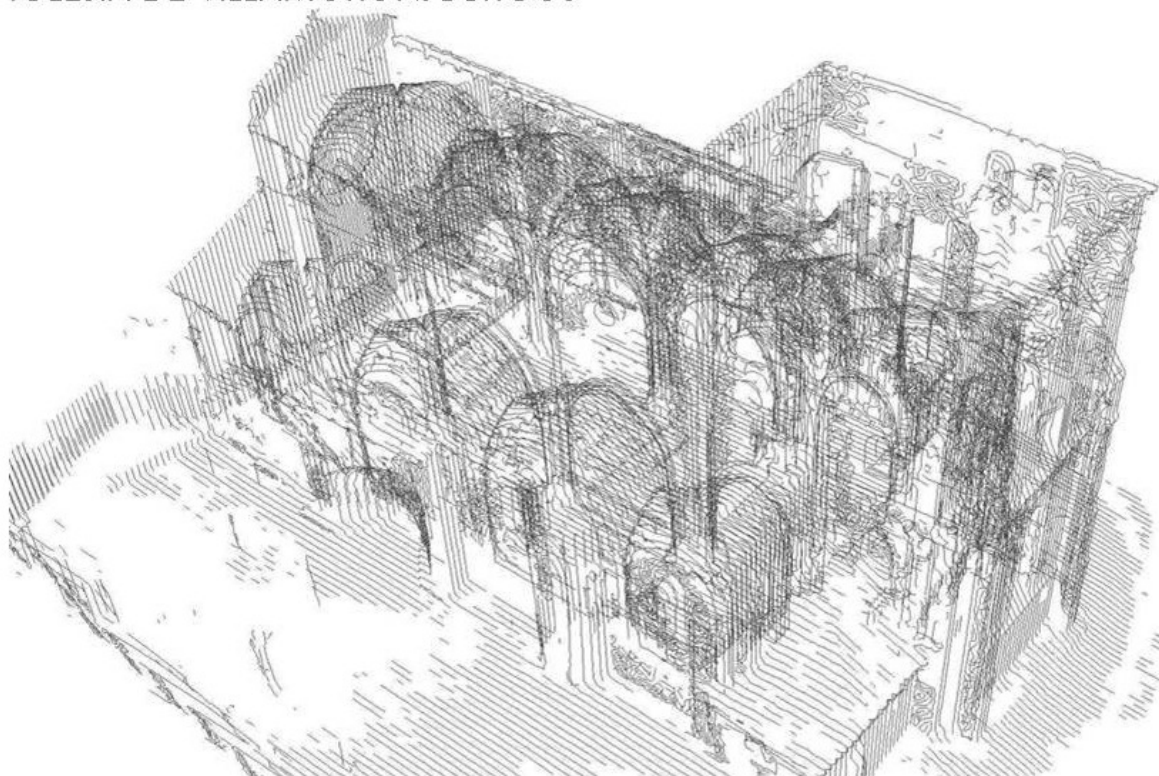
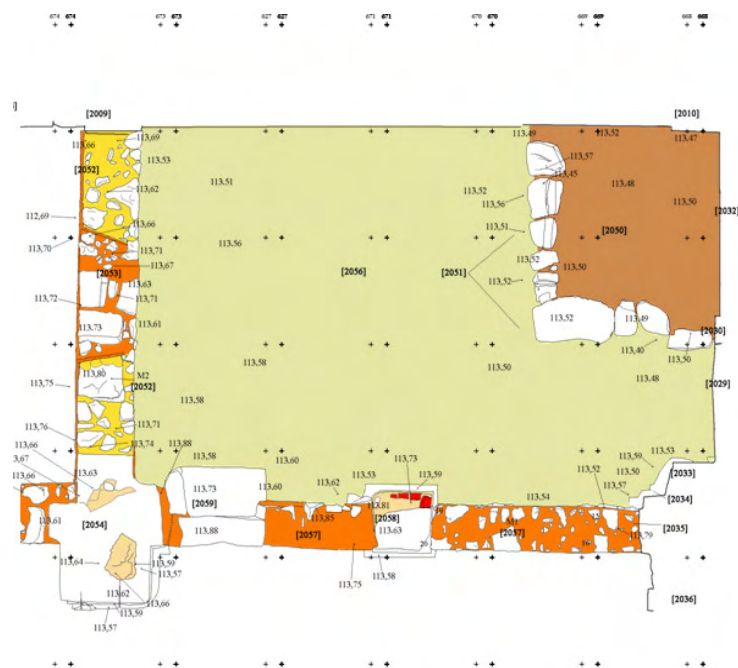
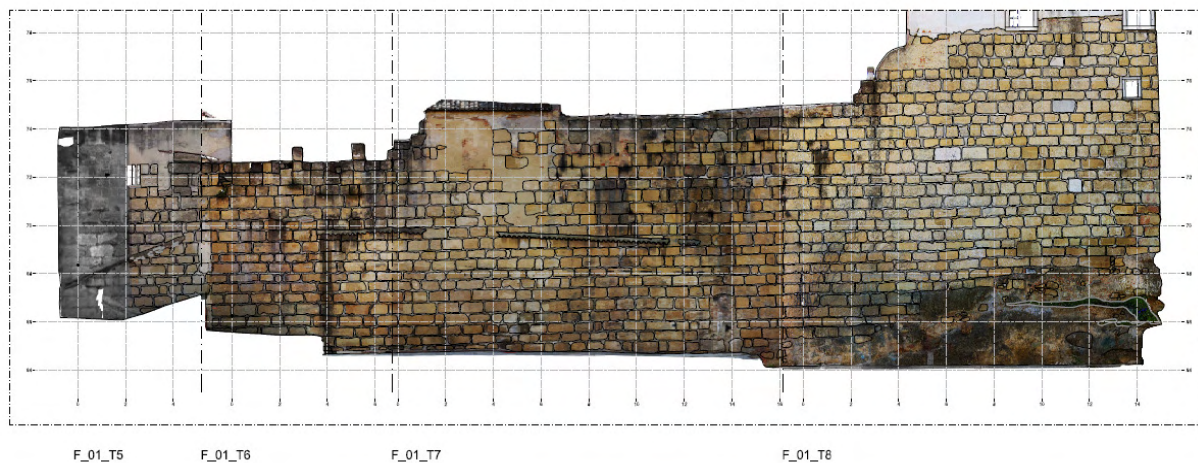


Figura 3-53: Seccionamento do modelo de nuvens de pontos da igreja de Villamorón em Burgos, Espanha (cortesia do Laboratório de Fotogrametria da Universidade de Valladolid) [FPF*07].

Análise estratigráfica

Outra área, correlacionada com a Conservação, Restauro e Reabilitação, é a arqueologia. Neste caso, costuma ser necessário um tipo de suportes bastante detalhados, em que os paramentos são desenhados pedra a pedra. Na figura 3-54 ilustra-se um exemplo de desenho a servir de suporte à análise estratigráfica. Trata-se da Cerca Velha de Lisboa. O autor da tese participou no processo de levantamento com a empresa 3D Total.

Na figura 3-55 apresenta-se um desenho que já corresponde a uma fase de registo em que se fez a interpretação estratigráfica. Este tipo de análise é importante em Conservação, Restauro e particularmente em Reabilitação, uma vez que permite compreender melhor os valores que podem estar em causa numa área em que se pretende intervir.



3.8. Conclusões

Neste capítulo procedeu-se à revisão dos conceitos no que respeita às metodologias da FDT e do VL3DT. Descrevemos as operações e procedimentos base da FDT e VL3DT. Discutimos a aplicabilidade da fotogrametria e do varrimento laser e apontámos vantagens e limitações de ambos os métodos. Fez-se uma revisão da literatura ancorada na explicação de conceitos. Preferimos esta abordagem em relação a uma abordagem por casos de

estudo uma vez que o nosso contributo pretende ser sobretudo metodológico, e por definição, isso significa o conhecimento dos métodos e processos.

Enunciámos os fluxos de trabalho típicos e descrevemos o tipo de produtos que podem ser produzidos pelas técnicas da FDT e do VL3DT no contexto da Conservação, Restauro e Reabilitação em Arquitectura.

Verificámos que os guias existentes na área da fotogrametria, e em particular na área do varrimento laser, carecem ainda de alguma generalização através da identificação de situações tipo de aplicação prática. Este é um ponto central sobre o que incidirá o nosso trabalho.

Verificámos que a fotogrametria digital e o varrimento laser, como técnicas inerentemente tridimensionais, permitem um renovado rol, ainda por explorar, de possibilidades para inquirição da arquitectura construída.

Verificámos que os recentes desenvolvimentos na automatização da fotogrametria trazem novas possibilidades à documentação e configuram-se como uma forma de gerar informação complementar ao varrimento laser. Verifica-se a necessidade de avaliar a validade destes métodos para a produção de informação base no contexto da conservação e restauro e desenvolver estratégias para a sua produção e integração.

Verificámos que a utilização de imagens de reflectância traz novas possibilidades ao processo de análise em conservação e restauro. Porém, o facto dos equipamentos de varrimento laser comercializados serem monocromáticos apresenta algumas limitações nesta matéria. Sentimos que é necessário desenvolver estratégias no sentido de potenciar a utilização deste tipo de imagens nos processos de análise e diagnóstico.

PARTE II

4. Desenvolvimento de uma ferramenta fotogramétrica

Neste breve capítulo faz-se um contributo nosso para o processo da fotogrametria, implementado na forma de um plug-in para o software AutoCAD programado na linguagem AutoLISP, que vai ao encontro de uma intenção de desenvolver estratégias que facilitem os processos de restituição gráfica, que são sempre uma componente morosa das acções de levantamento. Procuraremos aplicar a ferramenta desenvolvida e explorar as suas potencialidades.

A ferramenta que descrevemos neste ponto é o resultado de oportunidades de melhoramento e complemento de processos de desenho associados à FDT e ao VL3DT que identificámos ao longo das nossas experiências de aplicação. Contudo, em termos de exposição lógica, este é o lugar para a apresentar.

Embora as componentes da ferramenta que aqui se descreve, se consideradas de modo isolado, possam ter aplicações em vários contextos, mesmo não fotogramétricos, interessou-nos salientar as suas aplicações fotogramétricas. As operações implementadas pela ferramenta desenvolvidas são três: (i) determinação de pontos de fuga, (ii) rectificação vectorial, e (iii) determinação de ângulos entre planos verticais, em princípio planos de fachadas. A implementação foi desenvolvida na linguagem AutoLisp no ambiente de trabalho do *software* AutoCAD, considerando como pressuposto a sua aplicação a desenhos lineares elaborados sobre fotos inseridas naquele *software*.

4.1. Determinação de pontos de fuga

Como se sabe da geometria descritiva e projectiva, a projecção cónica de um conjunto de rectas paralelas num plano resulta num feixe de rectas concorrentes num único ponto. Este ponto designa-se ponto de fuga e pode ser impróprio se as rectas forem paralelas ao plano de projecção.

Também já foi referido que a operação acima descrita, a projecção cónica, corresponde ao modelo mais simplificado que se pode conceber para uma câmara fotográfica. Contudo, numa imagem fotográfica real, o feixe de rectas que representa as rectas espacialmente paralelas não converge num ponto exactamente determinado. Converge antes para uma zona que se pode designar por ponto gordo. Isto é, se sobre uma imagem fotográfica vectorizarmos os segmentos que correspondem a rectas paralelas, estes, quando prolongados, não convergem num único ponto.

Seja então $F_{(X_F, Y_F)}$ o ponto de fuga a determinar a partir de um conjunto de linhas desenhadas sobre a imagem fotográfica que se sabe corresponderem a um conjunto de rectas espacialmente paralelas.

Para cada par de linhas com comprimentos d_A e d_B e ângulo relativo $\alpha \neq 0^\circ$, pode ser determinado um ponto de intersecção $I_{AB(X,Y)}$ com os seguintes residuais relativamente às coordenadas do ponto de fuga:

$$\begin{aligned} r_X &= (X_F - X) \\ r_Y &= (Y_F - Y) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Um grau de confiança, ou peso, para as coordenadas determinadas pode ser estabelecido como função do comprimento dos segmentos e do ângulo relativo que fazem:

$$w_{AB} = d_A \cdot d_B \cdot \sin \alpha \quad (4.2)$$

Para um número $n \geq 2$ de linhas, pode ser determinado um número m de pontos de intersecção:

$$m = 1 + \sum_{i=2}^{n-1} i \quad (4.3)$$

As coordenadas de todos os pontos assim determinados são utilizadas para definir o ponto que melhor se ajusta a todas as intersecções de acordo com o critério dos mínimos quadrados ponderados:

$$\begin{aligned} \theta_X &= R_X^T W R_X = \min \\ \theta_Y &= R_Y^T W R_Y = \min \end{aligned} \quad (4.4)$$

Onde R_X e R_Y são as matrizes dos resíduos e W é a matriz dos pesos.

Pode ser mostrado que as coordenadas do ponto que satisfazem o critério definido são dadas por:

$$\left\{ \begin{aligned} X_F &= \frac{\sum_{k=1}^m X_k w_k}{\sum_{k=1}^m w_k} \\ Y_F &= \frac{\sum_{k=1}^m Y_k w_k}{\sum_{k=1}^m w_k} \end{aligned} \right. \quad (4.5)$$

O que na prática é uma média ponderada das m coordenadas determinadas.

Depois das coordenadas do ponto de fuga terem sido determinadas, as linhas previamente desenhadas podem ser redesenhadas automaticamente de modo a convergir no ponto de fuga.

4.2. Rectificação vectorial

A rectificação vectorial inclui-se no que designamos por métodos fotogramétricos expeditos. Falamos de rectificação vectorial quando manipulamos apenas informação vectorial, de rectificação de imagem quando manipulamos apenas imagens (informação raster), e de rectificação mista quando utilizamos um procedimento que inclui os dois anteriores. Em ambos os casos os elementos base são sujeitos a uma ou mais transformações projectivas [Mes83] que alteram a sua geometria.

Como cenário operativo considere-se o seguinte: as imagens fotográficas de fachadas de edifícios aproximadamente planas são inseridas no ambiente de trabalho do *software* AutoCAD. Estas podem corresponder a fotos isoladas, partes de fotos, ou imagens panorâmicas de quadro plano. As imagens inseridas são vectorizadas manualmente dando origem a desenhos lineares 2D. Estes desenhos apresentam as distorções próprias da perspectiva. Posteriormente, os desenhos são rectificados de modo a eliminar a distorção da perspectiva. O desenho torna-se assim independente da imagem base. A vantagem deste processo reside no facto de que ao tornar-se independente desenho e imagem, o trabalho de restituição pode começar a ser realizado de forma independente da informação de controlo, podendo sempre ser ajustado em função de alterações relativas a esta. As imagens sobre as quais se desenha correspondem sempre a projecções perspectivas sobre planos. Para realizar as operações fotogramétricas pressupõe-se a introdução de alguma informação de controlo que pode ser obtida de várias formas: medições efectuadas com fita métrica, medições efectuadas por topografia, ou outras.

A imagem fotográfica de um objecto contém deformações próprias decorrentes das distorções introduzidas pelo sistema óptico e decorrentes do facto de se tratar de uma projecção cónica ou perspectiva. Neste ponto, vamos centrar-nos no segundo tipo de deformações notando que as primeiras podem ser removidas, em geral, pelos *softwares* de processamento de imagem das marcas das câmaras fotográficas. Adiantamos que, na sua aplicação mais imediata, esta operação implica no mínimo duas medições feitas no local relacionadas entre si, na prática uma altura e uma largura que podem ser obtidas com uma simples fita métrica.

Se tivermos uma figura plana representada numa imagem fotográfica, pode estabelecer-se uma relação entre a figura representada e a figura espacial que pode ser definida por meio de uma transformação projectiva. Esta pode considerar as posições dos dois planos no espaço. Contudo podemos, para efeitos da definição da relação entre as duas figuras, desprezar a posição dos planos no espaço e tratar a relação como uma transformação projectiva de um plano sobre si próprio. As coordenadas, no plano da

transformação, de pontos homólogos podem ser relacionadas entre si através de oito parâmetros de acordo com a expressão seguinte.

$$\begin{cases} X_u = \frac{e_1 x_n + f_1 y_n + g_1}{e_0 x_n + f_0 y_n + 1} \\ Y_u = \frac{e_2 x_n + f_2 y_n + g_2}{e_0 x_n + f_0 y_n + 1} \end{cases} \quad (4.6)$$

Em que:

X_u e Y_u são as coordenadas de um ponto P_u de uma das figuras,

x_n e y_n são as coordenadas de um ponto P_n da outra figura correspondente ao ponto P_u ,

$e_0, e_1, e_2, f_0, f_1, f_2, g_1, g_2$ são os oito parâmetros da transformação projectiva.

Os oito parâmetros podem ser impostos à partida, como forma de condicionar a projecção em função da figura original, ou podem ser determinados em presença das duas figuras. Neste último caso, um número mínimo de quatro pontos homólogos permite definir os parâmetros da transformação.

Sejam $P_{i(X_i, Y_i)}$ e $P'_{i(x_i, y_i)}$, com $i = \{1, 2, 3, 4\}$, os quatro pontos homólogos sob a transformação projectiva. Os pontos $P'_{i(x_i, y_i)}$ estão associados aos pontos $P_{n(x_n, y_n)}$ da figura ff da que vão ser transformados nos pontos $P_{u(X_u, Y_u)}$ da figura FF de acordo com a figura 4-1.

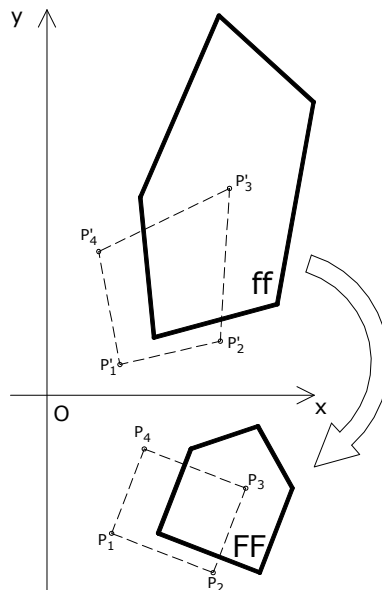


Figura 4-1: Princípio da rectificação.

Se três das coordenadas dos quatro pontos P_i forem iguais a 0, e três das coordenadas dos quatro pontos P'_i forem iguais a 0, então os oito parâmetros da transformação projectiva são simples de calcular. Contudo, em geral esta condição não é cumprida à partida. Para que se possa aplicar a transformação projectiva cumprindo aquela condição, um conjunto de transformações auxiliares devem ser consideradas.

Uma translação de acordo com o vector $\overrightarrow{P_4O}$ é aplicada aos pontos de controlo $P_{i(X_i, Y_i)}$ de modo a obter os pontos $P_{it(X_{it}, Y_{it})}$, sendo de seguida aplicada uma rotação, com centro na origem do referencial, aos pontos $P_{it(X_{it}, Y_{it})}$ de modo a alinhar o vector $\overrightarrow{P_{4t}P_{3t}}$ com o eixo xx , determinando os pontos $P_{itr(X_{itr}, Y_{itr})}$:

$$\begin{cases} X_{itr} = (X_i - X_4) \cos \alpha - (Y_i - Y_4) \sin \alpha \\ Y_{itr} = (X_i - X_4) \sin \alpha + (Y_i - Y_4) \cos \alpha \end{cases} \quad (4.7)$$

Em que:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= -\frac{Y_{3t}}{\sqrt{X_{3t}^2 + Y_{3t}^2}} \\ \cos \alpha &= \frac{X_{3t}}{\sqrt{X_{3t}^2 + Y_{3t}^2}} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Uma translação de acordo com o vector $\overrightarrow{P'_1O}$ é aplicada aos pontos de controlo $P'_{i(X_i, Y_i)}$ e aos pontos $P_{n(X_n, Y_n)}$ da figura ff de modo a obter os pontos $P'_{it(X_{it}, Y_{it})}$ e os pontos $P_{nt(X_{nt}, Y_{nt})}$ da figura ff_t , de seguida uma rotação centrada na origem é aplicada aos pontos $P'_{it(X_{it}, Y_{it})}$ e aos pontos $P_{nt(X_{nt}, Y_{nt})}$ de modo a alinhar o vector $\overrightarrow{P'_{1t}P'_{2t}}$ com o eixo xx , obtendo os pontos $P'_{itr(X_{itr}, Y_{itr})}$ e os pontos $P_{ntr(X_{ntr}, Y_{ntr})}$ da figura ff_{tr} :

$$\begin{cases} x_{itr} = (x_i - x_1) \cos \beta + (y_i - y_1) \sin \beta \\ y_{itr} = -(x_i - x_1) \sin \beta + (y_i - y_1) \cos \beta \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\begin{cases} x_{ntr} = (x_n - x_1) \cos \beta + (y_n - y_1) \sin \beta \\ y_{ntr} = -(x_n - x_1) \sin \beta + (y_n - y_1) \cos \beta \end{cases}$$

Em que:

$$\cos \beta = \frac{x_{2t}}{\sqrt{x_{2t}^2 + y_{2t}^2}} \quad (4.10)$$

$$\sin \beta = -\frac{y_{2t}}{\sqrt{x_{2t}^2 + y_{2t}^2}}$$

Depois deste conjunto de transformações temos quatro pontos $P_{itr(X_{itr}, Y_{itr})}$ e os seus homólogos $P'_{itr(x_{itr}, y_{itr})}$ correspondentes sob uma transformação projectiva auxiliar. Os oito parâmetros desta transformação, $e'_0, e'_1, e'_2, f'_0, f'_1, f'_2, g'_1$, e g'_2 resultam da resolução de um sistema de oito equações com oito incógnitas como se segue:

$$\begin{cases} g'_1 = X_{1tr} \\ g'_2 = Y_{1tr} \\ f'_2 = \frac{Y_{1tr} x_{4tr} - Y_{1tr} x_{3tr}}{x_{3tr} y_{4tr} - y_{3tr} x_{4tr}} \\ e'_2 = \frac{Y_{1tr} y_{3tr} - Y_{1tr} y_{4tr}}{x_{3tr} y_{4tr} - y_{3tr} x_{4tr}} \\ e'_1 = \frac{e'_2 X_{2tr} + \frac{X_{2tr}(Y_{1tr} - Y_{2tr})}{x_{2tr} Y_{2tr}} - \frac{X_{1tr} - X_{2tr}}{x_{2tr}}}{Y_{2tr}} \\ f'_1 = -\frac{e'_1 x_{4tr} + X_{1tr}}{y_{4tr}} \\ e'_0 = \frac{e'_2}{Y_{2tr}} + \frac{Y_{1tr} - Y_{2tr}}{x_{2tr} Y_{2tr}} \\ f'_0 = \frac{e'_1 x_{3tr} + f'_1 y_{3tr} + X_{1tr} - e'_0 x_{3tr} X_{3tr} - X_{3tr}}{y_{3tr} X_{3tr}} \end{cases} \quad (4.11)$$

Com estes parâmetros determinados, a transformação projectiva auxiliar pode ser aplicada aos pontos $P_{ntr(x_{ntr}, y_{ntr})}$ da figura ff_{tr} de modo a obter os pontos correspondentes

$P_{utr(x_{utr}, y_{utr})}$ da figura FF_{tr} :

$$\begin{cases} X_{utr} = \frac{e'_1 x_{ntr} + f'_1 y_{ntr} + g'_1}{e'_0 x_{ntr} + f'_0 y_{ntr} + 1} \\ Y_{utr} = \frac{e'_2 x_{ntr} + f'_2 y_{ntr} + g'_2}{e'_0 x_{ntr} + f'_0 y_{ntr} + 1} \end{cases} \quad (4.12)$$

Finalmente, uma rotação centrada na origem e uma translação, por esta ordem, e ambas inversas das consideradas em (3.48) são aplicadas aos pontos $P_{utr(X_{utr}, Y_{utr})}$ da figura FF_{tr} obtendo, primeiro os pontos $P_{ut(X_{ut}, Y_{ut})}$ da figura FF_t , e depois os pontos $P_{u(X_u, Y_u)}$ da figura FF :

$$\begin{cases} X_u = (X_{utr} \cos(-\alpha) - Y_{utr} \sin(-\alpha)) + X_4 \\ Y_u = (X_{utr} \sin(-\alpha) + Y_{utr} \cos(-\alpha)) + Y_4 \end{cases} \quad (4.13)$$

Em que:

$$\begin{aligned}\cos(-\alpha) &= \cos \alpha = \frac{X_{3t}}{\sqrt{X_{3t}^2 + Y_{3t}^2}} \\ \sin(-\alpha) &= -\sin \alpha = \frac{Y_{3t}}{\sqrt{X_{3t}^2 + Y_{3t}^2}}\end{aligned}\tag{4.14}$$

4.3. Determinação de ângulos entre planos verticais

O cálculo do ângulo entre fachadas assenta na possibilidade de reconstruir a geometria da projecção contida no plano horizontal δ que passa pelo centro de projecção da imagem fotográfica. Este plano é perpendicular à vertical resultante dos dois planos de fachada. Em geral, esta recta vertical não é paralela ao plano da imagem. Para que fique paralela ao plano da imagem, o eixo da câmara fotográfica deve encontrar-se na posição horizontal.

O plano δ intersecta o plano da imagem segundo a linha de fuga determinada pelos pontos de fuga definidos pelas imagens das linhas horizontais das fachadas. A figura 4-2 representa o plano δ .

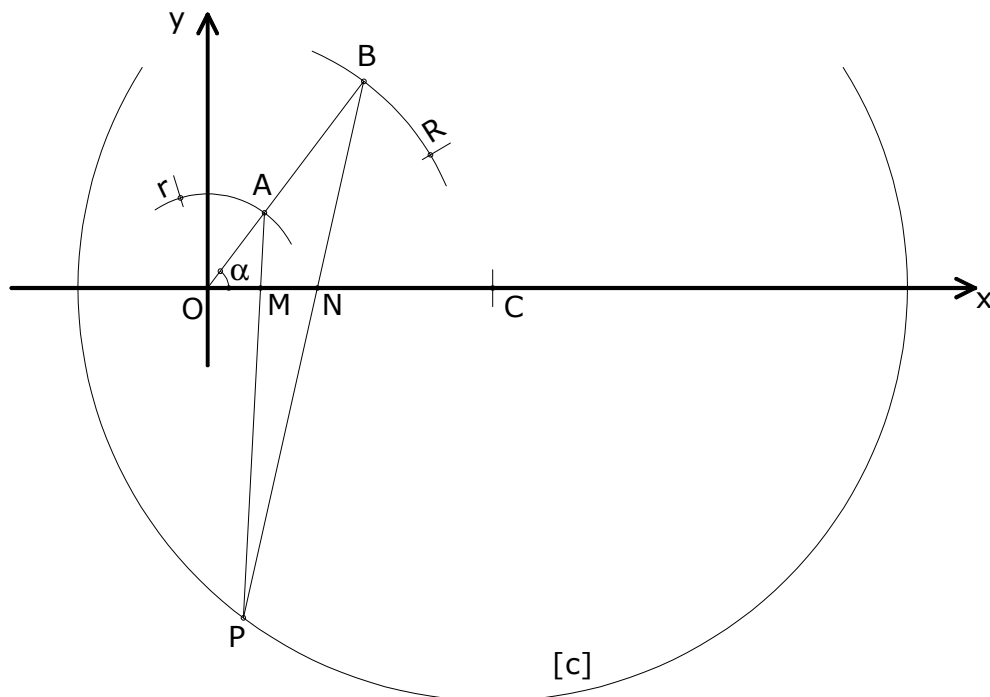


Figura 4-2: Representação esquemática da intersecção de um feixe de planos verticais projectantes no plano da imagem.

O eixo x representa a linha de fuga e o segmento $[OB]$ representa a intersecção do plano δ com o plano da fachada direita colocada à escala.

Seja A qualquer ponto contido em $[OB]$, e sejam M e N as imagens dos pontos A e B respectivamente.

Seja P a intersecção dos raios projectantes $[AM]$ e $[BN]$.

As coordenadas destes pontos são dadas por:

$$\begin{cases} A = (r \cos \alpha; r \sin \alpha) \\ B = (R \cos \alpha; R \sin \alpha) \\ M = (d; 0) \\ N = (D; 0) \\ P = (X_p; Y_p) \end{cases} \quad (4.15)$$

Os alinhamentos $A.M.P$ e $B.N.P$ podem ser expressos por:

$$\begin{vmatrix} r \cos \alpha & d & X_p \\ r \sin \alpha & 0 & Y_p \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.16)$$

e

$$\begin{vmatrix} R \cos \alpha & D & X_p \\ R \sin \alpha & 0 & Y_p \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (4.17)$$

Destas expressões pode determinar-se X_p e Y_p como se segue:

$$\begin{aligned} Y_p &= \frac{Rr(d-D)}{Rd-rD} \sin \alpha \\ X_p &= \frac{Rr(d-D)}{Rd-rD} \cos \alpha + \frac{Dd(R-r)}{Rd-rD} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Estas expressões representam a equação paramétrica de uma circunferência $[c]$ com centro $C = \left(\frac{Dd(R-r)}{Rd-rD}; 0 \right)$ e raio $R_{[c]} = \left| \frac{Rr(d-D)}{Rd-rD} \right|$.

Procedendo de forma análoga para o plano da fachada esquerda pode determinar-se uma circunferência $[e]$ com centro E e raio $R_{[e]}$ como se ilustra na figura 4-3.

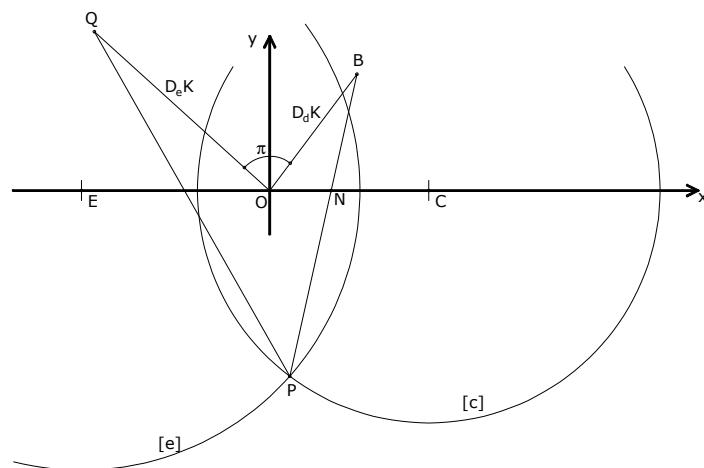


Figura 4-3: O centro de projecções como intersecção de dois arcos capaz.

O centro de projecção P que permite reconstruir simultaneamente a geometria resultante da projecção de ambos os planos de fachada é um dos pontos de intersecção das circunferências $[c]$ e $[e]$.

Da construção desta intersecção resulta a determinação do ângulo π entre ambos os planos verticais.

4.4. Implementação

Tal como foi acima referido, a implementação desta ferramenta foi feita utilizando a linguagem de programação AutoLisp. Na figura 4-4 ilustram-se o menu e barra de ferramentas adicionadas ao AutoCAD.

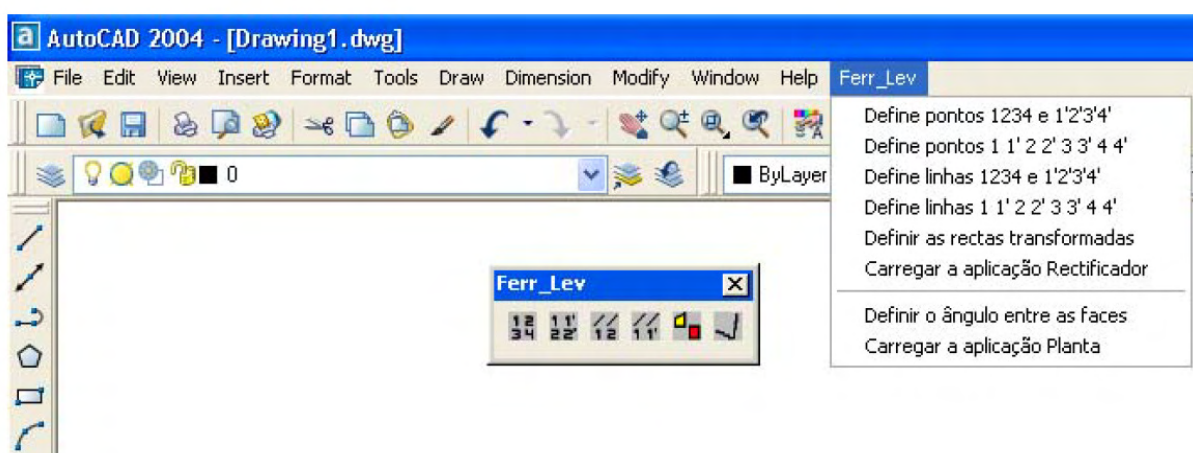


Figura 4-4: Imagem de captura de ecrã dos menus criados no AutoCAD (versão 2004).

4.5. Aplicações

Através da aplicação da rectificação produzem-se imagens ou desenhos com a métrica válida para um dos planos do objecto representado. Estas imagens ou desenhos podem ser organizadas estritamente em 2D ou podem dar origem a uma pseudo modelação 3D, isto é, os vários planos rectificados podem ser colocados e visualizados nas suas posições espaciais relativas [MFA*08] conforme se ilustra na figura 4-5.

A limitação deste método prende-se com a adequação da sua aplicação apenas a faces aproximadamente planas dos objectos, por exemplo fachadas ou pavimentos. Recordamos que esta operação carece de informação de controlo que pode ser obtida de vários modos: i) medições directas com fita-métrica sobre os planos a rectificar, por exemplo a medição de uma altura e uma largura, ii) medições de coordenadas tridimensionais efectuadas com recurso a estação total, e iii) medições efectuadas sobre desenhos existentes.

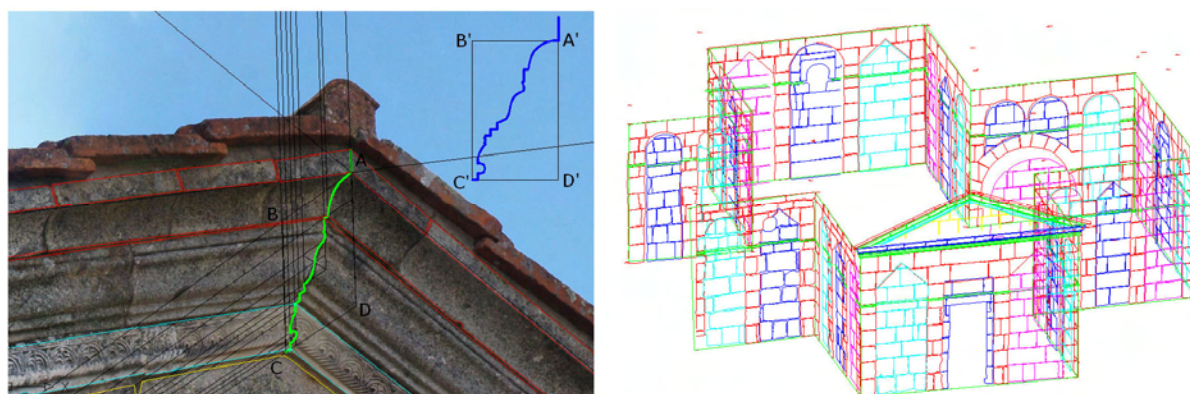


Figura 4-5: Vários planos obtidos por rectificação vectorial colocados na sua posição espacial relativa (Capela de São Frutuoso de Montélios) [MFK*08].

O tipo de controlo prende-se com a maior ou menor necessidade de um determinado nível de precisão ou com o contexto específico de aplicação do método. É ainda conveniente que as imagens fotográficas a utilizar devem, antes de qualquer operação, ser corrigidas pelo menos no que diz respeito à distorção radial. Esta operação pode em geral ser efectuada através de *software* fornecido pelos fabricantes das máquinas fotográficas. Este, através do reconhecimento da marca, modelo, tipo de lente e parâmetros de focagem, permite uma correcção automática daquela distorção. Se maiores requisitos forem impostos pode proceder-se a uma calibração da máquina fotográfica. Embora em teoria o procedimento da rectificação possa ser efectuado sobre quaisquer imagens que reflectam a condição perspectiva, melhores resultados são conseguidos se as imagens forem obtidas de modo aproximadamente frontal ao plano que se pretende rectificar. Outro aspecto a

considerar é a resolução das imagens que deve ser adequada ao fim a que se destina a documentação. Não se pode esperar aceder a um nível de detalhe que não foi registado nos dados.

5. Análise cruzada dos casos de estudo

Concluído o capítulo 3 com a identificação de uma conjunto de questões a explorar, das quais se releva o contributo metodológico que o nosso trabalho pretende ser, descrevem-se então os objectivos do presente capítulo.

Pretendemos dar resposta às seguintes questões:

i) Como é que as técnicas da FDT e do VL3DT permitem produzir de forma mais eficiente o mesmo tipo de suportes que são usualmente produzidos através da adopção de técnicas tradicionais?

ii) Que tipo de produtos e procedimentos inovadores e úteis para os processos de análise e diagnóstico em Conservação podem derivar da aplicação da FDT e do VL3DT e como é que são conseguidos?

Um primeiro nível de abordagem às respostas a estas questões é feito no Volume II com a análise individual de um conjunto de casos de estudo que desenvolvemos no âmbito do nosso trabalho. Para cada um dos casos de estudo foi preenchida uma ficha descritiva dos processos desenvolvidos, que foi seguida de uma análise crítica e de conclusões. Foram ainda, em vários casos, descritos e analisados procedimentos posteriores ao desenvolvimento da acção principal. Estes permitiram-nos explorar e expandir os contextos de aplicação das técnicas do VL3DT e da FDT e entender melhor as suas potencialidades.

O que nos propomos fazer agora é complementar o primeiro nível de análise com uma análise cruzada de modo a fazermos alguma generalização. O resultado dessa generalização constituirá matéria para o capítulo seguinte.

Começa-se por recordar os casos de estudo:

A.1. Levantamento da fachada principal da Igreja Matriz de São João da Talha, Concelho de Loures.

A.2. Levantamento da fachada principal e perímetro da Igreja Matriz de Santa Iria de Azóia, Loures.

A.3. Levantamento do muro do Hospital de St. Louis, Lisboa.

A.4. Levantamento das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço, Lisboa.

A.5. Levantamento do Chafariz dos Canos, Torres Vedras.

A.6. Restituição gráfica do levantamento de edifício do século XIX na Rua do Sol, Lisboa.

A.7. Levantamento do Palácio e Quinta de Valflores, Loures.

A.8. Levantamento dos Paços do Infante e Pátio dos Carrascos, Convento de Cristo, Tomar.

A.9. Levantamento do exterior da Nave Manuelina, Convento de Cristo, Tomar.

A.10. Levantamento do Arco da Rua Augusta, Lisboa.

Desenvolvemos os nossos casos de estudo em localizações geográficas diversas (Lisboa, Loures, Torres Vedras, Tomar), no período entre 2007 e 2011. Esta extensão no tempo permitiu transferir a experiência e conhecimento, adquiridas com uns casos, para outros, sendo por isso de esperar que os últimos casos estejam mais bem controlados que os primeiros.

Relacionámo-nos com entidades, públicas (institucionais) e privadas (ateliers, empresas, associações), e com vários tipos de agentes (arquitectos, conservadores, arqueólogos, engenheiros, topógrafos, geólogos), o que nos permitiu ter uma perspectiva alargada dos problemas relacionados com a documentação gráfica no processo do projecto e da intervenção de Conservação.

5.1. Do planeamento...

As visitas de reconhecimento aos locais mostraram-se sempre muito úteis na medida em que permitiram fazer uma primeira apreciação dos problemas a resolver, começar a antever formas de os resolver e encetar um diálogo com o objecto arquitectónico. A fotografia mostrou-se como um método bastante eficaz para este registo prévio, mas também a recolha de informação e anotação em bloco de notas foi um procedimento generalizado. Adoptou-se ainda, pontualmente, o registo em vídeo.

Ao iniciar os primeiros contactos com as várias entidades e agentes, nem sempre foi clara a definição da circunscrição do objecto (ou objectos) a representar, sendo comum a declaração genérica de que se pretende um determinado tipo de informação sem a quantificar (caso de estudo A.4 e A.8), deixando este aspecto para decisão posterior, o que, em nossa opinião, não é desejável. A quantificação exacta dos elementos a produzir é um parâmetro importante que condiciona a mobilização de recursos.

Procurámos sempre inquirir sobre a existência de documentação gráfica prévia. Nalguns casos serviu-nos como suporte ao planeamento do levantamento e registo das acções de campo (casos de estudo A.7, A.8, A.9 e A.10), e noutros serviu-nos como fonte de informação métrica (caso de estudo A.4). Na ausência de documentação gráfica prévia, produziram-se esquissos (caso de estudo A.8 no Pátio dos Carrascos) ou utilizaram-se fotografias impressas (caso de estudo A.3), que foram utilizadas para os mesmos fins (de planeamento e/ou registo das operações de campo). As fontes da documentação prévia foram, em geral, as entidades que solicitaram a documentação (casos de estudo A.4, A.5, A.6, A.8 e A.10), mas também a consulta de bases de dados (por exemplo o inventário do SIPA/IHRU) se mostrou um instrumento a considerar. A análise da documentação prévia constitui-se também como uma forma de conhecimento do objecto.

Definição de objectivos

Os fins para os quais nos foi solicitada a produção da documentação foram variados: i) projectos de conservação e restauro (casos de estudo A.4, A.9 e A.10), ii) projectos de reabilitação (casos de estudo A.3, A.6, A.8), iii) análise do estado de conservação (caso de estudo A.5). Verificámos que a falta de perspectiva, por parte de muitos dos agentes, e o hábito de utilização de suportes tradicionais, toldou a abertura à recepção de outros tipos de produtos. Trata-se por exemplo, a preferência por desenhos (informação mais interpretada) relativamente a imagens (informação não interpretada).

Verificámos que, na generalidade dos casos, os suportes de eleição, isto é, aqueles que são solicitados pelos vários agentes da conservação, os designados utilizadores da documentação gráfica, corresponde a formas de representação tradicionais (plantas, cortes e alçados) a serem utilizadas de forma mais ou menos convencional, através dos procedimentos do desenho analógico (em campo) “passados a limpo” para o CAD. Isto é, nesta fase houve sempre a presunção de que a documentação a produzir iria ser utilizada, por um lado para impressão e processamento analógico (vulgo desenho manual), e por outro lado, como suporte a cartografias variadas em CAD. Veremos adiante que nem sempre se passou isso, mas que pelo facto do modo de utilização não ter sido declarado desde início, não se tirou partido do potencial dos métodos utilizados (caso de estudo A.8, o modelo BIM). Também foi sempre assumido que os suportes de distribuição da documentação deveriam ser de natureza digital, em geral desenhos de CAD.

CrITÉRIOS de desempenho

O diálogo com os utilizadores da informação (arquitectos, conservadores,...) revelou-se sempre uma forma eficiente de clarificação e afinação de critérios de desempenho para a documentação a produzir, em particular ao nível dos conteúdos, da circunscrição das zonas a registar, e da quantificação das peças a produzir. Na generalidade dos casos de estudo, não houve uma imposição externa de critérios de desempenho métrico para os vários levantamentos que efectuámos. Em geral os critérios de desempenho métrico foram assumidos por nós. Utilizámos as referências que retivemos da nossa revisão de literatura (ver ponto 2.2 – Para a documentação gráfica: Princípios, Orientações e Especificações), em particular no que respeita a desempenho métrico.

Salientamos os casos de estudo A.5 (Chafariz dos Canos) e A.9 (Nave Manuelina), em que pudemos trabalhar de perto com as empresas de conservação NC Restauro e Insittu, respectivamente. O diálogo que desenvolvemos foi sempre um factor de melhoramento da qualidade dos materiais produzidos. Em ambos os casos, o diálogo estabeleceu-se ao nível da definição de critérios de diferenciação do objecto e da

estruturação da informação nos ficheiros de desenho. O resultado lógico deste processo participado foi a produção de materiais adequados aos fins.

Aspectos condicionantes

A observação dos aspectos condicionantes é um aspecto importante para o planeamento e execução do levantamento. Estes podem ser de várias naturezas, ser logo declarados (regulamentos, leis, prazos e orçamentos), ou podem resultar da análise do lugar e das circunstâncias (dificuldades de acesso com equipamentos, restrições devido a circulação de pessoas, zonas instáveis e em perigo de ruína, etc).

A sua definição e aferição pode ser um processo partilhado entre as entidades responsáveis e os agentes produtores da documentação. Por exemplo, no caso de estudo do Arco da Rua Augusta (A.10), houve uma série de questões por nós levantadas, relacionadas com a mobilização de uma plataforma elevatória, e com a necessidade de aceder a coberturas, que tiveram repercussões em pedidos de autorização a solicitar a entidades diversas (Câmara Municipal de Lisboa, Ministério da Justiça, a título de exemplo). Estes derivam da natureza das acções e meios a mobilizar que podem não ser previsíveis pelas entidades contratantes.

Há ainda um conjunto de aspectos que resultam do bom senso e da prática do registo (em particular com a adopção dos métodos indirectos da FDT e do VL3DT) como é o caso de ser absolutamente necessário ter as superfícies limpas e os espaços desimpedidos para que se possa operar, ou ter os espaços sem pessoas ou veículos. Por exemplo, no caso de estudo A.6 (Rua do Sol) verificou-se uma degradação na qualidade dos dados porque os espaços se encontravam cheios de entulho, no caso de estudo A.7 (Palácio de Valflores) este aspecto levou a que nos dias imediatamente anteriores ao levantamento se tivesse procedido a acções de limpeza dos locais para garantir qualidade dos dados, e no caso de estudo A.10 (Arco da Rua Augusta) parte do trabalho foi efectuado à noite para minimizar impactos com veículos de transportes públicos.

Outro aspecto determinante que condiciona a prossecução das acções de registo através dos métodos da FDT e do VL3DT, são as condições climatéricas. No caso da FDT, os dias de luz muito intensa são indesejados, preferindo-se uma luz difusa que não provoque sombras. Nos casos de estudo A.4 (Terreiro do Paço), A.5 (Chafariz dos Canos), A.7 (Palácio de Valflores) e A.9 (Nave Manuelina), em que foi necessário recolher imagens fotográficas, é bem clara a distinção entre as qualidades dos materiais produzidos quando as condições de iluminação foram as indicadas e quando estas foram capturadas sob condições de iluminação intensa directa. Nos casos de estudo A.7 (Palácio de Valflores) e A.10 (Arco da Rua Augusta) em que foi necessário recorrer a meios de elevação, o factor determinante a considerar foi a velocidade do vento. Trata-se de aspectos difíceis de prever

e controlar mas que assumem um papel importante que pode levar, no limite, a uma readaptação de modo a tirar o melhor partido das circunstâncias. No caso de estudo A.4 (Terreiro do Paço), isso passou por ir capturando as imagens apenas quando o sol se encontrava encoberto. É claro que não foi sempre possível.

Estratégias para recolha de dados

O planeamento das acções de registo e documentação revelou-se sempre como uma factor de optimização dos procedimentos em campo. Embora se possa considerar que em casos menos complexos se possa prescindir de um planeamento prévio exaustivo (casos de estudo A.1, A.2 e A.3), pensamos que essa não deve ser a regra. No entanto notamos ainda mais duas situações em que não foi feito um planeamento prévio exaustivo, embora por motivos diferentes. Referimo-nos ao caso de estudo A.5 (Chafariz dos Canos) e A.9 (Nave Manuelina). No primeiro caso, a razão prendeu-se com a portabilidade dos meios utilizados e com a intenção, desde logo assumida, de procurar verificar se imagens obtidas respeitando um mínimo de critérios (redundância, sobreposição, distância focal fixa, e variação de pontos de vista) se mostrariam adequadas a processos de restituição fotogramétrica. No segundo caso, a razão assentou na confiança e experiência da equipa chamada a proceder à documentação face à extensão da área a registar. Isto permite colocar em evidência que o planeamento não é uma acção abstracta. É antes uma acção que pondera vários aspectos como as condições e complexidade do lugar, a portabilidade e adequabilidade dos sistemas e métodos a utilizar, os recursos humanos e técnicos disponíveis, numa ponderação justa e adequada. Em todos estes casos foi possível cumprir com os objectivos. No entanto há que fazer algumas ressalvas. A portabilidade e a flexibilidade têm de ser ponderadas com outros aspectos como a localização dos sítios, a irreversibilidade de uma alteração do local que possa acontecer, os prazos que se têm disponíveis, entre outros. Não é a mesma coisa percorrer 10Km para fotografar o Terreiro do Paço ou percorrer 150Km para ir fotografar o Convento de Cristo.

Para resumir, entendemos que um nível mínimo de planeamento deve sempre existir e que quanto mais complexa é a situação e mais delicados são os recursos a mobilizar, mais extensivo deve ser o planeamento. O planeamento deve ser a regra e não a excepção.

No caso do levantamento por VL3DT, mesmo que não haja a intenção de mapear textura nos modelos tridimensionais deve sempre fazer-se a captura de imagens para documentar os procedimentos e para servirem como fonte de informação para auxiliar os processos de restituição. Foi o que fizemos na generalidade dos casos que planeámos (casos de estudo A.8, A.9 e A.10).

E no caso de se pretender a captura de imagens para mapeamento dos modelos de nuvens de pontos deve definir-se se as imagens são capturadas do mesmo ponto de vista

do scanner (caso de estudo A.9 – Nave Manuelina) ou se são capturadas de pontos de vista distintos (caso de estudo A.7. – Valflores).

Note-se que a produção de imagens a cores nem sempre é um valor acrescentado. Por exemplo, no caso de estudo A.10 (Arco da Rua Augusta), como todo o edifício é construído praticamente por um único material, as imagens de reflectância, devidamente editadas, permitem gerar uma orto-imagem que transmite um conjunto de qualidades e características quiçá mais relevantes que a cor poderia transmitir.

Outro aspecto fundamental é a definição da densidade de pontos das nuvens de pontos. Este aspecto assume maior relevância se for necessário registar alvos topográficos que é necessário identificar nos modelos. A densidade de pontos nos alvos tem de ser compatível com uma identificação precisa dos mesmos (veja-se por exemplo o caso de estudo A.10). A densidade de pontos pode ser equacionada em termos de densidade angular ou de espaçamento de pontos a uma distância. A última forma de o fazer é mais intuitiva. Por outro lado a densidade dos pontos deve ser função dos detalhes a diferenciar ou da escala da documentação a produzir. Estes vários aspectos devem ser equacionados em conjunto. Devem evitar-se ângulos rasantes do feixe em relação ao objecto uma vez que isso diminui a qualidade métrica e espectral dos pontos bem como aumenta o seu espaçamento.

A necessidade de afixar alvos para controlo do levantamento não deve constituir-se como um factor de degradação das superfícies. É sempre conveniente efectuar ensaios de colagem/descolagem (caso de estudo A.7, A.8 e A.10) e solicitar sempre aconselhamento e autorização para a afixação, evitando superfícies de valor histórico ou artístico.

Deve sempre procurar-se escolher os métodos e os equipamentos mais adequados. Porém, os recursos humanos, técnicos e materiais disponíveis ou mobilizáveis numa dada altura podem condicionar as opções. Por exemplo, no caso de estudo A.9 (Nave Manuelina), embora se reconhecesse que um scanner de comparação de fase teria um melhor desempenho em termos de tempo e resolução de nuvem de pontos, a verdade é que naquele momento apenas se podia mobilizar o scanner de tempo de voo que se utilizou.

A experiência acumulada com casos anteriores é sempre um capital a ter em conta. Temos a noção que os resultados obtidos nos casos de estudo A.9 e A.10 foram superiores aos obtidos nos casos de estudo A.7 e A.8. Este valor acrescentado pode traduzir-se na pedagogia que é possível levar a cabo relativamente aos utilizadores da informação que contribui para fazer pontes, para aumentar o entendimento e a consciência dos potenciais dos métodos e das técnicas, e para servir de aconselhamento. Por exemplo, no caso de estudo A.10, a informação e acumulação de conhecimento que havíamos adquirido com os casos de estudo A.6, A.7, A.8 e A.9, foi vertida no processo de comunicação entre as partes.

Entendemos que esta componente é fundamental na medida em que pode despertar nos utilizadores de informação novas perspectivas de utilização.

Comparando o planeamento do levantamento por VL3DT e o levantamento fotogramétrico, em particular na vertente de processamento automático capaz de lidar com centenas ou milhares de imagens, facilmente se percebe que o planeamento deste não pode passar pela antecipação de cada uma das posições de estação da câmara fotográfica. Tem de ser antes baseado em princípios (caso de estudo A.5 – Chafariz dos Canos, caso de estudo A.9 – Nave Manuelina).

Em todo o caso a estratégia deve ser declarada e registada sobre um suporte qualquer. Esse registo é um testemunho do planeamento e permite avaliar as diferenças entre o que se estimou e o que se realizou. Em geral, nos nossos casos de estudo, a estratégia de recolha de dados foi quase sempre registada nos suportes que resultaram da adaptação da documentação prévia existente.

Estratégias para processamento

Adoptando um método ou técnica específica, é necessário assegurar que se dispõe dos meios (técnicos, culturais e humanos) adequados para lidar com a maior ou menor quantidade e qualidade de dados gerados. Por outro lado é preciso ter uma clara noção dos procedimentos próprios de cada método, e ter interiorizado quais as finalidades para que se vai produzir a documentação.

É preciso ainda ter-se presente os critérios de validação e ter claro o modo como se vai proceder à validação. Por exemplo, pode-se declarar que a validação métrica será feita através da comparação com medições directas (casos de estudo A.1, A.2, A.4 e A.5) ou através dos erros resultantes dos processos de orientação em bloco dos modelos tridimensionais (casos de estudo A.7, A.8 e A.10).

Deve-se ainda ter uma noção do fluxo de trabalho a desenvolver, que pessoas se vai envolver e que nível de preparação têm, que tempo se estima que o processo vai durar e quanto se estima gastar em termos económicos.

5.2. ... à execução do levantamento

A execução do levantamento corresponde à colocação em prática das estratégias definidas na etapa de planeamento.

Esta etapa subdivide-se em: i) trabalho de campo e ii) trabalho de gabinete.

O trabalho de campo corresponderá sobretudo à recolha de dados e o trabalho de gabinete corresponde ao seu processamento.

5.2.1. A recolha de dados

Para o processo de recolha de dados é importante dispor dos elementos do planeamento e verificar se se está na posse de todos os elementos necessários para a boa execução dos trabalhos (mapas de trabalho, câmaras, baterias, cabos eléctricos,...). Este aspecto assume tanto mais relevância quanto a distância a que se está do sítio ou objecto a registar. Por exemplo, no caso de estudo A.9 (Nave Manuelina), o equipamento veio de Valladolid, aproximadamente a 450Km de distância. Alguma falha ou esquecimento poderia ter tido como consequência a anulação dos trabalhos (por exemplo se faltasse uma bateria ou o cabo de alimentação do scanner).

Do ponto de vista do tempo demorado e da quantidade de dados recolhidos, verificámos uma notável diferença de desempenho entre os sistemas de tempo de voo (que utilizámos no caso de estudo A.9) e os sistemas de comparação de fase (que utilizámos nos casos de estudo A.7, A.8 e A.10). Isto fica demonstrado se compararmos a quantidade de informação recolhida em duas sessões mais ou menos equivalentes. Por exemplo, no primeiro dia de varrimento no Arco da Rua Augusta (caso A.10) recolhemos 101 nuvens de pontos e no segundo dia de varrimento na Nave Manuelina (caso A.9) recolhemos 18 nuvens de pontos, correspondendo isto a um rácio de 1/5 entre sistemas de TOF e sistemas de PS. Esta diferença de tempo pode ser um factor determinante na escolha de um sistema de varrimento laser.

Outro aspecto interessante a analisar são os rácios entre o tempo de varrimento estrito e o tempo demorado em campo nas várias sessões de levantamento (tabela 5-1).

COMPARAÇÃO DE INDICADORES ENTRE AS VÁRIAS SESSÕES DE VARRIMENTO LASER (VL)				
Sistemas Laser TOF (tempo de voo) PS (comparação de fase)	Localização (caso de estudo)	Duração (horas)	Rácio entre tempo de VL e a duração	Quantidade de nuvens de pontos
PS	1ª Fase - Valfiores (A.7)	4h	45%	46
PS	2ª Fase - Valfiores (A.7)	6h	28%	48
PS	Paços do Infante (A.8)	9,5h	29%	80
PS	Pátio dos Carrascos (A.8)	1,5h	33%	15
TOF	1º Dia - Nave Manuelina (A.9)	6h	57%	8
TOF	2º Dia - Nave Manuelina (A.9)	13h 25m	42%	10
PS	1ª Sessão Arco (A.10)	10h 10m	37%	101
PS	2ª Sessão Arco (A.10)	2h 10m	44%	24
PS	3ª Sessão Arco (A.10)	10h 20m	26%	47
PS	4ª Sessão Arco (A.10)	40m	42%	8

Tabela 5-1: Tabela de comparação de indicadores entre as várias sessões de VL.

Devemos fazer esta análise sistema a sistema.

Quando utilizámos o sistema de comparação de fase, aquele rácio variou entre os 26% (na terceira sessão de varrimento no Arco da Rua Augusta, quando foi utilizada uma plataforma elevatória, e sem considerar o tempo de descarga e estacionamento da mesma)

e os 45% (na primeira sessão de varrimento no Palácio de Valflores). Em ambos os casos houve sempre um planeamento prévio em que se definiu o posicionamento das estações de varrimento laser. Os rácios mais elevados corresponderam a situação de maior facilidade de mobilidade e os rácios mais baixos corresponderam a situações mais complexas e delicadas. Da análise destes rácios podemos apontar como indicadores, já com alguma margem de segurança, rácios entre 40% e 20%, a considerar para o planeamento da recolha de dados por varrimento laser utilizando sistemas de comparação de fase, correspondendo, respectivamente, a situações mais facilitadas e situações mais complexas (necessário utilizar mastros ou plataformas, proceder a deslocações complexas em que é necessário estar sempre a montar e desmontar o equipamento).

No caso do sistema de tempo de voo obtivemos rácios que atingiram o máximo de 57%, o que indica um melhor desempenho em termos relativos. Mas isto resulta do facto de que tempo de varrimento com um sistema TOF, para densidades de ponto semelhantes, comparado com um sistema PS pode ser bastante maior, podendo o rácio entre tempos de varrimento entre sistemas PS e TOF atingir 1/8.

Devido a estas diferenças, os rácios apresentados na tabela 5-1 não podem ser comparados entre sistemas distintos.

Para as escalas que abordámos, considerando um planeamento prévio, verificou-se que o tempo que se estimou necessário dispor nunca correspondeu a mais que 2 dias de trabalho de campo. É claro que depois o contexto prático ditou algumas diferenças (por exemplo no caso de estudo A.10).

Estes indicadores são fundamentais como fonte para alimentar o planeamento de novas acções de registo.

Outro aspecto a ter em atenção em campo é o cuidado que se deve ter com o transporte dos equipamentos. As situações em que é possível deslocar o scanner de forma solidária com o tripé são reduzidas e correspondem apenas àquelas situações em que os pavimentos são praticamente horizontais. Em todas as outras situações é necessário desmontar o equipamento, armazená-lo, transportá-lo em segurança, e voltar a montá-lo. Note-se que o peso de um equipamento de varrimento laser pode chegar aos 16Kg³⁷. O factor segurança relaciona-se não só com a integridade do equipamento mas também com a integridade das pessoas na sua vizinhança.

³⁷ A marca FARO lançou recentemente no mercado um sistema de comparação de fase com um alcance de 120m e peso de apenas 5Kg. É de esperar que num futuro breve a generalidade dos equipamentos ganhem em portabilidade e desempenho.

Devido ao peso dos equipamentos deve-se otimizar a sequência de varrimento de modo a minimizar a necessidade de desmontar e montar equipamento, sempre que é possível. Nem sempre duas estações laser contíguas devem ser realizadas em sequência. Por exemplo no caso de estudo A.8 (Paços do Infante), no Claustro da Lavagem, os varrimentos efectuados sobre tripé foram feitos em sequência e de seguida foram feitos em sequência aqueles em que o scanner foi colocado directamente sobre as superfícies dos edifícios.

Deve ainda ter-se em conta os cuidados a ter com as pessoas na vizinhança dos equipamentos. É necessário evitar que as pessoas olhem directa e deliberadamente para o feixe laser.

5.2.2. O processamento dos dados

A escolha e articulação entre os membros da equipa de trabalho, a definição de níveis de responsabilidade dos vários elementos e a definição de fluxos de informação, é factor de sucesso para as operações de registo. Este aspecto atravessa todas as fases de trabalho e é particularmente importante na fase do processamento dos dados.

Envolver agentes com menor experiência pode justificar-se por questões pedagógicas e de formação, mas tem sempre custos ao nível do aumento do tempo de processamento. Foi o que sucedeu no caso do Palácio de Valflores (caso de estudo A.7), no Pátio dos Carrascos (caso de estudo A.8) e no caso do Arco da Rua Augusta (caso de estudo A.10), casos em que os elementos que procederam à construção do modelo de nuvens de pontos não tinham experiência e era a primeira vez que o faziam. O factor qualidade, nestes casos, pode manter-se através da persistência e do acompanhamento e coordenação das acções por elementos mais experientes. Na verdade é sempre assim que se faz a transmissão de conhecimentos.

Com efeito, no caso da FDT e do VL3DT, para se obterem resultados fiáveis, é necessário um nível de formação específica bastante elevado que abarca horizontes tão alargados como ter noções de álgebra, estatística, cultura arquitectónica, e sensibilidade para a conservação e restauro. A filosofia “*do it yourself*” tem, neste domínio, lugar reduzido de aplicação, reduzindo-se a um conjunto de situações mais simplificadas, em que se podem utilizar métodos expeditos. Normalmente há lugar à contratação de serviços.

A extensão das equipas de trabalho não pode ser aumentada indefinidamente nem reduzida abaixo de um certo número de elementos. Para cada situação haverá um número óptimo de elementos.

Se compararmos os casos de estudo em que o autor da tese participou isoladamente na componente de processamento dos dados (Chafariz dos Canos – A.5, Paços do Infante – A.8, Nave Manuelina – A.9) verifica-se que o tempo despendido foi

bastante mais elevado, como não poderia deixar de ser, que naqueles casos em que se trabalhou em equipa (Terreiro do Paço – A.4, Arco da Rua Augusta – A.10), mesmo correspondendo estes últimos a áreas bastante superiores.

Os fluxos de trabalho também devem estar cuidadosamente definidos. Por exemplo, no caso de estudo do Arco da Rua Augusta (A.10), um elemento A encarregou-se de fazer a orientação das nuvens de pontos para extracção de informação base, de seguida extraiu os dados base, sob a forma de imagem (correspondentes a secções e vistas). Os dados correspondentes a secções foram transmitidos a um elemento B que desenhou as linhas de corte e molduras base, de modo a garantir a coerência global. Os dados correspondentes a imagens foram transmitidos a um elemento C que as editou e gerou as orto-imagens. Um elemento D integrou as linhas de corte e as imagens e procedeu à restante restituição gráfica. À medida que a restituição ia ficando concluída, ia sendo remetida ao elemento B para montagem dos layouts finais.

No caso de estudo do Terreiro do Paço (A.4), a forma de garantir coerência e organização nos vários níveis de acção passou por definir critérios de diferenciação do objecto (por fachada, por materiais, por elementos construtivos) e critérios de nível de detalhe da informação a restituir (por exemplo nas medições).

Durante a etapa de processamento, é benéfica a articulação entre os produtores da informação e os utilizadores da mesma. A este respeito notamos os casos de estudo A.5 (Chafariz dos Canos) e A.9 (Nave Manuelina). No primeiro caso tivemos ainda a possibilidade de participar no processo de levantamento da caracterização construtiva e do estado de conservação. A articulação passou pela melhoria dos materiais produzidos e pelo aprofundamento da compreensão das formas de utilização dos materiais por parte dos conservadores.

A orientação das nuvens de pontos da FDT e do VL3DT

Um dos primeiros passos no processamento de dados do VL3DT e da FDT é a orientação das nuvens de pontos. Esta operação requer algum pré-processamento.

Havendo várias metodologias de orientação de nuvens de pontos testadas e aceites (com base em dados topográficos de controlo e com base em detecção de alvos volumétricos), pretendeu-se avaliar a metodologia de processamento (menos aceite entre a comunidade da topografia) em que o processo de orientação das nuvens de pontos se faz exclusivamente através da aplicação de algoritmos de correspondência de superfície, em que o mais difundido é o ICP (Iterative Closest Point). Trata-se de um procedimento completamente independente de procedimentos topográficos. O controlo dos procedimentos de orientação relativa das nuvens de pontos fez-se através da apreciação dos RMSE resultantes de cada operação relativa. A média destes valores, para cada caso de estudo,

está na terceira coluna da tabela 5-2. Para além disso, fez-se sempre uma inspecção visual dos modelos para despistar erros grosseiros.

INDICADORES DE QUALIDADE DOS PROCESSOS DE ORIENTAÇÃO							
Sistemas usados TOF (tempo de voo) PS (comparação de fase) FA (fotogrametria automática)	Localização (caso de estudo)	Média do RMSE das operações de orientação relativa (mm)	RMSE _B da operação de orientação em bloco (mm)	Nº de pontos de controlo utilizados	Distância máxima (D _{max}) entre pontos de controlo (m)	Precisão relativa RMSE _B /D _{max}	Hardware utilizado
PS	Vallfiores (A.7)	5,3	25	45	156,04	0,00016	32bit, 4Gb Ram, 512Mb GPU
PS	Paços do Infante (A.8)	3,2	15	15	53,07	0,00028	32bit, 4Gb Ram, 512Mb GPU
PS	Pátio dos Carrascos (A.8)	5,3	4	4	48,22	0,00008	32bit, 4Gb Ram, 512Mb GPU
TOF	Nave Manuelina (A.9)	4	5,6*	-	-	-	32bit, 4Gb Ram, 512Mb GPU
FA	Nave Manuelina (A.9)	-	9,3	21	10,37	0,00090	32bit, 4Gb Ram, 512Mb GPU
PS	Arco da Rua Augusta (A.10)	2,3	11	23	39,77	0,00028	64bit, 12Gb Ram, 1Gb GPU

* A orientação foi feita através do ICP contra uma nuvem de pontos dos Paços do Infante

Tabela 5-2: Indicadores de qualidade dos processos de orientação.

A avaliação da média quadrática (RMSE – root mean square error) dos resíduos de transformações de orientação em bloco dos modelos de nuvens de pontos, contra pontos de controlo registados por processos topográficos, assumiu-se como critério de desempenho métrico deste tipo de procedimento.

Se for considerado o rácio entre o RMSE_B, resultante da orientação em bloco, e a distância máxima entre pontos de controlo, como indicador da precisão relativa dos procedimentos, verifica-se que a precisão do varrimento laser é bastante elevada (aproximadamente de 1/10000 a 3/10000). A precisão do processo de orientação do modelo de nuvens de pontos, obtido por processos fotogramétricos automáticos, foi inferior (aproximadamente 9/10000), mas deve-se notar que neste caso a orientação foi feita através da identificação de pontos homólogos entre nuvens de pontos (caso de estudo A.9 – Nave Manuelina). Este é um procedimento menos preciso que a identificação de alvos. Para que as precisões relativas pudessem ser comparadas, seria necessário adoptar procedimentos semelhantes (por exemplo utilizar sempre alvos). Seja como for, trata-se de valores que demonstram a elevada qualidade dos processos fotogramétricos automáticos e a adequação, mais que suficiente, para a geração de informação para Conservação e Restauro.

Os valores obtidos demonstram que, pelo menos para as escalas de problemas que abordámos nos casos de estudo, a orientação através do algoritmo ICP é um processo viável. Para escalas distintas devem ser feitos testes de validação.

Da análise detalhada dos resíduos das transformações de orientação em bloco, quando utilizámos dados topográficos para controlo, expressos através das variâncias das distâncias entre pontos homólogos, parece-nos possível afirmar que a precisão na medição da altura da estação total é um aspecto que condiciona a precisão dos resultados. Com efeito nas análises que fizemos a este respeito (casos de estudo A.8 e A.10), verificámos que a média das variâncias na coordenada Z era sempre superior à média das variâncias

nas coordenadas X e Y. Sendo o varrimento laser 3D uma técnica tridimensional, em que todas as direcções do espaço são tratadas da mesma forma, não nos parece possível imputar aqueles valores à qualidade dos modelos de nuvens de pontos. Este aspecto ficou ainda mais salientado face aos resultados dos testes que efectuamos em que se ensaiou a orientação relativa, de partes dos modelos de nuvens de pontos, tendo por referência pontos de controlo visados de apenas uma estação topográfica (casos de estudo A.7, A.8 e A.10). Nestes casos, os valores dos RMSE baixaram sempre para valores inferiores a 10mm.

Verificámos que os valores de RMSE das operações de orientação relativa são proporcionais à dimensão das partes dos objectos registados nas nuvens de pontos, e às distâncias entre o equipamento e as superfícies. Pode-se considerar como bom RMSE de orientação relativa aquele que é menor ou igual à precisão do equipamento, declarada pelo fabricante, para a distância em causa.

O mapeamento de imagens RGB sobre as nuvens de pontos

As imagens para mapeamento das nuvens de pontos podem ser recolhidas de acordo com dois princípios: i) a partir do mesmo ponto de vista do scanner de varrimento laser, e ii) a partir de pontos de vista distintos.

Ambos os procedimentos apresentam vantagens e inconvenientes.

A recolha de imagens a partir do mesmo ponto de vista do equipamento de varrimento laser tem a vantagem óbvia de minimizar os erros de paralaxe, de otimizar a relação entre imagem e nuvem de pontos, e de fazer corresponder nuvens de pontos e imagens ao mesmo período de tempo. Cada ponto da nuvem tem um correspondente na imagem. O inconveniente é obrigar a fotografar em simultâneo com o varrimento laser e assim não ser possível escolher a melhor hora do dia, ou não permitir o trabalho nocturno (foi o exemplo do caso de estudo A.9 – Nave Manuelina).

A recolha de imagens feita a partir de pontos de vista distintos apresenta a vantagem de permitir dissociar o varrimento laser da recolha de imagens. Assim, por exemplo, é possível efectuar o varrimento laser de noite e fotografar de dia, ou voltar algum tempo mais tarde para fotografar, o que permite efectuar múltiplos mapeamentos de imagem. A desvantagem que se pode apontar é que a relação entre imagem e nuvem de pontos não fica otimizada, no sentido em que deixa de haver uma relação directa entre todos os pontos de uma nuvem e os pontos (pixels) de uma imagem. Isso leva a que sejam necessárias mais imagens para conseguir cobrir o modelo tridimensional (caso de estudo A.7 – Palácio de Valflores). Outro inconveniente que resulta de espaçar temporalmente os momentos de varrimento laser e de recolha das imagens, é que as condições do lugar podem-se ter alterado. Pode haver novos obstáculos (por exemplo vegetação), ou o edifício

pode-se ter deformado e as geometrias entre imagens e nuvens de pontos já não corresponderem à mesma realidade.

Normalmente as imagens têm uma resolução espacial superior à das nuvens de pontos o que leva a uma perda de informação de textura no caso de se proceder a um mapeamento apenas sobre os pontos. Uma forma de tirar partido de toda a qualidade da textura é proceder a uma triangulação dos pontos para fazer o mapeamento de imagem sobre superfície (como fizemos no caso de estudo A.7 – Palácio de Valflores (figura 5-1). Mas note-se que este procedimento pode não ser necessário se a densidade dos pontos for a suficiente para gerar, para uma determinada escala, a informação necessária.

Para o mapeamento da cor, é conveniente utilizar imagens aproximadamente paralelas às superfícies. Nos casos em que os planos das imagens se encontram excessivamente inclinados em relação às superfícies, há seguramente uma perda de qualidade da textura no modelo na medida em que maiores superfícies (triângulos da malha) recebem menos informação radiométrica (menos pixels da imagem).

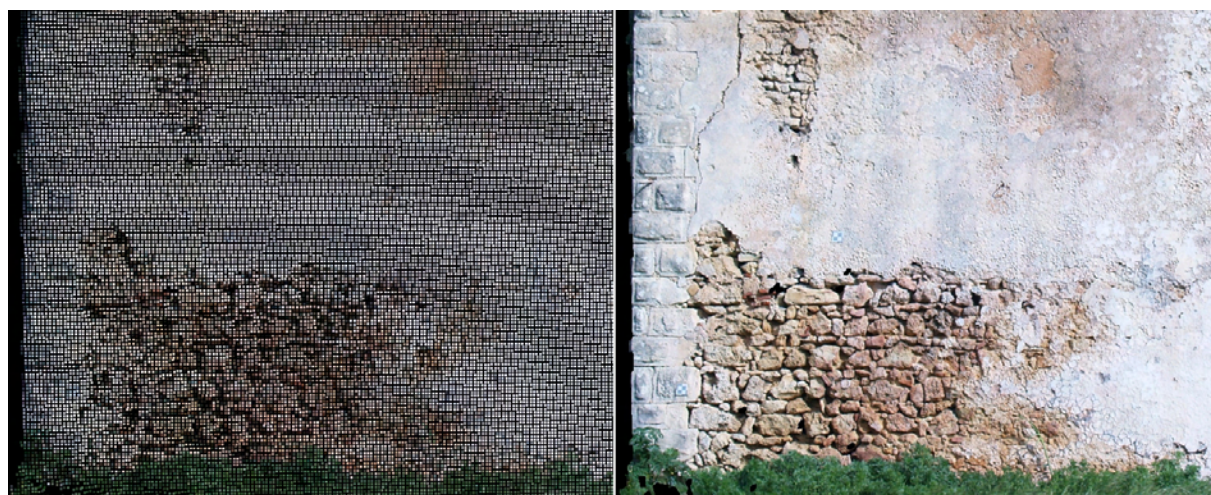


Figura 5-1: Comparação entre mapeamento sobre pontos (à esquerda) e mapeamento sobre superfície triangulada (à direita).

5.2.3. A produção dos materiais 2D

A produção de um modelo tridimensional é uma característica base dos métodos fotogramétricos e do VL3D. Isto não significa que a informação final seja sob a forma tridimensional. Na verdade, em muitos casos não é. É a partir destes modelos que se produz a documentação 2D.

A documentação 2D consubstancia-se sob a forma de imagens (orto-imagens) e desenhos (plantas, cortes, alçados).

A produção das orto-imagens faz-se através da projecção ortogonal de um modelo, ou de parte de um modelo sobre um plano. Os parâmetros a considerar nesta operação são

a distância ao plano de projecção (que condiciona a informação a ser projectada) e a escala da imagem de *output*. Esta resulta da razão entre a dimensão do plano, expressa em metros e a dimensão da imagem, expressa em pixels. Na prática corresponde ao GSD (distância de amostragem ao solo). O valor do GSD é importante, pois condiciona o nível de detalhe que é possível extrair de uma imagem. Nos casos em que as imagens apenas servem para proceder à restituição gráfica, o GSD vai sendo gerido em função das necessidades (caso de estudo A.8). Nos casos em que é necessário associar imagens e desenho na restituição gráfica (exemplo do caso de estudo A.10 – Arco da Rua Augusta), é necessário definir a escala das imagens de modo a obter uma adequação à escala. Neste caso, considerámos um GSD de 5mm para uma escala de restituição 1/50. Note-se ainda que a resolução das nuvens de pontos, ou das imagens fotográficas que se utilizou para proceder a mapeamentos, têm de ser compatíveis com estes parâmetros. Não é possível extrair informação que não existe. Só interpolando, o que pode ser aceitável para efeitos de visualização, mas não é aceitável para efeitos de documentação para conservação e restauro.

A restituição gráfica

A restituição gráfica do levantamento arquitectónico é sempre um processo que implica algum nível de interpretação subjectiva. Embora os métodos indirectos, como é o caso da FDT e do VL3DT, permitam uma captura quase contínua de informação acerca dos objectos, sendo os resultados imediatos mais objectivos, na restituição gráfica há sempre lugar à discretização do objecto, o que introduz um factor de subjectividade na medida em que dois agentes distintos não fariam exactamente as mesmas opções. A própria escala do desenho tem implicações no nível de detalhe com que se procede à restituição, conforme se pode verificar na figura 5-2.

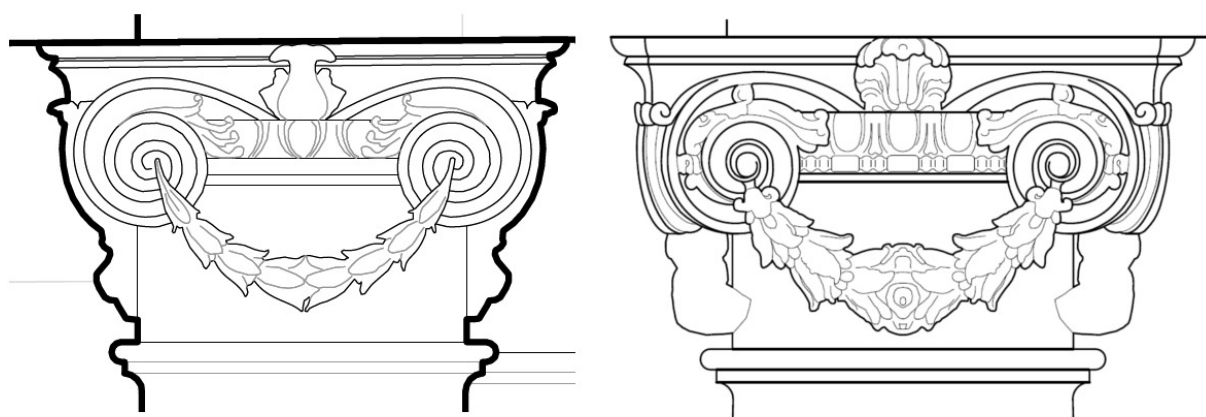


Figura 5-2: Restituição à escala 1/50 (à esquerda) e restituição à escala 1/20 (à direita).

Na figura apresentam-se dois níveis de detalhe na restituição do mesmo tipo de elemento, um capitel (caso de estudo A.10).

Sendo um processo de interpretação, a restituição gráfica pode traduzir-se num instrumento poderoso de conhecimento do objecto. Neste processo é possível apercebermo-nos de algumas singularidades do objecto, de algumas relações de planos que podem não ser evidentes à “vista desarmada”. Este facto ajuda a sustentar a ideia que temos veiculado, com alguma insistência, de que é proveitosa a colaboração entre produtores e utilizadores de informação. Pensamos, inclusivamente, que os utilizadores de informação poderiam participar de forma activa no processo de restituição gráfica, desenhando.

Como a restituição gráfica é um processo muito demorado, é muito importante definir até onde se deve ir.

Notas sobre a restituição gráfica efectuada sobre bases extraídas do VL3DT

Ao restituir sobre imagens de reflectância, é necessário notar que os contrastes que estas apresentam podem não corresponder aos mesmos contrastes que a cena apresenta à vista desarmada. Tal deve-se ao facto de que aqueles valores dependem da resposta da superfície ao comprimento de onda da luz laser que é utilizada para medir. Assim, ao seleccionar uma zona para caracterizar, é aconselhável compará-la com imagens fotográficas. É comum detectar contrastes que não são perceptíveis ou que não correspondem ao que interessa destacar. Sobre os aspectos relacionados com a qualidade das imagens de reflectância falaremos adiante.

No processo de restituição surgem sempre muitas dúvidas que não podem ser cabalmente resolvidas olhando apenas para as imagens ou modelo de nuvem de pontos. Mesmo com a ferramenta do VL3DT é necessário considerar visitas intermédias ao local para esclarecimento de dúvidas (casos de estudo A.5, A.8, A.9 e A.10). Por outro lado, por mais exhaustiva que tenha sido a recolha de dados 3D em campo existem sempre oclusões devido ao ponto de vista do scanner. O resultado deste tipo de oclusões pode ser apreciado nas imagens da figura 5-3. Em cima e à esquerda, esse efeito manifesta-se em vazios de dados junto às vigas no tecto (caso de estudo A.6 – Rua do Sol). Em cima e à direita, esse efeito resulta da oclusão que o muro da varanda introduz, uma vez que o ponto de vista do scanner foi bastante abaixo do nível da varanda (caso de estudo A.7 – Palácio de Valflores). Em baixo e à esquerda, o efeito resulta da oclusão provocada pelo contraforte saliente da parede, uma vez que o ponto de vista do scanner se situava à direita do contraforte (caso de estudo A.9 – Nave Manuelina). Em baixo e à direita, o efeito resulta da obstrução provocada pela vegetação (caso de estudo A.8 – Paços do Infante).

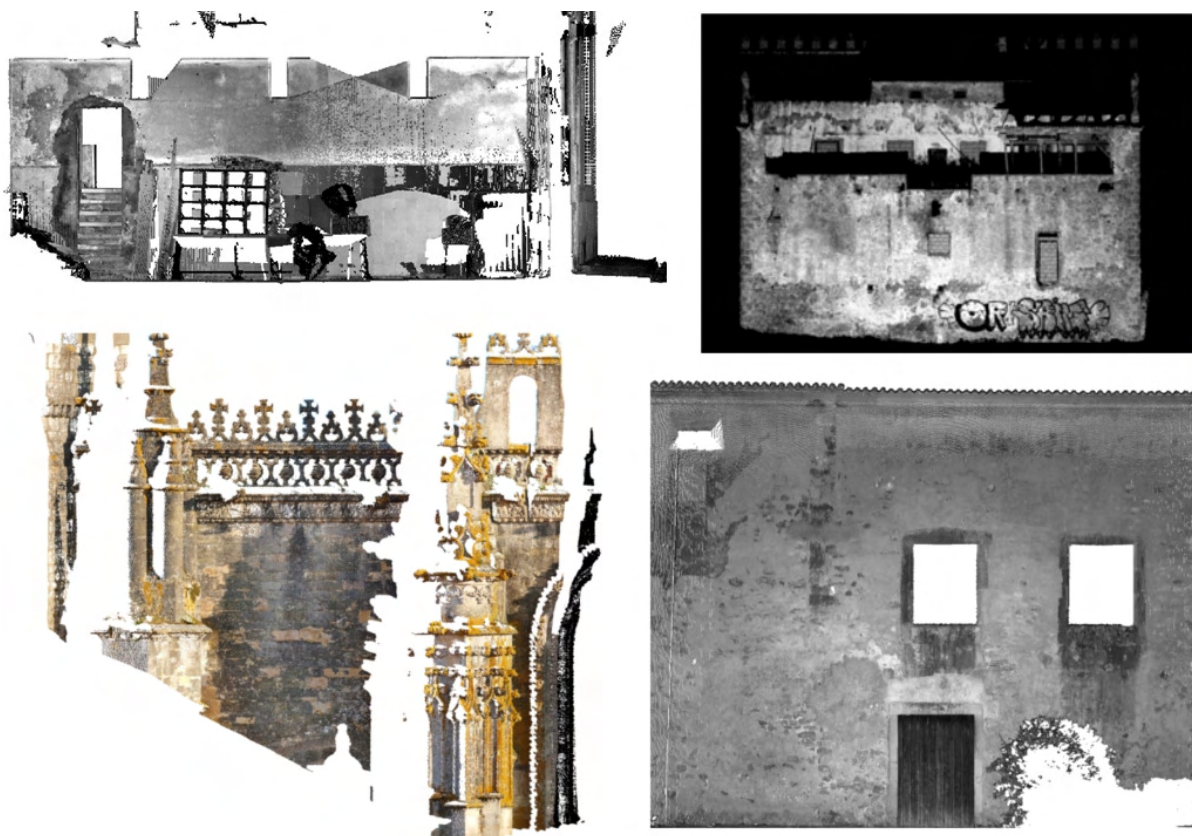


Figura 5-3: Efeito sobre as imagens, das oclusões nos dados tridimensionais do VL3DT.

Na generalidade dos casos, considera-se que não é admissível “inventar” o que não aparece representado sobre as imagens. A forma que existe para suprir estas lacunas, que existem sempre em maior ou menor número, é voltar a campo e recolher informação complementar. Considera-se que é preferível ter uma documentação incompleta que uma documentação inventada. No entanto, não é aceitável invocar a limitação de um método ou de uma técnica para produzir documentação incompleta.

Outro problema que resulta do facto dos sistemas de VL3DT não fazerem distinção nos dados (são objectivos para o bem e para o mal), é o facto de poder haver informação que pode ser incorrectamente interpretada como verdadeira. Isto verifica-se bastante quando se procede ao desenho dos cortes sobre secções obtidas a partir do modelo tridimensional triangulado. Nas esquinas, em particular quando dividem dois planos em que um é visível para o scanner e outro não, ocorrem algumas singularidades na captura 3D que é preciso ter em conta na restituição caso não haja varrimentos complementares. Nestas zonas, ao efectuar os modelos triangulados que servem de base à produção das secções ocorre a definição de triângulos que, não correspondendo à superfície do objecto, resultam da união de pontos entre planos não adjacentes, levando a resultados errados nas secções (figura 5-4). Estes triângulos podem ser eliminados através de ferramentas automáticas que são função, entre outras possibilidades, dos ângulos de incidência do laser com os planos

definidos pelos triângulos. Há que notar que, sendo eliminados estes triângulos (e mesmo não o sendo) a qualidade da informação neste tipo de arestas é baixa, significando isto que há pontos no plano visível e na vizinhança da esquina que não são representados dando origem a erros de medição ainda que a densidade de pontos seja muito elevada. A única forma de ultrapassar este tipo de situação é procurar fazer a aquisição de dados 3D que complementem essas lacunas. A outra hipótese, embora menos aconselhável por ser mais demorada, é fazer esta completagem no terreno.

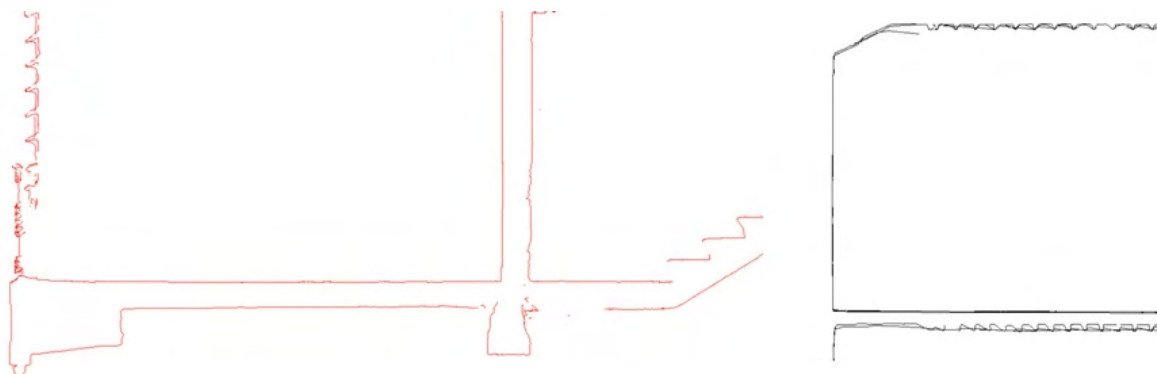


Figura 5-4: Efeito da descontinuidade do modelo sobre as secções produzidas nos modelos tridimensionais do VL3DT.

Em geral, este tipo de situação ocorre de forma sistemática, quando há elementos salientes que provocam oclusões, também chamadas sombras, nos dados.

Quando as estações são apenas ao nível do chão, problemas surgem ao nível das arestas horizontais mais elevadas dos objectos. Aí há faltas de informação que se podem traduzir, se mal interpretadas, em desenho incorrecto. É sempre conveniente procurar assegurar que se conseguem estações em posição elevada para colmatar estas lacunas de informação.

Uma estratégia eficaz para proceder à restituição gráfica sobre imagens resultantes de varrimento laser, é fazê-las acompanhar por uma campanha de secções notáveis a vários níveis. A partir destas, conseguem obter-se pontos para apoiar a restituição, isto é, não se trata apenas de decalcar uma imagem; este processo é acompanhado com pontos obtidos a partir do modelo 3D.

Em restituição sobre imagens de varrimento laser, e em edifícios antigos, não se pode supor que as molduras dos elementos constitutivos do edifício se repitam ou mesmo sejam constantes ao longo de um troço. Se esta assunção for feita, em pouco tempo surgem problemas e incongruências no desenho. Também não se pode supor que um arco tem uma determinada geometria perfeita. No entanto é admissível, em alguns casos, proceder a alguma esquematização da representação em função dos fins a que se destina.

Como metodologia de desenho sugere-se começar por traçar todas as secções e apenas depois deste passo estar dado se deve começar a restituir elementos em vista (caso de estudo A.10 – Arco da Rua Augusta).

O facto do varrimento laser (o mesmo se passa com a fotogrametria) permitir a associação de imagens (não interpretadas) aos desenhos (necessariamente interpretados) pode ser um veículo para a detecção de erros de interpretação. Por outro lado, o facto de se poder dispor de imagens pode, em algumas circunstâncias, e em nossa opinião, dispensar a necessidade do desenho.

As orto-imagens a cores fornecem a melhor base de restituição gráfica 2D. Contudo não dispensam a visualização simultânea de fotografias da mesma zona para esclarecer dúvidas acerca da tridimensionalidade do contexto sob desenho. Na maior parte dos casos esta dupla fonte de informação é a necessária e suficiente para proceder ao desenho. Em todo o caso pode também ser conveniente dispor da possibilidade de visualização do modelo 3D para dissipar outras eventuais dúvidas de interpretação que possam surgir.

Faz parte deste processo (restituição gráfica) a organização da informação nos ficheiros de CAD que se produzem (formatos, layers, cores, linhas, espessuras, tipo de entidades de desenho) e a preparação dos suportes de armazenamento e transmissão.

Comparação de tempos de execução

A produção de desenhos deve ser bem ponderada e dimensionada pelo facto desta operação consumir muito tempo. No fluxo de trabalho do varrimento laser e da fotogrametria, desde o planeamento à execução, é a etapa que consome mais horas de trabalho.

COMPARAÇÃO DE TEMPOS DE EXECUÇÃO				
Sistemas usados TOF (tempo de voo) PS (comparação de fase) FD (fotogrametria)	Localização (caso de estudo)	Tempo em campo (horas)	Tempo de orientação de nuvens de pontos e/ou imagens (horas)	Tempo de extracção de informação base, edição e desenho (horas)
FDT	Hospital de St. Louis (A.3)	1,25	2	5
FDT	Tereiro do Paço (A.4)	25	183	176**
FDT (manual - Photomodeler)	Chafariz dos Canos (A.5)	7,5	40	210
FDT (automática - VSFM/CMVS)	Chafariz dos Canos (A.5)	7,5	2	5***
PS	Rua do Sol (A.6)	16	16	100
PS	Paços do Infante (A.8)	9,5	40	163
PS	Pátio dos Carrascos (A.8)	1,5	60*	132*
TOF	Nave Manuelina (A.9)	19,25	24	62
FDT (automática - VSFM/CMVS)	Nave Manuelina - janela (A.9)	****	0,75	2***
FDT (automática - VSFM/CMVS)	Nave Manuelina - cobertura (A.9)	*****	1,5	5,5***
PS	Arco da Rua Augusta (A.10)	23,2	90*	816

* Estas operações foram conduzidas por operadores em formação

** Este valor apenas considera o tempo de restituição gráfica (trabalho realizado pelo Atelier 15)

*** Este valor apenas considera o tempo de reconstrução densa automática do modelo

**** Tempo incluído no varrimento laser 3D

***** As imagens utilizadas foram capturadas no contexto do levantamento aéreo do Convento de Cristo no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006

Tabela 5-3: Comparação de tempos de execução.

Pudemos constatar esse facto através da comparação dos tempos consumidos com o trabalho de campo e com a restituição gráfica em vários casos de estudo (tabela 5-3).

É claro que para estimar um indicador válido em termos de tempos de execução, seria necessário considerar pelo menos mais quatro parâmetros: i) a escala da representação e o nível de detalhe pretendido, ii) a área restituída e o número e tipo de peças produzidas, iii) a experiência dos operadores, e iv) a qualidade das bases sobre as quais se desenha.

Não se pretendeu obter uma fórmula de cálculo. Pretendeu-se apenas notar um aspecto relevante que se traduz na considerável quantidade de tempo que ocupam as acções de restituição gráfica nos processos de levantamento.

Se é verdade que a produção de desenhos bidimensionais é uma necessidade justificada, também é facto que a sua solicitação por parte dos utilizadores de informação resulta muitas vezes do desconhecimento (ou da falta de à-vontade) de outro tipo de materiais. Considera-se que este foi o caso no Pátio dos Carrascos (caso de estudo A.8).

Validação semântica

É importante, após ou no decurso dos trabalhos de restituição, proceder-se à sua validação. Esta validação é de dois tipos: i) métrica, e ii) semântica.

A validação métrica corresponde naturalmente à comparação entre as medidas que têm no desenho e as medidas que se tiram no local. Este aspecto já foi discutido acima. A validação semântica corresponde à verificação da correcção ou incorrecção do registo no que diz respeito à interpretação. Trata-se, por exemplo, de verificar se algum elemento ficou omissa na representação por não ser visível ou perceptível nas fotos, de verificar se o que foi registado corresponde de facto a uma interpretação aceitável das características do objecto.

Este passo é muito importante e dele depende a fiabilidade dos resultados

Por mais indirecto que seja um método de levantamento, nunca se pode considerar dispensável o contacto directo com o objecto arquitectónico como uma fonte de conhecimento do mesmo. Uma das razões pela qual se considera importante um planeamento prévio feito no local, é precisamente para estabelecer e aprofundar esse conhecimento.

Efectivamente, não há processo de registo que possa verdadeiramente dispensar o contacto de proximidade com o objecto, pelo menos visual. Se nos fiarmos apenas numa interpretação indirecta, através de imagens fotográficas, por certo há erros de interpretação que vão surgir. Por exemplo, no caso de estudo da Nave Manuelina (A.9) a única forma de corrigir o desenho da estereotomia foi através da observação muito próxima da superfície, já na fase de intervenção de conservação. De forma semelhante, as idas a campo no caso de

estudo do Chafariz dos Canos (A.5) serviram para tomar notas de correcções a efectuar. Estes procedimentos ilustram-se na figura 5-5.

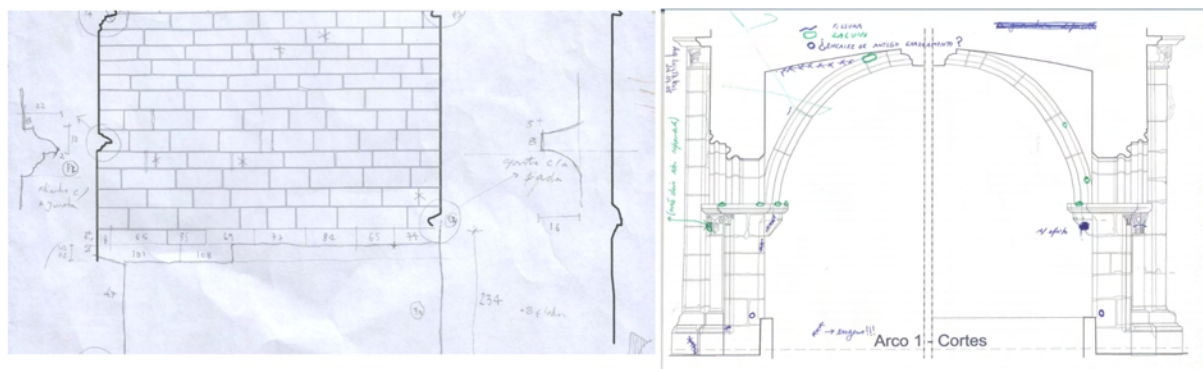


Figura 5-5: Desenhos do levantamento com anotações de correcções a efectuar. À esquerda: Nave Manuelina. À direita: Chafariz dos Canos.

5.3. A complementaridade entre a FDT e o VL3DT

O prisma sob o qual encaramos a complementaridade entre a FDT e o VL3DT vai no sentido da integração destas duas técnicas como forma de produzir um tipo de documentação mais completa, mais coerente, e mais homogénea. A portabilidade dos sistemas fotográficos (aliados às técnicas de processamento automático capazes de gerir milhares de imagens em simultâneo) em relação aos sistemas de VL3DT permite a sua utilização em situações que não são possíveis para o VL3DT. É por exemplo o caso da utilização de plataformas aéreas de baixa altitude como balões, ou aviões teleguiados (figura 5-6) para fazer a aquisição de imagens a partir de pontos de vista que podem complementar a recolha de dados do VL3DT em coberturas de edifícios.



Figura 5-6: Imagens dos veículos aéreos de baixa altitude utilizados. À direita: balão a hélio equipado com câmara fotográfica e emissor vídeo (propriedade FAUTL). À esquerda: avião teleguiado equipado com câmara fotográfica (propriedade Aeroperspectiva).

As experiências que conduzimos no caso de estudo do Chafariz dos Canos (A.5) (figura 5-20) e no caso da Nave Manuelina (A.9), quer relativamente à janela (figura 5-7), quer relativamente à cobertura da nave (figura 5-8) apontam claramente nesse sentido de complementaridade e integração sustentados por uma qualidade métrica que demonstrámos ser comparável.

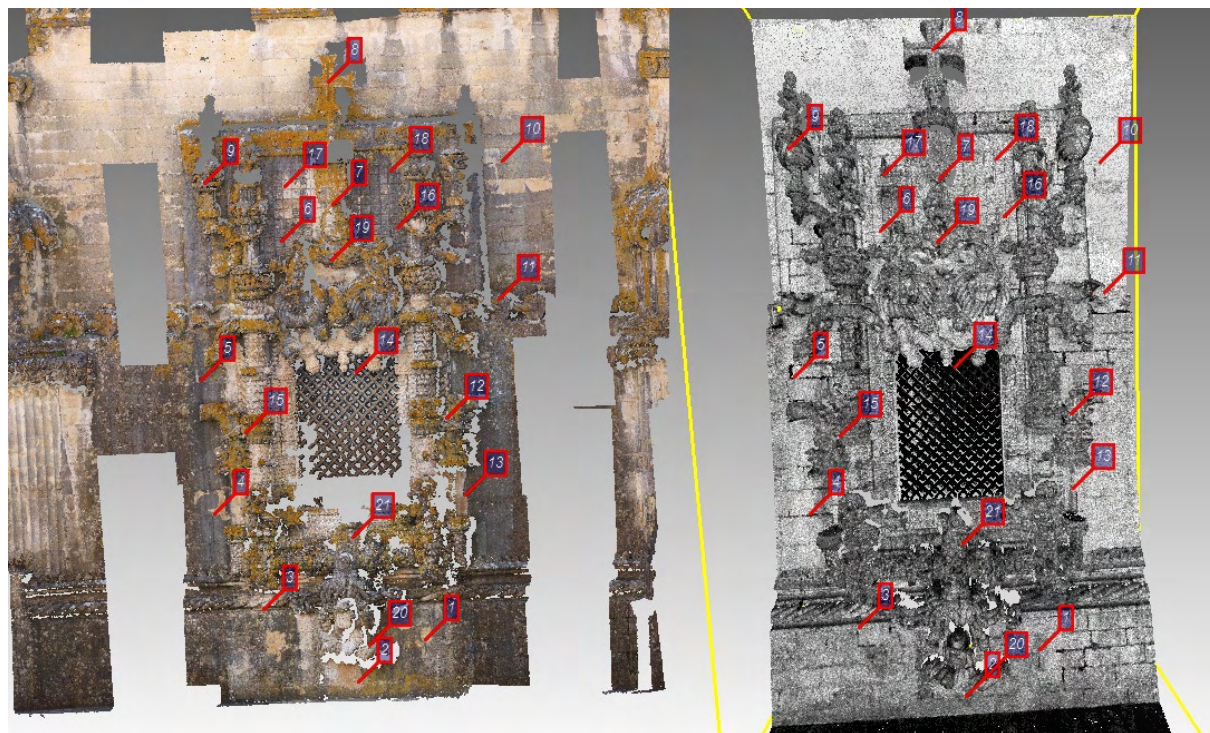


Figura 5-7: Comparação entre modelo fotogramétrico automático (à esquerda) e modelo de nuvem de pontos (à direita)



Figura 5-8: À esquerda: modelo de nuvens de pontos de VL3DT. À direita: modelo de nuvens de pontos fotogramétrico.

Para ilustrar o potencial do processamento fotogramétrico automático mostramos as imagens da figura 5-9 e 5-10. No caso do modelo do Convento de Cristo, o tempo total de processamento rondou um dia, e no caso do modelo da cidade, o tempo total de processamento rondou uma semana. Nota-se no entanto que este tipo de técnicas, sobretudo com este número de imagens, requer elevadas capacidades de processamento.

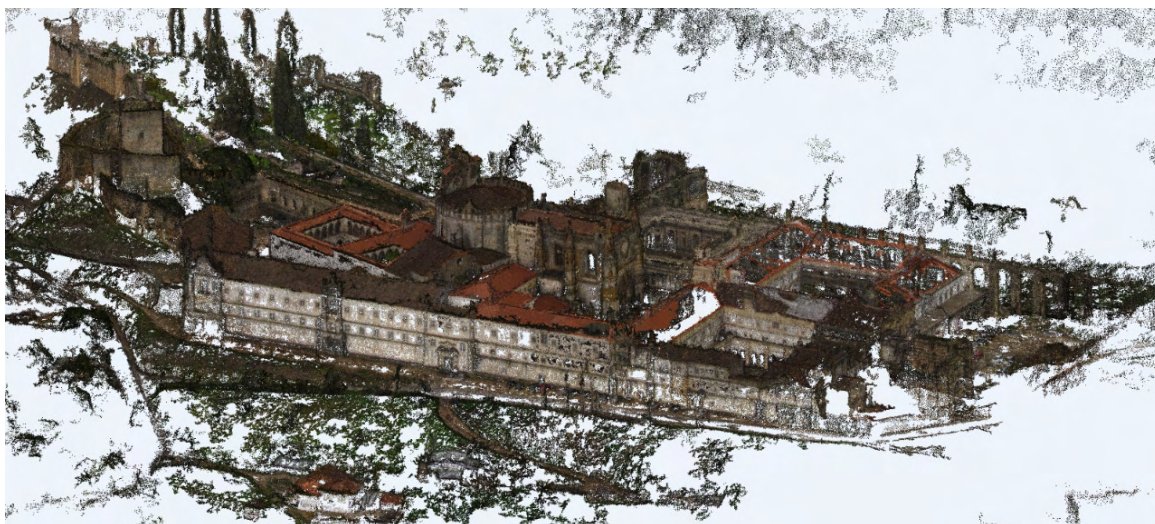


Figura 5-9: Modelo tridimensional do Convento de Cristo produzido a partir de 195 imagens recolhidas a partir de avião controlado remotamente. Este modelo foi produzido pelo colega Victor Ferreira no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006, de que o autor da presente tese fez parte.



Figura 5-10: Modelo tridimensional do centro histórico da cidade de Tomar produzido a partir de 1154 imagens recolhidas a partir de balão a hélio controlado remotamente. Este modelo foi produzido pelo colega Victor Ferreira no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006, de que o autor da presente tese fez parte.

5.4. Do levantamento ao projecto

Neste ponto procurámos reflectir sobre as implicações metodológicas da utilização da FDT e do VL3DT para a produção da documentação gráfica de base no contexto dos processos de Conservação, Restauro e Reabilitação. Trata-se de compreender a aplicabilidade dos métodos da FDT e do VL3D, sobretudo na fase de análise prévia do objecto antes da definição e quantificação das acções a realizar. Alguns dos casos de estudo a que nos vamos referir contaram com a participação de agentes em contexto institucional ou empresarial. O retorno dado por esses agentes foi uma fonte importante de reflexão e motivação para a colocação de questões. As experiências que nos serviram de suporte à reflexão não são um mero somatório de casos isolados. Cada uma delas foi geradora de novas questões a abordar em experiências seguintes, num verdadeiro processo iterativo.

5.4.1. Os métodos fotogramétricos expeditos

Tal como notado na tabela 2-1, podemos considerar que há um conjunto de acções de projecto que apenas carecem de uma estimativa aproximada de alguns parâmetros do objecto arquitectónico sem requererem uma definição exaustiva da sua geometria. Este tipo de exigências colocam-se sobretudo quando há a necessidade de proceder a intervenções que não alteram estruturalmente os edifícios. Referimo-nos por exemplo a um cálculo aproximado de áreas ou comprimentos, ou ainda da caracterização do aspecto visual do objecto com vista a quantificar trabalhos de limpeza, pinturas ou outras intervenções similares. Para resolver este tipo de problemas podemos recorrer a um conjunto de procedimentos que identificamos por métodos expeditos de documentação. Em geral trata-se de métodos gráficos bidimensionais podendo estender-se ou simular a tridimensionalidade se informação de controlo deste tipo estiver disponível. Geralmente baseiam-se em imagens simples (vulgo fotografia – figura 5-11), panorâmicas ou rectificadas.

A forma mais expedita de documentação consiste na utilização directa da fotografia como suporte de algum tipo de informação, por exemplo de estado de Conservação, sem grandes preocupações métricas. Ou dito de outra forma, com a preocupação de registar apenas para ilustrar, ou contabilizar em termos unitários, como se mostra na imagem da figura 5-11³⁸. Digamos, como já afirmámos, que se trata dum primeiro nível de fotogrametria,

³⁸ Esta imagem é da autoria da conservadora Milene Gil.

aquela que pretende aceder à métrica adimensional, isto é, a simples contagem de elementos.

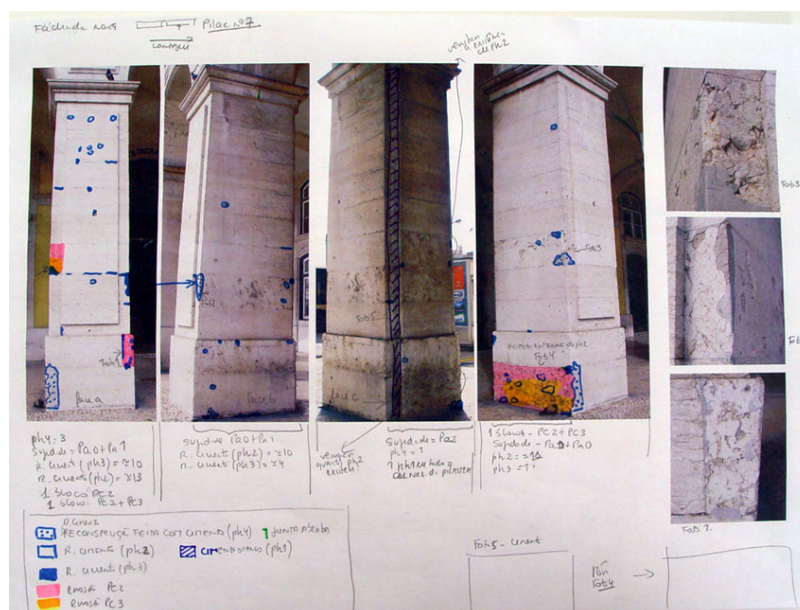


Figura 5-11: Utilização da fotografia como suporte do registo de anomalias.

As imagens panorâmicas são outro tipo de suporte expedito. Podem ser produzidas a partir de múltiplas imagens ou podem resultar de processos de varrimento, por exemplo como sub-produto do VL3D quando se utilizam dispositivos com campo de visão cilíndrico ou esférico. São uma forma eficiente de documentar o contexto de uma intervenção. A imagem da figura 5-12 mostra uma imagem deste tipo produzida através de múltiplas imagens. Os panoramas podem ser produzidos através de variadas aplicações de *software* existentes no mercado, algumas das quais gratuitas³⁹, e pode acrescentar-se-lhes uma componente interactiva.



Figura 5-12: Imagem panorâmica do Pátio da Marinha (Terreiro do Paço).

³⁹ Exemplos deste tipo de aplicações são o PTGui (<http://www.ptgui.com/>) e o Hugin (<http://hugin.sourceforge.net/>), o segundo dos quais é gratuito.

As “Metric Survey Specifications for Cultural Heritage” [BBB09] recomendam que as imagens para rectificação sejam obtidas o mais frontalmente possível em relação às superfícies que se pretende registar. Determinam ainda a dimensão de amostra ao solo (GSD) das imagens (ver tabela 3-10).

Tendo por base aqueles valores de referência, e considerando um sistema fotográfico específico, é possível determinar a distância máxima a que um operador se deve colocar de uma superfície para a conseguir registar de acordo com o especificado.

No planeamento da recolha de imagens para a rectificação há um conjunto de parâmetros que devem ser considerados para definir o posicionamento e orientação da câmara em relação às superfícies.

Vamos tomar como exemplo uma câmara específica que foi utilizada, no caso de estudo do Terreiro do Paço (A.4). Trata-se da câmara SLR Olympus E-500, com sensor de dimensões 17.3mmx13mm e resolução de 8Mp. Uma imagem obtida com esta câmara tem as dimensões de 3264x2448pixel. Em conjunto com esta câmara foram utilizadas duas objectivas, uma objectiva 14-45mm e uma objectiva 45-200mm.

Na tabela 5-4 apresentam-se distâncias máximas admissíveis entre câmara e objecto em função dos valores GSD predefinidos para as várias escalas de representação, e da utilização de determinadas distâncias focais.

ESCALA DAS IMAGENS PARA RECTIFICAÇÃO						
Câmara SLR Olympus E-500						
Sensor 17,3mmx13mm de 8Mp						
ESCALA	GSD (mm)	3264p L máx. (m)	2448p A máx. (m)	f=14mm D máx. (m)	f=45mm D máx. (m)	f=200mm D máx. (m)
1/200	20	65,3	49,0	52,8	169,8	754,7
1/100	10	32,6	24,5	26,4	84,9	377,3
1/50	5	16,3	12,2	13,2	42,5	188,7
1/20	2,5	8,2	6,1	6,6	21,2	94,3
1/10	1	3,3	2,4	2,6	8,5	37,7

Tabela 5-4: Estudo da câmara fotográfica Olympus E-500.

A título de exemplo, consegue-se cumprir a recomendação de um GSD de 20mm fotografando a cerca de 750m de distância do objecto com uma distância focal de 200mm. Neste caso a imagem cobre uma área de 65,3m por 49m no objecto. Com efeito, o primeiro passo na elaboração deste quadro passa por estimar a área coberta no objecto por uma imagem quando se pretende determinado GSD. De seguida, a proporção entre as dimensões lineares dessa área e as dimensões lineares da área do sensor terá de ser a mesma que a proporção entre a distância ao objecto e a distância focal. Destas duas razões deduz-se a distância ao objecto.

Dispor de um quadro deste tipo é fundamental no processo de planeamento do trabalho de campo de recolha fotográfica. Este quadro foi utilizado para o planeamento do

levantamento fotográfico das fachadas do Terreiro do Paço. Grandes distâncias podem oferecer a vantagem de minimizar a variação de escalas entre planos na rectificação mas este aspecto tem de ser conciliado com o GSD pretendido. Com efeito, a produção de um quadro deste tipo deve ser uma das primeiras tarefas do processo de planeamento de qualquer trabalho de documentação fotográfica com fins métricos.

Outro parâmetro importante a considerar na rectificação de imagens é a altura a que se coloca a câmara em relação ao objecto. De modo análogo se pode falar do deslocamento lateral. Este aspecto é relevante na medida em que pode ajudar a minimizar efeitos de perspectiva devidos a elementos salientes em relação ao plano de referência da rectificação, e que se traduzem por deslocamentos aparentes verticais e horizontais nas imagens. Embora se pretenda sempre fotografar o mais possível na perpendicular às superfícies a rectificar, isto nem sempre é possível. Assim, quando se verificar que é incontornável fotografar obliquamente deve considerar-se que o GSD aumenta. Este aspecto deve ser tido em conta no planeamento pois implica reduzir a distância ao objecto ou aumentar a distância focal para garantir o GSD pretendido. Em todo o caso esta deve ser a excepção e não a regra.

Adoptando este tipo de procedimentos, procedeu-se ao levantamento das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço, conforme se ilustra nas figuras 5-13 e 5-14.

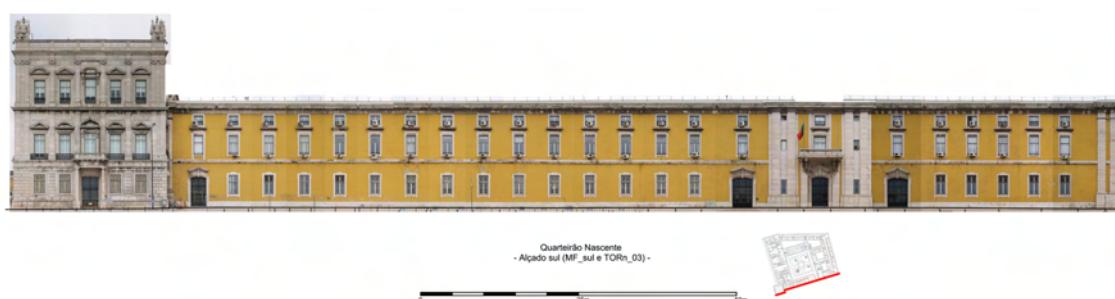


Figura 5-13: Alameda Sul da Ala Nascente do Terreiro do Paço.



Figura 5-14: Alameda métrica rectificada da fachada sul do Terreiro do Paço.

Verificámos que o processo da rectificação vectorial foi de utilização bastante ampla como complemento dos vários métodos de documentação. Para além dos casos de teste (A.1 e A.2), utilizámo-lo nos casos de estudo do levantamento do muro do Hospital de St. Luis (A.3) (figura 5-15), no Terreiro do Paço (A.4) (figura 5-16), na restituição do levantamento do edifício da Rua do Sol (A.5) (figura 5-17), na Nave Manuelina (A.9) (figura 5-18), e no Arco da Rua Augusta (A.10) (figura 5-19).

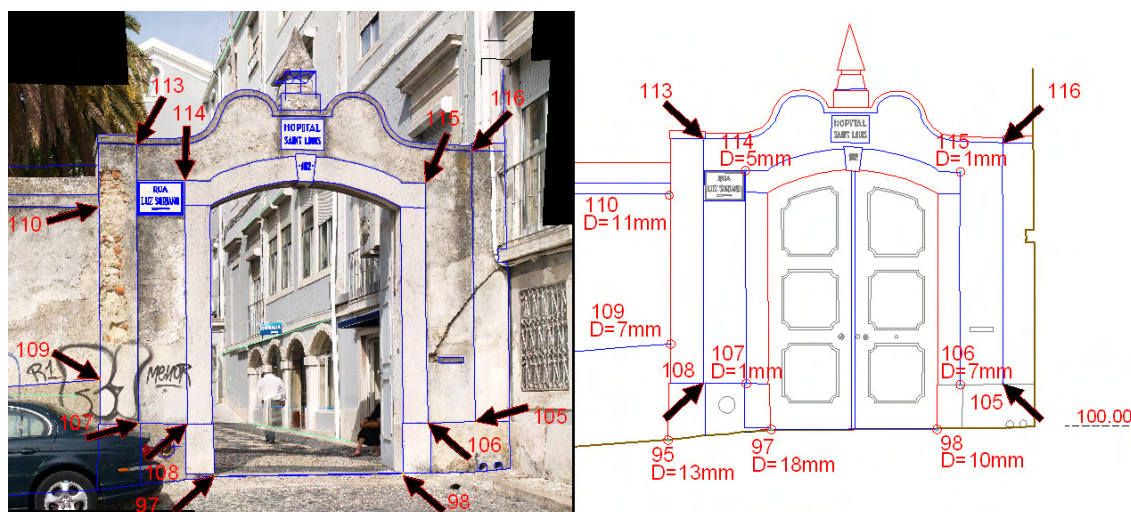


Figura 5-15: Rectificação vectorial do desenho do muro.

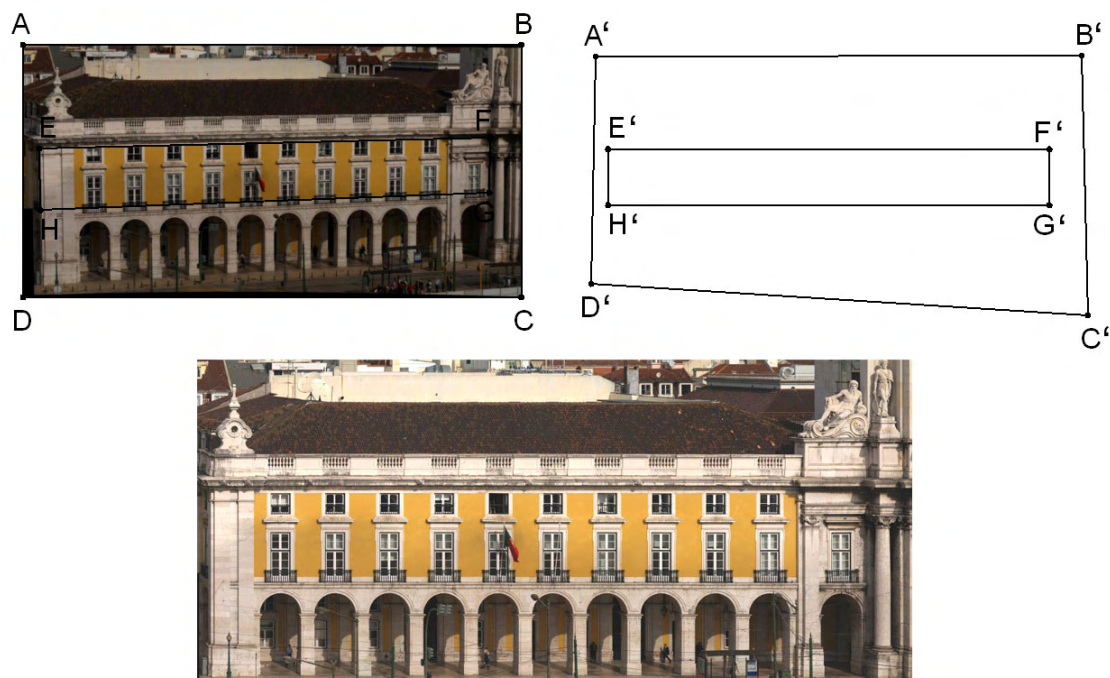


Figura 5-16: Em cima à esquerda: Imagem panorâmica produzida com 14 fotografias. Em cima à direita: Rectificação vectorial de controlo para a rectificação de imagem. Em baixo: Imagem final rectificada.

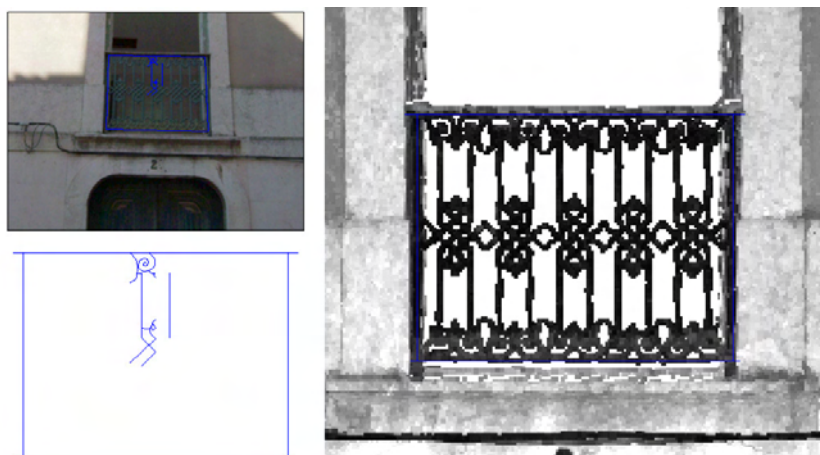


Figura 5-17: Utilização da fotografia como fonte complementar de informação no processo de restituição gráfica. Exemplo de utilização da rotina rectificador.lsp.

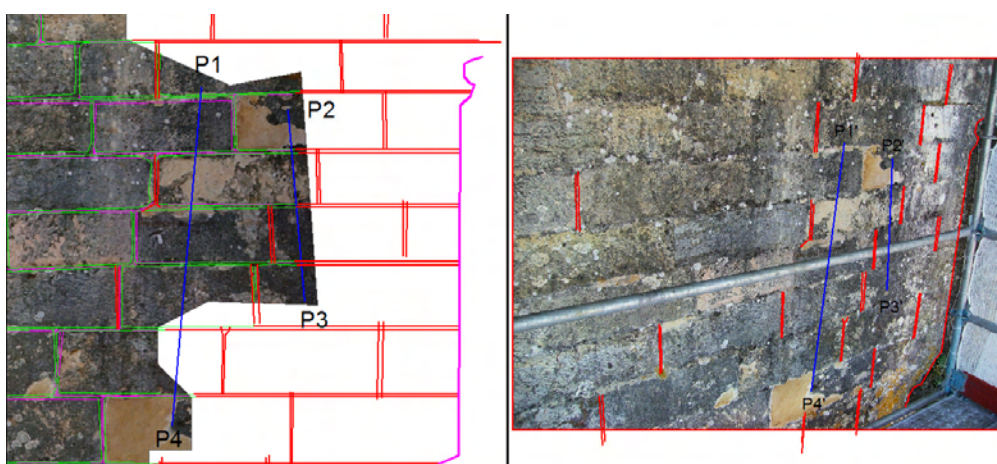


Figura 5-18: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP rectificador.lsp.

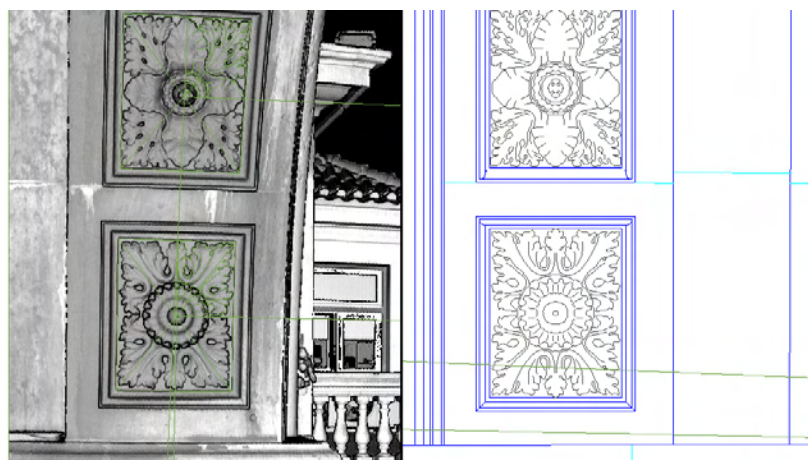


Figura 5-19: Utilização da rotina Rectificador.lsp para rectificação vectorial de desenho efectuado sobre imagem panorâmica.

Esta multiplicidade de contextos de aplicação mostra bem a validade da ferramenta produzida e permite perceber os contextos em que pode ser aplicada. Efectivamente há muitas situações em que não se justifica proceder à rectificação de imagens por ser um processo que exige mais tempo e ser menos flexível. No caso da rectificação vectorial, o desenho pode ser sempre reajustado à medida que se vai dispondo de informação métrica de qualidade melhor. Verificou-se particularmente aplicável naquelas situações em que pouca informação de muitas fotos era necessária para complementar a restituição gráfica. Neste tipo de situação, a rectificação de imagens consumiria um tempo excessivo.

Esta categoria de métodos expeditos não deve ser desprezada ou menorizada. Demonstrámos que há muitas situações em que são perfeitamente aplicáveis.

5.4.2. O VL3DT e a FDT como instrumentos de compreensão, análise e diagnóstico do objecto arquitectónico

A FDT e o VL3DT são preferencialmente utilizados para gerar informação métrica acerca dos objectos mas também permitem obter informação radiométrica.

Esses dois tipos de informação, combinados ou não, podem revelar-se como instrumentos de compreensão, análise e diagnóstico do objecto arquitectónico.

5.4.2.1. Para uma iconografia do VL3DT e da FDT

Os modelos tridimensionais resultantes do VL3DT e da FDT podem constituir-se como um potente instrumento de inquirição do objecto. Esta inquirição pode ser feita através da navegação directa pelo modelo tridimensional ou através da análise de imagens ou desenhos obtidos a partir do mesmo. As imagens ou desenhos podem assumir forma acabada a plantas, cortes, alçados e orto-imagens, mas podem assumir uma forma mais esquemática, dirigida a um questionamento particular. E podem ser produzidas de modo expedito em alturas do processo de levantamento relativamente precoces, isto é, em fases em que ainda não se dispõe dos produtos finais do levantamento. É sobretudo este o aspecto que nos interessa relevar.

Nos casos de estudo do Chafariz dos Canos (A.5), Rua do Sol (A.6), do Palácio de Valflores (A.7), dos Paços do Infante (A.8), e do Arco da Rua Augusta (A.10) temos alguns exemplos em que as imagens de síntese se mostraram capazes de revelar aspectos importantes para a compreensão do objecto, ou pelo menos mostrar esse potencial.

É possível manipular dados tridimensionais como nuvens de pontos através de ferramentas de software livre, como por exemplo o MeshLab, e extrair de forma bastante expedita elementos bidimensionais sem recurso a comandos complexos, apenas com uma interacção simples com o modelo. Os exemplos da figura 5-20 resultaram de impressões de

ecrã do modelo de nuvens de pontos do Chafariz dos Canos (caso de estudo A.5) a partir do ambiente do software MeshLab.



Figura 5-20: Imagens do modelo tridimensional de nuvens de pontos do Chafariz dos Canos extraídas através do processo de captura de ecrã.

O procedimento usado pode ser facilmente aplicado por qualquer pessoa mesmo sem grandes conhecimentos informáticos. Se o modelo estiver correctamente orientado o procedimento é ainda mais simples na medida em que se pode optar por vistas predefinidas. Isto demonstra que não é necessário dispor de ferramentas de software muito específicas e dispendiosas para extrair informação de modelos tridimensionais. E este tipo de informação pode ser eficaz como base para os processos de registo e concepção. Este é um primeiro nível de extracção de informação que pode ser levada a cabo pelos utilizadores finais a partir dos dados preliminares dos levantamentos tridimensionais.

Noutro nível, com assistência técnica mais especializada, mas considerando ainda uma perspectiva de colaboração entre produtores e utilizadores da informação gráfica, é possível extrair outro tipo de informação.

No caso da Rua do Sol pudemos, através da leitura de imagens de reflectância semi-transparentes, perceber vários níveis de profundidade correspondentes a vários planos para lá do plano de corte, conforme se pode visualizar nas zonas assinaladas a vermelho nas imagens da figura 5-21.

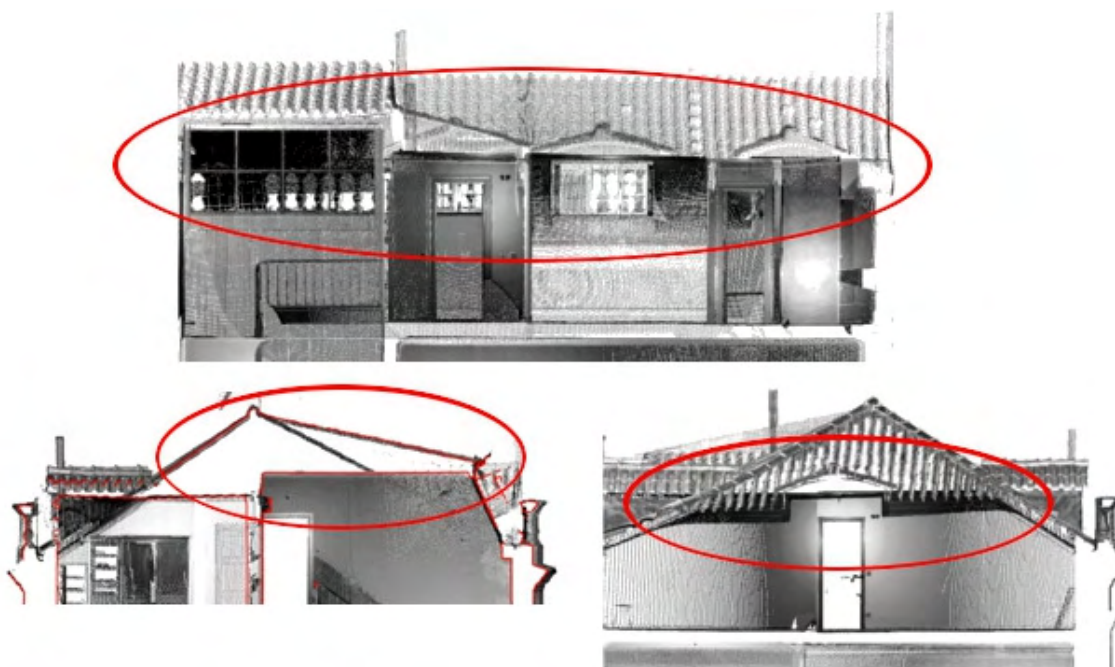


Figura 5-21: Imagens de reflectância do modelo de nuvens de pontos da rua do Sol em que se podem observar vários níveis de profundidade devido à semi-transparência das nuvens de pontos.

Este tipo de imagens é muito importante no processo de restituição gráfica uma vez que concatenam no mesmo plano diversos níveis de profundidade permitindo, por exemplo, perceber linhas de pendente de coberturas, linhas de nível de piso.

Nos caso do Palácio de Valflores pudemos verificar como a extracção de secções em bruto, sem nenhum desenho adicional, pode ser instrumento de análise e revelar relações entre partes do objecto que não são imediatamente perceptíveis no lugar devido a diferenças de cotas, à vegetação, à impossibilidade de observar o conjunto. Referimo-nos, por exemplo ao alinhamento entre o aqueduto e um conjunto de construções na parte traseira do palácio ou à percepção da proporção da planta da construção principal aproximadamente quadrada, conforme se ilustra na imagem da figura 5-22.

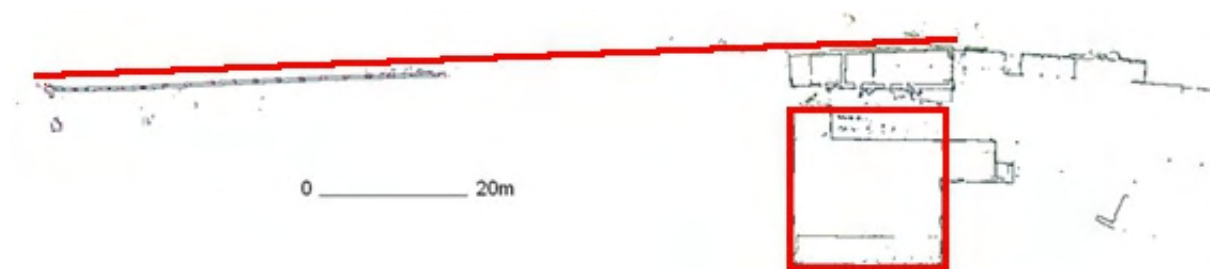


Figura 5-22: Planta, em bruto, extraída do modelo de nuvens de pontos do Palácio de Valflores. O alinhamento marcado permitiu perceber o percurso da água e compreender alguns elementos aparentemente decorativos.

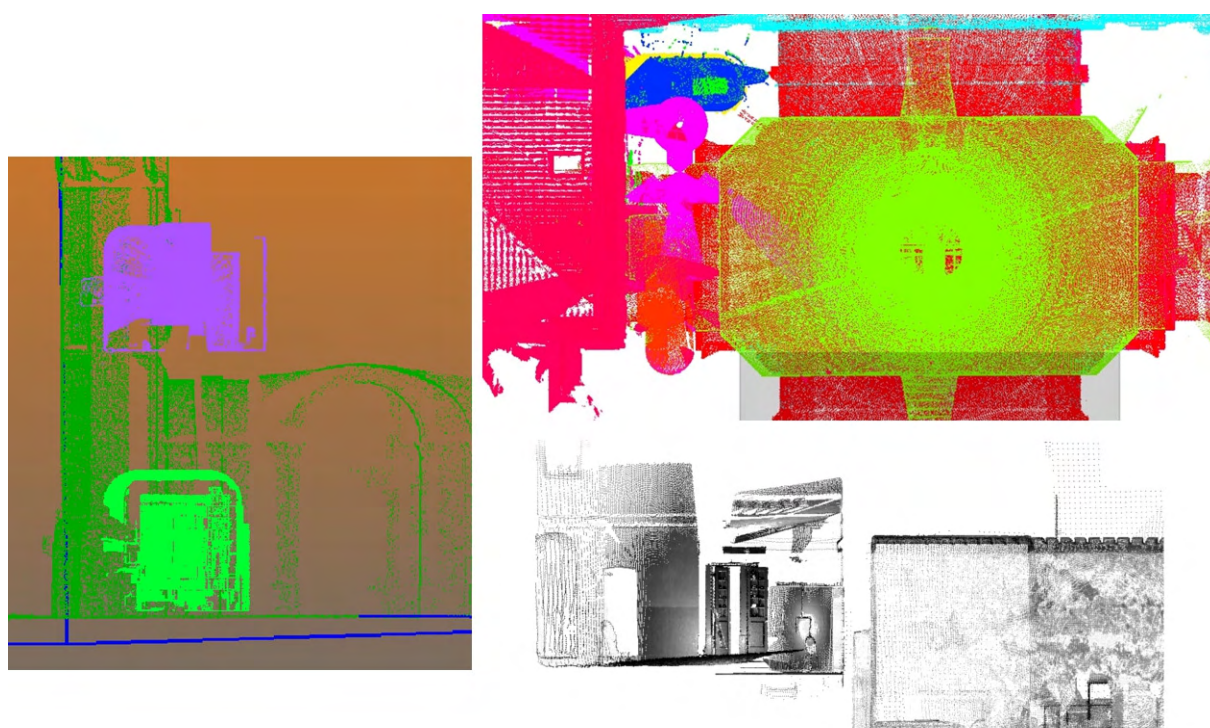


Figura 5-23: À esquerda: Visualização em corte da relação entre duas salas do Arco da Rua Augusta alinhadas verticalmente em que se percebe um espaço vazio entre elas. Em cima: Sobreposição em planta de imagens de nuvens de pontos que permite perceber a relação entre circulações verticais no Arco da Augusta. Em baixo: Visualização em corte da relação entre dois espaços adjacentes não comunicantes entre os Paços do Infante e o Claustro da Lavagem, no convento de Cristo.

Da mesma forma, nos casos de estudo dos Paços do Infante e do Arco da Rua Augusta pudemos analisar o modo como se relacionam espaços em níveis diferentes, com e sem adjacências, o que permitiu aos decisores equacionar hipóteses de intervenção (figura 5-23). No caso dos Paços do Infante (A.8), os decisores pertenciam ao IGESPAR e no caso do Arco da Rua Augusta (A.10) os decisores eram os arquitectos Alexandre Alves Costa e

Sérgio Fernández do Atelier 15. Tudo isto numa fase precoce do levantamento em que ainda não se dispõe de elementos finais. Pensamos que esta possibilidade de inquirição inicial pode até condicionar o modo como vai ser produzida a documentação tradicional (plantas, cortes e alçados) na medida em que, permitindo antever determinado tipo de relações espaciais, se permite uma decisão mais intencional na localização dos planos de corte e projecção para a produção da mesma.



Figura 5-24: Orto-imagem da Janela Manuelina do Convento de Cristo em Tomar.

5.4.2.2. As geometrias construtivas e conceptuais

No caso do Palácio de Valflores (caso de estudo A.7) a nossa abordagem ao estudo da geometria da fachada do Palácio correspondeu simplesmente a aplicar um padrão métrico, o palmo de 22cm, e a verificar se havia alguma espécie de concordância entre uma grelha sujeita a essa métrica e a estrutura geométrica da fachada (figura 5-25). Verificámos

que a disposição geométrica dos elementos da varanda não é aleatória. Na horizontal é respeitada uma métrica de 7 palmos entre colunas e na vertical, acima do pavimento da varanda, a estruturação dos vários níveis faz-se através de uma modulação de 11 palmos. Os vãos abaixo da varanda não obedecem à métrica o que nos pode levar a colocar a hipótese de não serem originais.

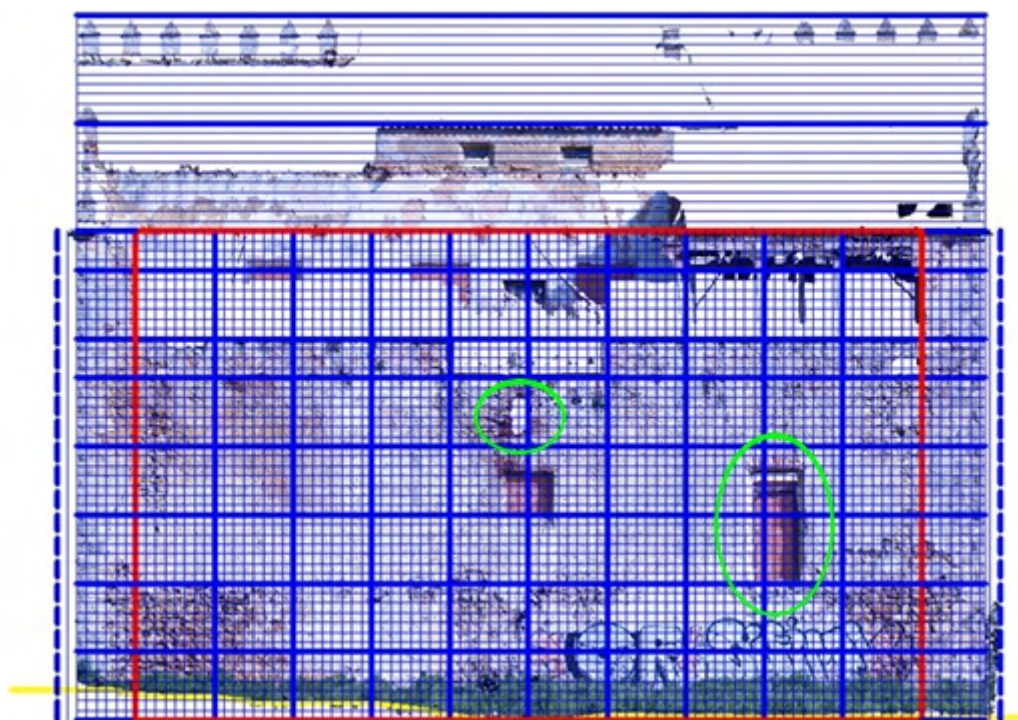


Figura 5-25: Análise da métrica da fachada sul do Palácio de Valflores. Os elementos assinalados a verde escapam à estrutura métrica geral.

No caso do Arco da Rua Augusta (A.10) procurámos entender a génese da geometria do arco, não directamente através da inquirição do modelo 3D, mas recriando o enquadramento operativo que supomos ter sido o do arquitecto. Esta recriação passou por articular as vistas do objecto através de um sistema de projecções ortogonais múltiplas e deduzir, a partir daí, a geometria conceptual. Neste caso o modelo 3D do existente serviu para confirmar a hipótese generativa e para proceder ao seu ajuste. A hipótese colocada implicava algumas premissas que se deduziam da evidência da experiência perceptiva do objecto e outras que se deduziam da experiência perceptiva das representações bidimensionais do levantamento. De entre as primeiras consideramos a concordância entre superfícies e de entre as segundas consideramos a observação de que parte das superfícies da abóbada do arco deveriam ser de plano director bem como a evidência acerca da orientação dos planos directores. Colocadas as hipóteses, o teste consistiu em modelar tridimensionalmente a solução e, através de iterações sucessivas, ir ajustando a

solução ao modelo 3D resultante do levantamento. Este ajuste fez-se através da comparação entre as linhas geométricas ideais e as linhas homólogas obtidas por sectionamento do modelo. Isto é, os dados 3D serviram para ajustar e confirmar uma hipótese que teve o seu nascimento após a leitura de elementos 2D (figura 5-26).

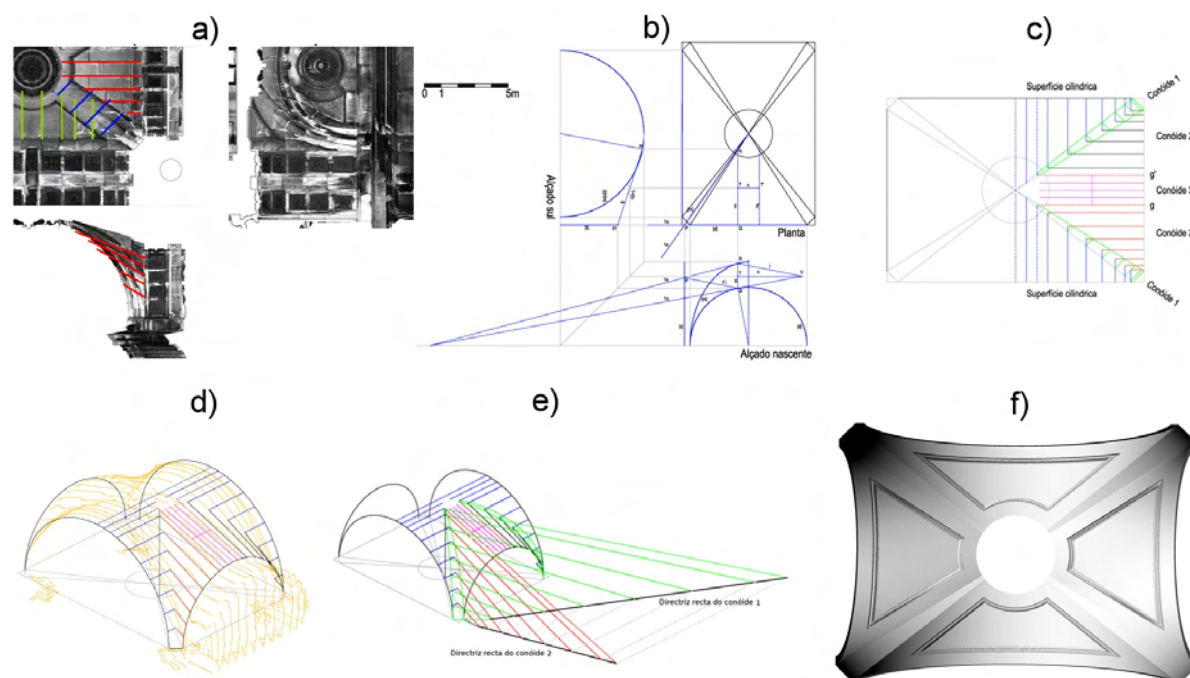


Figura 5-26: Evolução do estudo da geometria da abóbada: a) análise das orto-imagens 2D, b) écura de estudo da relação geométrica entre as superfícies, c) notação das superfícies, d) comparação entre a solução gerada e o levantamento, e) análise da natureza das superfícies, f) modelação tridimensional da abóbada.

Estabilizada a solução conceptual, foi ainda possível, através da sua exploração pelo desenho e modelação tridimensional chegar a conclusões que tornaram mais clara a natureza das superfícies envolvidas. A modelação tridimensional sobre os dados do levantamento 3D é também uma forma de compreensão do objecto. A partir da validação da hipótese epidérmica sobre a geometria do arco pudemos ainda proceder a uma modelação conjectural sobre a estereotomia. A partir do desenho das juntas, formulámos uma hipótese de reconstrução tridimensional do desenho individual dos blocos de pedra da abóbada (figura 5-27).

Note-se que neste caso não dispúnhamos de qualquer informação histórica que sustentasse a colocação das hipóteses.

O carácter inovador da metodologia utilizada consistiu na recriação do enquadramento operativo do arquitecto, procurando raciocinar com as mesmas ferramentas conceptuais e técnicas que, no século XIX, supomos que o arquitecto disporia para

representar: a régua, o compasso e o conhecimento da geometria da época que resulta directamente dos, então relativamente recentes, desenvolvimentos da Geometria Descritiva. Duvidamos que naquela altura se raciocinasse em termos de malhas trianguladas ou superfícies de Bézier.

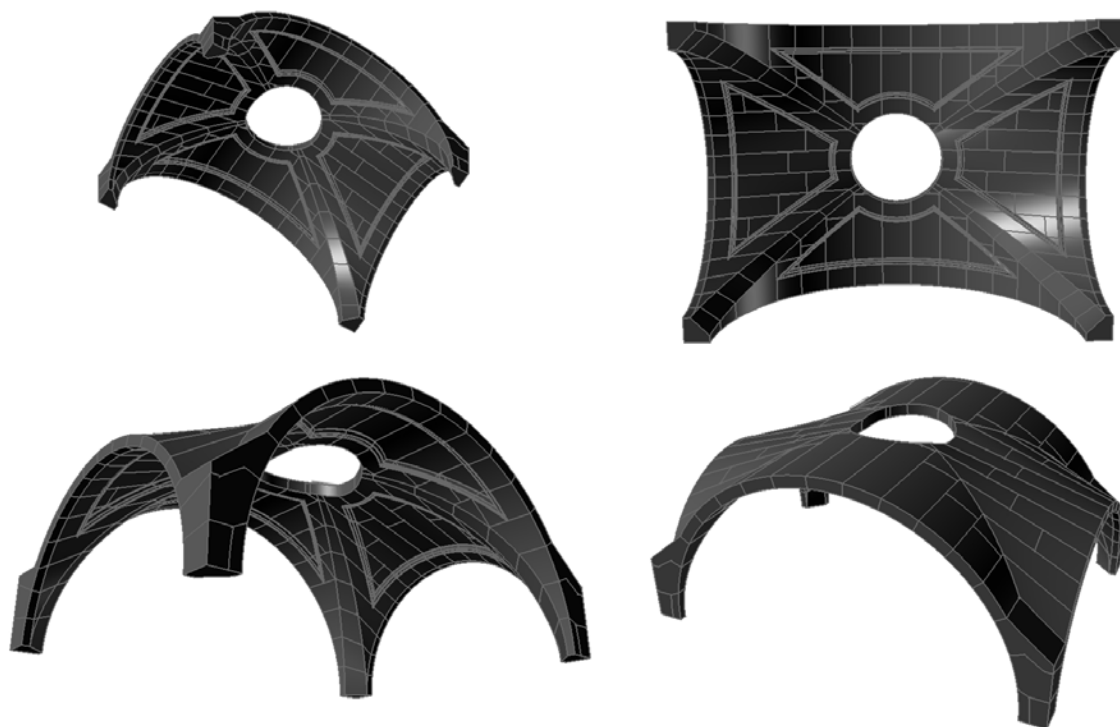


Figura 5-27: Modelação conjectural da estereotomia da abóbada do Arco da Rua Augusta. No entanto as juntas que se observam na parte inferior do modelo correspondem à realidade.

Para além desta análise conceptual mais geral, também ao nível da geometria das molduras foi interessante verificar uma elevada concordância com a métrica do sistema do palmo craveiro (figura 5-28).

Para esta análise contribuiu também a leitura visual directa do objecto através de observação directa. Entendemos que a observação directa do objecto nunca pode deixar de ser considerada como um instrumento fundamental de análise do objecto complementar e potenciador da utilização dos levantamentos.

Este tipo de análises pode ser interessante para avaliar o nível de erudição da concepção dos edifícios e ajudar a determinar aqueles elementos que, escapando à lógica compositiva, podem eventualmente ser datados como sendo de épocas distintas em relação ao original.

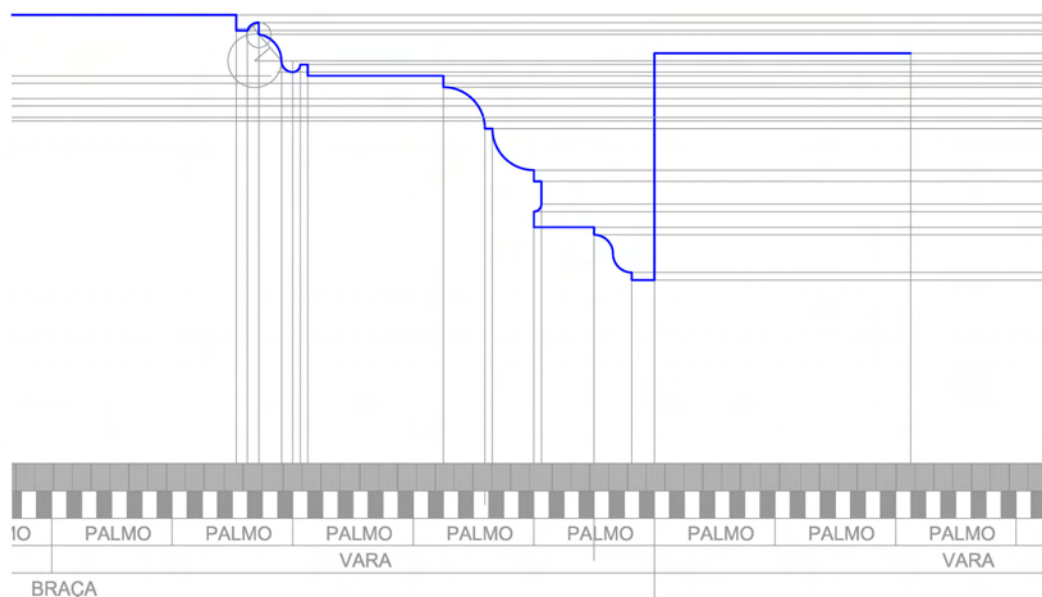


Figura 5-28: Análise métrica da geometria das molduras.

É este o tipo de análises que nos permite ir até ao momento da concepção e, de alguma forma, encarnar o espírito do objecto, recuperando as intenções originais de projecto. Notamos que em edifícios antigos, a apreciação dos elementos bidimensionais do levantamento podem trazer mais luz a este respeito que a leitura directa de modelos tridimensionais. Isto porque, em edifícios antigos, a ter havido um projecto, o seu suporte técnico e operativo terá passado pelo desenho geométrico bidimensional.

Do ponto de vista da eficiência dos processos de projecto também se verifica que o facto de dispor de dados sob a forma tridimensional facilita e melhora os processos descritivos. No caso do projecto do Arco da Rua Augusta isso traduziu-se na possibilidade de medir áreas mais próximas do real, o que é uma mais valia só por si, como é também um meio de apurar a sensibilidade para situações semelhantes em que não se disponha de dados tridimensionais. O processo de medição tridimensional não requer necessariamente uma modelação exhaustiva, isto é, podem considerar-se vários níveis de modelação que fazem uma aproximação à forma. Na imagem da figura 5-29 ilustram-se alguns exemplos de modelações parciais que, no caso do Arco da Rua Augusta, nos ajudaram no processo de medições.



Figura 5-29: Modelação da abóbada (è esquerda), de intradorso de escadas (ao centro), de medalhão (à direita) como suporte do processo de medições.

5.4.3. A análise material, construtiva e do estado de conservação

Do resultado das nossas análises verificamos a possibilidade de dois tipos de abordagem aos processos de análise do objecto arquitectónico no que respeita à utilização da documentação gráfica de base: a) a documentação gráfica é utilizada para o registo de análises efectuadas por variados meios como a observação directa ou ensaios, b) a documentação é instrumento da análise.

5.4.3.1. Os produtos do levantamento como suporte de registo de análises

Verificámos através do acompanhamento e participação em alguns dos casos de estudo (Terreiro do Paço – A.4; Chafariz dos Canos – A.5; Nave Manuelina – A.9, e Arco da Rua Augusta A.10) na componente de análise do estado de conservação, a utilização dos suportes gráficos sobretudo como suporte das análises. Isto é, foi preferencialmente considerada a observação no local a partir da qual se registou, nos suportes gráficos do levantamento, as conclusões das observações. Não questionamos este procedimento, que parece constituir procedimento corrente entre conservadores e legitimado pela prática. As imagens da figura 5-30 ilustram, e são, resultado esse procedimento.

Porém parece-nos que os materiais resultantes do levantamento podem eles próprios constituir-se como suporte de análise. Naturalmente análise supervisionada por agentes especialistas. É o que procuraremos defender de seguida.

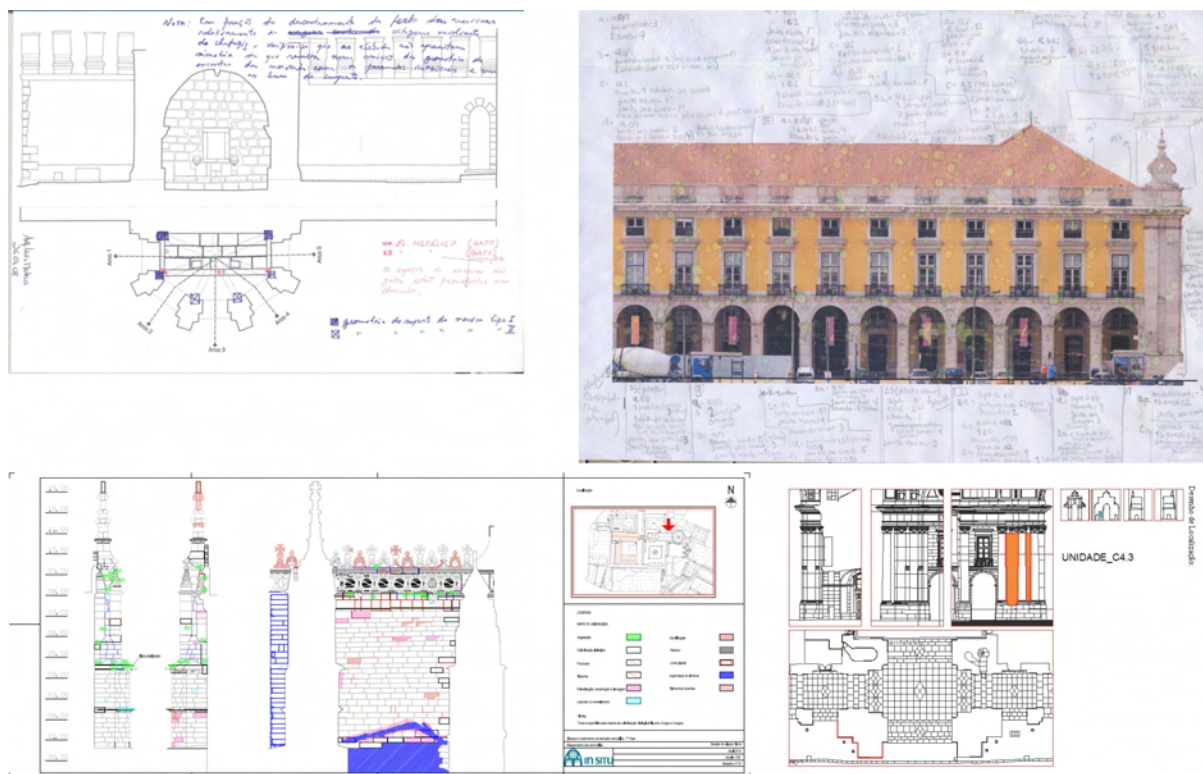


Figura 5-30: Desenhos com o registo de observações de campo. Da esquerda para a direita e de cima para baixo: Chafariz dos Canos, Terreiro do Paço, Nave Manuelina, Arco da Rua Augusta.

5.4.3.2. Os produtos do levantamento como suporte de análises

A análise através da interpretação das imagens

O primeiro tipo de imagens que vamos referir são as imagens resultantes da fotografia digital corrente, sob a forma de rectificações ou orto-imagens. Vamos referir-nos à utilização destas imagens nos casos de estudo do Terreiro do Paço (A.4) e da Nave Manuelina (A.9). No primeiro caso foram utilizadas imagens, em combinação com observações feitas no local, para se estimar indicadores de ocorrência de formas construtivas e de formas de degradação. A observação das imagens permitiu a observação de padrões de ocorrência e com isso seleccionar zonas representativas de modo a poder-se fazer a extrapolação para o conjunto. Nos exemplos das figuras 5-31 e 5-32 faz-se, no fundo, uma interpretação quanto à forma.



Figura 5-31: Aplicação das rotinas para cálculo de áreas e comprimentos médios

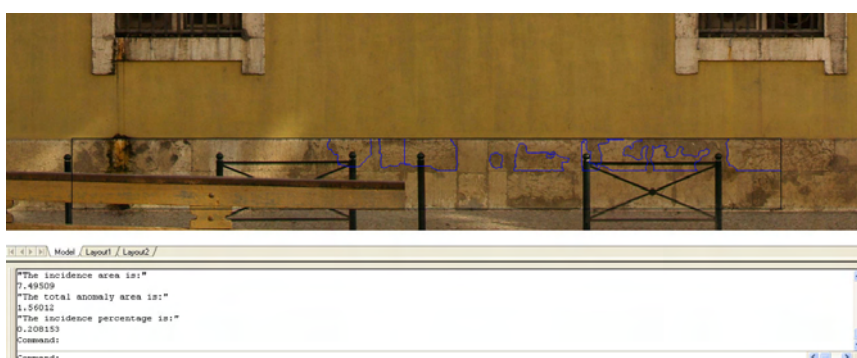


Figura 5-32: Aplicação das rotinas para cálculo de percentagens de incidência de anomalias.

A interpretação conduziu à selecção de áreas representativas, de formas construtivas na primeira situação, e de formas de degradação na segunda situação. Na situação ilustrada na figura 5-31 estimou-se o comprimento médio das juntas de pedra e área média de blocos de pedra. Na situação ilustrada na figura 5-32 estimou-se uma percentagem de ocorrência de uma dada forma de degradação.

Embora a observação no lugar tenha tido a sua importância, a capacidade de síntese das imagens desempenhou um papel fundamental no processo de selecção e amostragem das zonas significativas.

No caso de estudo da Nave Manuelina as imagens fotográficas, processadas e apresentadas sob a forma de orto-imagem, embora não tenham sido utilizadas pelos conservadores no processo de análise e diagnóstico, revelaram-nos, por comparação com os elementos gráficos resultantes do procedimento seguido (observação directa com registo sobre desenhos realizada pela empresa Insittu) um potencial a explorar. A nossa leitura permitiu-nos encontrar padrões na imagem fotográfica que apenas parcialmente encontram

paralelo no registo efectuado pelo desenho. Na imagem da figura 5-33, à esquerda, assinalámos a vermelho um conjunto de ocorrências que nos parecem merecer consideração do ponto de vista da análise do estado de conservação, sobretudo se notarmos que há outras idênticas, assinaladas a verde, que mereceram registo.

As experiências que realizámos, em particular no caso de estudo, e que a seguir analisaremos, enquadram-se sob os pontos de vista da interpretação e do processamento de imagens e apresentam alguns aspectos inovadores em relação ao enquadramento que fizemos na medida em que correspondem a usos mais extensivos e que possibilitam a utilização combinada de vários equipamentos de varrimento.

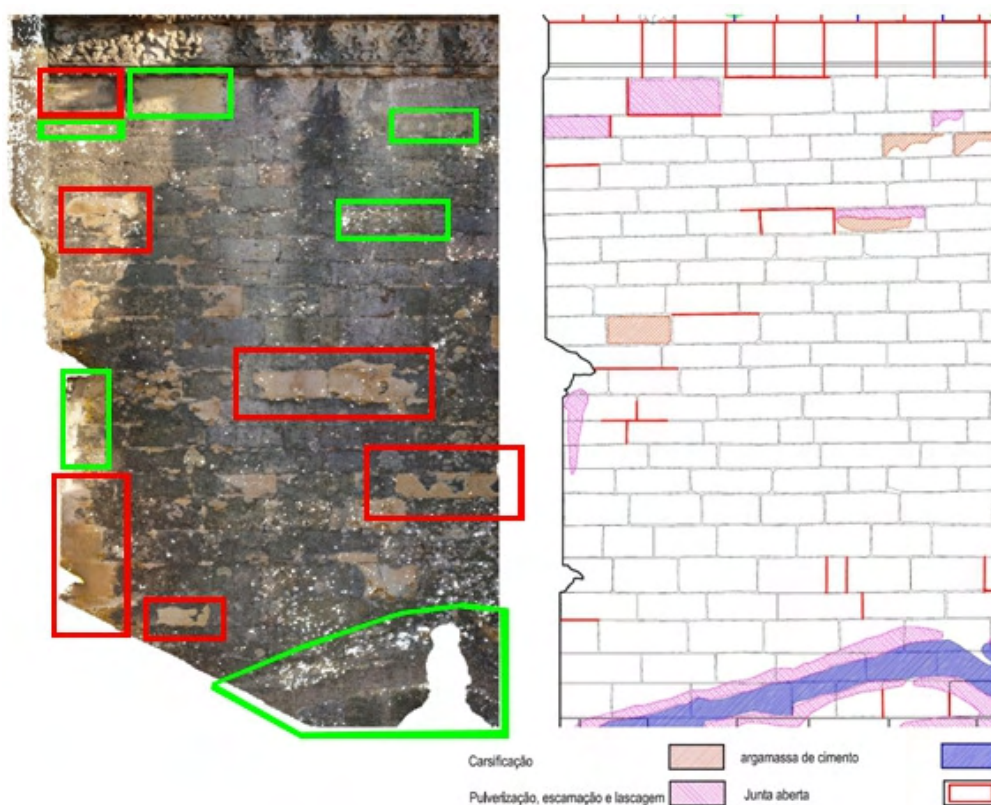


Figura 5-33: Diferenças entre o registo das anomalias (à direita) e os padrões encontrados na orto-imagem fotográfica (à esquerda).

Nas imagens da figura 5-34 procedeu-se a uma análise semelhante embora a comparação desta vez tenha sido feita em relação à imagem de reflectância e em relação à imagem de inclinação (mapa de normais) da superfície. À semelhança da situação anterior voltamos a encontrar padrões que apenas parcialmente encontram paralelo no registo feito pelos conservadores. Admitimos que, no caso da imagem à direita na figura 5-34, pode ter havido formas de degradação que não foram consideradas pelo facto de a imagem ter sido

obtida com um laser com comprimento de onda não visível, 1500nm, e que por isso as manifestações que ali se encontram possam não ser perceptíveis à vista desarmada.

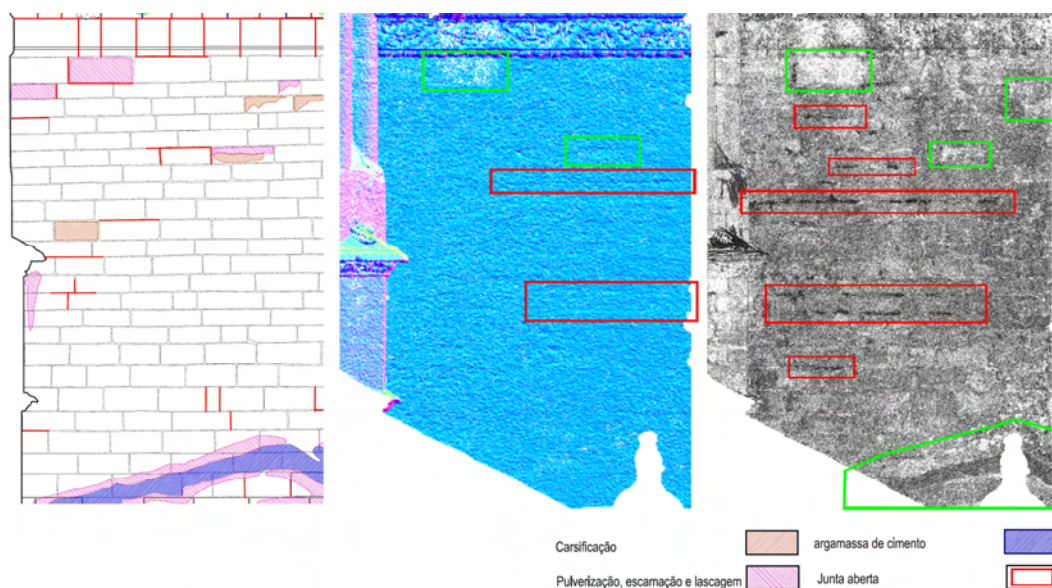


Figura 5-34: Diferenças entre o registo das anomalias (à esquerda) e os padrões encontrados nas imagens de inclinação (ao centro) e de reflectância (à direita).

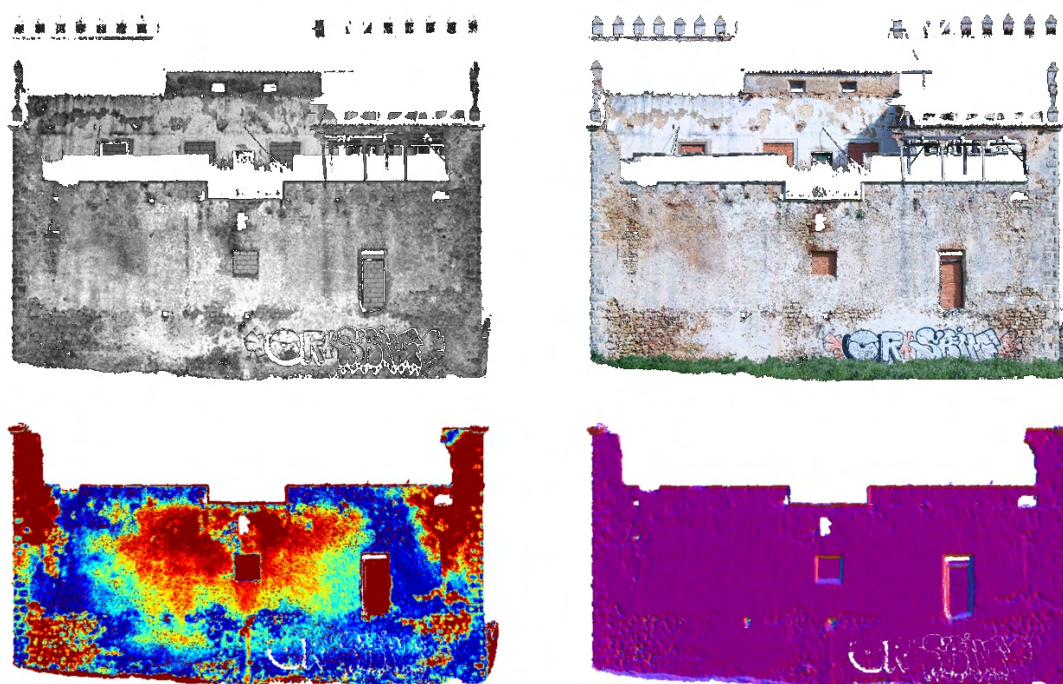


Figura 5-35: Em cima à esquerda: imagem de reflectância (683nm). Em cima à direita: orto-imagem fotográfica. Em baixo à esquerda: mapa de profundidades em relação a um plano vertical (vermelho significa mais afastado do plano). Em baixo à direita: imagem de inclinação da superfície.

Pela leitura combinada do conjunto de imagens da figura 5-35, relativas ao caso de estudo do Palácio de Valflores (A.7) podemos fazer algumas interpretações interessantes do ponto de vista da manifestação das formas de degradação.

Comparando as imagens superiores podemos verificar o efeito que a textura e a irregularidade da superfície têm nos valores de intensidade da reflectância. Pode observar-se que as zonas mais irregulares, que se podem ler na imagem inferior direita, são também aquelas em que a intensidade é menor. Mas há outras situações em que se verifica que a intensidade da imagem varia em função do tipo de material, o que é perceptível nas zonas em que há destacamentos do revestimento. Por outro lado, comparando as duas imagens inferiores percebemos que o desvio em relação ao plano vertical é resultado de dois fenómenos distintos: i) a perda de argamassas, e ii) o abaulamento da parede na zona central superior.

Verificamos ainda que, na zona em que há graffiti, por causa do brilho e cor escura, o que dá propriedades especulares à superfície por um lado e menor reflectividade por outro, não se capturou sinal no varrimento laser ficando algumas zonas sem pontos e por isso sem (com) informação.

Também é relevante notar que se encontra algum paralelismo nas qualidades da imagem de reflectância e na orto-imagem. Isto pode explicar-se pelo facto de a imagem de reflectância ter sido obtida num comprimento de onda que está contido no intervalo visível do espectro electromagnético. Esta é uma característica que já não se verifica na imagem de reflectância da figura 5-34 quando a comparamos com a orto-imagem fotográfica homóloga da figura 5-33. Naquele caso, e como referido acima, o comprimento de onda utilizado foi na banda do infra-vermelho, isto é, não visível. Por isso as qualidades da imagem são bastante distintas da fotografia e diferem bastante da experiência visual directa.

O processo de interpretação de imagem deve ser conduzido por agentes com conhecimentos nas áreas específicas relativas aos fenómenos que se pretendem estudar. Foi o que fizemos com as análises que a seguir descrevemos e que ocorreram no Convento de Cristo em Tomar (caso de estudo A.9) sob a supervisão da arqueóloga do IGESPAR Ana Carvalho Dias. Nestas, pudemos aprofundar as diferenças qualitativas entre diferentes tipos de imagens de reflectância relativas a um único objecto. Para além disso procurou-se identificar os fenómenos que se manifestavam em ambas as imagens.

Comparando as imagens das figuras 5-36 e 5-37, a primeira constatação que podemos fazer comprova o que atrás tínhamos notado em relação às diferenças das qualidades visuais entre as imagens de reflectância de 683nm e 1500nm, sendo a primeira mais próxima da experiência visual.

Dos aspectos mais interessantes a notar na resposta da superfície à radiação infra-vermelha (figura 5-36) foi a possibilidade de distinguir vários tipos de juntas, algumas das

quais são visualmente parecidas. Verificámos que as juntas correspondentes a reparações de cimento aparecem na imagem de infravermelho com um tom mais escuro, o que denota fraca reflectância daquele material em relação a este comprimento de onda. Por vezes estas juntas passam despercebidas, e este tipo de imagem pode colocá-las em relevo.

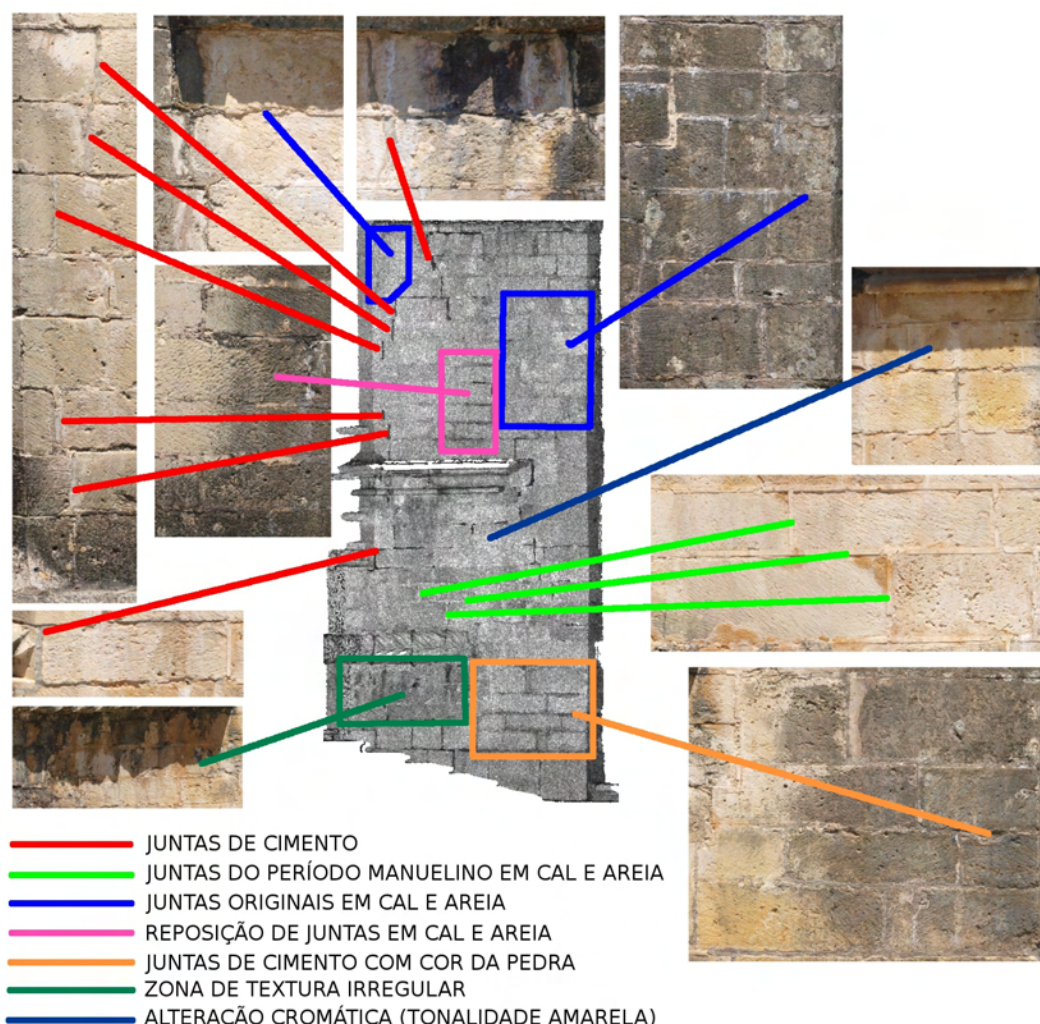


Figura 5-36: Análise visual da imagem de reflectância de infra-vermelho feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.

As juntas classificadas como originais são claramente perceptíveis na imagem fotográfica, embora quase não o sejam na imagem de infra-vermelho. Com efeito, não diferem da pedra calcária quer em composição quer em textura.

Há depois um conjunto de juntas muito lisas e de geometria definida, em reticulado, notadas como sendo típicas do período Manuelino e que se caracterizam por uma composição de cal e areia. Estas destacam-se na imagem de infra-vermelho por uma tonalidade mais clara que a da pedra, o que denota uma elevada reflectância, em parte motivada pela lisura da superfície.

Notou-se um conjunto de juntas, classificadas como de reposição, com uma qualidade inferior e com uma textura irregular. Estas, embora de cal e areia, apresentam uma reflectância inferior à da pedra.

Detectou-se ainda uma zona de juntas de cimento, com uma coloração idêntica à da pedra, que poderiam passar por juntas de cal e areia mas que uma leitura mais atenta revelou tratar-se de juntas de cimento, provavelmente mais antigas que as que se destacam mais. Foi ainda possível perceber algumas variações de reflectância correspondentes a alterações da textura e do cromatismo da pedra.

Da leitura da imagem de reflectância da figura 5-37, concluímos que há menor diferenciação dos materiais mas maior diferenciação das formas de degradação. Foi possível distinguir a zona de maior acção biológica, as zonas mais limpas da pedra, algumas alterações cromáticas, juntas de cimento (embora em menor quantidade que na imagem de infra-vermelho) e escorrências.

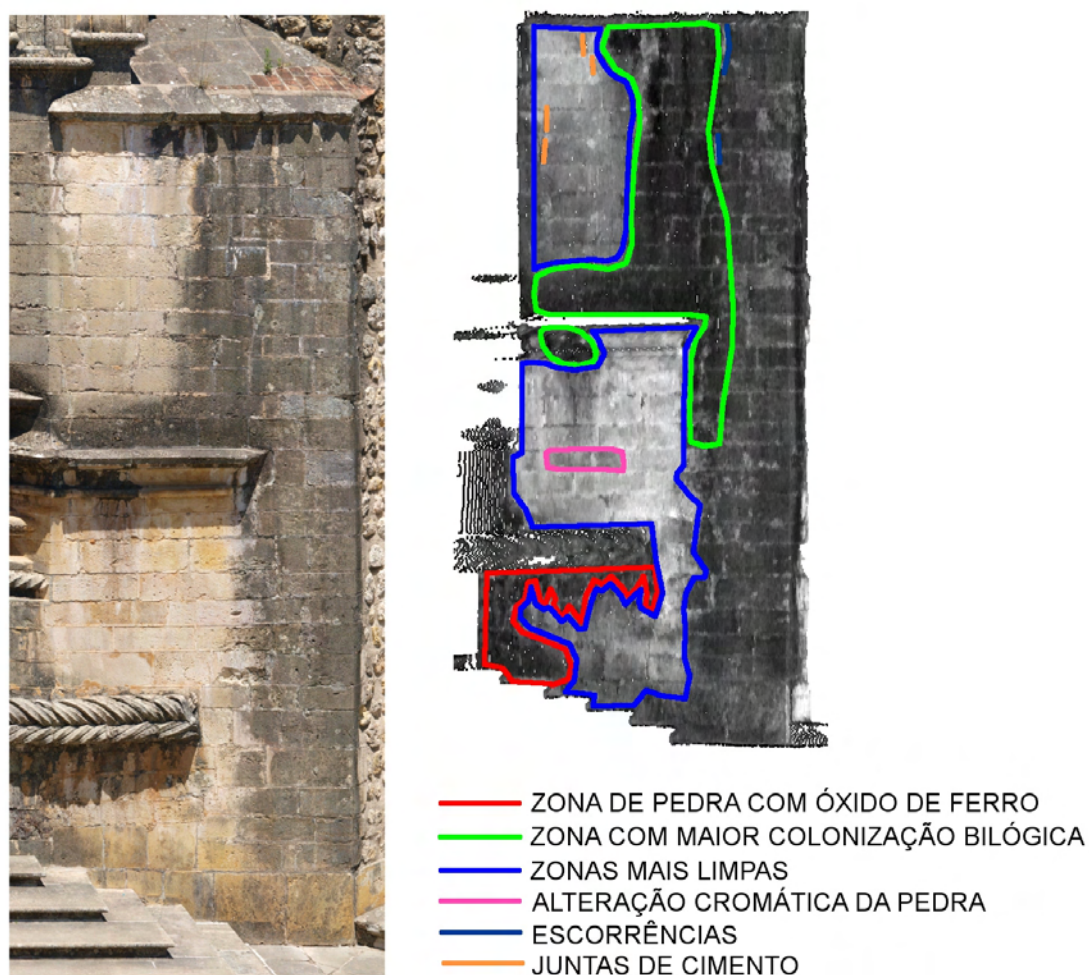


Figura 5-37: Análise visual da imagem de reflectância de vermelho (à direita) feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.

O resultado desta análise visual levada a cabo em campo, leva-nos a reforçar a ideia que no caso ilustrado nas figuras 5-33 e 5-34 houve formas de degradação que ficaram por registar e que a utilização das imagens poderia ter permitido detectar o padrão. Em particular supomos que as zonas mais escuras que identificámos na imagem da direita da figura 5-34 possam corresponder a juntas de cimento.

Estas análises demonstram o potencial do VL3DT no contexto da conservação e restauro que vai muito para além da simples captura da geometria. Mas mesmo nessa condição, observamos que a quase continuidade dos dados, própria de um método indirecto de levantamento, permite um conjunto de interpretações, tendo como suporte imagens, que traduzem qualidades geométricas e formais como é o caso dos mapas de profundidade e das imagens de inclinação.

A análise através do processamento das imagens

O processamento de imagens difere da interpretação na medida em que as operações são realizadas por um computador independentemente de interpretações. O que não quer dizer que os resultados não tenham de ser interpretados.

A este nível a nossa experiência reduziu-se à Nave Manuelina (caso de estudo A.9). Neste caso utilizámos imagens de reflectância no comprimento de onda vermelho (683nm) e infra-vermelho (1500nm) para calcular o índice de vegetação NDVI da superfície em estudo. A imagem da figura 5-38 sintetiza o procedimento.

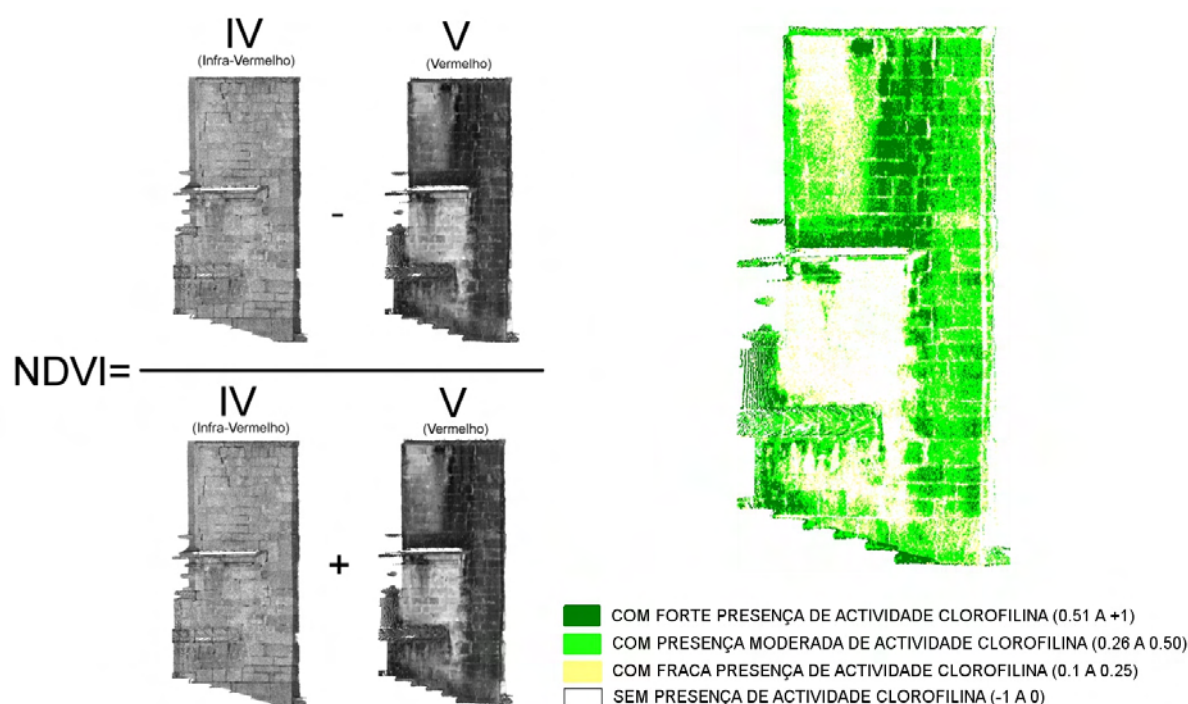


Figura 5-38: Cálculo do índice NDVI.

Após o cálculo do NDVI a imagem foi reclassificada em quatro níveis como se pode ler na figura. Estes resultados foram validados no local através de observação directa. Note-se contudo que é necessário ter em conta que os bordos das imagens originais não eram coincidentes, pelo que os resultados nessas regiões não são fiáveis.

Com base nas duas imagens (vermelho e infra-vermelho) foi ainda possível efectuar a análise em componentes principais (ACP).

Na figura 5-39 resume-se o procedimento relativo a este cálculo. As imagens geradas pela ACP não têm significado espectral. No entanto verifica-se que são capazes de concatenar e tornar mais evidentes certas características das imagens originais.

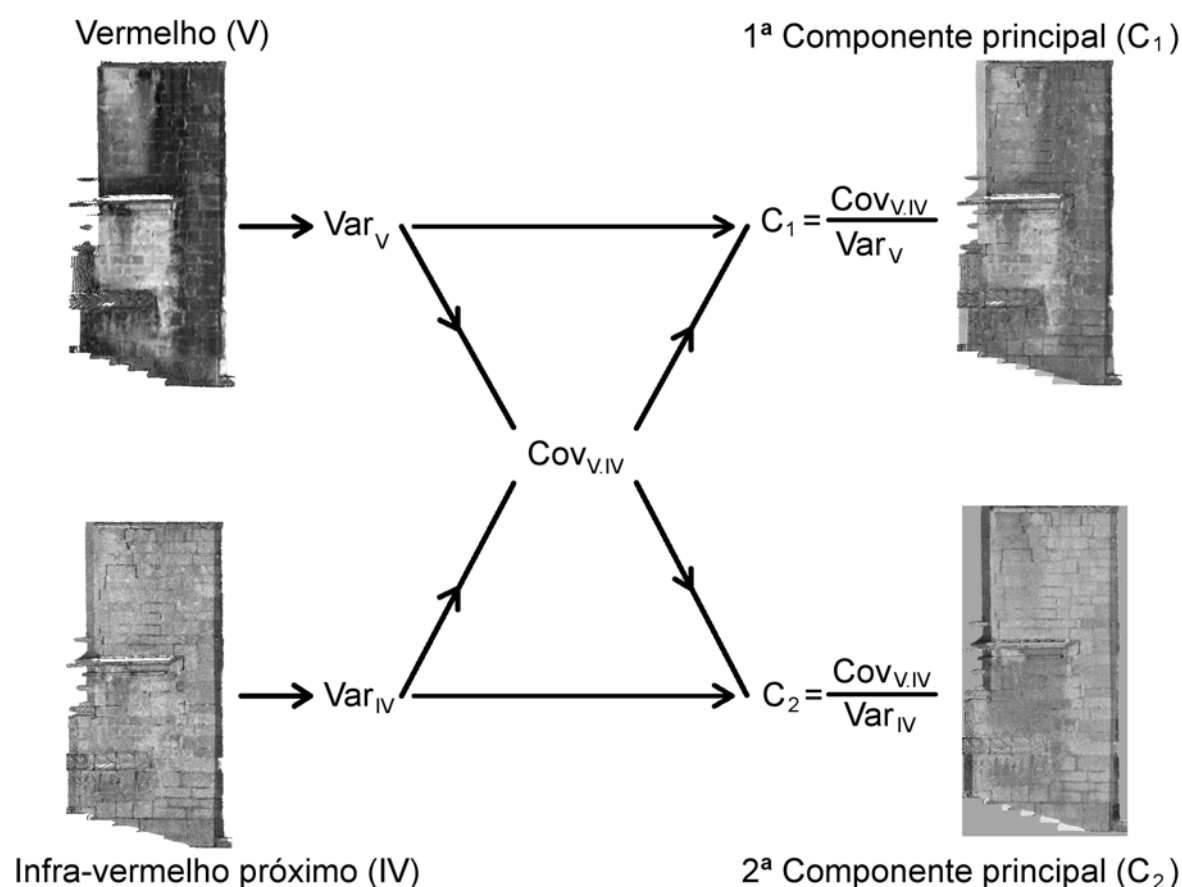


Figura 5-39: Análise em Componentes Principais (ACP).

A imagem da primeira componente principal colocou a estereotomia em relevo e também as zonas com ausência de colonização biológica que apresentam uma tonalidade mais clara. Verifica-se que estas áreas estão localizadas em zonas abrigadas por elementos salientes da superfície.

A imagem da segunda componente principal coloca em evidência as zonas em que se identificou a actividade clorofilina destacando-as das zonas inorgânicas.

5.4.3.3. Do 3D ao 3D passando pelo 2D

Os modelos tridimensionais do levantamento por VL3DT podem ser encarados, em primeiro lugar, como informação base que permite uma visualização e inquirição expedita acerca do objecto arquitectónico. Embora se resumam a pontos, este tipo de modelos, se suficientemente densos, permitem desde logo um primeiro nível de leitura quase contínua do objecto.

No caso de estudo do Pátio dos Carrascos, no Convento de Cristo (A.8), verificámos, já após a entrega dos materiais do levantamento, que os desenhos bidimensionais foram utilizados para a produção de um modelo BIM para a gestão do projecto de arquitectura. Com efeito, esta intenção de utilização da informação não fora inicialmente declarada pelo que não se exploraram os mecanismos e os processos de passagem do VL3DT ao modelo BIM. Estes poderiam ter passado por uma utilização mais directa dos dados tridimensionais. O modelo da figura 5-40 foi produzido a partir de uma restituição gráfica 2D elaborada sobre um modelo de pontos oriundo de VL3DT acima ilustrado na figura 3-38.



Figura 5-40: Imagem do modelo BIM do projecto da nova cafetaria do convento de Cristo a localizar no Pátio dos Carrascos (modelo produzido no Departamento de Obras do IGESPAR pelo arquitecto Gustavo Dionísio).

Reafirmamos a necessidade de explorar este caminho de ligação entre o VL3DT e a modelação BIM.

6. Proposta de metodologia documental baseada na fotogrametria digital e no varrimento laser 3D terrestres

Desenvolvemos os nossos casos de estudo em localizações variadas (Lisboa, Loures, Torres Vedras, Tomar), em contextos diversos afins da conservação, restauro e reabilitação, abordando distintas escalas (desde a escala do quarteirão no caso do Terreiro do Paço, até à escala do pequeno objecto no caso do Chafariz dos Canos).

Produzimos documentação com diferentes níveis de detalhe, sujeita a distintos critérios de diferenciação, e distintas exigências de desempenho.

Por esta razão, entendemos que nos é possível fazer alguma generalização metodológica sob a forma de um conjunto de orientações. Esta é a matéria deste capítulo.

Começamos por recordar a nossa última questão de investigação.

iii) É possível considerar uma metodologia documental baseada na FDT e no VL3DT, aplicada à produção da generalidade da documentação gráfica descritiva de base no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação, definir a que termos deve obedecer, e quando, onde e como pode e deve ser aplicada?

Parte do sucesso de um processo de documentação consiste em saber colocar as questões certas na altura certa. O que nos propomos fazer é, de algum modo, definir um conjunto de orientações para o planeamento e execução de levantamentos por FDT e VL3DT, em contexto afim ao projecto de Conservação, Restauro, e Reabilitação, tendo em conta as possibilidades de aplicação dos materiais produzidos por estas técnicas.

Quando aparecem novas tecnologias, o passo lógico inicial é a sua integração em procedimentos existentes e já estabelecidos. Contudo, a médio prazo a imposição ou prevalência de uma tecnologia pode levar a uma alteração metodológica

Afirmou-se que uma metodologia documental é baseada na FDT e/ou no VL3DT se estes forem os meios prevalentes na produção dos suportes que servem de base ao registo.

As metodologias pressupõem um conjunto de etapas que não podem deixar de estar relacionadas com a instrumentação e os métodos de registo que são utilizados e suas implicações operativas. Por exemplo, para fazer o registo de uma zona inacessível de um edifício recorrendo ao levantamento manual, precisaremos de mobilizar meios de elevação, por outro lado se adoptarmos a fotogrametria estes poderão ser dispensados. Este tipo de aspectos introduz diferenças entre umas metodologias e outras.

6.1. Para os utilizadores da documentação

- Não esquecer que, antes de decidir proceder ao registo, a primeira etapa é a verificação das qualidades da documentação existente, no sentido de verificar se é adequada aos fins que se tem em mente. A este respeito consulte-se o ponto 2.3.1.1 – A identificação e contextualização do problema.

- A correcta definição de objectivos, e a declaração do modo como se pretende utilizar a documentação, condiciona vários aspectos da sua produção: i) os tipos, ii) as formas de representação, iii) o tema da documentação, iv) os conteúdos, v) os suportes, e vi) as formas de organização. Para além disso pode ajudar a trazer luz sobre quais os materiais mais adequados às acções que se pretendem desenvolver. A este respeito, consulte-se a tabela 2-2.

- O VL3DT e a FDT são métodos indirectos, que não descriminam a informação que recolhem. Por isso é necessário que os espaços estejam livres, limpos e sem obstáculos. Deve procurar-se ter este aspecto em conta caso se pretenda adoptar estes procedimentos.

- Deve procurar-se acompanhar, com proximidade, os processos de registo e promover o diálogo com os produtores da documentação. Esta atitude, de atenção permanente, permitirá compreender melhor os processos e, com isso, alargar os horizontes relativamente aos domínios de aplicação dos mesmos. A este respeito pode-se recomendar a leitura integral da Parte I desta tese, incluindo todo o capítulo 3 – Os métodos e os processos da Fotogrametria Digital Terrestre (FDT) e do Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT). Pode-se ainda consultar os pontos 5.1 – Do planeamento... – e 5.2 – ... à execução do levantamento.

- Não esquecer que as tecnologias do VL3DT e da FDT estão sempre a evoluir. Por isso é boa prática solicitar, aos produtores da documentação, uma demonstração das suas capacidades técnicas e do tipo de materiais que se mostram capazes de produzir. A este respeito consulte-se o ponto 3.7 – Produtos usuais da FDT e do VL3DT e, em particular, o ponto 3.7.3 – Aplicações da FDT e do VL3DT em Conservação, Restauro e Reabilitação, bem como o capítulo 5 – Análise cruzada dos casos de estudo.

- Até certa medida pode-se considerar a filosofia “*do it yourself*”. Existe um conjunto de métodos fotogramétricos expeditos que podem, com facilidade, ser conduzidos por não especialistas. Consulte-se o ponto 5.4.1 – Os métodos fotogramétricos expeditos.

- Ainda dentro da filosofia “*do it yourself*”, pode-se tirar partido de um conjunto de serviços de internet gratuitos com os quais é possível produzir um nível elementar de informação que pode ser útil para planear e desenvolver algumas acções. Consulte-se o ponto 3.2 - A Fotogrametria Digital Terrestre (FDT).

- É importante não esquecer que o VL3DT é uma tecnologia activa que emite radiação laser em comprimentos de onda específicos, dos quais se pode tirar partido para diferenciar materiais construtivos e formas de degradação. A este respeito consulte-se o ponto 5.4.3.1 – Os produtos do levantamento como suporte de registo de análises.

- Não esquecer, como hipótese de trabalho, que a combinação de sistemas de VL3DT, emitindo radiações em comprimentos de onda distintos, pode ser utilizada para proceder a análises do estado de conservação, por exemplo através do cálculo de índices de colonização biológica ou através da análise em componentes principais das imagens espectrais. A este respeito consulte-se o ponto 5.4.3.2 – Os produtos do levantamento como suporte de análises.

- Não esquecer que a FDT e o VL3DT são métodos eminentemente tridimensionais, o que permite considerar a produção de materiais 3D a partir dos dados tridimensionais, sem necessitar de passar pelas duas dimensões. A este respeito analise-se a discussão que se fez em 5.4.3.3 – Do 3D ao 3D passando pelo 2D.

- Não esquecer que o VL3DT e a FDT (em particular no caso em que se considera o processamento automático) são métodos altamente rigorosos, o que os torna especialmente adequados à representação e registo de contextos de geometrias complexas. Consulte-se o ponto 5.4.2.2 – As geometrias construtivas e conceptuais.

- Uma vez que os métodos da FDT e do VL3DT permitem a aquisição, com rapidez, de dados sob a forma tridimensional, pode-se considerar a sua aplicação para documentar o antes, o durante e o depois de uma intervenção. Podem ainda ser integrados e explorados nos processos decisórios do projecto através da facilidade com que permitem a extracção de um tipo de informação que pode, em fases embrionárias dos processos de projecto, ser utilizada para apoiar a concepção. Consulte-se o ponto 5.4.2.1 – Para uma iconografia do VL3DT e da FDT.

- Pode-se encarar a combinação entre a FDT e o VL3DT como forma de produzir uma documentação mais completa. Hoje é fácil a aquisição de imagens utilizando plataformas aéreas de baixa altitude (balão e aviões teleguiados) que permitem obter dados que podem colmatar as limitações do VL3DT, por exemplo em coberturas de edifícios, ou até mesmo para a documentação de contextos mais alargados como zonas urbanas. A este respeito consulte-se o ponto 5.3 – A complementaridade entre a FDT e o VL3DT.

- Deve-se ter a noção que a FDT e o VL3DT apenas permitem registar e documentar um subconjunto dos fenómenos que se manifestam nas superfícies dos objectos, contando que não existam obstáculos entre os mesmos e os dispositivos de aquisição. Estes métodos não permitem o registo de fenómenos que não se manifestam à superfície. Para documentar esse tipo de fenómenos é sempre necessário recorrer a métodos e técnicas

complementares, destrutivos ou não. Um exemplo de método destrutivo é a recolha de amostras de materiais. Um exemplo de método não destrutivo é o GPR (Ground Penetrating Radar).

- Deve-se definir, de forma clara, que critérios de desempenho se pretende para a documentação a produzir. Para este efeito pode-se assumir como referência um padrão existente (ver o ponto 3.6 – Orientações e especificações para a fotogrametria e para o varrimento laser) ou definir critérios à medida das necessidades.

6.2. Para os produtores da documentação

- Deve-se procurar entender correctamente as necessidades dos utilizadores da informação. Da expressão das necessidades por aqueles, pode surgir a oportunidade de propor soluções que à partida eles desconheciam mas que podem resolver melhor os problemas que têm pela frente. Por outro lado, pode-se agir pedagogicamente no sentido de mostrar exemplos de materiais que se podem obter com a aplicação das técnicas e dos métodos da FDT e do VL3DT. Porém, não se deve impor uma solução excessiva face aos problemas que são declarados. Pode-se aconselhar a consulta do capítulo 2 – A problemática da documentação gráfica de base no processo do projecto de Conservação, Restauro e Reabilitação.

- Não esquecer que, para além da caracterização da geometria, os subprodutos do VL3DT, como as imagens de intensidade, podem ser um fim em si para alimentar processos de análise da arquitectura. A este respeito consulte-se o ponto 5.4.3.2 – Os produtos do levantamento como suporte de análises.

- As limitações de um método ou técnica não devem servir como justificação para deixar um registo ou levantamento incompletos. A combinação entre os métodos e as técnicas do VL3DT e da FDT, através da incorporação de plataformas de baixa altitude como balões ou aviões teleguiados, pode constituir-se como um meio eficiente de produzir uma documentação mais completa. A este respeito consulte-se o ponto 5.3 – A complementaridade entre a FDT e o VL3DT.

- Uma distinção entre a FDT e o VL3DT é importante aqui recordar. A tecnologia do VL3DT é activa, o que significa que situações mais delicadas têm de ser cuidadosamente estudadas no sentido de verificar se a radiação laser pode introduzir danos ao objecto que se pretende documentar. Por outro lado a FDT é passiva, o que significa que depende da iluminação ambiente, o que a torna pouco adequada em situações em que a iluminação é deficiente.

- Sempre que os utilizadores da informação não preconizarem um nível de desempenho ou uma especificação a cumprir, os produtores devem assumir uma referência

que considerem adequada aos fins declarados para a produção do registo e da documentação.

6.2.1. Para uma estratégia de planeamento...

A localização geográfica de um objecto arquitectónico é um factor que pode assumir importância no acto do planeamento. Esta implica recursos económicos como deslocações e estadas que terão impacto na logística da acção de documentação e devem ser cuidadosamente considerados.

Como em qualquer acção de levantamento e documentação, o planeamento prévio sistemático corresponde a eficácia quer em campo, quer no processamento posterior da informação, uma vez que reduz a necessidade do imprevisto e minimiza esquecimentos e omissões. O planeamento é particularmente importante naquelas situações em que já não é possível voltar ao local, ou que, sendo possível voltar, este já mudou de configuração (por exemplo em escavações arqueológicas).

Para efectuar um levantamento, seja por que metodologia for, é importante investigar, em primeiro lugar, a existência de documentação gráfica prévia. Esta é de particular importância para o planeamento do levantamento na medida em que se pode constituir como suporte do mesmo.

Existindo essa documentação prévia, deve-se procurar validá-la e adaptá-la de modo a que traduza minimamente as condições actuais.

No caso do VL3DT e da FDT, esta documentação prévia pode servir para anotar: i) as localizações do equipamento, ii) os pontos de vista de tomada de imagens fotográficas, iii) as colocações de alvos para controlo do levantamento, iv) aspectos condicionantes do levantamento como obstáculos, enquadramentos e configurações especiais do posicionamento dos equipamentos e do *layout* da cena a registar.

O planeamento deve ser efectuado em campo, porque só aí é que é possível ter a percepção correcta das dificuldades e condições reais sob as quais se vai trabalhar. Do ponto de vista do planeamento da posição das estações fotográficas ou de varrimento laser pode utilizar-se a metáfora “pensar como uma câmara” ou “pensar como um *scanner*” (figura 6-1).



Figura 6-1: Ilustração da metáfora “Pensar como um scanner”

Isto quer dizer que o planeamento das disposições dos equipamentos na cena a registar não pode ser algo que se decida de forma abstracta seguindo um qualquer padrão regular imposto sobre uma planta. Devemos, no local, colocar-nos na posição em que queremos situar o scanner (ou a câmara fotográfica) e efectuar um “varrimento virtual” com os nossos sensores naturais, os olhos, mas sem esquecer a nossa unidade central de processamento, o cérebro, com todo o “*software* cultural” que tem instalado. É nessa unidade central de processamento que se faz o juízo, motivado pelo que se vê de facto (e não só pelo que se olha).

Esta metáfora coloca dois aspectos em relevo: i) o aspecto mais objectivo segundo o qual aquilo que não conseguirmos ver (olhar) a partir de uma localização (em termos de ponto de vista) também não será visto pelo scanner (ou pela câmara fotográfica) colocados nessa mesma localização, e ii) o aspecto mais subjectivo segundo o qual, a definição dos pontos de vista dos equipamentos é função dos objectivos e finalidades estipulados para a documentação que se pretende produzir.

Nesta fase, podemos antecipar sob a forma de imagem o que serão os pontos de vista do equipamento de varrimento laser. Um conjunto de imagens fotográficas, capturadas a partir dos pontos de vista que se estimam para posicionamento do scanner, podem traduzir-se num eficaz instrumento de planeamento.

Da mesma forma que para construir há um projecto, para efectuar um levantamento também deve haver um projecto.

O reconhecimento do objecto

Com a portabilidade dos sistemas fotográficos, e também da mais que certa evolução da tecnologia do varrimento laser no sentido da portabilidade, admite-se como viável que, logo nas primeiras visitas de reconhecimento a campo, se recolham imagens fotográficas em grande quantidade e/ou algumas nuvens de pontos que permitam gerar, no caso de não existir (ou mesmo existindo) aqueles dados a partir dos quais se pode proceder a um planeamento das acções de levantamento a realizar posteriormente. Este é um traço distintivo das metodologias tradicionais, na medida em que estes dados prévios têm desde logo uma qualidade métrica elevada, são mais abrangentes, e contêm mais informação que os tradicionais esboços. Recordamos que com o nível de desenvolvimento do *software* fotogramétrico a que estamos a assistir, é muito fácil, rápido e fiável, transformar um conjunto de algumas centenas de fotografias numa base tridimensional, bastando para isso que alguns princípios básicos sejam seguidos. Mas voltamos a insistir que estas facilidades não devem traduzir-se no engodo que nos afasta da realidade material dos objectos.

A circunscrição clara do problema da documentação, consubstanciada através da definição de objectivos e de critérios para a informação a recolher, é fulcral. Como diz o provérbio: “quem não sabe o que procura não reconhece o que encontra”.

Uma das críticas que se pode fazer aos métodos da FDT e do VL3DT é diminuir aquele tempo de contacto íntimo com o objecto, que é fundamental para o seu conhecimento em profundidade, e que é típico dos métodos tradicionais de levantamento.

Se reconhecemos alguma razão nessa crítica, somos da opinião que é precisamente nesta fase de planeamento, ainda eventualmente sem *scanner* ou câmara fotográfica, mas munidos de inteligência, espírito crítico e cultura arquitectónica, que se pode aprofundar aquele tipo de contacto com o objecto.

No entanto devemos notar que o facto da FDT e do VL3DT permitirem documentar sem contacto também pode ter as suas vantagens. Com efeito, torna-os especialmente adequados para documentar aquelas situações em que o contacto não é desejável por razões de segurança (para os agentes e para os objectos), por questões de valor artístico ou por questões de valor histórico.

Em função dos objectivos, deve-se estruturar o trabalho a realizar, desde a recolha das imagens e/ou nuvens de pontos, processamento fotogramétrico do modelo, análise e conclusões.

A escolha dos sistemas e métodos adequados

Os sistemas devem ser escolhidos em função do tipo de informação que se pretende recolher, do nível de diferenciação preconizada, dos critérios de desempenho impostos.

Na FDT, com as técnicas de processamento automático que incluem a autocalibração da câmara, as câmaras correntes permitem bons desempenhos métricos. Deve-se considerar a hipótese de utilização de plataformas de baixa altitude (mastros, plataformas elevatórias, balões) para recolher imagens que permitam cobrir ao máximo o objecto.

No VL3DT devem-se considerar aspectos como o princípio de medição, a precisão, a classe de segurança, o comprimento de onda do feixe e o alcance.

Também se pode considerar a hipótese de operar os sistemas utilizando mastros ou plataformas elevatórias. Porém deve-se ter o cuidado de garantir a estabilidade das mesmas, o que passa seguramente pela observação das condições climatéricas, em particular o vento.

Deve-se decidir se apenas um dos sistemas é suficiente, se podem ser utilizados complementarmente, ou se necessitam de métodos complementares de levantamento.

Em ambos os casos deve-se dispor de hardware e software adequado.

Nos pontos 3.2 – A Fotogrametria Digital Terrestre (FDT) – e 3.3 – O Varrimento Laser 3D Terrestre (VL3DT) – pode-se obter orientação ao nível dos sistemas de FDT e VL3DT.

A ideia de como se pretende processar a informação é condicionante do modo como se vai recolher os dados, e no tipo de informação de controlo que se utiliza.

Na FDT, existem três tipos de solução para processamento dos dados: i) manual, ii) semi-automático, e iii) automático.

Em geral, o processamento manual é mais controlado, utiliza menos imagens e é mais demorado, na medida que exige um operador para a selecção de pontos nas imagens.

O processamento semi-automático permite que parte das operações seja resolvida pelo computador. É por exemplo o caso da detecção de alvos para proceder à orientação relativa de imagens ou a reconstrução automática de porções de superfícies.

Nós demonstrámos que, com processamento completamente automático, consegue-se produzir documentação válida para conservação e restauro e que, por isso, esta deve ser uma via a considerar.

No VL3DT, os métodos comumente aceites para o processamento e orientação das nuvens de pontos passam pela utilização de alvos a registar por processos topográficos que, depois, são utilizados para proceder à orientação relativa das nuvens de pontos. Por outro lado, há a possibilidade de proceder à orientação das nuvens de pontos apenas através da utilização de algoritmos de correspondência de superfície, como o ICP.

	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
VL3DT	· Não é sensível à maior ou menor riqueza de textura. · É uma tecnologia activa e por isso pode ser utilizada mesmo à noite · Diminui o tempo de permanência em campo. · Permite reduzir o tamanho das equipas em campo · É uma tecnologia que aplica o princípio da detecção remota (não contacto) · Permite documentar extensivamente o objecto · Acrescenta radiometria à geometria · Pode ser associada à fotogrametria através do mapeamento da informação radiométrica de imagens fotográficas · Os dados encontram-se à escala correcta desde o início (não é necessária informação de controlo para dar escala e orientação local aos modelos) · Não é selectivo (tudo o que se encontra no campo de visão e dentro do limite de distância do equipamento é registado) · É particularmente adequado para o registo de formas mais orgânicas, geometrias pouco definidas e complexas · É monocromático (permite distinguir características das superfícies que se manifestam pelo comportamento ao comprimento de onda utilizado) · Permite variar a densidade da recolha de informação em função dos objectivos de diferenciação pretendidos · Obriga a encarar o problema do registo e documentação de forma espacial o que amplifica o diálogo com a materialidade do objecto.	· Tem mau desempenho em materiais especulares, vidros ou elementos escuros (baixo albedo) · Há emissão de radiação laser. É necessário ter cuidados mínimos com a segurança de pessoas e verificar se as superfícies a documentar não sofrem nenhuma espécie de danos com a radiação. · Requer operadores especializados. · São necessários sistemas distintos consoante o alcance e desempenho métrico pretendido · Ainda é uma tecnologia cara · Alcance (distância) limitada ao tipo de sistema · Ainda é pouco versátil (equipamentos relativamente grandes e pesados) · Implica hardware com boa capacidade de desempenho · Implica software especializado · Implica elevada capacidade de armazenamento de dados · As arestas dos objectos tendem a ficar suavizadas · Não é selectivo · O processamento demora mais que no caso da FDT · Requer literacia digital · Apenas documenta o que se passa à superfície dos objectos · Em alguns casos a forte iluminação ambiente da cena pode gerar ruído. · É monocromático (apenas permite distinguir características das superfícies que se manifestam pelo comportamento ao comprimento de onda utilizado) · A densidade de pontos não é constante (varia com a distância e com a inclinação do feixe) · A radiometria das imagens laser não é homogénea (varia com a distância ao objecto e com inclinação do feixe)
FDT (automática)	· É particularmente adequada à documentação de superfícies de textura rica · É uma tecnologia passiva e por isso depende da iluminação ambiente · Diminui o tempo de permanência em campo · Permite documentar extensivamente o objecto · Acrescenta textura à geometria · Não é selectiva · É particularmente adequado para o registo de formas mais orgânicas e geometrias pouco definidas · É muito versátil (as imagens podem ser produzidas a partir de aviões teleguiados, balões, mastros) · Apresenta potencial de complementaridade em relação ao VL3DT (é possível chegar a localizações mais difíceis nos objectos) · Permite a utilização simultânea de milhares de imagens de modo automático · O processamento (calibração, orientação, reconstrução 3D) é completamente automático e demora menos tempo que o VL3DT · Pode ter desempenho métrico equivalente ao VL3DT · O planeamento da recolha de imagens não necessita ser exaustivo como no caso manual (basta cumprir algumas regras básicas como a pequena distância base entre imagens e a redundância) · Não apresenta limite de alcance (distância) · Não implica mudar de sistema para conseguir maior resolução ou melhor desempenho métrico (basta alterar a relação câmara objecto) · A câmara fotográfica é mais barata que o scanner de varrimento laser.	· É sensível à riqueza de textura (tem mau desempenho em superfícies lisas, especulares, e vidro) · É necessário informação de controlo adicional para dar escala e orientação aos modelos · Não é selectiva · Implica hardware com boa capacidade de desempenho · Implica software especializado · Implica elevada capacidade de armazenamento de dados · A qualidade plástica dos resultados depende da harmonia cromática entre as várias imagens usadas · Por vezes as reconstruções apresentam algum ruído e dados espúrios que é necessário remover · Para utilização métrica requer operadores especializados · Requer literacia digital · Apenas documenta o que se passa à superfície dos objectos
FDT (manual)	· É particularmente aplicável à documentação de superfícies de textura pobre e geometrias definidas · Tipicamente utilizam-se poucas imagens · Necessita de menos capacidades de hardware e armazenamento que no caso do varrimento laser e dos métodos automáticos. · Pode acrescentar textura à geometria · Gera menos quantidade de informação que os métodos automáticos e varrimento laser · É menos sensível à textura dos objectos (podem documentar-se superfícies especulares, vidros, superfícies escuras)	· Apresenta limitações em contextos de geometria pouco definida · Obriga a um planeamento mais cuidado na recolha de imagens · É necessário informação de controlo adicional para dar escala e orientação aos modelos · As operações de calibração, orientação e reconstrução 3D são levadas a cabo por um operador o que torna o processo bastante demorado · Requer operador especializado · Requer software especializado · Requer literacia digital

Tabela 6-1: Vantagens e limitações das técnicas da FDT e do VL3DT.

No nosso trabalho verificámos a viabilidade deste procedimento. Neste caso os dados topográficos servirão apenas para orientar os modelos em bloco e assim aferir a qualidade dos mesmos em função dos erros da transformação.

Adoptando este procedimento de processamento, as nuvens de pontos devem apresentar uma elevada sobreposição para garantir robustez na construção do modelo final. Para além deste aspecto, a sequência das estações e correspondentes nuvens de pontos devem formar o equivalente a uma poligonal fechada, isto é, a última nuvem de pontos deve apresentar sobreposição em relação à primeira. Nos casos em que não é possível formar uma “poligonal fechada” de nuvens de pontos, poderá ser recomendável utilizar topografia auxiliar para “fechar” a poligonal.

Não sendo utilizada topografia auxiliar, é normal que o resultado final seja apresentado num referencial local. Porém, consideramos que esta forma de operar apenas em algumas situações permite verificação dos resultados.

Na tabela 6-1 apresenta-se uma comparação, ao nível de vantagens e limitações, dos vários métodos investigados.

A definição de *layouts* para a recolha de dados no VL3DT

Cada situação de registo e documentação corresponde a um contexto distinto que deve ser avaliado e ponderado no sentido de se definir a estratégia mais adequada para recolher a informação. Porém há um conjunto de aspectos gerais que podem e devem ser considerados como referência.

Ao longo do desenvolvimento do nosso trabalho, e na presunção de que se recolhem nuvens de pontos para orientar através do algoritmo ICP, identificámos um conjunto de situações de relação entre equipamento de varrimento e objecto que se podem tipificar, como se ilustra na figura 6-2.

A situação a) corresponde à necessidade de garantir a recolha de dados com sobreposição para se conseguir fazer uma ligação robusta entre espaços de compartimentos adjacentes. Sugere-se que o varrimento a realizar no centro do compartimento seja feito com portas e janelas fechadas no sentido de capturar a descrição, em alçado, dos elementos dos vãos (a descrição das caixilharias) e para evitar que, caso estes se encontrem abertos, ocorram oclusões que levam a vazios nos dados. Deve-se colocar sempre o equipamento em estação sob os vãos de portas e janelas (completamente abertas) numa posição perfeitamente centralizada. As nuvens de pontos capturadas a partir destas localizações têm duas funções: i) garantir a ligação robusta entre espaços adjacentes, e ii) capturar a geometria dos perfis das guarnições dos vãos. É importante a posição central. Se houver um deslocamento, mesmo que pequeno, no sentido de um ou outro compartimento, corre-se o risco de não se conseguir sobreposição suficiente entre

nuvens de pontos e, com isso, a impossibilidade de ligar os espaços. No caso das janelas, estas nuvens de pontos têm também a função de ligar o interior e exterior dos edifícios.

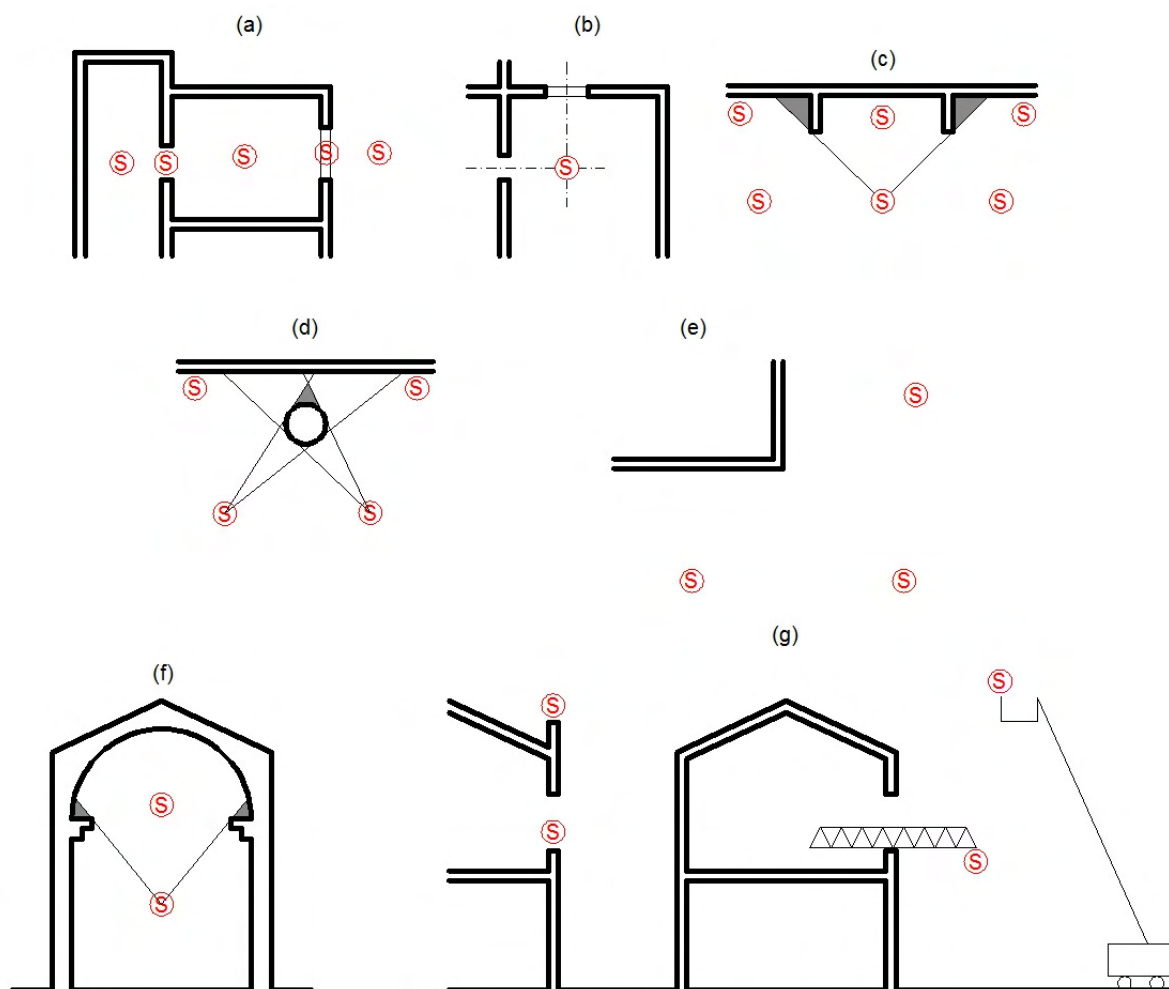


Figura 6-2: Situações tipo na relação entre equipamento de varrimento e objecto.

Na situação b) representa-se uma disposição do equipamento que otimiza a recolha de informação. Ao colocar o equipamento no cruzamento dos eixos de dois vãos, captura-se a melhor informação possível relativa aos dois. Neste tipo de situação, as portas e janelas devem estar fechadas pela mesma razão que se referiu no caso anterior.

Na situação c) ilustra-se um tipo comum de oclusão que pode ocorrer quando há elementos salientes. Considerando apenas a estação central, os elementos salientes provocam uma sombra a que corresponde um vazio de informação à esquerda e à direita. Naturalmente, estes vazios podem ser preenchidos considerando estações de varrimento complementares à direita e à esquerda. Porém, as três estações mais afastadas do paramento podem não ser suficientes para recolher toda a informação da forma mais adequada. Mais uma vez, considere-se a estação central. Os topos interiores dos elementos

salientes do paramento podem ficar deficientemente documentados na medida em que o feixe laser incide sobre eles com elevada obliquidade. Assim, se aquelas superfícies forem relevantes, pode ser necessário colocar o equipamento em posição mais frontal às mesmas para fazer uma captura com maior qualidade.

Na situação d) ilustra-se o modo como se pode registar de forma completa uma coluna ligeiramente afastada de uma parede. As duas estações mais afastadas da parede permitem resolver o problema do registo desta na medida em que as oclusões de uma e outra estação não se sobrepõem. Mas não permitem registar a coluna integralmente. Se tal for necessário, deverão considerar-se pelo menos mais duas estações adicionais como se ilustra. No entanto é preciso ter a noção que a parte posterior da coluna nunca ficará convenientemente documentada uma vez que o feixe incide sempre com ângulo quase rasante na superfície.

A situação e) corresponde a uma esquina. É sempre necessário considerar uma estação colocada aproximadamente na bissetriz do ângulo formado pelas duas paredes. A nuvem de pontos capturada a partir desta posição tem a função de ligar as outras duas nuvens de pontos.

A situação f) corresponde a um tipo de cenário interior que é muito comum em edifícios antigos. Deve-se colocar o scanner em posições complementares de modo a evitar oclusões motivadas pela sanca. Eventualmente, pode ser suficiente colocar apenas o scanner numa posição rasante à superfície horizontal superior da sanca, de modo a minimizar a oclusão.

Na situação g) ilustra-se a utilização de plataformas variadas. Ilustra-se também, o acesso a vãos de janelas e coberturas de edifícios vizinhos como forma a permitir recolher informação a partir de pontos de vista mais favoráveis. Ilustra-se ainda a utilização do equipamento de varrimento em posição invertida. Esta colocação pode ser bastante eficiente no caso dos scanners com campo de visão esférico. O cone cego do *scanner* fica voltado para onde não há informação relevante a recolher. Este tipo de colocação do equipamento exige a construção de suportes específicos para os equipamentos que não os coloquem em risco, nem às pessoas na sua vizinhança.

Nas técnicas tradicionais, o planeamento da recolha dos dados de levantamento é feito, em geral, em função das peças desenhadas a produzir, sendo as estratégias equacionadas plano a plano numa abordagem bidimensional. Com o VL3DT, a quantidade de informação que se pode recolher permite produzir uma infinidade de peças desenhadas, ou outros materiais de natureza tridimensional. Mas o que é mais importante relevar, é a necessidade de reformular o processo de planeamento no sentido de definir conceptualmente e operativamente uma estratégia espacial de planeamento.

Outra ideia base que se pode reter, para a montagem da estratégia, é procurar definir, através do caminho mais curto, e com o menor número possível de nuvens de pontos, uma estrutura espacial de posições de estação do equipamento que permitam a aquisição de dados para a construção de um “esqueleto” tridimensional do objecto, conforme se ilustra na figura 6-3.

Neste caso, as estações indicadas a vermelho na figura permitem construir o referido esqueleto e as estações indicadas a verde complementam a informação. Embora este esquema esteja representado em planta, a lógica deve ser espacial.

Após o esqueleto estar estabilizado, o que se pode comprovar, por exemplo, através da sua orientação contra dados topográficos, pode-se então proceder à acoplagem de nuvens de pontos adicionais de modo a completar o registo do objecto.

Note-se ainda que, caso se pretenda utilizar alvos, no planeamento das estações de varrimento laser deverá ser estimado o número de pontos com que cada alvo ficará registado para que as suas coordenadas possam ser convenientemente determinadas.

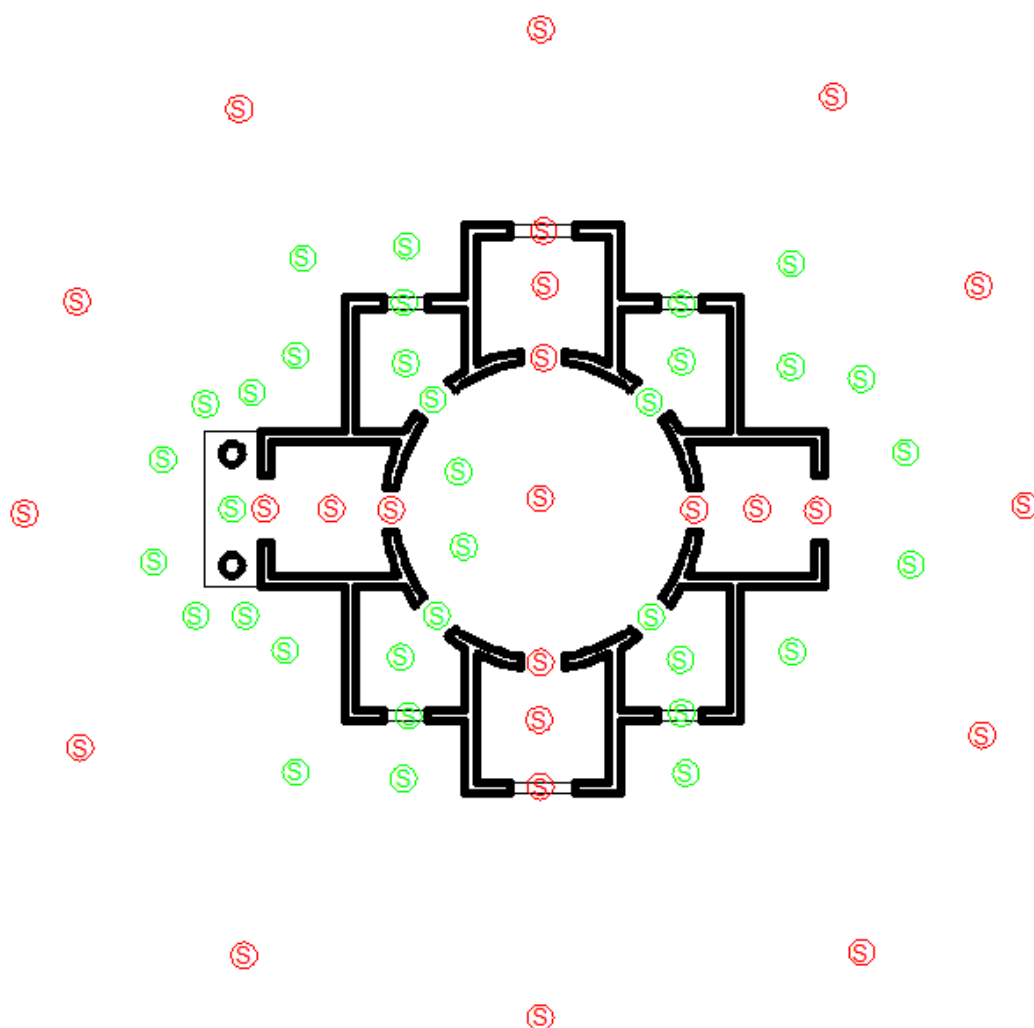


Figura 6-3: A ideia da definição de um “esqueleto” estrutural de nuvens de pontos.

A definição de layouts para a recolha de dados na FDT

Tradicionalmente, o planeamento fotogramétrico passa pela definição da base entre os pares estereoscópicos e pela definição da distância entre câmara e objecto. Este princípio mantém a sua validade. Porém, com a possibilidade de gerir o processamento de números muito elevados de imagens através das metodologias de processamento automático, verifica-se viável complementar os pares estereoscópicos com um conjunto elevado de imagens de ligação, conforme se ilustra na figura 6-4.

Na figura, os círculos vermelhos correspondem àquelas estações colocadas de forma mais controlada de modo a permitir uma restituição tradicional. Para além de fotografar as superfícies com o plano da imagem o mais paralelo possível às mesmas, de modo a tirar o maior partido possível da informação contida nas imagens, também se deve tirar fotos intermédias com distâncias entre si relativamente pequenas para que possa haver sobreposição entre imagens sucessivas de modo a poder-se construir um modelo 3D.

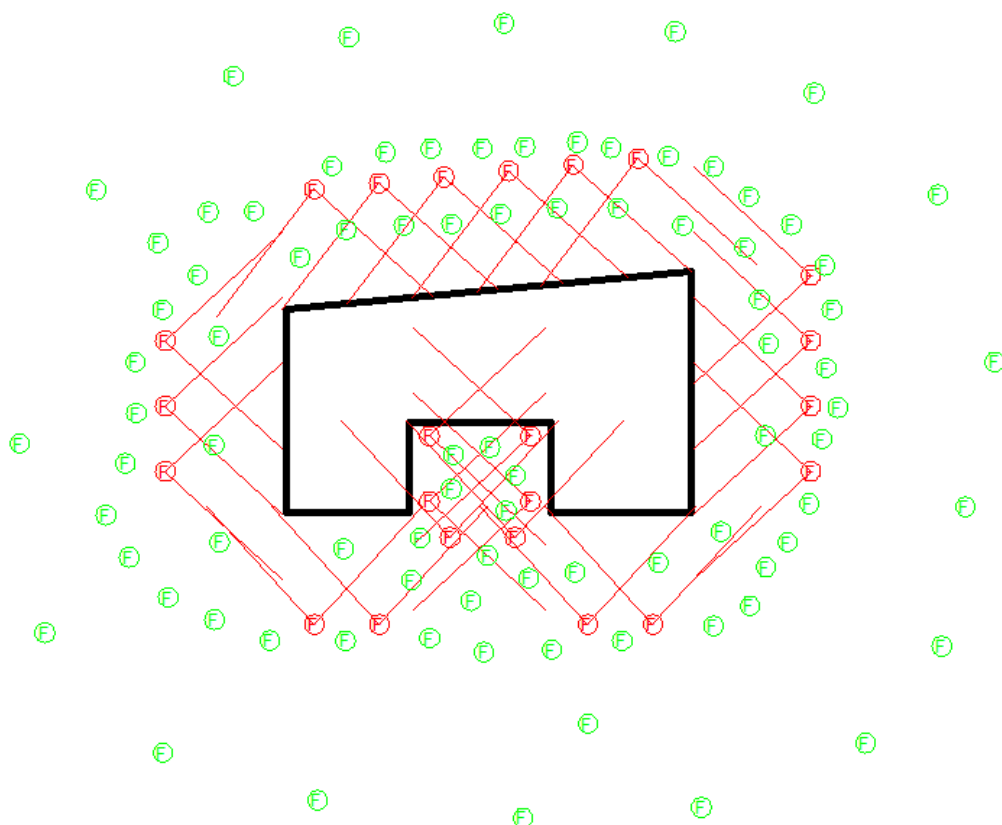


Figura 6-4: O planeamento da recolha fotográfica.

Os círculos a verde correspondem a colocações de câmara aleatoriamente distribuídas que permitem a utilização dos vários pares inserida numa estratégia mais livre, do tipo SFM. Naturalmente, não é viável planear a colocação destes pontos de vista um a um. Porém, devem-se considerar alguns princípios mínimos na captura das imagens. As

imagens devem ser redundantes, devem ser tiradas de pontos de vista distintos, e cada posição deve estar relativamente próxima das que se encontram na sua vizinhança. Uma estratégia para a recolha das imagens pode ser, por exemplo, recolher uma imagem de cinco em cinco passos, visando sempre o objecto.

Esta lógica pode também ser adoptada com o uso de plataformas aéreas de baixa altitude.

Dentro de uma lógica de maior controlo podem-se considerar algumas recomendações adicionais como: i) fotografar sempre as espessuras de portas e janelas, ii) nos espaços interiores, fotografar as salas sempre na diagonal (em cada canto) garantindo sobreposição entre imagens o que permite a restituição 3D, iii) fotografar todas as faces interiores (tectos e chão) dos compartimentos num sentido definido e sistemático, por exemplo no sentido horário, iv) procurar fazer sequências de fotos entre o geral e o particular variando os pontos de vista, numa estrutura em árvore, para garantir que os algoritmos de correlação de imagens consigam ligar o geral ao pormenor, v) fotografar os tectos bem na vertical, para além de fotografá-los de baixo para cima na diagonal a partir dos cantos dos compartimentos e a partir do meio das paredes de modo a garantir sobreposição entre imagens, requisito fundamental para que possa haver reconstrução tridimensional, vi) fotografar o chão a partir dos cantos e a partir do meio das paredes de cima para baixo o mais possível, vii) ter uma noção do nível de detalhe que se pretende, no sentido de gerir a distância ao objecto, e viii) não fotografar superfícies brunidas (polidas) com ângulos rasos pois isso resulta, em geral, num efeito especular indesejado que perturba a reconstrução 3D.

6.2.2. ...e execução

A execução dos trabalhos de registo e levantamento deve seguir de perto o que foi definido na etapa de planeamento. Esta definição deverá ter ocorrido a um nível mais concreto, por exemplo, assumindo posições de estação específicas para os equipamentos, e/ou a um nível de princípios, por exemplo definindo que deve ser considerada uma estação de tantos em tantos metros.

Seja de que modo for, o planeamento é sempre um guia que deve ser seguido, devendo evitar-se alterar completamente os critérios a meio do processo de trabalho, mas não sendo rígido ao ponto de recusar a integração de contributos que derivem das circunstâncias.

Devem-se desenvolver os trabalhos com ética, evitando impactos negativos para os edifícios (em particular nos de valor histórico e artístico), para os equipamentos e para as pessoas. Devem sempre ter-se em conta as medidas de segurança que se considerem

indicadas (a este respeito consulte-se o ponto 3.1 – A radiação electromagnética, a luz e fenómenos associados).

A recolha de dados não deve ser conduzida apressadamente. Os procedimentos devem ser registados e deve-se tomar nota de todas as informações relevantes (por exemplo quantas capturas de nuvens de pontos foi possível capturar com uma bateria, quantas nuvens de pontos se capturaram num dia, quantas imagens, onde foram feitas). Este registo é o que permite, mais tarde, a detecção de padrões que podem informar outros processos de planeamento, numa espiral de aperfeiçoamento

A necessidade de recolher metadados relativamente às imagens fotográficas digitais fica de algum modo aliviada uma vez que parte da informação é incorporada directamente nos ficheiros exif associados. O mesmo tipo de lógica se passa com as nuvens de pontos do varrimento laser 3D. Porém, tudo aquilo que não for possível registar automaticamente, deve ser registado de alguma forma. Como regra de bom senso, deve confiar-se o mínimo possível na memória. Isto quer dizer que todas as operações realizadas devem ser registadas. Trata-se de metadados que são fundamentais para a reconstituição do processo em gabinete.

Depois de se concluir o trabalho de campo, o bom senso recomenda que se confirme se não ficou nada por fazer. A falta de uma imagem no meio de um processo planeado com determinada lógica pode comprometer o processamento dos dados. A este respeito pode-se recomendar a consulta das regras 3X3 fotogramétricas (ver ponto 3.6 – Orientações e especificações para a fotogrametria e para o varrimento laser).

Após a recolha dos dados é necessário proceder ao seu processamento no sentido de extrair informação utilizável.

Face às possibilidades que a FDT e o VL3DT permitem, deve-se ter a abertura de espírito suficiente para considerar aplicações menos convencionais destes métodos. A este respeito consulte-se o ponto 5.4 – Do levantamento ao projecto.

Finalmente, os materiais produzidos devem ser entregues às entidades que os solicitaram, sob as formas adequadas a sua utilização futura.

Toda a documentação resultante do levantamento deverá ser acompanhado de um relatório que descreva todos os procedimentos seguidos. Este relatório deverá conter os elementos necessários que permitam a “reconstrução” e a repetição/verificação do que foi realizado.

7. Conclusões finais e perspectivas futuras

O processo de levantamento e registo é uma forma de conhecimento sobre o construído. A documentação gráfica de base suporta o registo analítico do objecto. Este conduz a uma avaliação dos problemas que por sua vez leva ao projecto de intervenção. A etapa lógica seguinte é a acção conservativa (nas suas várias formas), o que conduz novamente à documentação de base. Esta é a natureza cíclica da Conservação (figura 7-1).



Figura 7-1: A natureza cíclica da Conservação.

Mas entendida em si, a documentação e o registo são também processos de aprendizagem. O aperfeiçoamento dos agentes envolvidos nesses processos implica a sua participação em acções concretas e reais. Ao levantamento segue-se a restituição, e a esta segue-se uma análise crítica que informará outros processos de levantamento, numa espiral de aprendizagem constante, conforme se ilustra na figura 7-2. O nível de preparação dos agentes envolvidos é fulcral para a qualidade dos materiais produzidos.



Figura 7-2: A espiral do processo de aprendizagem no levantamento.

A FDT e o VL3D, utilizados em simultâneo, complementarmente ou em alternativa, podem dar resposta à generalidade dos problemas da documentação gráfica descritiva, no contexto da Conservação, Restauro e Reabilitação. Porém, não se deve ser rígido e restritivo ao ponto de impor sempre estes métodos de documentação, bem como não se deve ser rígido e restritivo na sua recusa. Com efeito, deve ser reconhecido que há situações em que, com maior economia de esforço, se podem utilizar outros métodos de documentação. Isto é, a metodologia adoptada para proceder à documentação deve basear-se nos métodos que se presumem mais eficientes para a resolução do problema em concreto (figura 7-3).

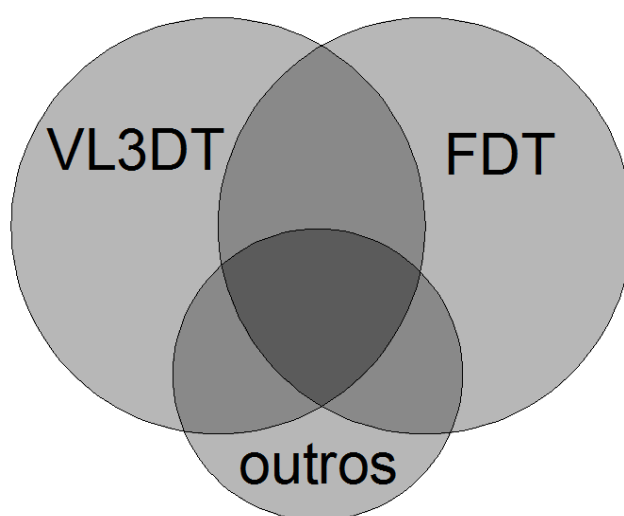


Figura 7-3: A combinação dos métodos de levantamento.

Com o advento da tecnologia digital muitos dos produtos que se poderiam considerar altamente especializados e de difícil acesso são hoje correntes e podem ser aplicados de forma expedita e com qualidade aceitável até mesmo por agentes não considerados especialistas através da utilização de pacotes de *software* acessíveis.

Demonstrámos que os métodos fotogramétricos expeditos, em particular a rectificação vectorial, não devem ser desprezados ou minorizados. Demonstrámos que há muitas situações em que são perfeitamente aplicáveis, quer de modo autónomo, quer como complemento de outros.

Adoptando a FDT e o VL3D, como meios de produção dos suportes base para utilização em conservação, podemos afirmar, num certo sentido, que estamos a utilizar novas técnicas para resolver problemas antigos. Mas também podemos utilizar estas novas técnicas para dar origem a uma nova gama de produtos de maior dificuldade de produção utilizando outras técnicas ou métodos (ou até mesmo de impossível produção). Apresentou-se e discutiu-se esta dupla dimensão da aplicabilidade dos métodos da FDT e do VL3DT.

Nesse sentido podemos dizer que estamos face a um novo paradigma nos modos como se recolhem os dados e processa a informação.

Nos vários casos de estudo que desenvolvemos, em particular naqueles em que tivemos envolvimento em todas as etapas, e em que a complexidade se afigurava maior, a componente de planeamento assumiu sempre um papel fundamental. Tivemos sempre o cuidado de tirar partido da documentação gráfica existente, procurando corrigi-la e adaptá-la às situações, minimizando a necessidade de produzir suportes para o planeamento.

Esta documentação serviu-nos para, em campo, começarmos a definir a estratégia de recolha de dados. Serviu-nos para estudarmos os layouts de disposição dos equipamentos, para anotarmos questões relacionadas com características singulares dos sítios a ter em conta na fase de recolha de dados.

Estes documentos serviram-nos ainda como suporte ao registo das acções efectuadas em campo, o que nos permitiu aferir desvios entre as previsões e a realização.

Demonstrámos as vantagens de proceder ao registo a partir de um planeamento adequado.

Apontámos um conjunto de aspectos que é necessário ter em conta quando se procede à restituição gráfica sobre imagens ou secções provenientes de modelos de varrimento laser, para que não se tome por boa informação aquela que pode não o ser, e apontámos caminhos no sentido de lidar com esta questão.

Determinámos indicadores de desempenho dos sistemas e processos do varrimento laser expressos através de rácios entre tempo de varrimento e tempo de duração das sessões de trabalho. Os valores obtidos servem-nos como indicador para planeamento em situações futuras.

Demonstrámos a viabilidade da adopção dos procedimentos de orientação relativa de nuvens de pontos apenas com recurso ao algoritmo ICP para a escala de problemas que abordámos. Considera-se que para escalas distintas (objectos de maiores dimensões) é necessário proceder a testes adicionais para validar a metodologia.

As análises efectuadas sobre as imagens derivadas do processo de VL3DT demonstram o potencial desta tecnologia no contexto da conservação e restauro que vai muito para além da simples captura da geometria. Com efeito, este é apenas um dos parâmetros que entra na difícil equação do projecto de Conservação. Mas mesmo nessa condição, observamos que a quase continuidade dos dados, própria de um método indirecto de levantamento, permite um conjunto de interpretações relevantes tendo como suporte imagens que traduzem qualidades geométricas e formais como é o caso dos mapas de profundidade e das imagens de inclinação processadas a partir dos modelos tridimensionais de nuvens de pontos.

Com os estudos sobre a geometria da abóbada do Arco da Rua Augusta, demonstrámos que o varrimento laser pode constituir-se como um instrumento para a avaliação e análise do nível cultural, e de erudição, de uma obra de arquitectura, o que é um aspecto da maior relevância para a compreensão dos valores a ela subjacentes.

Sob o prisma da utilização do VL3DT como técnica a utilizar de forma fluente para a diferenciação espectral de superfícies, é ainda necessário proceder a alguma investigação. Em particular, é necessário estudar as assinaturas espectrais dos vários materiais nos vários comprimentos de onda dos equipamentos comercializados. Deve notar-se que este aspecto deve considerar o facto de no caso terrestre a variedade das geometrias na relação entre sensor e superfície ser maior, o que deverá levar ao desenvolvimento de algoritmia para normalizar a reflectância no registo das superfícies, isto é, para de algum modo calibrar as imagens de reflectância no sentido de remover efeitos da mesma dados pela distância e pela inclinação do feixe em relação às superfícies

Pode-se afirmar a necessidade de explorar procedimentos para a passagem do modelo tridimensional fotogramétrico ou de varrimento laser ao BIM.

Finalmente definimos um conjunto de orientações metodológicas para o planeamento e execução do levantamento no sentido de apoiar a implementação de estratégias de documentação apoiadas na FDT e no VL3DT.

Nesse aspecto, procurámos criar bases para um diálogo efectivo entre os produtores e os utilizadores da documentação gráfica. Procurámos aproximar os segundos em relação aos processos e métodos da FDT e VL3DT, e procurámos aproximar os primeiros em relação às formas e contextos como a documentação gráfica é utilizada no processo do projecto de conservação, restauro e reabilitação.

ANEXO 1 – Alguns conceitos metrológicos

Expomos, neste anexo, alguns conceitos metrológicos que são importantes para entender alguns termos e noções que utilizamos no texto da tese, e que se impõem quando nos referimos ao manuseamento de dados espaciais e posicionais.

Escala

A definição mais comum de escala de uma representação corresponde ao factor de ampliação ou redução da métrica linear do espaço representado. A forma mais usual de exprimir a escala é através de um quociente. Por exemplo ao notarmos uma escala por 1/100 estamos a declarar que as dimensões lineares da representação são 100 vezes menores que as dimensões do objecto representado. Esta forma de expressão designa-se por escala numérica.

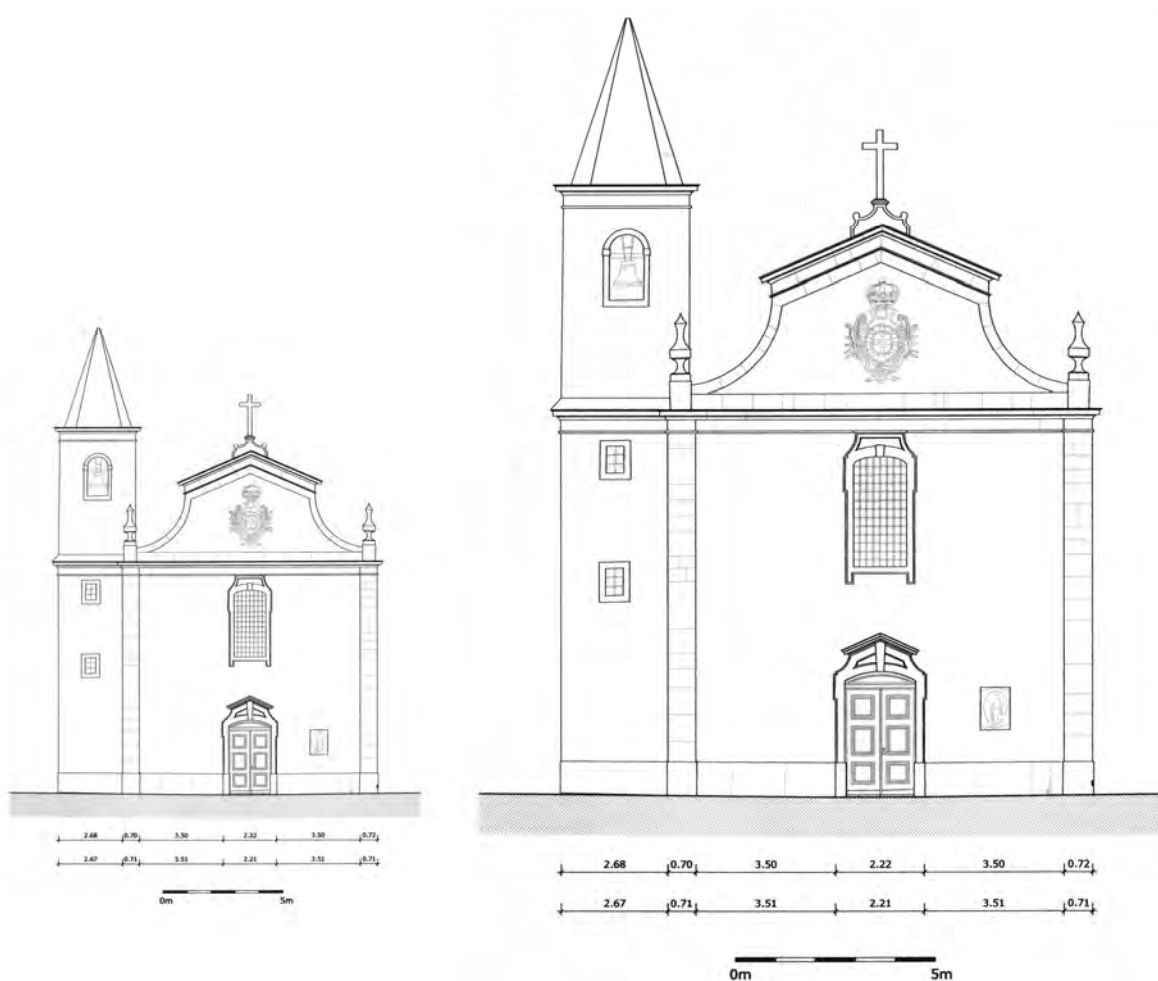


Figura 0-1: A escala gráfica acompanha a ampliação ou redução da representação.

Outra forma de notar uma escala é através da representação, afectada do factor ampliação ou redução, de um elemento que serve de padrão. Este procedimento é comum em desenhos de arquitectura em que a escala é notada pela representação de uma figura humana ou de uma “régua” graduada. Neste caso fala-se de escala gráfica. A vantagem da escala gráfica consiste na flexibilidade de manuseamento do ponto de vista gráfico, isto é, a ampliação ou redução de uma representação é solidária com a representação da métrica do padrão como se vê pela imagem da figura 0-1.

Se notarmos a escala por extenso, digamos, 1cm corresponde a 100m, então temos o que se pode designar por escala verbal ou nominal [ISS02].

Também é possível referir-mo-nos à escala de uma representação estando a considerar um nível de informação que se considera espectável para aquele factor de redução ou ampliação. É por exemplo o caso da diferença de conteúdo que um desenho de arquitectura deve ter se estiver na escala 1/100 ou 1/50. Se for este o contexto, por escala não deve entender-se apenas um factor de redução mas antes um expectativa de conteúdo com um determinado fim comunicacional. Os desenhos da figura 0-2 ilustram esta diferença. Nesta figura ambos os desenhos correspondem ao mesmo objecto mas contêm níveis de informação distintos. À esquerda um conteúdo típico da escala 1/100 e à direita um conteúdo típico da escala 1/50.

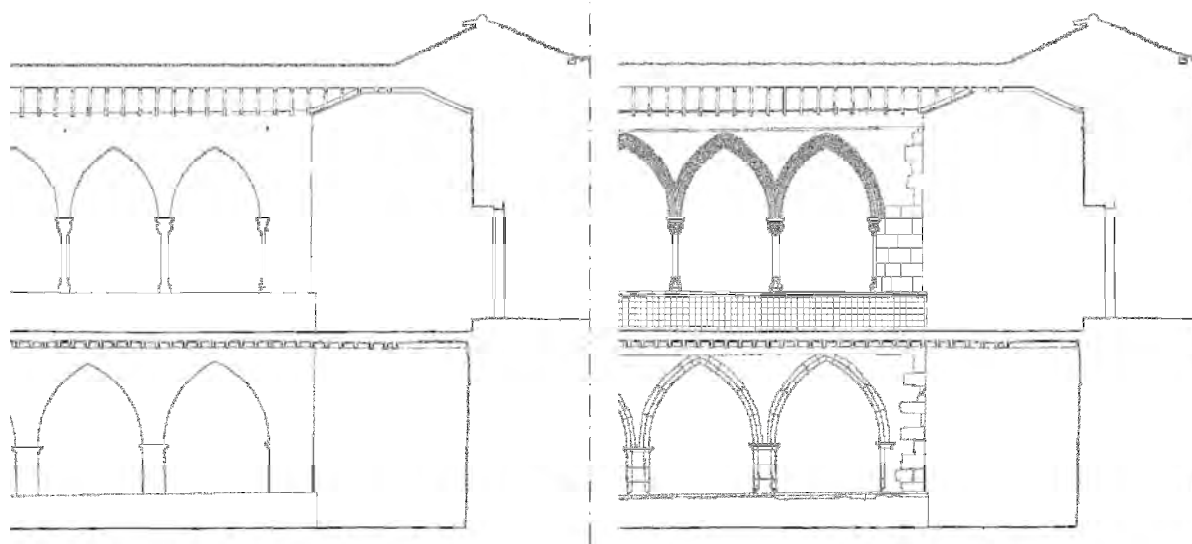


Figura 0-2: Duas representações do mesmo espaço com níveis de detalhe diferentes. À esquerda: nível de detalhe da escala 1/100. À direita: nível de detalhe da escala 1/50.

Incertezas nos processos de medição

Qualquer processo de medição está sujeito a incertezas.

Pode ser afirmado como axioma que: i) não há medições exactas, ii) todas as medições contêm erros, iii) o valor verdadeiro de uma medição nunca é conhecido, e iv) a dimensão exacta do erro presente é sempre desconhecida [Ghi10].

Os erros de grafismo

Este tipo de erro tem por base a assunção de que numa marcação ou leitura de uma medida feita sobre um desenho, em papel ou noutro suporte real, não é possível ser mais preciso ou rigoroso que a espessura do traçado utilizado. Convenciona-se que a maior precisão assim conseguida corresponde a 0,2mm. Assim a incerteza inerente a este valor feita corresponder a uma dimensão real, através da referência a uma dada escala, pode ser utilizada como medida de precisão ou tolerância para a medição do objecto a representar naquela escala. A tabela 0-1 ilustra as tolerâncias para medição próprias de cada escala de acordo com este princípio [MD05] [CR03a].

Escala	Tolerância (cm)
1/10	± 0.2 a 0.3
1/20	± 0.4 a 0.6
1/50	± 1 a 1.5
1/100	± 2 a 3
1/200	± 4 a 6
1/500	± 10 a 15
1/1000	± 20 a 30
1/2000	± 40 a 60

Tabela 0-1: Tolerâncias de medição de acordo com a escala de representação. Tabela produzida como base no Manual do Engenheiro Topógrafo [CR03a] e no Manuale di rilevamento Architettonico e Urbano [MD05].

A expressão de uma tolerância como função do erro de grafismo ainda pode servir como referência útil para algumas aplicações. Contudo, nos ambientes informatizados actuais, a definição da precisão tende a tornar-se independente da escala e a passar a ser informada estritamente pelas necessidades concretas a que se destina a documentação, isto é, pelas necessidades de projecto.

Os erros de medição

Os erros de medição podem ter várias fontes: i) instrumentais, ii) ambientais, e iii) humanos, e ser de várias naturezas: i) grosseiros, ii) sistemáticos, e iii) aleatórios [Ghi10] [CR03a].

Os erros instrumentais são devidos a imperfeições nos instrumentos de medição.

Os erros ambientais são devidos à variação das condições do meio ambiente envolvente da área sob medição.

Os erros humanos são aqueles que resultam das limitações próprias do ser humano no que diz respeito à acuidade dos seus sentidos.

Os erros grosseiros, também designados simplesmente por enganos por alguns autores [Ghi10] [CR03a], são aqueles que resultam do menor cuidado de operação de um instrumento ou de confusão de leitura de valores. Este tipo de erro deve sempre ser removido de qualquer conjunto de dados de medição.

Os erros sistemáticos são aqueles que seguem uma determinada lei física e por isso tendem a ocorrer sempre da mesma maneira perante as mesmas condições. Pelo facto de seguirem uma regra este tipo de erros pode ser modelado e com isso ser corrigido.

Os erros aleatórios ou acidentais são um tipo de erro que não segue nenhuma lei ou regra em particular e por isso são mais difíceis de detectar e remover. Geralmente assume-se que são pequenos em magnitude e com igual probabilidade de serem positivos ou negativos. Assim são em geral tratados de acordo com a Teoria da Probabilidade [Ghi10].

Erro, resíduo e redundância

Por definição um erro, ε , é a diferença entre um valor medido, y , de uma determinada quantidade e o seu verdadeiro valor, μ :

$$\varepsilon = y - \mu \quad (0.1)$$

Por definição um resíduo, ν , é a diferença entre um valor medido, y , de uma determinada quantidade e o seu valor mais provável, $\bar{y}$:

$$\nu = y - \bar{y} \quad (0.2)$$

Como se expôs acima, os valores verdadeiros de μ e ε nunca são conhecidos.

A redundância corresponde à existência de medições em excesso relativamente às que seriam estritamente necessárias para determinar uma configuração sob medição. Por exemplo se medirmos os quatro lados e uma diagonal de um quadrilátero dispomos da informação mínima e necessária para o representar. Se acrescentarmos a medição da outra diagonal ficamos com dados em excesso ou, dito de outro modo, com redundância de dados. Neste exemplo, o número de medições mínimo necessário é 4, enquanto o número de medições de que se dispõe após ter medido a segunda diagonal é 5. Diz-se neste caso que as observações têm 1 grau de liberdade. Se notarmos por m o número de medições mínimo necessário, por n o número de observações efectuadas, podemos expressar os graus de liberdade l por:

$$l = n - m \quad (0.3)$$

O critério dos mínimos quadrados

A existência de observações ou medições redundantes é o que permite revelar as discrepâncias e as inconsistências dos valores obtidos e com isso permite descartar erros e ajustar as observações de modo a determinar os valores mais prováveis para as grandezas observadas. Embora tradicionalmente se utilizassem métodos expeditos, não rigorosos, de ajustamento, uma vez que a aplicação dos métodos rigorosos implicava um grande esforço de cálculo, hoje, com o recurso aos meios informáticos, o critério utilizado para proceder ao ajustamento das observações é o designado por critério dos mínimos quadrados. De acordo com este critério os valores prováveis para as grandezas medidas, $\bar{y}_i$, são determinados de modo a que seja mínima a soma do quadrado dos resíduos, v_i , multiplicados pelos pesos relativos, w_i , isto é:

$$\sum w_i v_i^2 = \sum w_i (y_i - \bar{y}_i)^2 = \min \quad (0.4)$$

A generalidade deste critério admite que várias grandezas distintas, por exemplo comprimentos e ângulos, sejam tratadas em simultâneo e que pesos relativos sejam dados às várias observações [Ghi10].

Rigor e precisão

Muitas vezes os conceitos rigor e precisão são expressos como sinónimos. Contudo tal não é correcto. Vamos, com um exemplo, perceber como se relacionam estes dois conceitos.

Considere-se o seguinte exemplo numérico. São realizadas 3 sessões de medição de uma distância x , cujo valor real se presume ser 1340mm. Em cada sessão de medições a distância é medida 4 vezes.

Na primeira sessão obtém-se o conjunto 1 (1351mm, 1352mm, 1349mm, 1348mm) cuja média é de 1350mm e cujo desvio é de ± 2 mm.

Na segunda sessão obtém-se o conjunto 2 (1335m, 1338m, 1342m, 1345m) cuja média é de 1340mm e cujo desvio é de ± 5 mm.

Na terceira sessão obtém-se o 3 (1341mm, 1342mm, 1339mm, 1338mm) cuja média é de 1340mm e cujo desvio é de ± 2 mm.

Podemos dizer que os conjuntos 1 e 3 são igualmente precisos.

Podemos dizer que os conjuntos 2 e 3 são igualmente rigorosos.

Podemos dizer que o conjunto 3 é simultaneamente o mais preciso e rigoroso.

Assim podemos perceber que o rigor está relacionado com a conformidade entre a média dos valores do conjunto e o valor considerado como verdadeiro.

Por outro lado a precisão está relacionada com o desvio dos valores do conjunto.

A precisão ser pequena não implica necessariamente que o rigor seja pequeno, nem a grande precisão implica que o rigor seja elevado.

Do que foi dito pode depreender-se que a avaliação do rigor de uma medição, ou conjunto de medições, nunca pode basear-se nas próprias medições em análise. Isto é, o rigor é função do erro cometido. Na verdade, o rigor absoluto constitui uma impossibilidade quer de obtenção quer de verificação como já foi notado. Porém, uma das formas de avaliar o rigor de um valor é proceder à sua comparação com um valor homólogo que tenha sido obtido utilizando processos que se considerem mais rigorosos de tal modo que esse possa ser considerado como verdadeiro. Deste modo a expressão (0.1) pode ser utilizada para expressar o rigor de um valor, embora relativo. Se dispusermos de dois conjuntos homólogos, cada um com n valores, um dos quais considerado como rigoroso na acepção acima definida, pode ser definido o erro médio quadrático, *rmse* (do inglês *root mean square error*) como medida do rigor médio do conjunto sob análise através da expressão:

$$rmse = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n}} \quad (0.5)$$

A precisão de um conjunto de valores é função dos desvios.

Se a dispersão for grande então a precisão é pequena e vice-versa.

Se dispusermos de um conjunto limitado de valores cuja média ou valor mais provável é $\bar{y}$, então pode ser expresso o desvio padrão como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n-1}} \quad (0.6)$$

Em que y_i representa a medida i do conjunto.

De dois conjuntos com igual número de valores e desvios padrão distintos dir-se-á que é mais preciso aquele a que corresponder o menor desvio padrão.

Quando se fala da precisão de um método, sistema ou procedimento de levantamento está a falar-se da sua consistência interna. O facto de um sistema ser preciso não significa que seja rigoroso. Por exemplo pode estar sujeito à presença de erros sistemáticos.

Quando se fala do rigor de um método, sistema ou procedimento de levantamento estará sempre a considerar-se a sua relação com um de maior qualidade a um ponto tal que, para efeitos da comparação, se toma por rigoroso. Assim só é possível falar de rigor relativo.

Tolerância

Uma tolerância corresponde à expressão de um intervalo no qual, e para um determinado fim, se entende que devem estar os desvios entre o valor correcto de uma grandeza e o valor obtido dessa grandeza. Como vimos acima, uma das formas de expressar uma tolerância, por exemplo em actividades que envolvem medir e representar pelo desenho, é através da referência ao erro de grafismo.

Mas normalmente a expressão da tolerância é feita através da consideração das necessidades específicas da área de actividade que lida com os dados métricos. Assim, se pensarmos no âmbito da arquitectura, é de esperar que para acções de planeamento urbano a tolerância dimensional seja maior que para acções de restauro de património.

Para além disto a tolerância pode ser baseada nas leis da probabilidade e estatística ou ser simplesmente imposta de modo arbitrário.

Um exemplo de formulação de tolerância estabelecida de forma arbitrária, por exemplo num contexto de levantamento arquitectónico é a seguinte: - todas as medições, quando comparadas com medições homólogas de qualidade superior não devem desviar-se daquelas por $\pm 2cm$.

Outra hipótese de formulação arbitrária da tolerância é expressá-la de modo relativo como função da magnitude das medições, por exemplo dizendo que todas as medições, quando comparadas com medições homólogas de qualidade superior não devem desviar-se daquelas por $\pm 1/1000$. Neste caso admite-se como desvio máximo $\pm 1mm$ para uma medida de 1m e de $\pm 10mm$ para uma medida de 10m.

Uma formulação de tolerância que se baseia na estatística poderá ser a seguinte: 95% as medições, quando comparadas com medições homólogas de qualidade superior não devem desviar-se daquelas por $\pm 2S = \pm 2cm$. Neste caso pressupõe-se uma distribuição normal dos desvios e a tolerância refere-se ao desvio padrão sendo ainda admissível que 5% dos desvios possam ocorrer fora do intervalo $\pm 2S = \pm 2cm$. Esta tolerância pode ser notada por $t_{2S} = t_{95\%} = \pm 2cm$. Assim, pelo exposto, têm significados diferentes as tolerâncias $t_{2S} = t_{95\%} = \pm 2cm$ e $t_{1S} = t_{68\%} = \pm 2cm$.

A verificação do cumprimento de uma tolerância especificada faz parte da avaliação da qualidade de um produto de documentação e levantamento e é um dos aspectos da sua validação.

Bibliografia

- [AA07] ALMAGRO A., ALMAGRO VIDAL A.: "Traditional Drawings Versus New Representation Techniques". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [ABB*07] ANDREWS D., BEDFORD J., BLAKE B., CLOWES M., CRISPE A., POPWORTH H., QUINTERO M.S.: "Partnership in Learning: English Heritage & the Raymond Lemaire International Centre for Conservation". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [ABB*09] ANDREWS, David, BEDFORD, Jon, BLAKE, Bill, BRYAN, Paul, CROMWELL, Tom, LEA, Richard.: "Measured and Drawn: Techniques and practice for the metric survey of historic buildings" (second edition). English Heritage (edited by Jon Bedford, Heather Papworth), 2009
- [ABM05] AGNELLO F., LO BRUTTO M., LO MEO G.: "DSM and digital orthophotos in cultural heritage documentation". XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [ABS10] ALBA M., BARAZZETTI L., SCAIONI M.: "Automatic registration of TLS scans by robust feature matching of intensity images". IAPRSSIS, Joint International Workshop on Terrestrial LIDAR: From Static to Mobile , October 15-18, 2010. Zhengzhou, China
- [AC03] AZEVEDO, Eduardo; CONCI, Aura: Computação gráfica – Geração de imagens. 8ª edição. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2003. 353p. ISBN 978-85-352-1252-5
- [AF09] ANNIBALE, Enzo d'; FANGI, Gabrielle: "Interactive modelling by projection of oriented spherical panorama – Ad Deir, Petra, Jordan" in Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop. Trento, Italy, 25-28 February 2009, ISSN 1682-1777
- [AFM*11] ABATE, D., FURINI G., MIGLIORI, S., PIERATTINI, S.: " Project Photofly: New 3D Modeling Online Web Service (Case Studies and Assessments)" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim, "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011
- [AGL07] AGUILERA, Diego González, GONZÁLVEZ, Pablo Rodríguez e LAHOZ, Javier Gómez: "Automatic Co-registration of Terrestrial Laser Scanner and Digital Camera for the Generation of Hybrids Models". ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12-14, 2007, Finland. pp162-168
- [AGM*07] AGUILERA G. D., GOMEZ J., MUNOZ A.L., HERRERO J.S.: "Recording and Virtual Modelling of a Roman Villa Through Laser Scanning". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [AGP05] ALBYA, E., GRUSSENMEYERB, P. e PERRINA, J.P.: "Analogy Between Architectural Design Process and the Documentation of Architectural Works". In proceedings do XX CIPA Symposium - Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [Agu02] AGUIAR, José: Cor e cidade histórica. Porto: FAUP publicações, 2002. 649p. ISBN 972-9483-47-7
- [AGV07] ADAMI A., GUERRA F., VERNIER P.: "Laser Scanner and Architectural Accuracy Test". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [AHM*04] ABMAYR, T., HRTL, F., METTENLEITER, M., HEINZ, I., HILDEBRAND, A., NEUMANN, B., FRHLICH, C.: "Realistic 3d Reconstruction - Combining Laserscan Data with Rgb Color Information" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5. pp. 198-203

- [AL06] AGUILERA, D. G., LAHOZ, J. G.: "Laser Scanning or Image-based Modeling? A Comparative Through the Modelization of San Nicolas Church" in Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' Dresden, Germany, 25-27 September 2006, VOLUME XXXVI, PART 5, Editors: H.-G. Maas, D. Schneider, ISSN 1682-1750
- [ALF*06] AGUILERA, D. G., LAHOZA, J. G., FINATB, MARTÍNEZ, J., FÉRNANDEZ, J. e JOSÉ, J. San.: "Terrestrial Laser Scanning and Low-cost Aerial Photogrammetry in the Archaeological Modeling of a Jewish Tanneries" in Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' Dresden, Germany, 25-27 September 2006, VOLUME XXXVI, PART 5, Editors: H.-G. Maas, D. Schneider, ISSN 1682-1750
- [AMP*07] APPOLONIA L., MOLTEDO L., PICCO R., SALONIA P.: "Innovative Systems for Assisted Analysis and Diagnosis". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [Ant04] ANTONINI, Riccardo: "Verso un'ecologia del virtuale" in Disegnare Idee Immagine, nº 28. Roma: Gangemi Editore, 2004. pp. 54-61
- [App03] APPLETON, João: Reabilitação de Edifícios Antigos – Patologias e tecnologias de intervenção. Lisboa: Edições Orion, 2003. 454p. ISBN 972-8620-03-9
- [ARA10] ARIAS, P., RIVEIRO, B., ARMESTO, J., SOLLA, M.: "Terrestrial Laser Scanning And Non Parametric Methods In Masonry Arches Inspection" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I.
- [ARM*11] ALONSO, J.I. San José, RUBIO, J. Martínezo, MARTIN, J.J. Fernández, FERNANDEZ, J. García.: "Comparing Time-of-flight and Phase-Shift. The Survey of the Royal Pantheon in the Basilica of San Isidoro (Léon) in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim 101p.
- [AS03] D'AYALA, Smars: "Minimum requirements for metric use of non-metric photographic documentation". University of Bath, July 2003
- [BA05] BRUMANAA, R., ACHILLEA, C.: "International Design Competition for the Refurbishment and Enhancement of the Villa Reale in Monza. Thematical Map: From Clouds Point to Surface Analysis. Cases Study: Salone D'Onore, Scalone and Sala del Trono". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [BAB*03] BLAKE, Bill; ANDREWS, David; BECKET, Nick; et al: "Metric survey for Heritage Documentation – Documentation for Conservation, A manual for teaching metric survey skills". English Heritage 2003. 100p. Código de produto 50788.
- [BBB09] BRYAN, Paul; BLAKE, Bill; BEDFORD, Jon: "Metric Survey Specifications for Cultural Heritage (MSSCH)". English Heritage. 2009
- [BC99] BOCCARDO, P., COMOGLIO G.: "New Methodologies for Architectural Photogrammetric Survey" in Proceedings of XVII CIPA Symposium - Olinda, Brazil - 3 - 6 October 1999
- [BCM*05] BONORA V., COLOMBO L., MARANA B.: "Laser technology for cross-section survey in ancient buildings: a study for S. M. Maggiore in Bergamo". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [Ben09] BENNET, Terry D.: "BIM and Laser Scanning for As-built and Adaptive Reuse Projects: The Opportunity for Surveyors". The American Surveyor • July. Cheves Media. 2009
- [BET*08] BAY, H., ESS, A., TUYTELAARS, T., VAN GOOL, L.: "SURF: Speeded up Robust Features". CVIU, 110(3): 346-359. 2008

- [BF07] BERNARDINI A., FANGI G.: "A Tool to Help Mapping Planning in Close Range Photogrammetry". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [BFF*05] BRUMANAA, R., FREGONESE L., FASSIA, F., DE PASCALISB F.: "3D Laser Scanner Points Clouds and 2D Multi-spectral Images: a Data Matching Software for Cultural Heritage Conservation". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [BFF*05a] BRUMANAA,R., FASSIA, F., FREGONESEA, L., MONTIA, C., POTENZAA, A., COLIZZIB, L., DE PASCALISB, F.: "SIDART - A New lntegrated System for Diagnostic of the Cultural Heritages". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [BGV04] BALLETI, C., GUERRA, F., VERNIER P., STUDNIKA N., RIEGL J., ORLANDINI S.: "Practical Comparative Evaluation of An Integrated Hybrid Sensor Based On Photogrammetry and Laser Scanning for Architectural Representation". in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5. pp.536-541
- [BH99] BOEHLER, W.; HEINZ, G.: "Documentation, surveying, photogrammetry". in Proceedings of XVII CIPA Symposium - Olinda, Brazil - 3 - 6 October 1999
- [BHM01] BOEHLER , W., HEIN, G., MARBS , A. : "The potential of non-contact close range laser scanners for cultural heritage recording". XVIII CIPA Symposium - Postdam, Germany - 18 -21 September 2001
- [Bia05] BIANCHINI, Carlo: "La tecnologia del 3D Web Browsing applicata ai Beni Culturali" in Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente. Roma: Gangemi editore, 2005. pp. 48-51. ISBN: 88-492-0778-6
- [BL04] Kwang-Ho B., Lichti Derek D.: "Automated Registration of Unorganised Point Clouds From Terrestrial Laser Scanners". pp. 222-227 in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.
- [Bla10] BLAKE, Bill: "What is The Future of Metric Heritage Documentation and its Skills?" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I. pp 98-102
- [BM92] BESL, Paul J., MCKAY, Neil D.: "A method for registration of 3D Shapes". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI 1992), volume: 14, n 2. pp. 239-256
- [BMB01] BARBER , MILLS, D., J., BRYAN P.: "Laser scanning and photogrammetry: 21st century metrology". In proceedings do XVIII CIPA Symposium - Postdam, Germany - 18 -21 September 2001
- [BMB03] BARBER, David, MILLS, Jon, e BRYAN, Paul: "Towards a Standard Specification for Terrestrial Laser Scanning of Cultural Heritage". In proceedings do XIX CIPA Symposium - Antalya, Turkey - 30 September - 4 October 2003.
- [BR04] Bornaz L., Rinaudo F.: "Terrestrial Laser Scanner Data Processing" in Proceedings of Commission V, Geo-Imagery Bridging Continents " in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, roceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5. pp.514-519. ISSN 1682-1750
- [Bra06] BRANDI, Cersare: Teoria do Restauro. Lisboa: Edições Orion, 2006. 214p. ISBN 972-8620-08-X
- [BBB09] BRYAN, Paul; BLAKE, Bill; BEDFORD, Jon: Metric survey specifications for Cultural Heritage. 2ª edição. English Heritage, 3009. ISBN 978-1-84802-038-2

- [BRS10] BARAZZETI, L; REMONDINO, F; SCAIONI, M. "Automation in 3D Reconstruction: Results on Different Kinds of Close-Range Blocks" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010,, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I. ISSN 1682-1777
- [BRS11] BARAZZETI, L; REMONDINO, F; SCAIONI, M.: "Automated and Accurate Orientation of Complex Image Sequences" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [BTV05] BONORA V., TUCCI G., VACCARO V.: "3D data fusion and multi-resolution approach for a new survey aimed to a complete model of Rucellai's chapel by Leon Battista Alberti in Florence". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [BTV08] BAY, Herbert; TUYTELAARS, Tinne; VAN GOOL, Luc: "SURF: Speeded Up Robust Features". Computer Vision and Image Understanding (CVIU), Vol. 110, No. 3. pp 346-359
- [BVM03] BOEHLER W., BORDAS VICENT M., MARBS A.: "Investigating laser scanner accuracy".In proceedings do XIX CIPA Symposium - Antalya, Turkey - 30 September - 4 October 2003.
- [CAA10] CRESPO, C., ARMESTO, L.J., ARIAS, P., GONZALEZ-AGUILERA, D.: "Damage Detection On Historical Buildings Using Unsupervised Classification Techniques" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I.
- [Car01] CARVALHO, José Maria Lobo de: "The Heritage at Risk", in Historical Constructions. Guimarães, Universidade do Minho: Paulo Lourenço e Pere Roca (Eds.), 2001. pp.277-282.
- [CF09] CLINI, P., FANGI, G.: "The Metric Documentation of Villa Poiana by Andrea Palladio with Spherical Photogrammetry". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [CKD*04] CORUMLUOGLU, O., KALAYCI I., DURDURAN S., Altuntas C., Asri I., Onal A., Gps Virtual Station Technique (gpssit) and Its Challenge In Terrestrial Photogrammetric Applications in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 494-497
- [CMB00] CASACA, João; MATOS, João; BAIO, Miguel: Topografia Geral. 2ª edição. Lisboa: Lidel, 2000. 306p. ISBN: 972-757-135-2
- [CMC04] CARDENAL, J., MATA, E., CASTRO, P. et al.: "Evaluation of a digital non metric camera (canon d30) for the photogrammetric recording of historical buildings". in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.
- [CMP*05] CRESCENZIA, C., MAGIA, A., PORPORATOB, C., RINAUDOB, F.: "The Survey of the Baroque Interior of the San Lorenzo Church in Turin". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [CMP09] CHEVRIER, C., MAILLARD, Y., PERRIN, J.P.: "A method for the 3D modelling of historic monuments: the case of a Gothic abbey church" in Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 25-28 February 2009, Volume XXXVIII-5/W1, ISSN 1682-1777 Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim, Lorenzo Gonzo

- [CMS*11] CANCIAN, M., MAESTRI, D., SPADAFORA, G.a, MANACORDA, D., DI COLA, V.: "Measured Model, Theoretical Model and Represented Model: The So-called Arch of Drusus in Rome" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [Coi06] CÓIAS, Vítor: Inspeções e ensaios na reabilitação de edifícios. Lisboa: IST Press, 2006. 437p. ISBN 972-8469-53-5
- [Coi06a] CÓIAS, Vítor: Reabilitação estrutural de edifícios antigos. Lisboa: Argumentum, 2006. 379p. ISBN 978-972-8479-40-9
- [Coo87] COOPER, M.: Control surveys in civil engineering. Londres: William Collins and Sons & Co, 1987. 381p. ISBN: 0-00-383183-3
- [CB07] CRAMER, Johannes; BREITLING, Stefan: Architecture in existing fabric – Planning, Design, Building. Berlin: Birkhauser, 2007. 221p. ISBN: 9 783764 377526
- [CR03a] CRUZ, João J. S.; REDWEIK, Paula M.: Manual do Engenheiro Topógrafo. 1º Volume. Lisboa: Pedro Ferreira Editor, 2003. 590p.
- [CR03b] CRUZ, João J. S.; REDWEIK, Paula M.: Manual do Engenheiro Topógrafo. 2º Volume. Lisboa: Pedro Ferreira Editor, 2003. p.
- [CRK*10] CHEN, Yuwei, RAIKKONEN, Esa, KAASALAINEN, Sanna, SUOMAILAINEN, Juha, HAKALA, Teemu, HYYPPA, Juha e CHEN, Ruizhi: "Two-channel Hyperspectral LiDAR with a Supercontinuum Laser Source". in SENSORS. ISSN 1424-8220
- [CSN*10] CABRELLES, M., SEGUI, A.E., NAVARRO, S., GARCERA, S., PORTALÉS, C., LERMA; J. L. "3d Photorealistic Modelling Of Stone Monuments By Dense Image Matching" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I.
- [Cul96] CULLEN, Charles: Matrices and linear transformations. 2ª edição. Nova Iorque: Dover, 1996. 318p. ISBN 0-486-66328
- [Dav07] DAVAP, Grupo: Escáner láser 3D (Anexo ao relatório do projecto de investigação MAPA - Modelos y algoritmos para la documentación digital del patrimonio), Universidade de Valladolid, 2007. 33p.
- [DB05] DORNINGER P., BRIESE C.: "Advanced geometric modeling of historical rooms". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [DC11] DESEILLIGNY, M. Pierrot, CLERY, I.: "APERO, an Open Source Bundle Adjustment Software for Automatic Calibration and Orientation of Set of Images" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [DD05] DOCCI, Mario; DOCCI Marina: "L'uso delle riflettanza: un nuovo capitolo per il restauro delle superfici" in Metodologie innovative integrate per il rilevamento dell'architettura e dell'ambiente. Roma: Gangemi editore, 2005. pp. 48-51. ISBN: 88-492-0778-6
- [Der04] DEREK Lichti D. "A Resolution Measure for Terrestrial Laser Scanners" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp.216-221. ISSN 1682-1750
- [DLP05] DEVEAU, M., LETELLIER, G., PAPARODITIS, N.: "Automating the Extraction of Revolution Objects From Single Laser Scans of Architectural Scenes". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005

- [Eng00] English Heritage: Metric survey specifications for English Heritage. York: Sara Lunnon (editor), 2000.111p. ISBN 1873592574.
- [Eng06] English Heritage. "Understanding Historic Buildings - A guide to good recording practice". English Heritage. 2006
- [Eng06a] English Heritage. "Understanding Historic Buildings - A guide to good recording practice – illustrated examples". English Heritage. 2006
- [Eng07] English Heritage. 3D Laser Scanning for Heritage. English Heritage. 2007
- [Eng98] English Heritage. The presentation of historic building survey in CAD - part 1. English Heritage. 1998. 16p. ISBN-0927 7900
- [Eng98a] English Heritage. The presentation of historic building survey in CAD - part 2. English Heritage. 1998. 12p. ISBN-0927 7900
- [Eur98] EuroLaserAcademy: Handbook of the EuroLaser Academy" Vol 1. Londres: D. Schuocker (ed.), Chapman&Hall, 1998. 430p. ISBN-041282590
- [FAF*10] FASSI, F, ACHILLE, C., FUGONESE, L., MONTI, C.: "Multiple Data Source For Survey And Modeling Of Very Complex Architecture" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I.
- [Fan04] FANGI, Gabriele.: "Block Bundle Adjustment for Theodolite Stations In Control Networks - The Case of The Guggenheim Museum In Bilbao" in proceedings of XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 372-376
- [Fan05] FANGI, Gabriele: "The Creation of The 3D Solid Model by Laser Scanning: The Old Sacristy by Brunelleschi in Florence" in Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Mestre-Venice, Italy, 22-24 August, 2005 VOLUME XXXVI, PART 5/W17. Editors: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo. ISSN 1682-1777
- [Fan07] FANGI, Gabriele: "The multi-image spherical panoramas as a tool for architectural survey" in Proceedings of the XXIst International CIPA Symposium, 01-06 October 2007, Athens, Greece
- [Fan09] FANGI, Gabriele: "Further Developments of the Spherical Photogrammetry for Cultural Heritage". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [Fan10] FANGI, Gabriele: "Multiscale Multiresolution Spherical Photogrammetry With Long Focal Lenses For Architectural Surveys" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I.
- [FCS*10] FURUKAWA, Yasutaka; CURLESS, Brian; SEITZ, Steven; SZELISKI, Richard: "Towards Internet-scale Multi-view Stereo". IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2010). pp. 1434-1441
- [FCS*10a] FURUKAWA, Yasutaka; CURLESS, Brian; SEITZ, Steven; SZELISKI, Richard: "Clustering Views for Multi-View Stereo" . (software on-line: <http://grail.cs.washington.edu/software/cmvs>)
- [Fei89] FEIFFER, Cesare: Il progetto di conservazione. Milão: Franco Angeli Libri s.r.l., 1989. 595p. ISBN 88-204-3055-X
- [Fer03] FERREIRA, Mário: Óptica e Fotónica. Lisboa: Lidel, 2003. 438p. ISBN 972-757-288-X

- [FFG*01] FANGI, Gabriele, FIORI, Federica, GAGLIARDINI, Gianluca, MALINVERNI, Eva Savina: "Fast and Accurate Close Range 3D Modelling by Laser Scanning System". In proceedings do XVIII CIPA Symposium - Postdam, Germany - 18 -21 September 2001
- [FFG09] FARENZENA, M., FUSIELLO, A., GHERARDI, R.: "Structure and Motion pipeline on a hierchical cluster tree" Proc. of IEEE 3DIM Conference, Kyoto, Japan. 2009
- [FM08] FROHLICH, C.; METTENLEITER, M.: "Terrestrial Laser Scanning – New perspectives in 3D surveying", International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI - 8/W2, 2008
- [FN99] FANGI, G., NARDINOCCHI, C.: "Experiences of Laser Autoscanning for Architecture: the Domus Aurea in Rome and The San Giovanni's Baptistery in Florence" in proceedings of XVII CIPA Symposium - Olinda, Brazil - 3 - 6 October 1999
- [FP04] FIANI M., PISTILLO, P.: "A Low-coast Mms Integrating Gps, Digital Compass and A Camera To the Direct Georeferencing of Digital Images" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 747-752. 2004
- [FP09] FURUKAWA, Yasutaka; PONCE, Jean: "Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis". IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI 2009), volume: 32, issue: 8. pp. 1362-1376
- [FPF*07] FERNANDEZ-M. J.J., PEREZ-MONEO J.D., FINAT J., MARTINEZ J.: "Evaluation Of Structural Damages From 3D Laser Scans, Sanjose Jesus I.". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [Fra05] FRASER C.S.: "Network orientation models for image-based 3D measurement" in Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Mestre-Venice, Italy, 22-24 August, 2005 VOLUME XXXVI, PART 5/W17. Editors: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo. ISSN 1682-1777
- [FS02] FERREIRA, Luís; SANTOS, João: Programação em AutoCAD. Lisboa: Lidel, 2002. 548p. ISBN 972-722-208-0
- [FS05] FIANI M., SIANI N.: "Comparison of terrestrial laser scanners in production of DEMs for Cetara Tower". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [Get07] The Getty Conservation Institute: Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places - Illustrated Examples. The Getty Conservation Institute (Rand Eppich, Amel Chabbi, editors) ISBN 978-0-89236-946-1 (pbk.)
- [Ghi10] GHILANI, Charles D.: Adjustment computations – spatial data analysis. 5ª edição. New Jersey: Wiley, 2010. 647p. ISBN 978-0-470-46491-5
- [GHP*04] GONZO L., El-Hakim S., Picard M., Girardi S., Whiting E.: "Photo-realistic 3-d Reconstruction of Castles With multiple- Sources Image-based Techniques". In proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 120-125. 2004
- [GKK*04] GRAMMATIKOPOULOS L., KALISPERAKIS I., KARRAS G., KOKKINOS T., PETSA E.: "On automatic orthoprojection and texture-mapping of 3d surface models" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp.360-365

- [GLD*08] P. Grussenmeyer, T. Landes, T. Voegtle, K. Ringle: "Comparison Methods of Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry and Tacheometry Data for Recording of Cultural Heritage Buildings" in XXIst ISPRS Congress: 3-11 Jul 2008 Beijing, CHINA, Vol. XXXVII, part B5, ISSN 1682-1750, pp. 213-218
- [GMS08] GONÇALVES, José A.; MADEIRA Sérgio; SOUSA J. João: Topografia - Conceitos e aplicações. Lisboa: Lidel, 2008. 344p. ISBN 978-972-757-485-8
- [GPP05] GUARNIERI, A., PIROTTI, F., PONTIN. M., VETTORE, A.: "Combined 3d surveying techniques for structural analysis applications" in Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Mestre-Venice, Italy, 22-24 August, 2005 , VOLUME XXXVI, PART 5/W17. ISSN 1682-1777
- [GR11] GUIDI, G., RUSSO, M.: "Diachronic 3D Reconstruction for Lost Cultural Heritage" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [GTG*11] GHERARDI, R., TOLDO, R., GARRO, V., FUSIELLO, A.: "Automatic Camera Orientation and Structure Recovery with SAMANTHA" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [Har89] HARRIS, Edward: Principles of archaeological stratigraphy. 2ª edição. Londres: Academic Press, 1989. 170p. ISBN 0-12-326651-3
- [Hen02] HENRIQUES, Fernando: "The concept of acceptable technology in architectural conservation" in ITAM (Institute of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Sciences of the Czech Republic) ARCCHIP, ARIADNE workshop 12. Prague, Czech Republic: Academy of Sciences, 2002.
- [Hen91] HENRIQUES, Fernando: A conservação do património histórico edificado – Memória nº 775. Lisboa: LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil), 1991. 36p. ISSN 0369-1179
- [Heu01] HEUVEL, F. A. VAN DEN: "Reconstruction from a single architectural image from the Meydenbauer archives". In proceedings do XVIII CIPA Symposium - Postdam, Germany - 18 -21 September 2001
- [HL09] HERITAGE, George L.; LARGE, Andrew R. G. (editores): Laser Scanning for the environmental sciences. West Sussex: Wiley-Blackwell, 2009. 278p. ISBN 978-1-4051-5717-9
- [HCC02] HEYWOOD, Ian; CORNELIUS, Sarah; CARVER, Steve: An introduction to geographical information systems. 2ª edição. Edimburgo: Pearson Prentice Hall, 2002. 295p. ISBN 0-13-061198-0
- [HWG*05] EL-HAKIM, Sabry; WHITING, E.; GONZO, L.; GIRARDI, S.: "3-D Reconstruction of Complex Architectures From Multiple Data". in Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Mestre-Venice, Italy, 22-24 August, 2005 VOLUME XXXVI, PART 5/W17. Editors: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo. ISSN 1682-1777
- [HWM05] HEMMLEB, M., WERITZ, F., MAIERHOFER, Ch.: "Damage Detection on Building Surfaces With Multi-Spectral Techniques". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005

- [HWS*06] HEMMLEB, M., WERITZ, F., SCHIEMENZ, A., GROTE, A., MAIERHOFER, C.: "Multi-Spectral Data Acquisition and Processing Techniques for Damage Detection on Building Surfaces" in Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' Dresden, Germany, 25-27 September 2006, VOLUME XXXVI, PART 5. Editors: H.-G. Maas, D. Schneider. ISSN 1682-1750
- [Ico90] Icomos: Guide to recording historic buildings. Londres: Butterworth Architecture, 1990. 83p. ISBN 0-7506-1210-X
- [II11] ICOMOS, ISPRS: CIPA Heritage Documentation: Best practices and Applications. CIPA (Editors: Efstratios Stylianidis, Petros Patias, Mario Santana Quintero). ISSN 1682-1750
- [IJO*05] IRLES, F.; JIMÉNES, L. M.; OLIVA, M. A.; VELASCO, E.: "Homograf, un programa para la resolución de homografías en AutoCAD v.2002" in Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica. Vol. 9, Nº 2, pp. 3-12, 2005
- [KC04] KUNII, Y., CHIKATSU, H.: "Efficient Line Extraction for Digital Archives of Cultural Heritage using Optical Flow and Trifocal Tensor" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.
- [KKP06] KŘEMEN, Tomáš, KOSKA, Bronislav e POSPÍŠIL, Jiří: "Verification of Laser Scanning Systems Quality" in Proceedings of the XXIII international FIG Congress, 8-13 Out 2006, Munique Alemanha
- [KNV04] RINGLE, K., NUTTO, M., VOEGTLE, T., PFANNERB, M., MAISCHBERGERB, M.: "3D Modelling of the Market Gate of Miletus Developed From Photogrammetric Evaluations". In proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp 479-484
- [Kra07] KRAUS, Karl: Photogrammetry – Geometry from Images and laser scans. 2ª edição. Berlim: de Gruyter, 2007. 459p. ISBN 978-3-11-019007-6
- [KYY*09] KARASAKA, L., YAKAR, M., YILDIZ, F., KORUMAZ, A. G., KARASAKA, E.: "3D Modelling and Detail Drawing of Inceminare Medresseh by Digital Photogrammetry and Laser Scanning Method". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [LAF*06] LAHOZ, J. G., AGUILERA, D.G., FINAT, J., MARTÍNEZ, J., FÉRNANDEZ, J. e SAN JOSÉ, J.: "Terrestrial Laser Sscanning Metric Control: Assessment of Metric Accuracy For Cultural Heritage Modeling" in Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' Dresden, Germany,25-27 September 2006, VOLUME XXXVI, PART 5. Editors: H.-G. Maas, D. Schneider. ISSN 1682-1750
- [LB05] LERMA J.L., BIOSCA J.M.: "Segmentation and filtering of laser scanner data for cultural heritage". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [Leb05] LEBLANC, F.: "RecorDIM task group 1 – principles & guidelines for recording, documentation and information management of the built cultural heritage". In proceedings do XX CIPA Symposium - Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [Let01] LETELLIER, Robin: "'Bridging the gap' between the information user and the information provider" in proceedings do XVIII CIPA Symposium - Postdam, Germany - 18 -21 September 2001
- [Let04] LETELLIER, Robin: "Strategic Alliances as seen by ICOMOS and Information users". In proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5. pp.842-859. ISSN 1682-1750
- [Let05] LETELLIER, Robin: "What is RecorDIM?". XX CIPA Symposium - In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005

- [Let07] LETELLIER, Robin: "Recording, Documentation, and Information Management for the Conservation of Heritage Places – Guiding Principles". Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 2007. 174p. ISBN 978-0-89236-925-6
- [LG01] LEBLANC, Francois; GRAY, Christopher: "The Getty Conservation Institute Proposed Partnership with ICOMOS-CIPA for Recording, Documentation and Information Management" in proceedings do XVIII CIPA Symposium - Postdam, Germany - 18 -21 September 2001
- [LGP05] LERMA, J L; GARCÍA, A; PÉREZ, C: "3D Reconstruction and Modelling of Architectural Domes". XX CIPA Symposium - In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [LGV*07] LANDES T., GRUSSENMEYER P., VOEGTLE T., RINGLE K.: "Combination of Terrestrial Recording Techniques For 3D Object Modelling Regarding Topographic Constraints. Example of the Castle of Haut-Andlau, Alsace, France". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [Lin06] LINDER, Wilfried: Digital Photogrammetry – a practical course. 2ª edição. Nova Iorque: Springer, 2006. 209p. ISBN 3-540-29152-0
- [Lit04] LICHTI, Derek D., A Resolution Measure for Terrestrial Laser Scanners in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 216-221
- [LKC04] LILLESAND, Thomas; KIEFER, Ralph; CHIPMAN, Jonathan: Remote sensing and image interpretation. 5ª edição. New Jersey: Wiley, 2004. 763p. ISBN 0-471-15227-7
- [Low04] LOWE, D. G. "Distinctive image features from scale-invariant keypoints". International Journal of Computer Vision, November 2004
- [LRK*06] LUHMANN, Thomas; ROBSON, Stuart; KYLE, Stephen; et al: Close range photogrammetry – principles, methods and applications. Dunbeath: Whittles publishing, 2006. 510p. ISBN 1-870325-50-8
- [LT04] LUHMANN, Thomas; TECKLENBURG, Werner: "3-D object reconstruction from multiple-station panorama imagery" in Proceedings of the ISPRS working group V/1'Panoramic Photogrammetry Workshop', Dresden,Germany 19-22 February 2004, ISSN 1682-1750
- [MD05] MAESTRI, Diego; DOCCI, Mario: Manuale di rilevamento architettonico e urbano. 8ª edição. Roma: Editori Laterza, 2005. 343p. ISBN 88-420-4341-9
- [Mar90] MARINO, Luigi: Il rilievo per il restauro. Milão: Hoepli, 1990. 279p. ISBN 88-203-1840-7
- [MAR01] MARTÍN, Juan José; ALONSO, Jesús; RUBIO, José: "La fotogrametría arquitectónica como técnica de documentación y análisis del patrimonio" in Patrimonio histórico de Castilla y León. Año II, Nº 7. Ed. Fundación del patrimonio de castilla y León, 2001. pp 23-34
- [Mat07a] MATEUS, Luís: "Rectificação de desenho vectorial", Novas perspectivas em Sistemas e Tecnologias de Informação (em CD). Porto: edições Universidade Fernando Pessoa, 2007. ISBN 978-972-8830-88-5
- [Mat07b] MATEUS, Luís: "Método de fotogrametría elemental implementado com rotinas em Autolisp", in Cadproject Nº 31. Lisboa: 2007. pp.48-50
- [Mat07c] MATEUS, Luís: "Método práctico para levantamento de fachadas de Arquitectura", in Artitextos Nº 4. Lisboa: Centro Editorial da Faculdade de Arquitectura da UTL, 2007. pp.143-150. ISBN 972-97354-4-1

- [Mat08] MATEUS, Luís: "Evaluating a low cost photogrammetry method with 3D laser scanning", in proceedings of the 3rd International Conference of Geodesy, Cartography, Navigation and Geoinformatics – GEOS 2008 (CD). Praga: Milan Talich (ed), 2008. pp.317-326. ISBN 978-80-85881-29-5
- [MB06] MILLS, J.; BARBER D.: An addendum to the metric survey specifications for English heritage – The collection and archiving of point cloud data obtained by terrestrial laser scanning or other methods, English Heritage, 2006
- [MBM01] MIKHAIL, Edward; BETHEL, James; McGLONE, J.: Introduction to modern photogrammetry. EUA: John Wiley & Sons, 2001. 479p. ISBN 0-471-30924-9
- [MCK*09] MORIMOTO, T., CHIBA, M., KATAYAMA, Y., IKEUCHI, K.: "Multispectral Image Analysis for Bas-relief at the Inner Gallery of Bayon Temple". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [MD05] MAESTRI, Diego; DOCCI, Mario: Manuale di rilevamento architettonico e urbano. 8ª edição. Roma: Editori Laterza, 2005. 343p. ISBN 88-420-4341-9
- [Mes83] MESERVE, Bruce: Fundamental concepts of geometry. Nova Iorque: Dover, 1983. 321p. ISBN 0-486-63415-9
- [MFA*08] MATEUS, Luís; FONTES, Luís; AGUIAR, José; et al. "A report on multiple approaches to the S. Frutuoso of Montélios Chapel survey" in Proceedings of the 9th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage – VAST 2008. Braga: Michael Ashley, Sorin Hermon, Alberto Proença, Karina Echavarria (eds), 2008. p.51-55. ISBN 978-972-99166-7-0
- [MJM*05] FERNÁNDEZ-MARTIN J.J., SANJOSÉ J.I., MARTÍNEZ J., FINAT J.: "Multiresolution surveying of complex façades: a comparative analysis between digital photogrammetry and 3D laser scanning". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [MMR*10] MATEUS Luís, MARTÍN Juan José, RÚBIO José Martínez, ALONSO Jesús.: "Laser Scanning 3D: Nuvens de pontos como Documentação Primária do Património - O caso do Castelo de Mota del Marqués em Valladolid" in Linha do Horizonte, Nº 1, Lisbon, 2010. FAUTL/CIUAD. 124-133. ISBN 978-972-9346-13-2
- [Mor10] MORAIS, Ricardo: "Scientific method". In Encyclopedia of Case Study Research. EUA, Thousand Oaks California: Sage Publications, Vol. 2, pp. 840-842. ISBN 978-1412956703
- [MSS10] MEIERHOLD, N., SPEHR, M., SCHILLING, A., GUMBOLD, S., MAAS, H-G.: "Automatic Feature Matching Between Digital Images And 2d Representations Of A 3d Laser Scanner Point Cloud" in Proceedings of the ISPRS Commission V Mid-Term Symposium 'Close Range Image Measurement Techniques', Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 21-24 June 2010, ISSN 1682-1777, Vol XXXVIII, Part 5. Editors: Mills, J. P., Barber, D. M., Miller, P.E. and Newton, I.
- [NC059] NICKERSON, S., CHAPIRO. A.: "Asrix: A simple Digital Image Rectifier". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [NDS*05] NEUBAUER W., DONEUS M., STUDNICKA N., RIEGL J.: "Combined high resolution laser scanning and photogrammetrical documentation of the pyramids at Giza". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [NF09] NEX, F., RINAUDO, F.: "Digital Photogrammetry and Lidar: New Ideas for Cultural Heritage Metric Surveys". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [Nie05] NIELSEN, Frank: Visual computing – geometry, graphics and vision. Massachusetts: Charles River Media Inc., 2005. 560p. ISBN 1-58450-427-7
- [Nps04] National Park Service: Recording Historic Structures. 2ª edição. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 306p. ISBN 0-471-2738-5

- [OF04] OTEPKA, J.O., FRASER, C.S.: "Accuracy Enhancement of Vision Metrology Through Automatic Target Plane Determination" in Proceedings of Commission V, Geo-Imagery Bridging Continents, in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.. pp. 873-879. ISSN 1682-1750
- [Pal09] PALMER, Robert (director da publicação): Guidance on inventory and documentation of the cultural heritage. Publicação do Conselho da Europa, 2009. 135p. ISBN 978-92-871-6557-2
- [Pat04] PATIAS, Petros: "35 Years of CIPA". In proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5. pp. 834-838. ISSN 1682-1750
- [PB07] PFEIFER, Norbert; BRIESE, Christian: "Laser scanning - principles and applications" in III international Scientific Conference, Geo Sibir, Nowosibirsk, 25-27 Abril, 2007 pp. 93-112. ISBN 978-5-87693-229-7
- [PCN11] PÉREZ, A., CACHERO, R., NAVARRO, S., JORDÁ, F., LÓPEZ, D., LERMA, J.L., MARTOS, A.: "Digital Reconstruction of The Church of San Ildefonso at Zamora (Spain) Using Orthorectification" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [Per03] PEREIRA, António: "Para uma terminologia da disciplina de protecção do património construído" in Jornal dos Arquitectos, nº 213, Nov/Dez 2003, pp.27-32
- [PGK*07] PETSAS E., GRAMMATIKOPOULOS L., KALISPERAKIS I., KARRAS G., PAGOUNIS V.: "Laser Scanning and Automatic Multi-Image Texturing of Surface Projections". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [PLM04] POTTSMANN, Helmut, LEOPOLDSIEDER, Stefan, HOFER, Michael: "Registration without ICP". Journal Computer Vision and Image Understanding Volume 95 Issue 1, July 2004 Elsevier Science Inc. New York, NY, USA. 18p.
- [PMH*07] PIRES H., MARQUES P., HENRIQUES F., OLIVEIRA R.: "Integrating Laser Scanning, Multispectral Imagery and GIS In C&R Documentation Practices: A First Approach Using two XVITH Century Wood Paintings from Convento De Cristo In Tomar". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [PSG07] POTUCKOVA M., STEFANOVA E., GRIL S.: "Photogrammetric Documentation of the Vaults of Historical Monuments". XXI CIPA Symposium - Athens, GREECE - 1 October - 6 October 2007
- [PV08] PESTANA, Duarte; VELOSA, Sílvia: Introdução à probabilidade e à estatística. Vol. I. 3ª edição. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2008. 1164p. ISBN 978-972-31-1248-1
- [PB07] PFEIFER, Norbert; BRIESE, Christian: "Laser scanning – principles and applications" in: "/// International Scientific Conference", Geo-Sibir, Nowosibirsk, 25-27 Abril 2007. pp 93 - 112. ISBN: 978-5-87693-229-7
- [QBE08] SANTANA-QUINTERO, M et al.: "Heritage documentation for conservation: partnership in learning" In: 16th ICOMOS General Assembly and International Symposium: 'Finding the spirit of place – between the tangible and the intangible', 29 sept – 4 oct 2008, Quebec, Canada.
- [QV09] SANTANA QUINTERO, M., VAN BALEN, K.: "Rapid and Cost-effective Assessment for World Heritage Nominations". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [Rat03a] RATO, Vasco: "Conservação do Património Histórico Edificado – Sistematização de Princípios Gerais". Comunicação no 3º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, 3º ENCORE. Lisboa: LNEC, Maio de 2003

- [Rat03b] RATO, V. M. – O Projecto em Intervenções de Conservação do Património Histórico Edificado. Comunicação ao 1º Encontro Nacional sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, PATORREB 2003. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003. Ed. Vasco Peixoto de Freitas e Vítor Abrantes
- [RBJ*11] RIZZI, A., BARATTI, G., JIMENEZ, B., GIRARDI, S., REMONDINO, F.: "3D Recording for 2D Delivering - The Employment of 3D Models for Studies and Analyses" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [RC06] RIPPERDA, Nora, BRENNER, Claus: "Marker-free registration of terrestrial laser scans using the normal distribution function" in Proceedings of the ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' Dresden, Germany, 25-27 September 2006, VOLUME XXXVI, PART 5, Editors: H.-G. Maas, D. Schneider, ISSN 1682-1750
- [Rem06] REMONDINO, Fabio: Image-based modelling for object and human reconstruction. Tese de doutoramento. Swiss Federal Institute of Technology (ETH) – Zurich. 2006. 174p.
- [RGV*09] REMONDINO, F., GRUEN, A., VON SCHWERIN, J., EISENBEISS, H., RIZZI, A., GIRARDI, S., SAUERBIER, M., RICHARDS-RISSETTO, H.: "Multi-sensor 3D Documentation of the Maya Site of Copan". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [Ric01] RICS: Terms and Conditions of Contract for Land Surveying Services. RICS books. 16p. ISBN 1-84219012-1
- [RLA*05] MARTÍNEZ RUBIO J., GÓMEZ LAHOZ J., GONZÁLEZ AGUILERA D., FINAT CODES J.: "IMAP3D: low-cost photogrammetry for cultural heritage". In proceedings do XX CIPA Symposium - Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [RM08] REMONDINO, Fabio; MENN, Fabio: "Image-Based Surface Measurement for Close-Range Heritage Documentation" in XXIst ISPRS Congress: 3-11 Jul 2008 Beijing, CHINA, Vol. XXXVII, part B5, ISSN 1682-1750, pp. 193-198
- [RR09] REMONDINO, F., RIZZI, A.: "Reality-Based 3D Documentation of World Heritage Sites: Methodologies, Problems, and Examples". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [RRF11] RONCELLA, R., RE, C., FORLANI, G.: "Performance Evaluation of a Structure and Motion Strategy in Architecture and Cultural Heritage" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [RSU03] RIEGL J., STUDNICKA N., ULLRICH A.: "Merging and processing of laser scan data and high-resolution digital images acquired with a hybrid 3D laser sensor" in Proceedings do XIX CIPA Symposium - Antalya, Turkey - 30 September - 4 October 2003
- [RT05] ROMEO, .T, TUCCI, G.: "Integrated Survey Techniques for the Study and the Restoration of the Archeological Heritage". XX CIPA Symposium - In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [San05] SANTAGATI, C.: "3D Laser Scanner Aimed to Architectural Heritage Survey: From The Point's Cloud to The Geometrical Genesis Determination" in Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Mestre-Venice, Italy, 22-24 August, 2005 VOLUME XXXVI, PART 5/W17. Editors: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo. ISSN 1682-1777

- [SBN*11] STEFANI, C., BUSAYARAT C., RENAUDIN, N., DE LUCA, L., VÉRON, P., FLORENZANO, M.: "An Image-based Approach For The Architectural Modeling of Past States" in Proceedings of the 4th ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2011: "3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures" Trento, Italy, 2-4 March 2011. Editors: Fabio Remondino, Sabry El-Hakim
- [Sgr05] SGRENZAROLI M.: "Cultural heritage 3D reconstruction using high resolution laser scanner: new frontiers data processing". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [SH99] STREILEIN, A., VAN DEN HEUVEL F. A.: "Potential and limitation for the 3D documentation of cultural heritage from a single image " in Proceedings of XVII CIPA Symposium - Olinda, Brazil - 3 - 6 October 1999
- [Sil04] SILFVAST, William T.: Laser fundamentals. 2ª edição. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 642p. ISBN: 978-0-521-54105-3
- [SJM*04] SIK , Jang Ho, JONG, Lee C., MYUNG, Kim S., Kang In J., Kim Cha K.: "Construction of National cultural heritage management system using helicopter photographic surveying system" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 473-478
- [SM04] SCHNEIDER, D., MAAS, H.-G.: "Development and Application of an Extended Geometric Model For High Resolution Panoramic Cameras" in Proceedings of the ISPRS working group V/1 'Panoramic Photogrammetry Workshop', Dresden, Germany, 19-22 February 2004 VOLUME XXXIV, PART 5/W16. ISSN 1682-1750
- [Sna08] SNAVELY, Noha: Scene Reconstruction from Internet Photo Collections. Doctoral thesis, University of Washington, 2008
- [Sna10] SNAVELY, Noah: Bundler: Structure from Motion (SfM) for Unordered Image Collections. 2010 (<http://phototour.cs.washington.edu/bundler/>)
- [SSS06] SNAVELY, Noah; SEITZ, Steven; SZELISKI, Richard: "Photo Tourism: Exploring image collections in 3D". ACM Transactions on Graphics, proceedings of SIGGRAPH 2006 Volume 25 Issue 3. pp. 835-846
- [ST09] SHAN, Jie; TOTH, Charles K.: Topographic laser ranging and scanning – principles and processing. New York: CRC Press, 2009. 590p. ISBN 978-1-4200-5142-1
- [Sus09] SUSAKI, J.: "Modelling of Building from Terrestrial Laser Scanning Considering Topology for Occlusion". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [TB04] TUCCI, G., BONORA, V.: "From the acquisition to the representation: quality evaluation of a close range model" in proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.
- [Tsa87] TSAI, R.Y.: "A versatile calibration technique for high-accuracy 3D machine vision using Off-the-Self TV Cameras and Lenses". IEEE journal of robotics and automation 3, Nº 4, 1987 pp. 323-344
- [VM10] VOSSELMAN, George; MAAS Hans-Gerd (editores): Airborne and terrestrial laserscanning. Dunbeath: CRC Press, 2010. 318p. ISBN 978-1-4398-2798-7
- [VT04] VALANIS, A., TSAKIRI, M.: "Automatic Target Identification for Laser Scanners". In proceedings do XXth ISPRS Congress 12-23 July 2004, Istanbul, Proceedings of Commission V, "Geo-Imagery Bridging Continents", Vol. XXXV, part B5.pp. 1-6
- [WAC*11] WU, Changchang; AGARWAL, Sameer; CURLESS, Brian; SEITZ, Steven: "Multicore Bundle Adjustment". IEEE Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2011

- [WDY09] WU, C., DI, Y.J.: "Approach to Standardization System of Architectural Heritage Documentation in China". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009
- [WMT03] WIEDEMANN A., MOREÉ J.,TAUCH R.: "ARCHIMEDES3D - an integrated system for the generation of architectural orthoimages". In proceedings do XIX CIPA Symposium - Antalya, Turkey - 30 September - 4 October 2003.
- [Wu07] WU, Changchang: "SIFTGPU: A Implementation of Scale Invariant Feature Transform (SIFT)". (online <http://cs.unc.edu/~ccwu/siftgpu>). 2007
- [Wu11] WU, Changchang: "Visual Structure From Motion". (software on-line: <http://www.cs.washington.edu/homes/ccwu/vsfm/>). 2011
- [WW99] WEHR, Aloys, WIEDEMANN, Albert: "Fusion of photogrammetric and laser scan data" in Proceedings of XVII CIPA Symposium - Olinda, Brazil - 3 - 6 October 1999
- [YC05] YOKOYAMA, H., CHIKATSU, H.: "3d modeling of structures using break-lines and corners in 3d point cloud data" in Proceedings of the ISPRS Working Group V/4 Workshop 3D-ARCH 2005: "Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures". Mestre-Venice, Italy, 22-24 August, 2005. Editors: Sabry El-Hakim, Fabio Remondino, Lorenzo Gonzo. ISSN 1682-1777
- [YY05] YAKAR, M., YILDIZ, F.: "Digital photogrammetric methods in documentation of cultural heritages and Beysehir example". In proceedings do XX CIPA Symposium -Turin, ITALY - 26 September - 1 October 2005
- [ZZH*09] ZHANG, Z., ZHANG, F., HUANG, X., LI, D., ZHU, Y., LI, P.: "Laser Echo Intensity Based Texture Mapping of 3D Scan Mesh". XXII CIPA Symposium - Kyoto, JAPAN - 11 October - 15 October 2009