

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 II

(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

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO AO VOLUME II	5
A.1 LEVANTAMENTO DA FACHADA PRINCIPAL DA IGREJA MATRIZ DE SÃO JOÃO DA TALHA, LOURES.....	11
A.2 LEVANTAMENTO DA FACHADA PRINCIPAL E PERÍMETRO DA IGREJA MATRIZ DE SANTA IRIA DE AZÓIA, LOURES	37
A.3 LEVANTAMENTO DO MURO DO HOSPITAL ST. LOUIS, LISBOA.....	71
A.4 LEVANTAMENTO DAS FACHADAS DOS QUARTEIRÕES DO TERREIRO DO PAÇO, LISBOA.....	95
A.5 LEVANTAMENTO DO CHAFARIZ DOS CANOS, TORRES VEDRAS	139
A.6 RESTITUIÇÃO GRÁFICA DO LEVANTAMENTO DE EDIFÍCIO DO SÉCULO XIX NA RUA DO SOL, LISBOA	185
A.7 LEVANTAMENTO DO PALÁCIO DE VALFLORES, LOURES	217
A.8 LEVANTAMENTO DOS PAÇOS DO INFANTE E PÁTIO DOS CARRASCOS, CONVENTO DE CRISTO, TOMAR	259
A.9 LEVANTAMENTO DO EXTERIOR DA NAVE MANUELINA, CONVENTO DE CRISTO, TOMAR	325
A.10 LEVANTAMENTO DO ARCO DA RUA AUGUSTA, LISBOA	395

Introdução ao volume II

Neste volume é apresentada uma selecção de 10 casos de estudo que foram o suporte prático da elaboração da nossa tese. Trata-se dos casos que considerámos mais representativos do tipo de questões abordadas e que mais contribuíram para dar resposta às nossas questões de investigação.

Este volume deverá ser lido após os três primeiros capítulos do volume I e antes dos capítulos seguintes. Nesses três primeiros capítulos encontram-se os alicerces teóricos que permitem a compreensão das descrições aqui feitas. Fez-se a opção de não voltar a explicar conceitos. Considera-se que foram apropriados na leitura do volume I. De modo idêntico, tratando-se de casos práticos, não se fazem neste volume referências à bibliografia.

Os quatro primeiros casos de estudo referem-se à aplicação de metodologias fotogramétricas expeditas. Nos dois primeiros, com o levantamento das fachadas das igrejas de São João e de Santa Iria, no concelho de Loures, testam-se ferramentas informáticas fotogramétricas por nós desenvolvidas e apontam-se possíveis cenários da sua utilização. O que vem a ocorrer no terceiro e quarto casos de estudo. No terceiro caso de estudo, o levantamento do muro do Hospital de Saint Louis em Liboa foi levado a cabo utilizando a nossa ferramenta informática. No quarto caso de estudo, com o levantamento das fachadas do Terreiro do Paço, no âmbito da elaboração do projecto de adaptação dos pisos térreos e torreões e recuperação das fachadas dos edifícios do Terreiro do Paço, em que a Faculdade de Arquitectura da UTL (FAUTL) participou como consultora do Atelier 15 (coordenado pelos arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández), demonstrou-se como a adopção de uma metodologia fotogramétrica expedita, no correcto balanço de uma relação custo/benefício, pode ser perfeitamente adequada à produção de documentação base em projecto. Foi também oportunidade para aplicar a nossa ferramenta informática num contexto de aplicação original ao processo da rectificação de imagens.

O quinto caso de estudo, o levantamento do Chafariz dos Canos realizado ao abrigo de protocolo entre a FAUTL e a Câmara Municipal de Torres Vedras, e em parceria com a empresa Nova Conservação (dirigida pelo conservador restaurador Nuno Proença), permitiu-nos compreender o fluxo de trabalho do levantamento fotogramétrico por fotogrametria de convergência. Tivemos a oportunidade de acompanhar e participar no desenvolvimento dos trabalhos da Nova Conservação para além da produção da documentação base, o que nos permitiu validar os processos e a metodologia seguida do ponto de vista da produção de documentação

para conservação, bem como compreender com maior profundidade, e na prática, as formas de utilização da documentação nos processos de análise do edificado. Desenvolvimentos posteriores permitiram ainda testar a recentíssima algoritmia fotogramétrica automática e apontar no sentido da sua validação quer em termos das qualidades semânticas dos seus resultados como em termos das suas qualidades métricas.

O sexto caso de estudo, com a restituição gráfica do levantamento por varrimento laser 3D terrestre (VL3DT) de um edifício corrente do século XX, marcou o nosso primeiro contacto prático com esta metodologia. O trabalho foi desenvolvido em parceria com a empresa 3D Total e tinha por objectivo a produção da documentação base para o projecto de reabilitação do imóvel a realizar pelo atelier do arquitecto João Luís Carrilho da Graça. Neste caso pretendemos efectuar uma primeira análise das qualidades das imagens resultantes do levantamento por VL3DT, procurando identificar pontos fortes e fracos deste tipo de imagens, e procurando começar a estabelecer o fluxo de trabalho que nos leva do levantamento à produção da documentação.

Os restantes casos de estudo centram-se sobretudo no VL3DT e têm por objectivo central o estabelecimento da metodologia que é o cerne da nossa investigação, ao mesmo tempo que visam identificar potenciais aplicações originais da fotogrametria e do VL3DT.

O sétimo caso de estudo, o levantamento do palácio de Valflores, no concelho de Loures, consubstanciou-se como uma abordagem exploratória às possibilidades do VL3DT como suporte de inquirições variadas ao objecto arquitectónico, desde as suas qualidades geométricas, icónicas, e do estado de conservação. Em primeira intenção, que ainda se mantém válida após conclusão da presente tese, dado não se ter atingido este objectivo, pretende-se a produção de documentação base para o seu projecto de restauro e reabilitação. Nota-se como factor de interesse relativamente a este caso, o nosso envolvimento com a associação local de defesa do património, a ADPAC (Associação de Defesa do Património Cultural de Santa Iria de Azóia). Esta associação tem desenvolvido um trabalho assinalável no sentido do conhecimento e preservação do património da freguesia de Santa Iria de Azóia e possui sobre este um acervo de informação considerável.

O oitavo e nono casos de estudo correspondem a um conjunto de acções de levantamento, em contextos variados, que efectuámos no Convento de Cristo, em Tomar.

Produzimos a documentação base para o projecto da nova cafetaria do Convento de Cristo e pudemos constatar que a interligação entre o VL3DT e o BIM (Building Information Model) é uma questão premente.

Efectuámos o levantamento dos Paços do Infante e pudemos comparar as qualidades do levantamento por VL3DT com as qualidades do levantamento topográfico clássico. Efectuámos o levantamento do exterior da nave manuelina por VL3DT no âmbito de uma acção de conservação experimental realizada pela empresa Insittu. Pudemos constatar as vantagens e as limitações do VL3DT e pudemos aperceber-nos de formas de ultrapassar essas limitações. Pudemos discorrer sobre a utilização de imagens resultantes do processo de VL3DT como suporte de análises construtivas e do estado de conservação. Pudemos experimentar a aplicação das técnicas de processamento de imagem, próprias das ciências de informação geográfica, no âmbito da aplicação a imagens de reflectância de VL3DT. Validámos os procedimentos fotogramétricos automáticos do ponto de vista métrico e semântico para a produção de documentação conservação. Apercebemo-nos do potencial do varrimento laser para além da simples definição geométrica dos objectos, e do potencial de complementaridade da fotografia aérea de baixa altitude, através do processamento fotogramétrico automático, e o VL3DT.

Com o décimo caso de estudo, o último, relativo ao levantamento do Arco da Rua Augusta, conduzido no âmbito do projecto de conservação elaborado pelo Atelier 15, e em que a FAUTL participou como entidade consultora, chegámos a um nível de maturidade do ponto de vista da metodologia do levantamento por VL3DT. Pudemos também explorar o potencial de dispor de informação tridimensional no sentido de proceder a um controlo mais eficiente das acções do projecto, em particular no processo de medições e no processo de análise e compreensão da tectónica e materialidade do objecto.

Do ponto de vista estratégico, as várias experiências que realizámos têm sempre dois grandes objectivos, que vão ao encontro dos objectivos da tese. Por um lado há o contributo metodológico que se pretende como consequência da investigação, e por outro lado há o objectivo da identificação de potenciais aplicações inovadoras das técnicas e métodos explorados.

O instrumento de análise de cada caso de estudo consistiu no preenchimento de uma ficha que se divide em quatro grandes partes: i) projecto da documentação gráfica descritiva (planeamento), ii) produção da documentação gráfica descritiva (execução), iii) análise crítica, e iv) conclusões.

As duas primeiras partes da ficha têm objectivos sobretudo descritivos. Isto é, visam a descrição dos processos. E são o cerne do estabelecimento dos termos da metodologia que se pretende obter com a tese.

A terceira parte também pode conter aspectos descritivos mas o seu preenchimento é mais livre. Em primeiro lugar efectua-se uma análise sumária dos procedimentos descritos nas duas primeiras partes. De seguida, e sempre que dispomos de informação para o efeito, procedemos a uma análise do modo como a documentação que produzimos foi utilizada pelos agentes do projecto ou da conservação, o que visa a validação dos nossos procedimentos bem como a identificação de outras potenciais utilizações dos métodos que adoptámos. Para esta análise foi de primordial importância o *feed-back* dado pelos vários agentes com que contactámos. Entre estes encontram-se arquitectos, arqueólogos, conservadores, restauradores, geólogos, engenheiros. Este deu-se através do nosso acompanhamento dos processos para além da etapa inicial da produção da documentação.

Descrevemos e analisamos experiências ulteriores e formulamos as conclusões das mesmas.

Esta ficha segue de perto os termos dos últimos pontos do capítulo 2 do volume I.

Com o desenvolvimento do processo fomos criando o entendimento de que esta ficha pode constituir o rudimento de um sistema de gestão do processo de produção de documentação gráfica no contexto da conservação.

Embora o item custos apareça nesta ficha, dado ter sido identificado como um aspecto relevante em qualquer processo de documentação e registo, optou-se na maior parte dos casos não dar informação a seu respeito. Uma vez que grande parte das acções foram desenvolvidas em contexto académico, uma informação a esse respeito seria sempre um indicador enviesado.

Um CD acompanha este volume. Neste pode consultar-se toda aquela informação que não fazia sentido ter aqui presente, como sejam listagens exaustivas de dados, a totalidade dos vários desenhos produzidos, ou a descrição exaustiva de algumas operações repetitivas dos processos. O formato de eleição para os elementos apresentados no CD é o Portable Document Format (PDF), embora em casos pontuais, em que se achou justificável, também se tenha utilizado o formato DWF (para visualização dinâmica de desenhos de CAD) ou o formato JPG para visualização de imagens.

Este volume é base para a produção dos capítulos 5 e 6 do volume I da presente tese.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1: Fachada da igreja de São João da Talha, Loures.	18
Figura 1-2: As cinco imagens fotográficas utilizadas no processo.....	23
Figura 1-3: Resumo das medições directas de controlo feitas no local.	23
Figura 1-4: Início do processo de desenho sobre a imagem fotográfica e respectiva rectificação.	24
Figura 1-5: Adição de mais informação ao desenho considerando pontos de controlo adicionais identificados na imagem.	26
Figura 1-6: Nova adição de mais informação ao desenho considerando pontos de controlo adicionais identificados na imagem.	27
Figura 1-7: Nova adição de mais informação ao desenho considerando pontos de controlo adicionais identificados na imagem.	27
Figura 1-8: Controlo do desenho de elementos situados fora do plano principal da rectificação através de projecção naquele plano.	28
Figura 1-9: Aplicação da rectificação aos elementos situados fora do plano principal da rectificação.	29
Figura 1-10: Correção final das dimensões do desenho recorrendo às medições directas efectuadas em campo.....	30
Figura 1-11: Comparação entre as medições directas e as medições homólogas efectuadas sobre o desenho produzido.	31
Figura 1-12: Painel de resumo das operações gráficas.....	33

ÍNDICE

A.1	LEVANTAMENTO DA FACHADA PRINCIPAL DA IGREJA MATRIZ DE SÃO JOÃO DA TALHA, LOURES.....	17
A.1.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	17
A.1.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	17
A.1.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	18
A.1.1.2.1.	OBJECTIVOS.....	18
A.1.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER.....	19
A.1.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	19
A.1.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	20
A.1.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	20
A.1.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	21
A.1.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	22
A.1.2.1.	RECOLHA DE DADOS.....	22
A.1.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	24
A.1.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	32
A.1.3.	ANÁLISE CRÍTICA	33

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

Esta experiência teve como objectivo essencial o teste de uma aplicação informática desenvolvida no âmbito da presente tese. Esta, aplica os princípios da rectificação de imagem à rectificação de desenhos vectoriais, em particular, desenhos lineares elaborados com o software AutoCAD dado que está implementada com a linguagem de programação AutoLISP que aquele interpreta. A escolha deste edifício prendeu-se com as suas características geométricas. A rectificação é um procedimento apenas aplicável a zonas aproximadamente planas. Pretendemos verificar a utilidade do processo para a elaboração de levantamentos expeditos desenhados sobre fotografia. Pretendemos também ter uma medida do rigor que se pode obter com o uso desta ferramenta.

A.1.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.1.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA
--

Identificação e localização do sítio:

- S. João da Talha – Loures.

Entidade contratante:

- Não aplicável.

Entidade contratada:

- Não aplicável.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Teste de aplicação informática de rectificação vectorial, no âmbito do Projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006. A aplicação é descrita no Volume I, no Capítulo 4.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Pretende-se a elaboração de um desenho de alçado da fachada com o nível de detalhe da escala 1/100.

Delimitação da área a documentar:

- Fachada da Igreja de acordo com a figura 1-1.



Figura 1-1: Fachada da igreja de São João da Talha, Loures.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Não relevante.

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Não relevante.

Data:

- Início do processo: Abril de 2007.

A.1.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

A.1.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A presente documentação não se destina a projecto de intervenção.

A.1.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Desenho com o nível de detalhe da escala 1/100. De acordo com o apresentado no volume I na tabela 2-1.

Desempenho métrico:

- Pretende-se verificar se os resultados se podem considerar enquadráveis com as tolerâncias expressas para a escala 1/100 expressa naquele quadro, $\pm 5\text{cm}$.

Apresentação:

- Ficheiro CAD com imagens inseridas em layers diferenciadas.

Causas para a rejeição dos materiais:

- O processo deverá ser revisto e analisado se os resultados ficarem aquém do esperado no que diz respeito ao desempenho métrico.

A.1.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- Não aplicável.

Autorizações de acesso:

- Acesso livre.

Condições de segurança:

- Cuidados a ter com o trânsito se for necessário fotografar a partir da rua.

Condições de acessibilidade:

- Campo visual acessível.
- Por vezes há viaturas estacionadas na rua em frente da igreja o que pode gerar oclusões.
- Existe um poste e uma divisória no passeio oposto à fachada que impedem que se consiga apanhar toda a fachada com uma única imagem.

Retenção dos materiais:

- A reter no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

Impactos admissíveis no objecto:

- Nenhuma restrição ao contacto directo, o que permite efectuar medições com fita métrica.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Não aplicável.

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Direitos de autor – Luís Mateus.
- Direitos de reprodução – livre.

A.1.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA**Entidades produtoras da documentação gráfica:**

- Arquitecto Luís Mateus.

Entidades fiscalizadoras:

- Não aplicável.

A.1.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- Dado o tipo de trabalho a realizar neste caso, toda a estratégia pode ser desenvolvida em campo.
- Dados os objectivos com que se efectua a presente documentação, impõe-se que a recolha dos dados seja feita por fotografia digital.
- Para recolha dos dados de controlo da rectificação utilizar-se-á um par de medidas de controlo, uma altura e uma largura, através de métodos manuais.
- Para recolha dos dados de controlo do desenho final recolher-se-ão medidas adicionais de controlo, neste caso apenas na direcção horizontal, através de medições manuais.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Recolha das imagens: Câmara fotográfica SLR Olympus E-500, sensor de 13x17,3mm, 8Mp de resolução, cartão de memória de 2Gb, com uma objectiva de 14-45mm.
- Recolha das medidas de controlo: Fita métrica de 5m, papel e lapiseira.

Planeamento da recolha dos dados:

- O planeamento operativo far-se-á em campo dada a pouca complexidade da acção a realizar.
- Deve ter-se em consideração que devem ser feitas imagens de enquadramento geral de ângulos opostos e complementares, seguidas de imagens de pormenor, com a garantia de que entre as gerais e as de pormenor existem elementos homólogos fáceis de identificar.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Recolha fotográfica: 1 pessoa.
- Recolha dos dados de controlo: 2 pessoas.
- Tempo: Não previsto.
- Custos: Não aplicável.

A.1.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS**Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:**

- Como o objectivo desta acção é o teste da ferramenta de fotogrametria elementar, na sua componente de rectificação de desenho vectorial, naturalmente que será essa a ferramenta a utilizar para processamento dos dados. A descrição da aplicação é feita no Volume I, no Capítulo 4.
- O processo de validação dos resultados passará pela comparação entre as medições de controlo efectuadas em campo e medições homólogas efectuadas sobre o desenho.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O processamento será efectuado no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004 utilizando a ferramenta referida que consiste num conjunto de funções programadas em AutoLisp.

- Será utilizado hardware standard.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- As imagens serão inseridas no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004, sendo de seguida delineadas manualmente.
- Como a ferramenta a utilizar aplica o princípio da rectificação, requer-se que em cada troço desenhado sobre as imagens se possam identificar 4 pontos ou 4 linhas a servir de referência para as operações de rectificação, que tenham homólogos em outros troços, para que se consiga ir produzindo um desenho que progrida do geral para o particular.
- A forma de organização da informação e apresentação dos materiais finais não é relevante neste caso. Contudo considera-se a produção de um desenho final em formato *.dwg que sintetize o processo.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Recursos humanos: 1 pessoa (Luís Mateus)
- Tempo de execução: 1 semana (Luís Mateus)
- Custos: Não aplicável

A.1.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

A.1.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- A recolha de dados, fotográficos e controlo, teve lugar no dia 11 de Abril de 2007, entre as 13h30m e as 14h.
- A recolha de dados fotográficos foi realizada com a câmara prevista e sem a utilização de tripé.

Descrição dos dados recolhidos:

- Foram recolhidas 9 imagens fotográficas, em formato *.jpg, com a resolução de 3264x2448pixel (8Mp), das quais se utilizaram 5. As imagens utilizadas são as que se apresentam na figura 1-2.

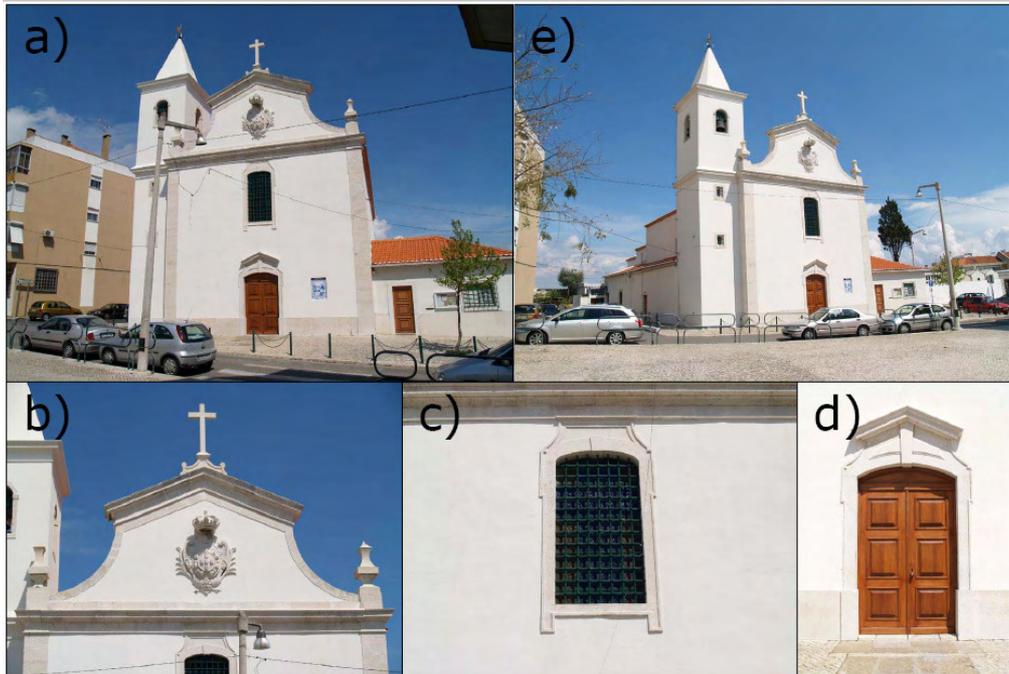


Figura 1-2: As cinco imagens fotográficas utilizadas no processo.

- Como dados de controlo para a rectificação foram tiradas duas medidas, uma altura na porta e a largura entre pilastras da fachada como se ilustra na figura 1-3. Para além destas ainda foram tiradas medidas segundo a direcção horizontal para comparação com o desenho final. Nesta fase apenas se considerou a comparação na direcção horizontal.

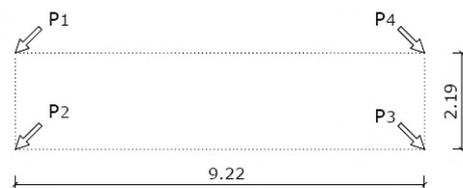


Figura 1-3: Resumo das medições directas de controlo feitas no local.

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar.

A.1.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- Para processamento dos dados foi utilizado um PC portátil com ligação USB para leitura do cartão de memória da câmara fotográfica e o AutoCAD 2004 instalado com a ferramenta de fotogrametria elementar carregada.
- As imagens fotográficas foram inseridas directamente no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004, cada uma em sua layer.
- De seguida procedeu-se à sua delineação. Esta foi feita do geral para o particular procurando a identificação de pontos de controlo adicionais no desenho mais geral para controlo dos demais desenhos realizados sobre outras imagens de pormenor. Para melhor se entender o processo de desenho e rectificação vamos ilustrá-lo através de sete etapas de desenho comentadas.
- Etapa 1.

O desenho começou sobre a imagem que na figura 1-4 se identifica com a letra a).

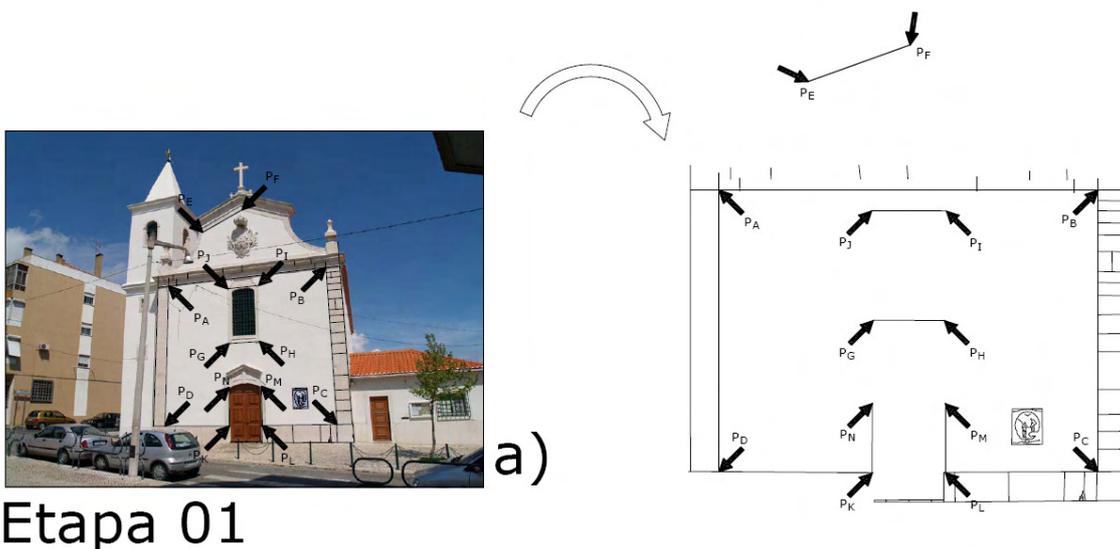


Figura 1-4: Início do processo de desenho sobre a imagem fotográfica e respectiva rectificação.

Nesta imagem procedeu-se a uma delineação geral de modo a identificar um conjunto de pontos de controlo a serem utilizados nas etapas seguintes. A partir do desenho efectuado sobre a imagem, à esquerda na figura, produziu-se o desenho que se

encontra à direita na figura. Neste momento do processamento ainda não são relevantes as dimensões de controlo.

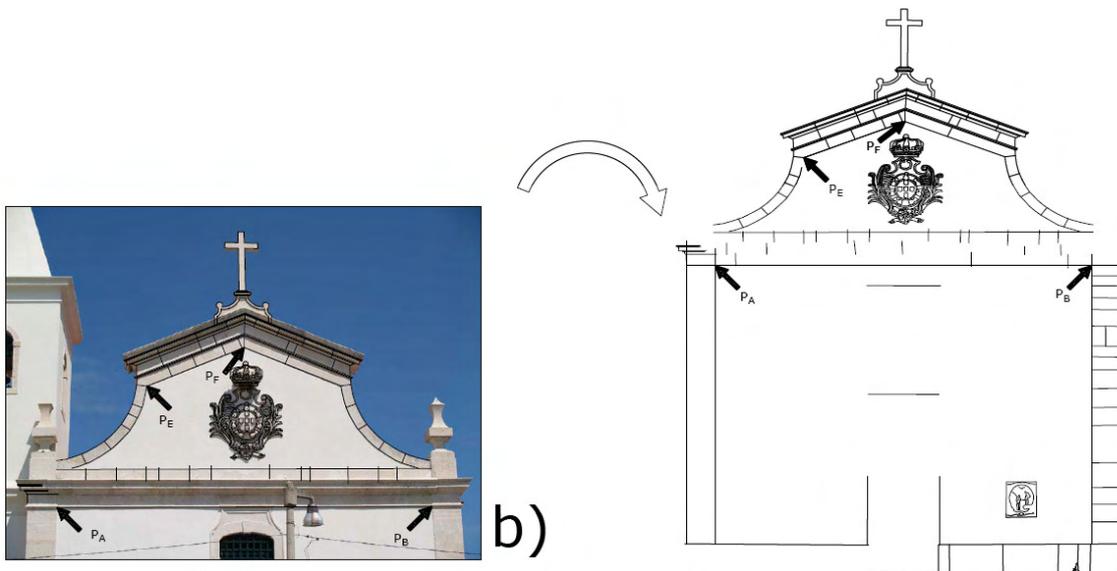
Porém, tratando-se de um método expedito, eventualmente podem considerar-se válidas algumas presunções sobre o objecto, por exemplo no que diz respeito à direcção de alguns elementos como sejam pilastras ou cornijas que se poderão assumir verticais ou horizontais, respectivamente. Neste caso, na transformação do desenho da esquerda para o desenho da direita considerou-se que os segmentos $[P_A P_D]$ e $[P_B P_C]$ eram verticais e que os segmentos $[P_C P_D]$ e $[P_B P_A]$ eram horizontais. Note-se contudo que esta consideração apenas se refere à direcção e não à dimensão.

Ao proceder a esta primeira rectificação, que utiliza os pontos P_A , P_B , P_C e P_D como pontos de controlo, identificados no desenho à esquerda na figura e arbitrados no desenho da direita, determinam-se também no desenho da direita, por consequência da operação de rectificação, os pontos P_E , P_F , P_G , P_H , P_I , P_J , P_K , P_L , P_M e P_N que serão utilizados como controlo de próximas operações de rectificação.

Por comodidade de discurso, mas sem prejuízo do entendimento do mesmo, utiliza-se a mesma notação no desenho à esquerda e no desenho à direita. Este critério será seguido nas restantes etapas.

- Etapa 2.

De seguida passou-se à delineação da imagem identificada com a letra b) na figura 1-5. É importante lembrar que a operação de rectificação se aplica a planos. De onde resulta que se um elemento é tridimensional ele não pode ser directamente desenhado. Nestes casos é preciso apelar para os conhecimentos da Geometria Descritiva e tratar de obter as suas projecções nos planos a rectificar. Voltaremos a este tópico adiante na nossa exposição.



Etapa 02

Figura 1-5: Adição de mais informação ao desenho considerando pontos de controlo adicionais identificados na imagem.

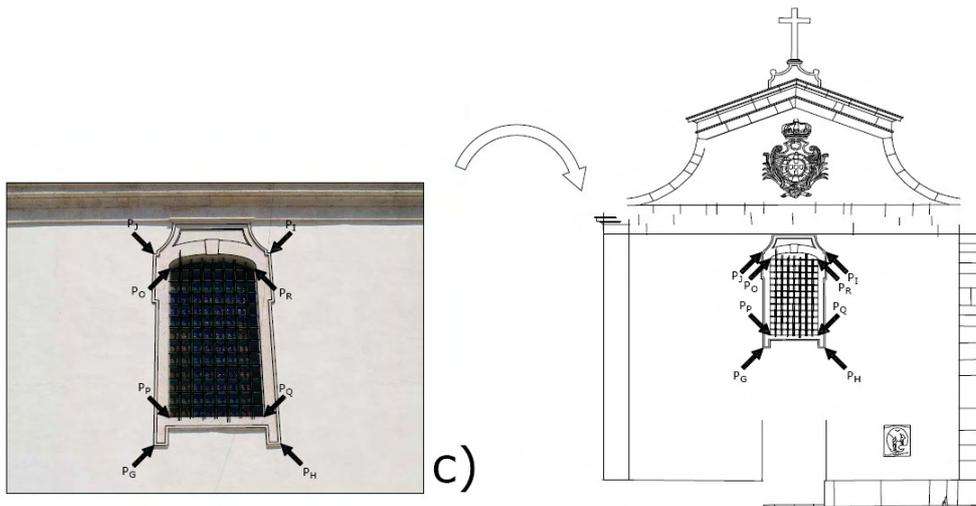
Após a delineação efectuada, os pontos P_A , P_B , P_E e P_F serviram como controlo da rectificação do desenho da esquerda para o desenho da direita. Note-se que a base do desenho da direita foi produzida na etapa anterior.

- Etapa 3.

Nesta etapa procedeu-se ao desenho da janela principal sobre a imagem notada com a letra c) à esquerda na figura 1-6. Vamos notar que distinguimos dois planos com profundidades diferentes em relação ao plano da fachada. Trata-se de um primeiro plano que contém o contorno da cantaria da janela, e de um segundo plano que contém, digamos assim, o gradeamento. Porém devemos notar que ambos os planos têm algumas linhas que se projectam de forma coincidente no plano da fachada, isto é, no plano da rectificação.

Assim, os pontos P_G , P_H , P_I e P_J , já anteriormente definidos no desenho da direita, permitem a rectificação das linhas que delimitam a cantaria. E ao fazê-lo permitem a marcação dos pontos P_P , P_Q , P_R e P_O , também no desenho da direita, em que se apoia a rectificação do gradeamento entretanto delineado no desenho da esquerda sobre a imagem c). Observe-se que, na imagem da esquerda, os pontos P_P , P_Q , P_R e P_O , não estão marcados sobre o primeiro plano da cantaria. Com efeito estão marcados num plano mais recuado, o plano do gradeamento. Contudo deve notar-se que a operação continua a ser válida dado que, as suas projecções ortogonais sobre o

plano da cantaria se situam onde deveriam estar os homólogos dos pontos P_P , P_Q , P_R e P_O no desenho da esquerda.

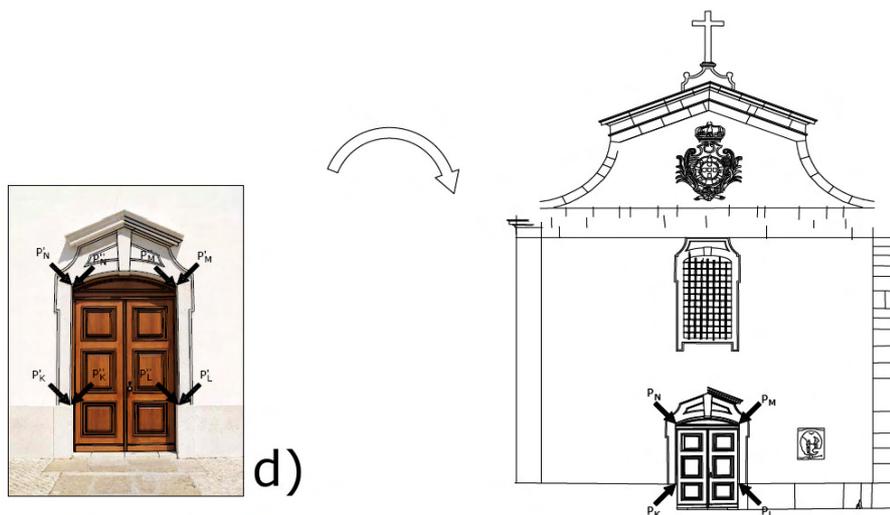


Etapa 03

Figura 1-6: Nova adição de mais informação ao desenho considerando pontos de controlo adicionais identificados na imagem.

- Etapa 4.

O procedimento adoptado para a rectificação do desenho da porta, delineado sobre a imagem notada com a letra d) à esquerda na figura 1-7, é em tudo semelhante ao procedimento seguido na etapa anterior.



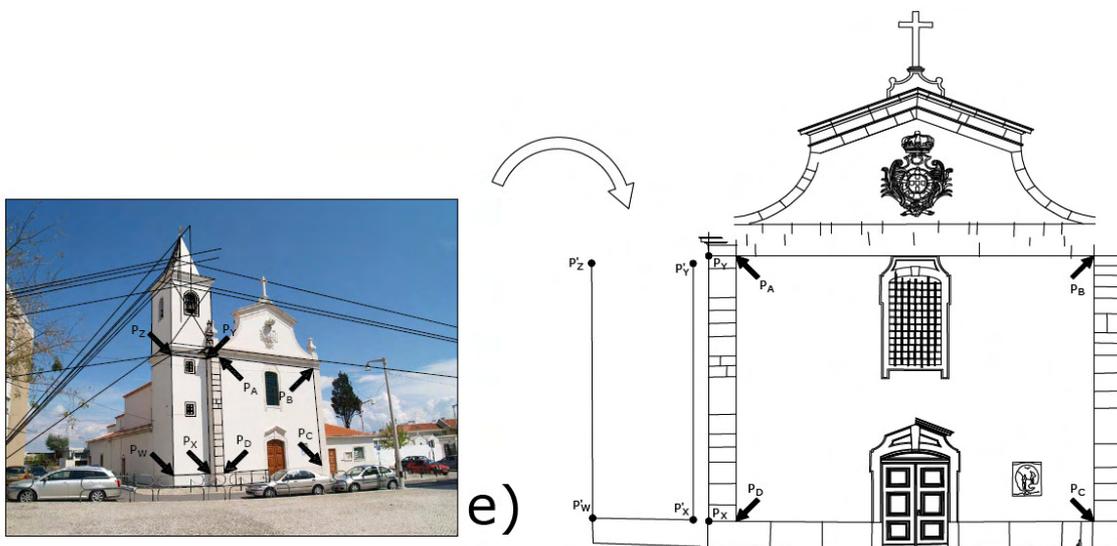
Etapa 04

Figura 1-7: Nova adição de mais informação ao desenho considerando pontos de controlo adicionais identificados na imagem.

Há novamente dois planos a considerar, o plano da cantaria e o plano da porta. A diferença em relação ao procedimento adoptado da etapa anterior reside no facto de que os pontos de controlo identificados em ambos os planos podem ser tomados como projecções uns dos outros. Assim, eles são, aos pares, homólogos dos pontos P_K , P_L , P_M e P_N identificados no desenho da direita.

• Etapa 5.

Em relação a esta etapa introduz-se uma questão nova. Note-se que os pontos P_W , P_X , P_Y e P_Z , identificados no desenho da esquerda na figura 1-8, correspondem a um plano recuado relativamente ao planos dos pontos P_A , P_B , P_C e P_D .



Etapa 05

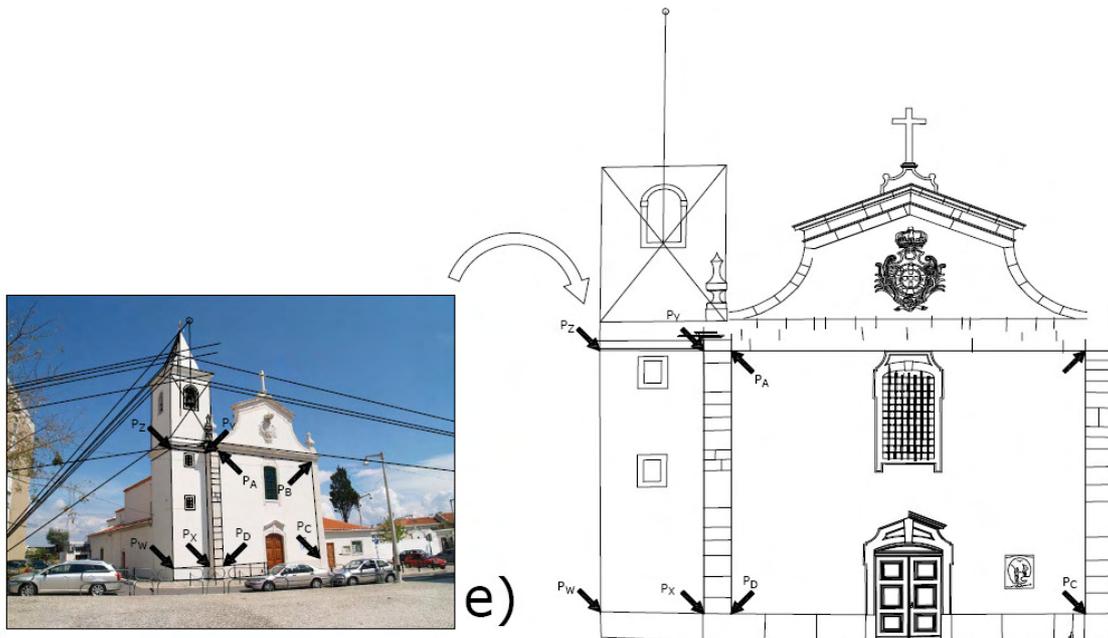
Figura 1-8: Controlo do desenho de elementos situados fora do plano principal da rectificação através de projecção naquele plano.

Por isso, se utilizarmos os pontos P_A , P_B , P_C e P_D como controlo para proceder à rectificação dos segmentos $[P_W P_X]$, $[P_X P_Y]$, $[P_Y P_Z]$ e $[P_Z P_W]$, vamos obter, sobre o desenho da direita, os segmentos $[P'_W P'_X]$, $[P'_X P'_Y]$, $[P'_Y P'_Z]$ e $[P'_Z P'_W]$ que, estão correctamente posicionados à parte de uma homotetia. Como sabemos que ao segmento $[P'_X P'_Y]$, do desenho da direita, corresponde o segmento $[P_X P_Y]$, também no desenho da direita, temos aí os dados que necessitávamos para colocar o quadrilátero $[P'_X P'_Y P'_Z P'_W P'_X]$ à escala correcta relativamente ao desenho base da direita, dando origem neste desenho da direita a um novo quadrilátero $[P_X P_Y P_Z P_W P_X]$ que vemos representado à direita no desenho da figura 1-9 relativo à etapa seguinte.

Note-se que este procedimento só é válido se considerarmos que os dois planos em causa são paralelos.

- Etapa 6.

Nos desenhos da figura 1-9, após ter-se definido o quadrilátero $[P_X P_Y P_Z P_W P_X]$, à direita, os procedimentos para o desenho das janelas da torre é em tudo idêntico ao que já foi descrito anteriormente.



Etapa 06

Figura 1-9: Aplicação da rectificação aos elementos situados fora do plano principal da rectificação.

Resta porém referir a determinação da altura da torre da igreja. Em relação a este cálculo foram consideradas algumas premissas. Primeiro foi considerado que a torre tem uma planta rectangular e que o seu eixo passa pelo vértice da pirâmide. Posto isto, através dos traçados próprios da perspectiva, que requerem aqui a noção de ponto de fuga, determina-se o eixo da pirâmide e projecta-se num plano de referência. Neste caso o eixo foi projectado no plano dos pontos P_W , P_X , P_Y e P_Z , à esquerda na figura. De seguida, a mesma transformação projectiva que permitiu desenhar, à direita, as janelas da torre, permite agora colocar em posição o eixo da pirâmide no mesmo desenho da direita.

- Etapa 7.

Esta etapa corresponde a um conjunto de operações finais de acabamento do desenho e da sua colocação com as proporções e escalas correctas. Em relação às referidas operações de acabamento do desenho notem-se as diferenças entre os

desenhos da figura 1-9, à direita, e da figura 1-10, à esquerda. A passagem de um desenho para o outro ainda nos exigiu algumas operações de desenho, a consideração de algumas simetrias e a consideração, através da observação visual de há elementos que se repetem. Assim, a primeira parte desta etapa corresponde à conclusão do desenho colocando-lhe, eventualmente, mais detalhe.



Figura 1-10: Correção final das dimensões do desenho recorrendo às medições directas efectuadas em campo.

Após essas operações deve agora colocar-se o desenho com as proporções correctas. Note-se que até ao momento, para além de algumas premissas direccionais, dispensamos totalmente as dimensões de controlo recolhidas em campo. É agora a altura de as utilizar. Relembramos que, logo ao início considerámos duas direcções estruturantes, a vertical e a horizontal. Este tipo de premissa é necessário uma vez que optámos pelo mínimo de informação de controlo, isto é, a medição de uma altura e de uma largura. Note-se que, uma vez que é necessário um conjunto mínimo de quatro pontos de controlo para proceder à rectificação, a largura tem de ser marcada duas vezes, provavelmente separadas pela altura medida. Foi o desenho do rectângulo da figura 1-3, que fizemos a partir das medidas de controlo, que permitiu definir os pontos P_1 , P_2 , P_3 e P_4 que identificamos no desenho da direita na figura 1-10. Os pontos P'_1 , P'_2 , P'_3 e P'_4 identificados no desenho da esquerda, na figura 1-10, homólogos dos pontos P_1 , P_2 , P_3 e P_4 , permitem agora definir a transformação

projectiva, ou seja a rectificação, que dá escala ao desenho da esquerda transformando-o no desenho da direita.

- Validação.

Terminadas as etapas de produção do desenho, vamos agora referir o que designamos como operação de validação dos resultados, e que se traduz na comparação, neste caso apenas na direcção horizontal, de dimensões medidas em campo e as homólogas medidas sobre o desenho efectuado. É o que se ilustra na figura 1-11.

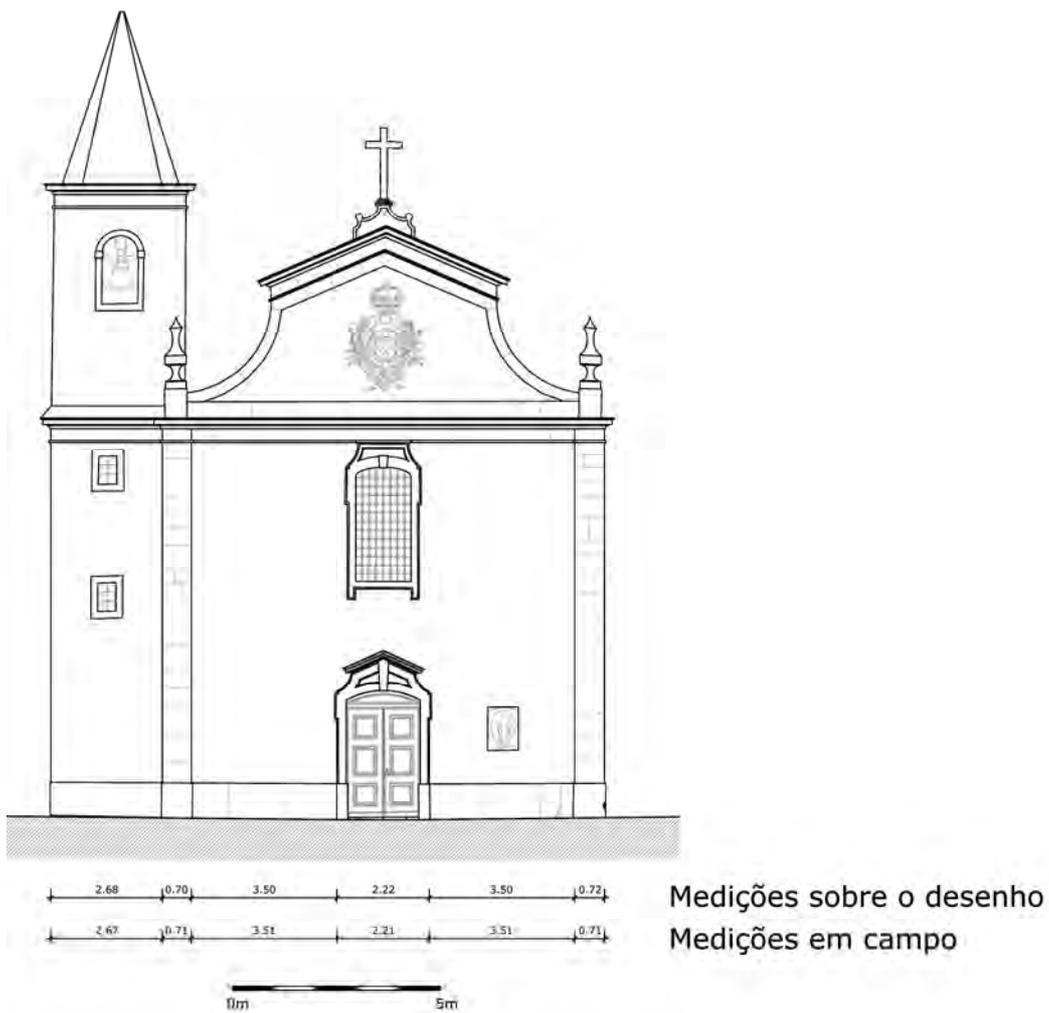


Figura 1-11: Comparação entre as medições directas e as medições homólogas efectuadas sobre o desenho produzido.

Apresentam-se duas linhas de cotagem. Na linha inferior encontram-se as medidas obtidas em campo por medição manual. Na linha superior encontram-se as medições efectuadas sobre o desenho final. Verificamos que as discrepâncias não vão além de 1cm. Tal deve-se ao facto de a medida de controlo ser considerável em relação à

largura total de onde os erros tenham ficado contidos e não se tenham propagado. É de esperar que na vertical tenha ocorrido propagação de erros. Em todo o caso, na direcção verificada, a precisão encontra-se dentro do aceitável para a escala 1/100, tendo em conta a tolerância $\pm 5\text{cm}$.

Observamos ainda que na parte de desenho que fica fora do quadrilátero definido pelos pontos P_A , P_B , P_C e P_D apresenta uma tendência de curvatura. Tal pode ser explicado pelo facto de que não tivemos em conta a remoção da distorção radial das imagens o que pode ter tido a consequência deste efeito de distorção se ter manifestado no desenho.

Em todo o caso parece-nos que este tipo de desenho pode utilizado naquelas intervenções que não impliquem com alterações dimensionais aos objectos representados.

A vantagem de um procedimento deste tipo reside no facto de o desenho poder ser efectuado sem dispor inicialmente de dados de controlo e de permitir as rectificações que se quiser se melhores dados de controlo forem disponibilizados. Assim, o processo pode ir evoluindo deixando para uma segunda etapa a produção do desenho final com uma escala determinada.

- Os desenhos sobre as imagens foram elaborados sobre as layers das imagens respectivas. Foi considerada ainda uma layer específica para o processo de rectificação e outra para o desenho final. Por fim, a descrição gráfica do processo foi organizada num desenho final. Este foi organizado no paperspace no formato A0 com o alçado final representado na escala 1/100, definindo um layout que incluiu a definição de um ficheiro *.ctb com as configurações dos estilos de impressão e uma plotter virtual do tipo DWF guardada através de ficheiro de extensão *.pc3.

A.1.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Na figura 1-12 ilustra-se o desenho final que sintetiza o processo acima descrito na sua componente de desenho. Este desenho pode ser consultado nos formatos *.pdf e *.dwf que se encontram no CD anexo à tese. Trata-se dos ficheiros SJoao.pdf e SJoao.dwf.

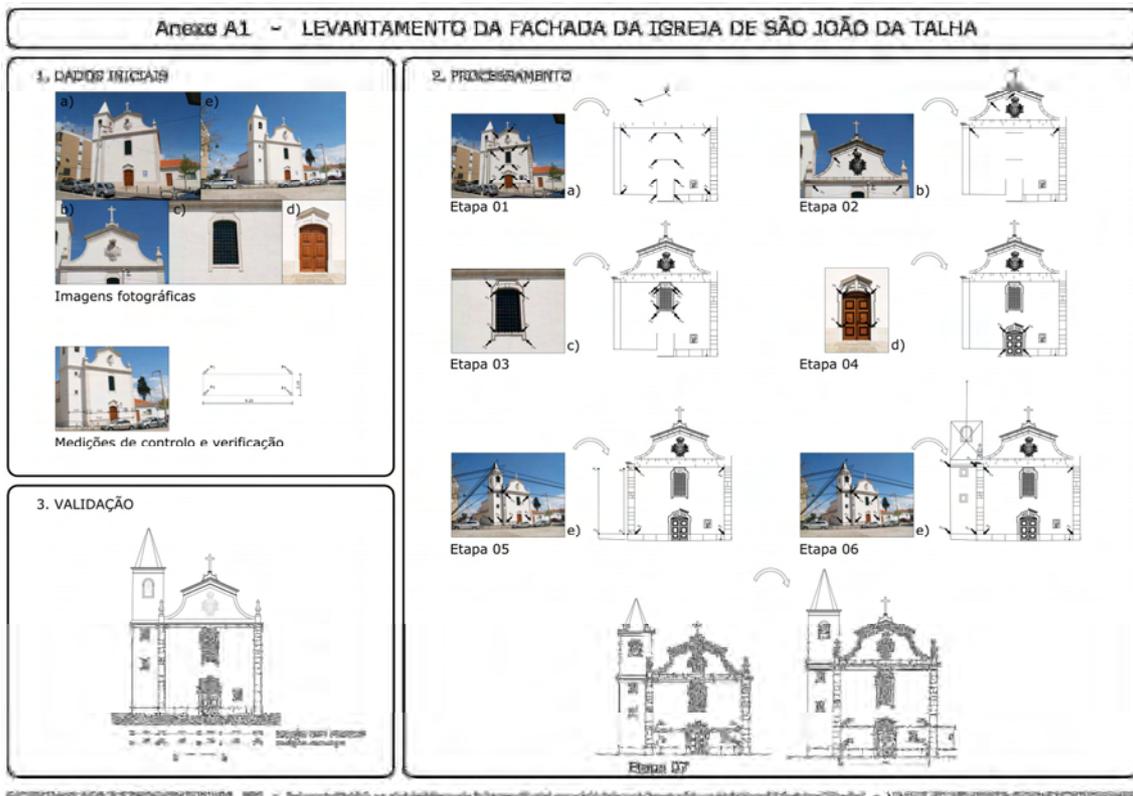


Figura 1-12: Painel de resumo das operações gráficas.

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar.

A.1.3. ANÁLISE CRÍTICA

A utilização de imagens oblíquas pode ser uma necessidade quando há obstáculos que nos impedem de fotografar ortogonalmente às superfícies. Estes obstáculos podem ser temporários (veículos estacionados, pessoas, publicidade) ou permanentes (mobiliário urbano, vegetação, outros edifícios). Múltiplas imagens oblíquas, com diferentes resoluções costumam ser os resultados de visitas de reconhecimento ou de trabalho em contexto de conservação, restauro ou reabilitação. Estas tanto podem focar aspectos mais gerais ou mais concentrados do objecto. Este tipo de imagens pode ser utilizado de forma expedita para a produção de uma documentação métrica desenhada no caso de se tratar de superfícies aproximadamente planas. Neste caso foi aplicado para a produção integral de um alçado. Porém antevê-se a possibilidade de utilização deste tipo de procedimento, por exemplo, para mapeamento de anomalias, registadas em fotografia, sobre alçados existentes ou como complemento da aplicação de outros processos de levantamento.

Trata-se de um método expedito, mas a sua utilização extensiva requer uma elevada cultura geométrica, em particular, a observação das regras da perspectiva, sobretudo em zonas de geometria não plana. A flexibilidade da aplicação deste tipo de procedimento reside na possibilidade de utilizar pouca informação de cada fotografia num conjunto extenso de fotografias. Neste tipo de situação a rectificação de imagem seria um procedimento mais fastidioso e com desvantagem em relação ao procedimento descrito e que cunhámos de rectificação vectorial.

No que respeita à produção das fotos, deve garantir-se que há em cada foto um conjunto de elementos (no mínimo quatro pontos ou linhas) que a permitam relacionar com outras. Esta é uma condição necessária para que haja uma teia de referências que permita que todas sejam integradas numa representação única.

A utilização de imagens não calibradas pode introduzir alguns erros, embora partes localizadas da imagem possam ser consideradas de forma fiável desde que a informação de controlo se restrinja a essa área. A correcção da distorção pode ser, na generalidade dos casos, e para fins de produção de documentação expedita, ser realizada com o software do fabricante da câmara utilizada.

A rectificação vectorial, tal como foi implementada, pressupõe o desenho sobre imagens produzido no software AutoCAD. Esta limitação deve-se à escolha da linguagem de programação, o AutoLisp, que é interpretada por aquele software. Consideramos que esta é uma limitação a ser ultrapassada no futuro. Outra limitação é que a transformação de correcção apenas pode ser aplicada à entidade linha.

A desvantagem deste processo face à rectificação de imagem é que o resultado é um desenho em vez de uma imagem, e por isso, há perda de valor semântico no resultado. Uma via de utilização que prevemos é no complemento ao processo de rectificação de imagem.

A.1.4. CONCLUSÕES

Esta experiência mostrou-nos que o princípio da rectificação pode ser convenientemente aplicado sobre desenhos vectoriais no sentido de produzir documentação métrica.

Definiu-se uma metodologia de trabalho desde o registo fotográfico até à produção do desenho final que inclui as etapas: i) registo fotográfico, ii) obtenção de medidas de controlo, iii) inserção de imagens no AutoCAD, iv) desenho linear sobre as imagens, v) rectificação vectorial, vi) edição final do desenho.

Mostrou-se que o desempenho métrico observado nos permite considerar este tipo de abordagem para a produção de desenhos que tenham por objectivo um tipo de documentação esquemática geral.

Demonstrou-se que o carácter expedito e versátil da metodologia na representação de superfícies aproximadamente planas, e a sua limitação na representação de formas espaciais. Limitação essa que pode ser parcialmente ultrapassada pela cultura geométrica do operador.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Igreja matriz de Santa Iria de Azóia, Loures.....	44
Figura 2-2: Resumo das imagens fotográficas utilizadas.....	50
Figura 2-3: À esquerda: medições de controlo para a rectificação. À direita: orto-imagem de varrimento laser para validação dos resultados.....	51
Figura 2-4: Imagens utilizadas para a determinação da configuração do perímetro da igreja.....	51
Figura 2-5: Medições directas registadas para controlo do processo de determinação do perímetro da igreja.....	51
Figura 2-6: À esquerda: Medida de controlo vertical. À direita: desenho de controlo do perímetro da igreja obtido através de seccionamento de modelo de nuvem de pontos de VL3D.....	52
Figura 2-7: Início do processo de desenho sobre a imagem fotográfica (à esquerda) e rectificação (à direita).....	54
Figura 2-8: Adição de desenho.....	54
Figura 2-9: Adição de desenho.....	55
Figura 2-10: Adição de desenho.....	55
Figura 2-11: Aplicação de factores de escala a rectificação de elementos em segundo plano.....	56
Figura 2-12: Adição de desenho através de foto de pormenor.....	56
Figura 2-13: Adição de desenho através de foto de pormenor.....	57
Figura 2-14: Adição de desenho através de fotos de pormenor.....	57
Figura 2-15: Projecção no plano da rectificação de elementos espaciais situados fora deste. Especial atenção deve aqui ser dada às regras da perspectiva.....	58
Figura 2-16: Aplicação de factor de escala ao frontão situado em segundo plano para o colocar com a escala correcta.....	58
Figura 2-17: Correção final do desenho tendo em conta as medições directas de controlo feitas em campo.....	59
Figura 2-18: Comparação do resultado obtido com a orto-imagem de varrimento laser 3D. Comparação feita através de sobreposição.....	60
Figura 2-19: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.....	61
Figura 2-20: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.....	62
Figura 2-21: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.....	63
Figura 2-22: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.....	63

Figura 2-23: Assemblagem num único desenho dos vários ângulos determinados.	64
Figura 2-24: À esquerda: secção de controlo obtida por varrimento laser 3D. Ao centro: secção obtida através do nosso procedimento. À direita: comparação entre as duas secções.....	65
Figura 2-25: Painel com síntese das operações efectuadas relativamente ao desenho da fachada.....	66
Figura 2-26: Painel com síntese das operações efectuadas relativamente ao desenho do perímetro.	67

ÍNDICE

A.2 LEVANTAMENTO DA FACHADA PRINCIPAL E PERÍMETRO DA IGREJA MATRIZ DE SANTA IRIA DE AZÓIA, LOURES 43

A.2.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	43
A.2.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	43
A.2.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	44
A.2.1.2.1.	OBJECTIVOS.....	44
A.2.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER.....	45
A.2.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	45
A.2.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	46
A.2.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	46
A.2.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	48
A.2.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	49
A.2.2.1.	RECOLHA DE DADOS.....	49
A.2.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	53
A.2.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	66
A.2.3.	ANÁLISE CRÍTICA	67
A.2.4.	CONCLUSÕES.....	68

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

Esta experiência de documentação vem na sequência lógica da anterior. Naquele caso a aplicação testada aplicava apenas o princípio da rectificação. Neste caso pretendeu-se, para além de voltar a testar o princípio da rectificação para a produção de um alçado, testar outra aplicação que permite a produção de um desenho de contorno horizontal de um edifício. Foi feito um conjunto de medições de campo necessárias à produção do perímetro. Neste caso os mecanismos de controlo dos resultados também foram diversos. Os elementos produzidos foram comparados com elementos homólogos produzidos por varrimento laser 3D (VL3D).

A.2.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.2.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA
--

Identificação e localização do sítio:

- Santa Iria, Loures.

Entidade contratante:

- Não aplicável.

Entidade contratada:

- Não aplicável.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Teste de aplicação informática de rectificação vectorial, de determinação de pontos de fuga e determinação de ângulos entre planos, no âmbito do Projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006. A aplicação é descrita no Volume I, no Capítulo 4.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Pretende-se a elaboração de um desenho vectorial da fachada obtido a partir de delineação a efectuar, em AutoCAD, sobre imagens fotográficas da fachada.
- Pretende-se a elaboração de um desenho vectorial do perímetro da igreja.

Delimitação da área a documentar:

- Fachada e perímetro da Igreja ilustrada na figura 2-1.



Figura 2-1: Igreja matriz de Santa Iria de Azóia, Loures.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Não relevante.

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Não relevante.

Data:

- Início do processo: Abril de 2007.

A.2.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

A.2.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A presente documentação não se destina a projecto de intervenção.

A.2.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Desenho de alçado com o nível de detalhe da escala 1/100. De acordo com o apresentado no volume I no quadro da figura 2-10.
- Desenho geral de perímetro em planta de acordo com a precisão referida no quadro da figura 2-10 para a escala 1/100, do volume I.

Desempenho métrico:

- Pretende-se verificar se os resultados se podem considerar enquadráveis com as tolerâncias expressas para a escala 1/100 expressa naquele quadro, $\pm 5\text{cm}$.

Apresentação:

- Ficheiros CAD com imagens inseridas em layers diferenciadas.

Causas para a rejeição dos materiais:

- O processo deverá ser revisto e analisado se os resultados ficarem aquém do esperado no que diz respeito ao desempenho métrico.

A.2.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- Não aplicável.

Autorizações de acesso:

- Acesso livre.

Condições de segurança:

- Cuidados a ter com o trânsito se for necessário fotografar a partir da rua.

Condições de acessibilidade:

- Campo visual relativamente acessível.
- Existem árvores, candeeiros e semáforos em redor da igreja o que pode dificultar as tomadas de imagem, sobretudo se houver necessidade de afastamento em relação às fachadas, que é o que se prevê.

Retenção dos materiais:

- A reter no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

Impactos admissíveis no objecto:

- Nenhuma restrição ao contacto directo, o que permite efectuar medições com fita métrica.
- Trata-se de um lugar com bastante frequência de pessoas nas horas de culto, pelo que deverão ser tomadas medidas de precaução na utilização de equipamentos de VL3DT.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Não aplicável.

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Direitos de autor – Luís Mateus.
- Direitos de reprodução – livre.

A.2.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA
--

Entidades produtoras da documentação gráfica:

- Luís Mateus – Levantamento da fachada e perímetro através da aplicação da ferramenta fotogramétrica elementar.
- Empresa 3D Total – Levantamento de controlo para validação por VL3DT.

Entidades fiscalizadoras:

- Não aplicável.

A.2.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- Como se pretende uma verificação métrica de resultados, considerou-se a adopção de um procedimento de controlo através de uma fonte de medições considerada mais fiável. Assim, considera-se adequado proceder ao desenvolvimento dos trabalhos em duas fases: i) levantamento da fachada e perímetro através da ferramenta fotogramétrica elementar acima referida, e ii) levantamento de controlo independente.

- Havendo a possibilidade de proceder ao levantamento de controlo através de VL3DT, optou-se por essa solução. Os resultados deste levantamento serão assumidos como dado de controlo e a sua execução não será aqui sujeita a descrição.
- Por outro lado, tratando-se de dois problemas num, o processamento também pode ser feito em duas fases: i) produção do alçado, e ii) produção do desenho do perímetro.
- Dados os objectivos com que se efectua a presente documentação, impõe-se que a recolha dos dados fotografia seja feita por fotografia digital.
- Para recolha dos dados de controlo da rectificação utilizar-se-á um par de medidas de controlo, uma altura e uma largura, a obter através de métodos manuais.
- Para recolha dos dados de controlo da determinação dos ângulos entre planos de fachadas utilizar-se-ão as larguras das fachadas, obtidas por métodos manuais, e a medição de uma altura de controlo a obter a partir do alçado rectificado.
- Os dados para validação dos resultados da rectificação e da determinação dos ângulos entre os planos das fachadas consistirão numa orto-imagem e numa planta fornecidas pela empresa 3D Total e produzidas por VL3DT.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Recolha das imagens: Câmara fotográfica SLR Olympus E-500, sensor de 13x17,3mm, 8Mp de resolução, cartão de memória de 2Gb, com uma objectiva de 14-45mm, e tripé com cabeça nodal.
- Recolha das medidas de controlo: Fita métrica de 5m, papel e lapiseira.
- Recolha dos dados de VL3DT: Scanner Z+F Imager 5006 de comparação de fase.

Planeamento da recolha dos dados:

- O planeamento operativo far-se-á em campo.
- No que diz respeito à produção do alçado por rectificação, tem-se apenas em consideração que devem ser feitas imagens de enquadramento geral de ângulos opostos e complementares, seguidas de imagens de pormenor, com a garantia de que entre as gerais e as de pormenor existem elementos homólogos fáceis de identificar.
 - No que diz respeito à produção do perímetro, tem-se em consideração a necessidade de: i) as imagens terem de ser obtidas com o eixo da objectiva na horizontal, ii) as imagens terem de conter a representação do par de fachadas de que se quer obter o ângulo relativo.
- No que diz respeito à obtenção dos dados de VL3DT para a obtenção dos elementos para validação deixam-se os procedimentos à descrição da empresa 3D Total.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Recolha fotográfica: 1 pessoa.
- Recolha dos dados de controlo: 2 pessoas.
- Tempo de execução: Não previsto.
- Custos: Não aplicável.

A.2.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- Como o objectivo desta acção é o teste da ferramenta de fotogrametria elementar, nas suas componentes de: a) determinação de pontos de fuga, b) rectificação de desenho vectorial, e c) determinação de ângulos entre fachadas; naturalmente que será essa a ferramenta a utilizar para processamento dos dados. A descrição da aplicação é feita no Volume I, no Capítulo 4.
- O processo de validação dos resultados será distinto para o desenho do alçado e para o desenho do perímetro. O desenho do alçado será validado através da sua sobreposição a uma orto-imagem, na mesma escala, obtida através de VL3DT. O desenho do perímetro será feito através da sua sobreposição a um desenho do perímetro, na mesma escala, obtido através de VL3DT.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O processamento será efectuado no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004 utilizando a ferramenta referida que consiste num conjunto de funções programadas em AutoLisp.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- Alçado:

As imagens serão inseridas no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004, sendo de seguida delineadas manualmente.

Como a ferramenta a utilizar aplica o princípio da rectificação, requer-se que em cada troço desenhado sobre as imagens se possam identificar 4 pontos ou 4 linhas a servir de referência para as operações de rectificação, que tenham homólogos em outros troços, para que se consiga ir produzindo um desenho que progrida do geral para o particular.

A forma de organização da informação e apresentação dos dados finais não é relevante neste caso. Contudo considera-se a produção de um desenho final em formato *.dwg que sintetize o processo.

- **Perímetro:**

Em primeiro lugar deverá ser removido o efeito da distorção radial das imagens.

De seguida as imagens serão inseridas no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004, sendo de seguida parcialmente delineadas manualmente. Para cada ângulo a determinar entre planos de fachadas adjacentes apenas é necessário desenhar três segmentos verticais, a que devem corresponder dimensões iguais e conhecidas no objecto. Um dos segmentos deve ser desenhado sobre a aresta comum aos dois planos. Os outros dois segmentos devem ser desenhados, cada uma deles, sobre a aresta da fachada correspondente, oposta à aresta comum, considerando que as dimensões horizontais conhecidas correspondem às distâncias entre os segmentos verticais no objecto.

A primeira dimensão vertical a utilizar é obtida por medição no alçado rectificado, e as restantes são obtidas por propagação desta sobre as imagens através das regras da perspectiva.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Recursos humanos: 1 pessoa (Luís Mateus)
- Tempo de execução: 2 semanas
- Custos: Não aplicável

A.2.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

A.2.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- No que diz respeito à recolha dos dados de VL3DT teve-se o cuidado de proceder à recolha de dados a uma hora de reduzida circulação de pessoas. Para o VL3DT não se utilizou tripé, tendo-se tirado partido da configuração da envolvente para encontrar as melhores zonas para a colocação do scanner de varrimento.
- A recolha de dados, fotográficos e controlo, a serem utilizados para a produção do desenho do alçado teve lugar nos dias 25 e 29 de Abril de 2007, entre as 16h30m e as 17h e entre as 15h15m e as 15h30m, respectivamente

- A recolha de dados fotográficos a serem utilizados para a produção do desenho do alçado foi realizada com a câmara prevista e sem a utilização de tripé. A recolha dos dados de controlo foi efectuada com uma fita métrica de 5m, sendo as dimensões registadas em papel.
- A recolha de dados, fotográficos e controlo, a serem utilizados para a produção do desenho do perímetro teve lugar nos dias 8 e 9 de Maio de 2007, entre as 16h30m e as 17h e entre as 19h e 19h30m, respectivamente.
- A recolha de dados fotográficos a serem utilizados para a produção do desenho do perímetro foi realizada com a câmara prevista e com a utilização de tripé. A recolha dos dados de controlo foi efectuada com uma fita métrica de 5m, sendo as dimensões registadas em papel.
- A recolha de dados de VL3DT para a produção dos elementos para validação, uma orto-imagem do alçado e uma secção horizontal correspondente ao perímetro, foi feita no dia 17 de Dezembro de 2007.

Descrição dos dados recolhidos:

- Para a rectificação foram recolhidas 31 imagens fotográficas, com o formato *.jpg, e resolução 3264x2448pixel das quais se utilizaram apenas 9, as representadas na figura 2-2.



Figura 2-2: Resumo das imagens fotográficas utilizadas.

Foi ainda recolhido um par de medidas, uma altura e uma largura, de acordo com a figura 2-3 à esquerda e ao centro. A imagem da figura 2-3 à direita, corresponde à

orto-imagem obtida a partir de VL3DT a utilizar para validação métrica do desenho do alçado.

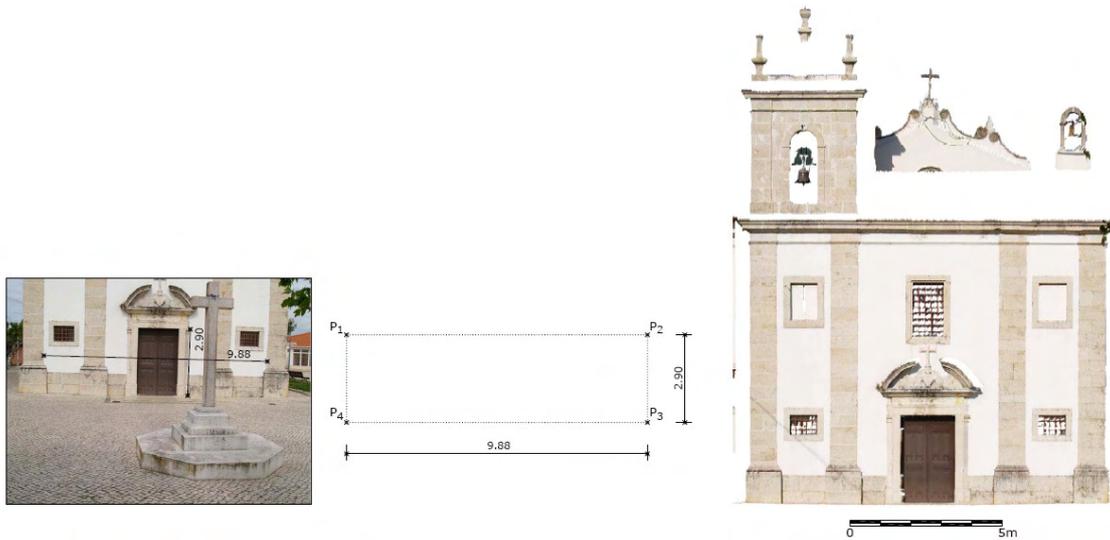


Figura 2-3: À esquerda: medições de controlo para a rectificação. À direita: orto-imagem de varrimento laser para validação dos resultados.

- Para a determinação do perímetro foram recolhidas 15 imagens fotográficas das quais se utilizaram apenas 4, as representadas na figura 2-4. Foram medidas as larguras dos planos de fachada com fita métrica de 5m e dois operadores. As medidas estão indicadas na figura



Figura 2-4: Imagens utilizadas para a determinação da configuração do perímetro da igreja.



Figura 2-5: Medições directas registadas para controlo do processo de determinação do perímetro da igreja.

Foram medidas as larguras dos planos de fachada com fita métrica de 5m e dois operadores. As medidas estão indicadas na figura 2-5

Para a determinação dos ângulos entre as fachadas é ainda necessário dispor de, pelo menos uma medida vertical sobre uma aresta. A medida vertical base que se considerou é a que foi obtida a partir do alçado final, tal como representado na figura 2-6 à esquerda. Note-se que esta figura corresponde a uma antecipação de parte do resultado final mas que se entendeu apropriado aqui colocar para tornar mais clara a fonte da medição.

Já na figura 2-6 à direita encontra-se representada a secção correspondente ao perímetro a determinar, determinada através de VL3DT, a utilizar para a validação do resultado do desenho do perímetro.



Figura 2-6: À esquerda: Medida de controlo vertical. À direita: desenho de controlo do perímetro da igreja obtido através de seccionamento de modelo de nuvem de pontos de VL3D.

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar.

A.2.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- Mais uma vez se refere que o processamento dos dados de VL3DT ficou a cargo da empresa 3D Total, não sendo aqui referido.
- Para processamento dos dados foi utilizado um PC portátil com ligação USB para leitura do cartão de memória da câmara fotográfica e o AutoCAD 2004 instalado com a ferramenta de fotogrametria elementar carregada.
- O relato do processamento dos dados será feito separadamente para a produção do desenho do alçado, cujo procedimento é muito semelhante ao feito no caso de estudo da Igreja de São João da Talha, e para a produção do desenho do perímetro.
- O desenho do alçado:
- As imagens fotográficas foram inseridas directamente no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004, cada uma em sua layer.
- De seguida procedeu-se à sua delineação. Esta foi feita do geral para o particular procurando a identificação de pontos de controlo adicionais no desenho mais geral para controlo dos demais desenhos realizados sobre outras imagens de pormenor. Para melhor se entender o processo de desenho e rectificação vamos ilustrá-lo através de 10 etapas de desenho que comentaremos sobretudo nos aspectos distintivos em relação à descrição feita no caso de estudo anterior.
- Etapa 1.

Considerou-se que os segmentos $[P_A P_D]$ e $[P_B P_C]$ eram verticais e que os segmentos $[P_C P_D]$ e $[P_B P_A]$ eram horizontais. Note-se contudo que esta consideração apenas se refere à direcção e não à dimensão. Assim, os pontos P_A , P_B , P_C e P_D são dispostos de modo a definir um rectângulo.

A primeira rectificação utiliza os pontos P_A , P_B , P_C e P_D como pontos de controlo como se depreende da figura 2-7.

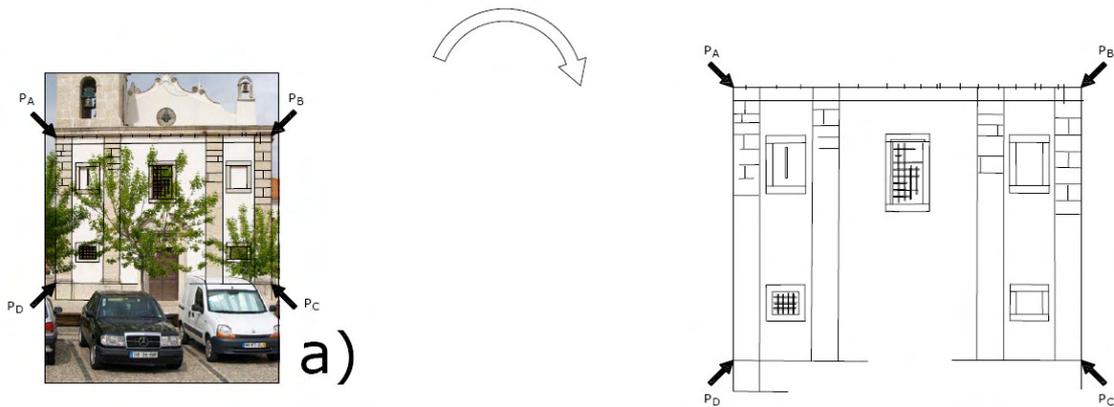


Figura 2-7: Início do processo de desenho sobre a imagem fotográfica (à esquerda) e rectificação (à direita).

• Etapa 2.

A segunda rectificação utiliza os pontos P_E , P_E , P_C e P_D como pontos de controlo como se depreende da figura 2-8. Determina-se ainda o ponto P_G .

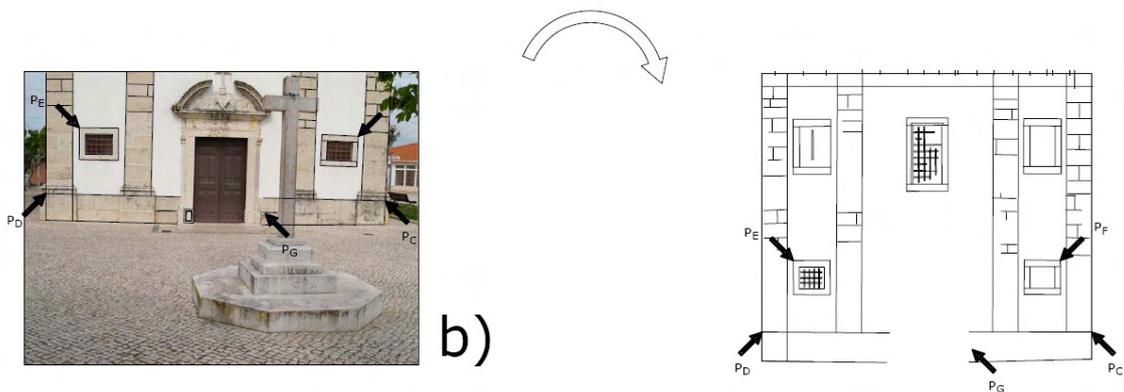


Figura 2-8: Adição de desenho.

• Etapa 3.

A rectificação executada nesta etapa apenas difere, na aplicação, na medida em que utiliza linhas de controlo em vez pontos. A utilização de linhas de controlo é útil quando não se dispõe de pontos que sirvam de referência. Assim, foram utilizadas as linhas L_A , L_B , L_C e L_D como linhas de controlo como se depreende da figura 2-9.

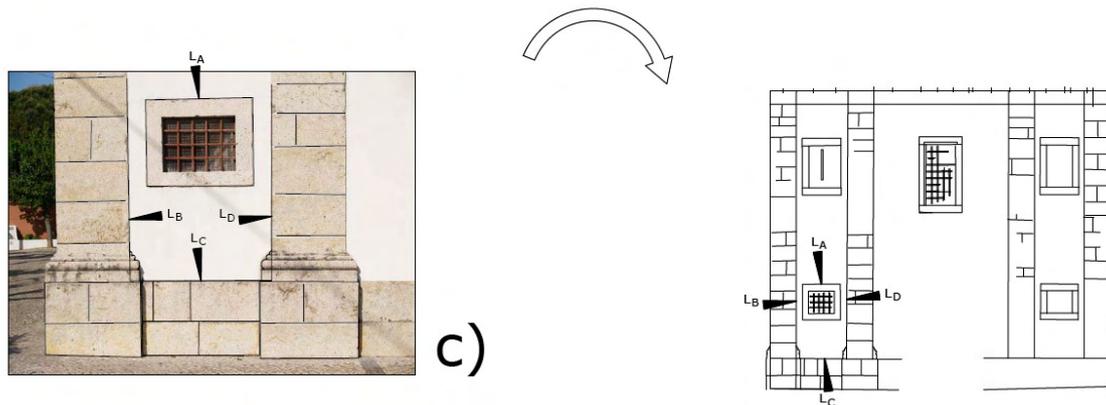


Figura 2-9: Adição de desenho.

• Etapa 4.

Esta etapa é em tudo igual à anterior. Foram utilizadas as linhas L_E , L_F , L_G e L_H como linhas de controlo como se depreende da figura 2-10.

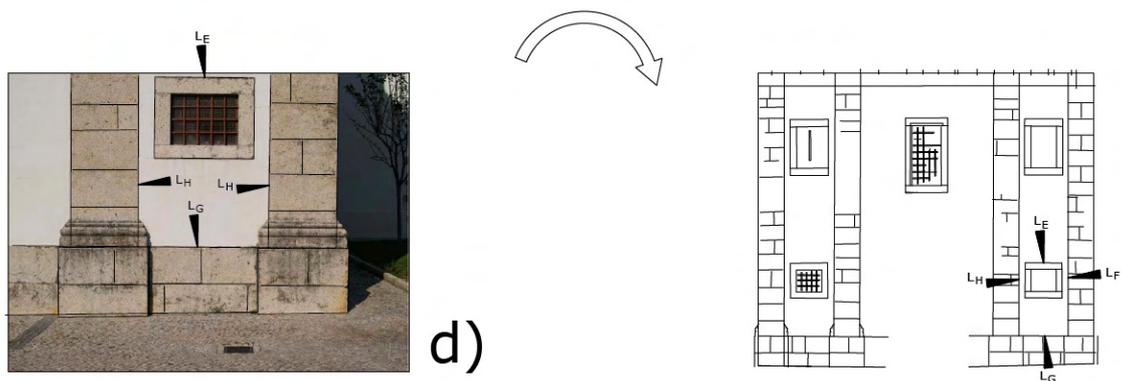


Figura 2-10: Adição de desenho.

• Etapa 5.

Esta etapa começa por ser igual às duas anteriores, sendo utilizadas as L_I , L_J , L_K e L_L como linhas de controlo como se depreende da figura 2-11. Aproveita-se a transformação para identificar mais quatro pontos de controlo a servir para rectificações seguintes, os pontos P_H , P_I , P_J e P_K . Note-se que há planos com profundidades distintas pelo que têm de ser resolvidos, após rectificação, pela aplicação de factores de escala de modo idêntico ao descrito no caso da Igreja de São João da Talha anteriormente descrito.

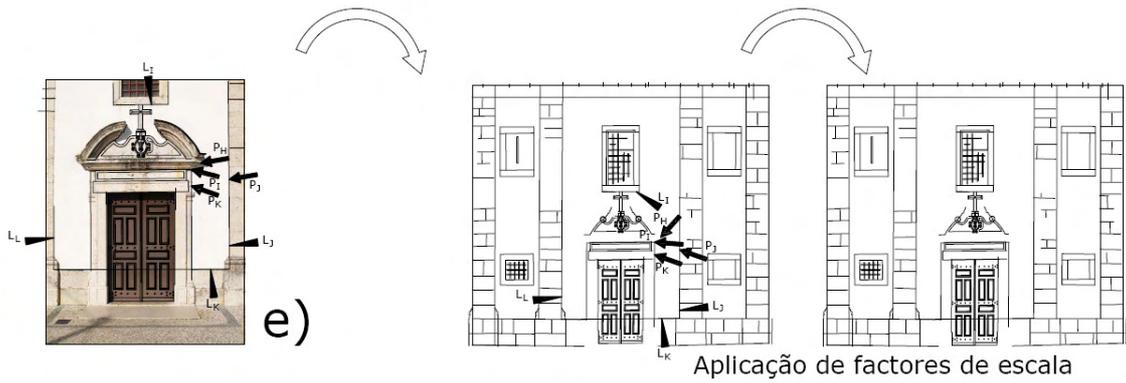


Figura 2-11: Aplicação de factores de escala a rectificação de elementos em segundo plano.

- Etapa 6.

Nesta etapa procede-se à rectificação de uma moldura desenhada sobre uma foto de detalhe utilizando os pontos de controlo P_H , P_I , P_J e P_K como ilustrado na figura 2-12.

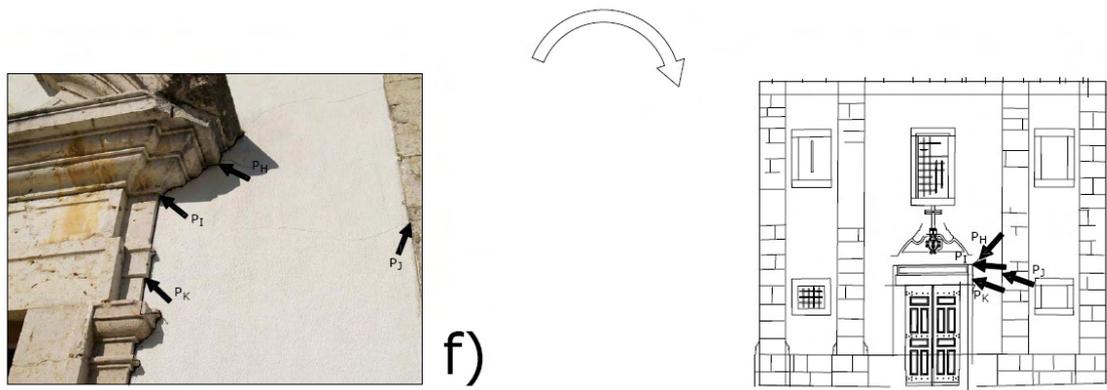


Figura 2-12: Adição de desenho através de foto de pormenor.

- Etapa 7.

Esta etapa é em tudo igual à anterior. Utilizaram-se os pontos controlo P_G , P_L , P_M e P_N conforme a figura 2-13.

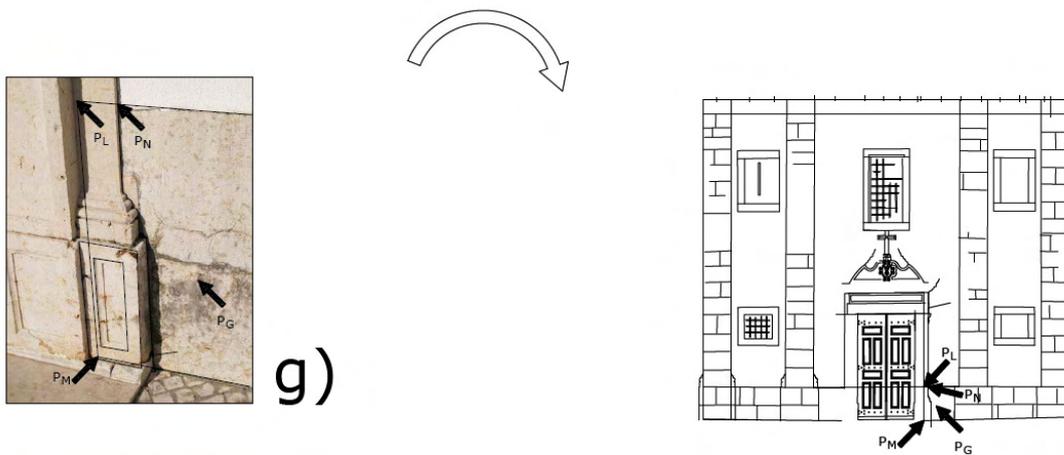


Figura 2-13: Adição de desenho através de foto de pormenor.

• Etapa 8.

Nesta etapa utilizaram-se as linhas limítrofes de uma cantaria, L_M , L_N , L_O e L_P , como linhas de controlo tal como ilustrado na figura 2-14.

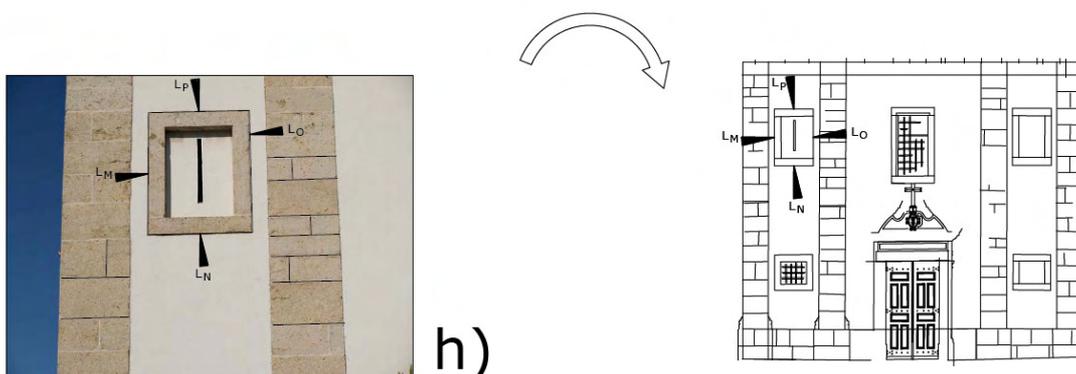


Figura 2-14: Adição de desenho através de fotos de pormenor.

• Etapa 9.

Nesta etapa, houve que proceder ao desenho de um elemento não é plano, a cúpula da torre, e ao desenho de um plano com uma profundidade significativa em relação ao plano principal. Assim, começou por se desenhar a projecção da cúpula no primeiro plano, o plano a rectificar. Esta operação executou-se tendo em atenção as regras da perspectiva e assumindo que a planta da torre é quadrada e que a cúpula se encontra centrada, conforme a figura 2-15

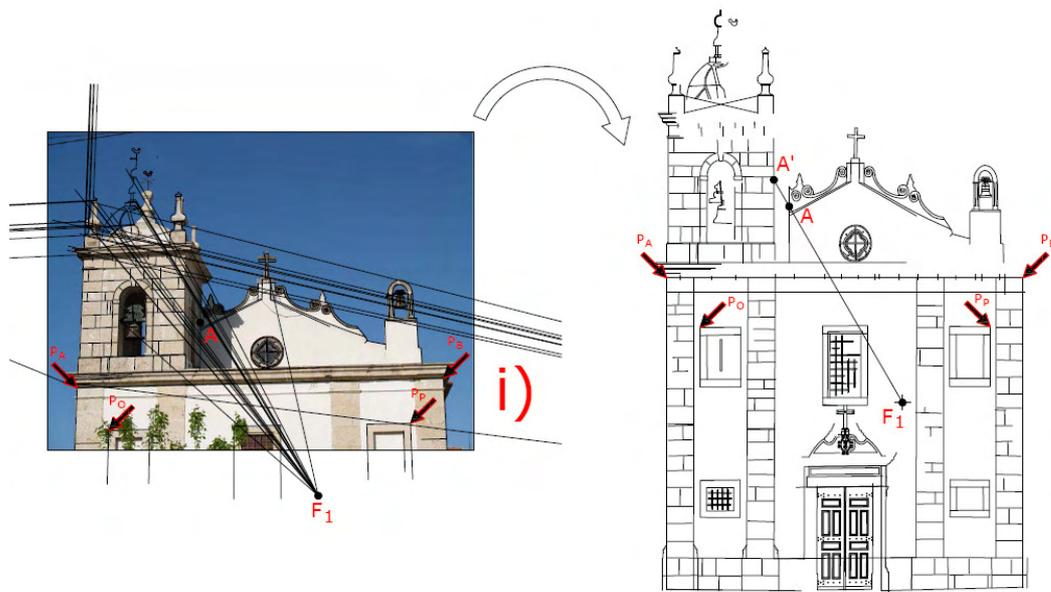


Figura 2-15: Projecção no plano da rectificação de elementos espaciais situados fora deste. Especial atenção deve aqui ser dada às regras da perspectiva.

De seguida procedeu-se à rectificação utilizando os pontos de controlo P_A , P_B , P_O e P_P . Note-se que nesta operação o plano do óculo fica fora de escala dado que se encontra recuado em relação ao plano principal. Se assumirmos que esse plano é paralelo ao plano principal, podemos utilizar o ponto de fuga F_1 , após a rectificação, como centro de uma operação de escala a aplicar àquele plano que lhe atribui a escala correcta de acordo com a figura 2-16. O factor de escala é dado por $\overline{F_1A'} / \overline{F_1A}$.

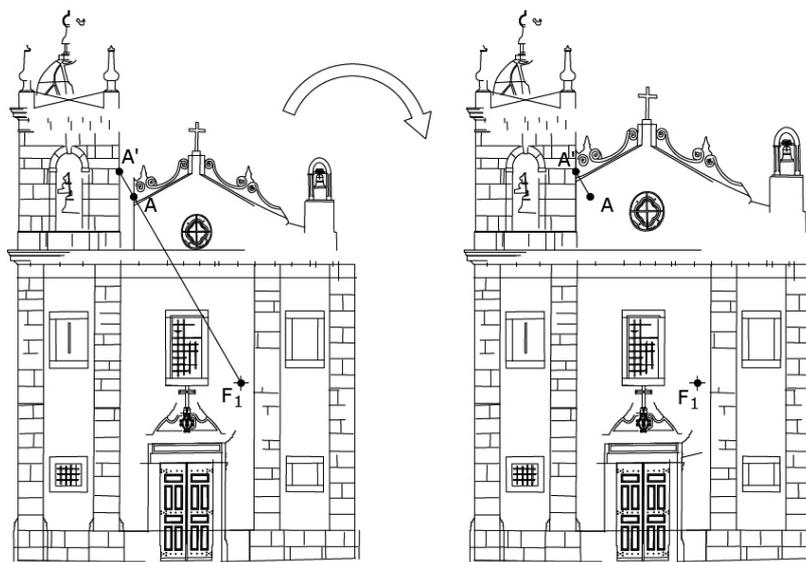


Figura 2-16: Aplicação de factor de escala ao frontão situado em segundo plano para o colocar com a escala correcta.

- Etapa 10.

Finalmente a última etapa consiste no completamento do desenho, através de operações de simetria e outras rectificações pontuais.



Figura 2-17: Correção final do desenho tendo em conta as medições directas de controlo feitas em campo.

De seguida procede-se à rectificação utilizando os pontos de controlo P_1 , P_2 , P_2 e P_4 conforme se ilustra na figura 2-17. Estes pontos são dispostos de modo a definirem um rectângulo de acordo com as medições de controlo efectuadas em campo.

- Validação.

Para a validação do resultado considera-se a sobreposição do alçado com a ortomagem de VL3DT e a análise das diferenças de coordenadas entre pontos homólogos, conforme a figura 2-18.

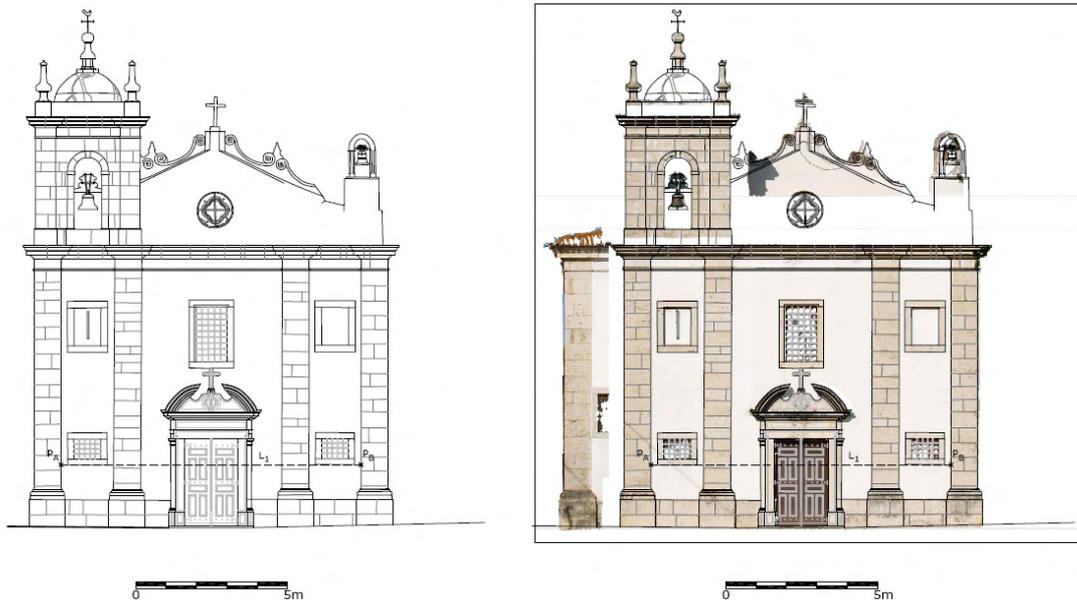


Figura 2-18: Comparação do resultado obtido com a orto-imagem de varrimento laser 3D.
Comparação feita através de sobreposição.

Verifica-se que as maiores discrepâncias ocorrem na direcção vertical. Tal facto era de esperar dado que a dimensão de controlo na vertical, 2.90m, é mais reduzida que a dimensão de controlo na horizontal, 9.88m. Assim os erros gráficos foram extrapolados na direcção vertical. Ainda assim, no plano principal estes erros, na vertical, não ultrapassaram os 9 cm, valor acima do máximo considerado admissível para a escala 1/100, mas os erros na horizontal não ultrapassaram os 2cm, perfeitamente admissíveis para a mesma tolerância. No segundo plano, o plano do óculo, os erros foram maiores, cerca de 14cm na direcção vertical e 9cm na direcção horizontal junto à cruz. Estes erros podem explicam-se parte pelas premissas que se assumiram quanto à orientação do plano (os erros na direcção horizontal) e pela reduzida dimensão de controlo na vertical (os erros na direcção vertical). Estes resultados mostram que se dispusermos de melhores valores de controlo na vertical poderemos melhorar os resultados. Note-se também que uma vez que os procedimentos de desenho são independentes das imagens, podemos perfeitamente melhorar o desenho aplicando-lhe nova rectificação sem que para isso precisemos de o repetir. Evidentemente que, com a configuração de controlo adoptada, o desenho final não obedeceu ao critério de precisão predefinido. Não quer isto dizer que este tipo de procedimento deva ser posto de parte. Quer antes dizer que devem ser utilizadas dimensões de controlo abrangentes e não parcelares.

- Os desenhos sobre as imagens foram elaborados sobre as layers das imagens respectivas. Foi considerada ainda uma layer específica para o processo de

rectificação e outra para o desenho final. Por fim, a descrição gráfica do processo foi organizada num desenho final. Este foi organizado no paperspace no formato A0 com o alçado final representado na escala 1/100, definindo um layout que incluiu a definição de um ficheiro *.ctb com as configurações dos estilos de impressão e uma plotter virtual do tipo DWF guardada através de ficheiro de extensão *.pc3.

- O desenho do perímetro:
- Primeiro foi feita a remoção do efeito de distorção radial das imagens utilizando o software Olympus Master 2.
- De seguida as imagens foram inseridas no ambiente de trabalho do software AutoCAD 2004 sendo parcialmente delineadas.
- Começamos por recordar o procedimento operativo para a determinação do ângulo entre planos verticais de fachadas adjacentes, tomando para exemplo a figura 2-19. Na imagem, começa por se desenhar um segmento vertical sobre a aresta comum aos dois planos, cuja medida no objecto é conhecida, 4.18m.

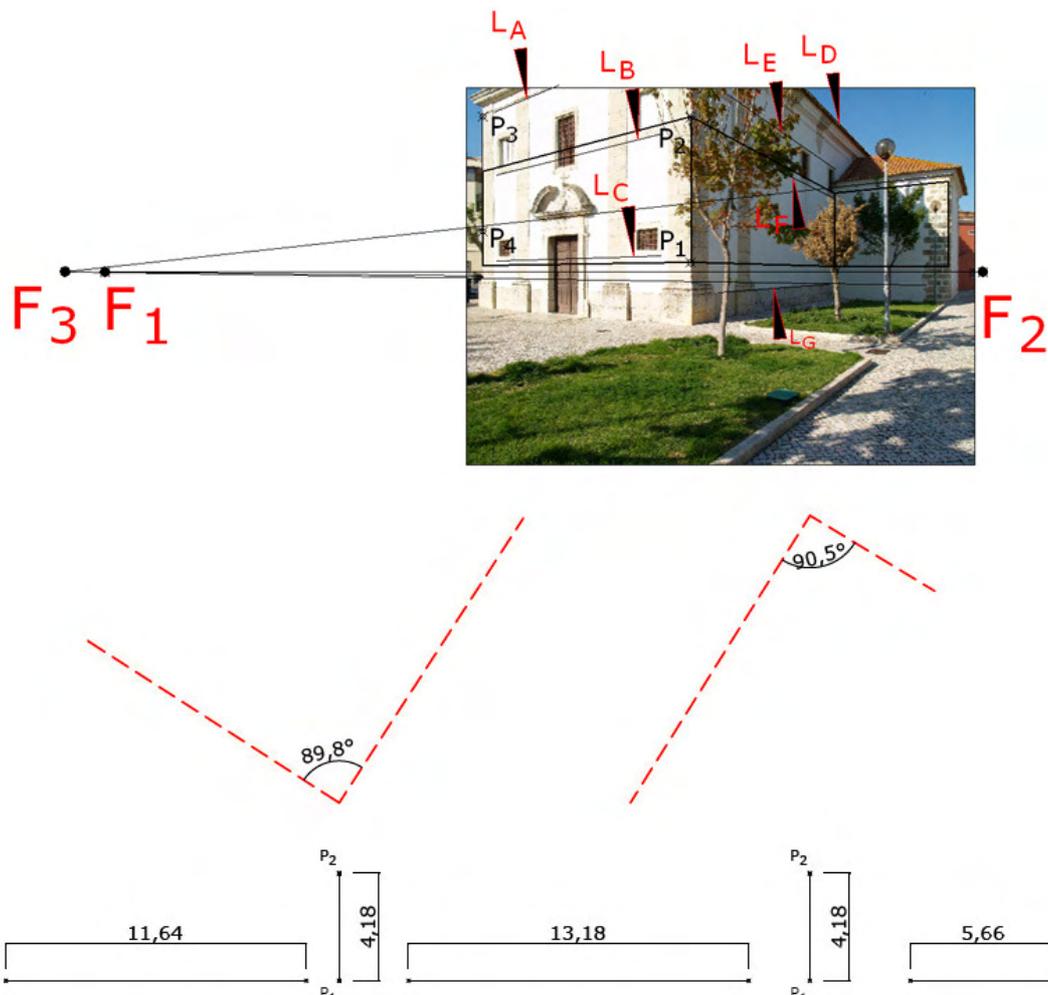


Figura 2-19: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.

Na imagem da figura 2-19 trata-se do segmento $[P_1P_2]$. De seguida marcam-se mais dois segmentos verticais, um na aresta esquerda da face da esquerda e outro na aresta direita da face da direita. Estes dois segmentos devem corresponder à mesma dimensão no objecto, que é a dimensão correspondente ao segmento marcado sobre a aresta comum. Estes dois segmentos podem ser marcados através dos pontos de fuga F_1 e F_2 . Sendo conhecidas, no objecto, as distâncias entre estes segmentos e o segmento $[P_1P_2]$, que neste caso são 11.64m (distância esquerda) e 13.18m (distância direita), estamos em condições de determinar o ângulo entre os planos das duas fachadas, aplicando o princípio que se expôs no ponto 4.3 do volume I da presente tese. Aplicando a rotina respectiva obtivemos o valor 89.8° . Procedendo de modo idêntico para o par de fachadas seguintes obtivemos o valor de 90.5° , conforme se ilustra na figura 2-19.

Notamos que a determinação de cada um dos pontos de fuga, F_1 e F_2 , foi conseguida utilizando a convergência de mais que duas rectas. Para determinar o ponto de fuga F_1 utilizaram-se as rectas L_A , L_B e L_C . Para determinar o ponto de fuga F_2 utilizaram-se as rectas L_D , L_E , L_F e L_G . Em ambos os casos aplicou-se uma rotina que implementa o princípio descrito no ponto 4.1 do volume I.

Aplicando estas operações para novos pares de fachadas obtemos mais ângulos entre planos conforme se ilustra nas figuras 2-20 e 2-21. Nestes dois casos são determinados os ângulos de 90.8° e 91.3° , respectivamente. Os segmentos correspondentes às alturas de referência foram propagados a partir da informação da imagem da figura 2-19 utilizando as regras da perspectiva, isto é, através dos pontos de fuga das direcções, supostas horizontais, das faces.

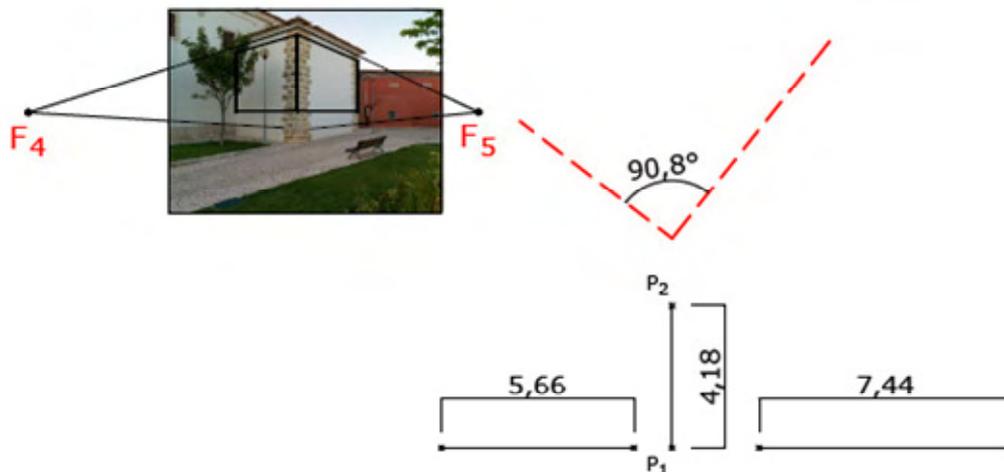


Figura 2-20: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.

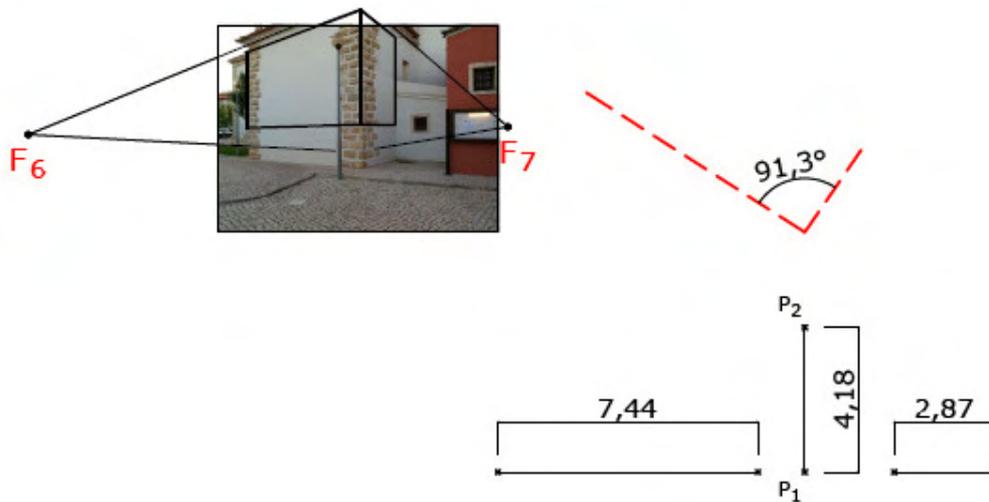


Figura 2-21: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.

No caso da imagem da figura 2-22 o procedimento é idêntico.

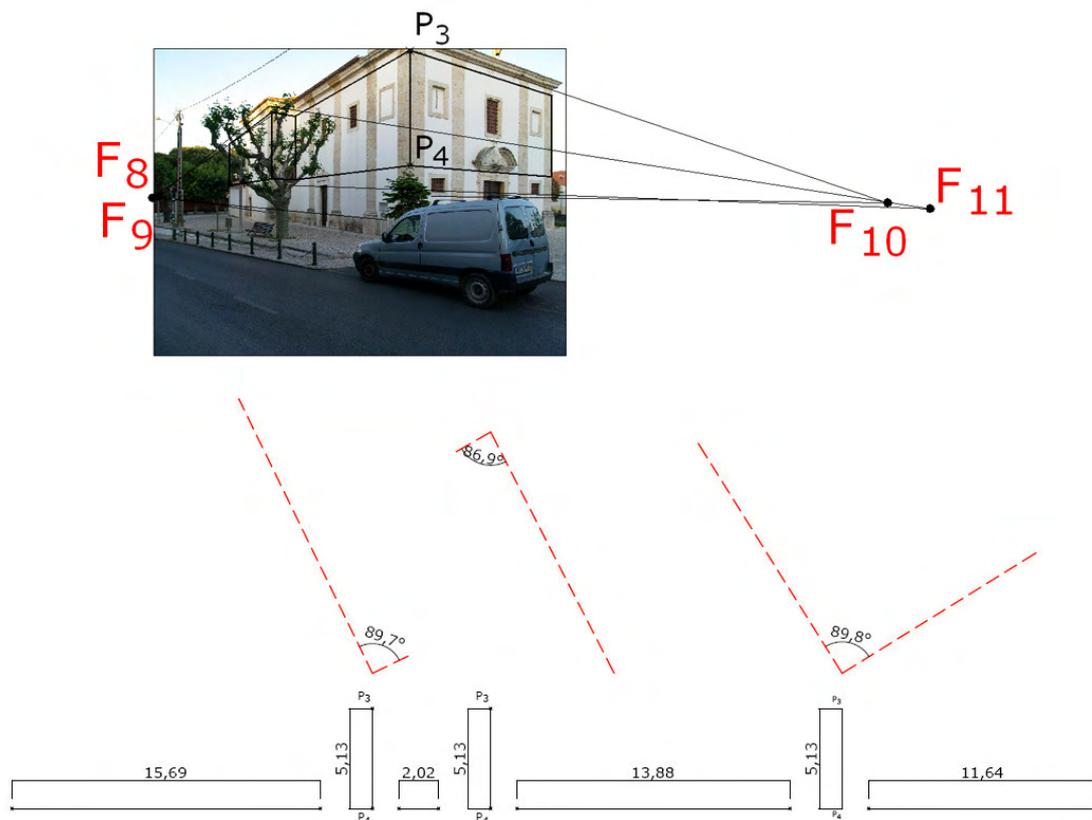


Figura 2-22: Determinação do ângulo entre planos verticais adjacentes de fachadas.

A diferença reside no facto de a medida de controlo vertical ser agora de 5.13m. Na imagem esta corresponde ao segmento $[P_3P_4]$. Note-se no entanto que esta medida não foi dada inicialmente como medição de controlo. Ela foi obtida a partir da configuração da imagem da figura 2-19 aplicando o princípio da rectificação. Com efeito também se poderia ter utilizado uma medição feita sobre o alçado ou mesmo em campo.

Os quatro planos de fachadas representados na imagem da figura 2-22 podem agrupar-se em três pares de dois planos de modo a corresponderem-lhes três ângulos. Aplicando os procedimentos acima descritos obtêm-se os ângulos 89.8° , 86.9° e 89.7° .

- Após estarem determinados os vários ângulos, e sendo conhecidos as larguras das fachadas, pode agora proceder-se à assemblagem dos vários ângulos de modo a dar origem ao perímetro pretendido conforme se ilustra na figura 2-23.

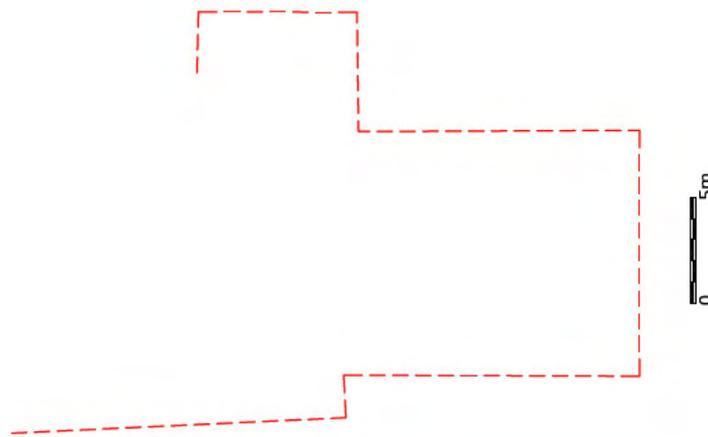


Figura 2-23: Assemblagem num único desenho dos vários ângulos determinados.

- Validação.

O procedimento seguido para a validação dos resultados passou pela comparação entre a figura por nós determinada e a secção equivalente obtida sobre um modelo produzido por VL3DT.

Na figura 2-24, à esquerda encontra-se a planta de controlo com os ângulos marcados.

Ao centro, na mesma figura, encontra-se uma comparação entre ângulos homólogos, e à direita, encontra-se sobreposição entre as duas figuras, a secção obtida por VL3DT e o perímetro por nós desenhado. A sobreposição foi feita a partir do

alinhamento dos segmentos homólogos correspondentes à fachada principal, segmento $[Pt_F Pt_E]$ na figura 2-24 à direita.

Verificamos que as diferenças entre ângulos homólogos variam entre 1.5° e -1.3° .

Verificamos que as distâncias entre pontos homólogos têm o seu máximo para o ponto Pt_I , cerca de 0.53cm.

Naturalmente estes resultados não correspondem às nossas expectativas no que diz respeito ao desempenho métrico.

Pensamos que os resultados podem ser melhorados se forem utilizadas medições de controlo exclusivamente obtidas em campo em vez de se utilizarem procedimentos que podem propagar erros, como é o caso da aplicação dos pontos de fuga para propagar as medidas de controlo, ou como é o caso da utilização de medidas a partir dos alçados previamente desenhados.

Também nos parece que pode ser fonte de melhoramentos a utilização de mais que uma medição por ângulo, isto é, considerando larguras parciais medidas nas várias fachadas.

Parece-nos que este tipo de procedimento pode ser mais eficazmente utilizado em perímetros fechados de modo a poder avaliar-se o erro de fecho da figura.

Experiências futuras deverão ter em consideração o que apontámos.

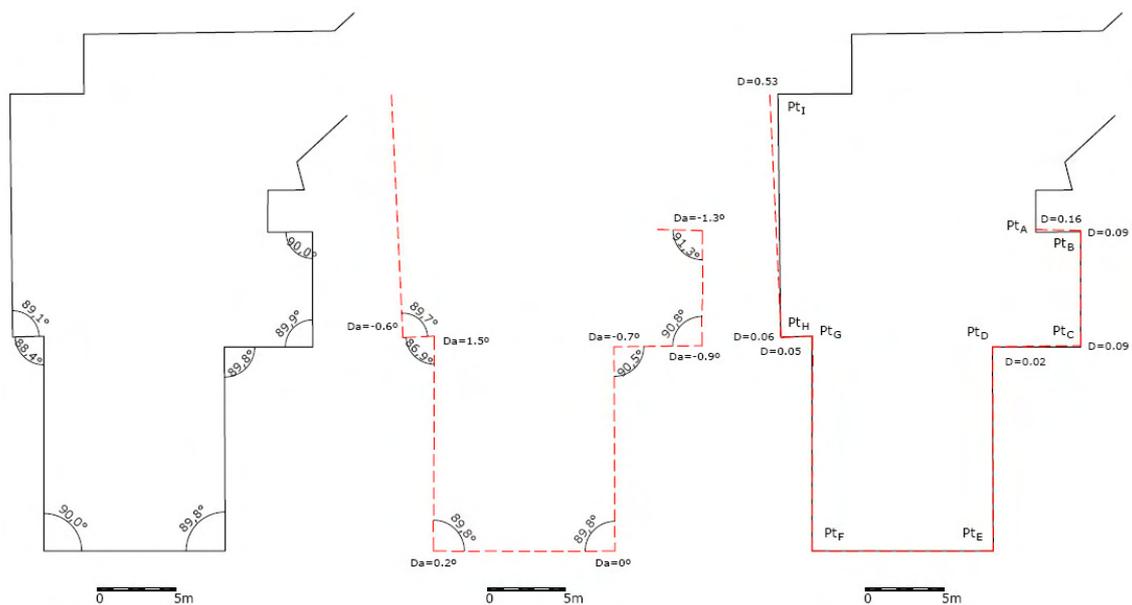


Figura 2-24: À esquerda: secção de controlo obtida por varrimento laser 3D. Ao centro: secção obtida através do nosso procedimento. À direita: comparação entre as duas secções.

- Os desenhos sobre as imagens foram elaborados sobre as layers das imagens respectivas. Foi considerada ainda uma layer específica para o processo de

determinação dos ângulos entre fachadas. Por fim, a descrição gráfica do processo foi organizada num desenho final. Este foi organizado no paperspace no formato A0 com o alçado final representado na escala 1/100, definindo um layout que incluiu a definição de um ficheiro *.ctb com as configurações dos estilos de impressão e uma plotter virtual do tipo DWF guardada através de ficheiro de extensão *.pc3.

A.2.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Nas figuras 2-25 e 2-26 ilustram-se os desenhos finais que sintetizam os processos acima descritos, na sua componente de desenho. Estes desenhos podem ser consultado nos formatos *.pdf e *.dwf que se encontram no CD anexo à tese. Trata-se dos ficheiros Siria_1.pdf e Siria_1.dwf no caso da produção do alçado, e dos ficheiros Siria_2.pdf e Siria_2.dwf no caso da determinação do perímetro.

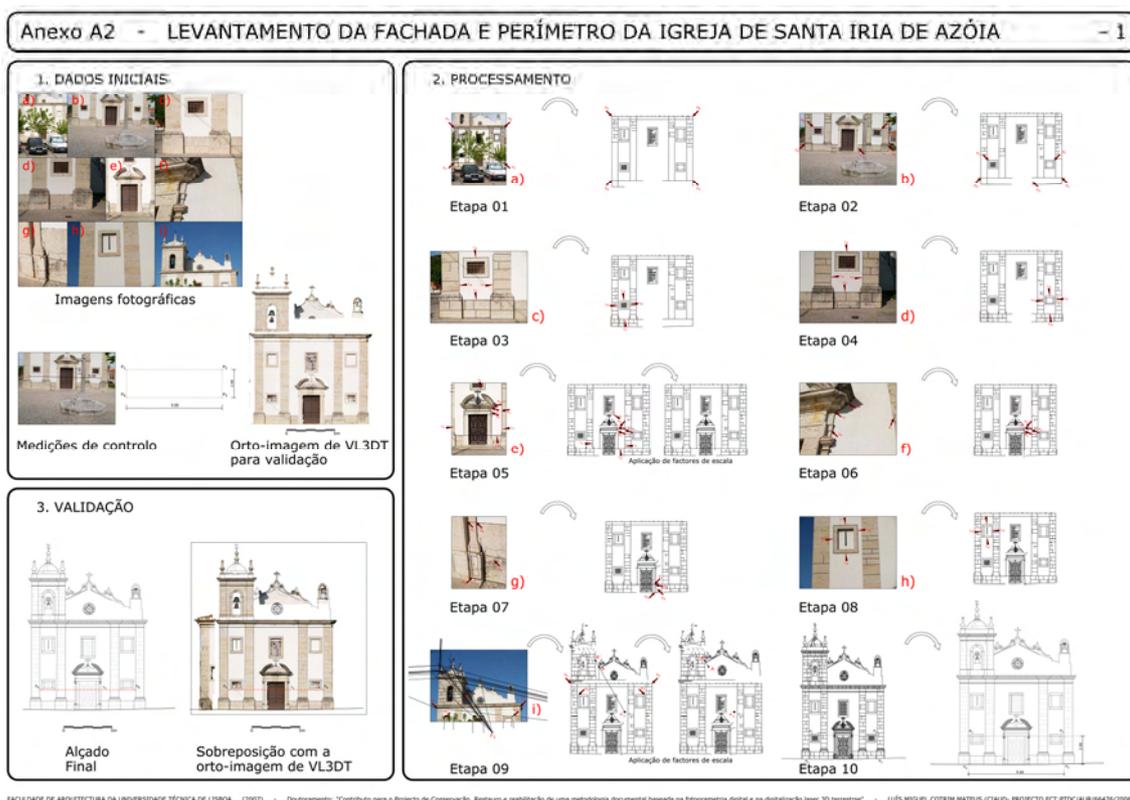


Figura 2-25: Painel com síntese das operações efectuadas relativamente ao desenho da fachada.

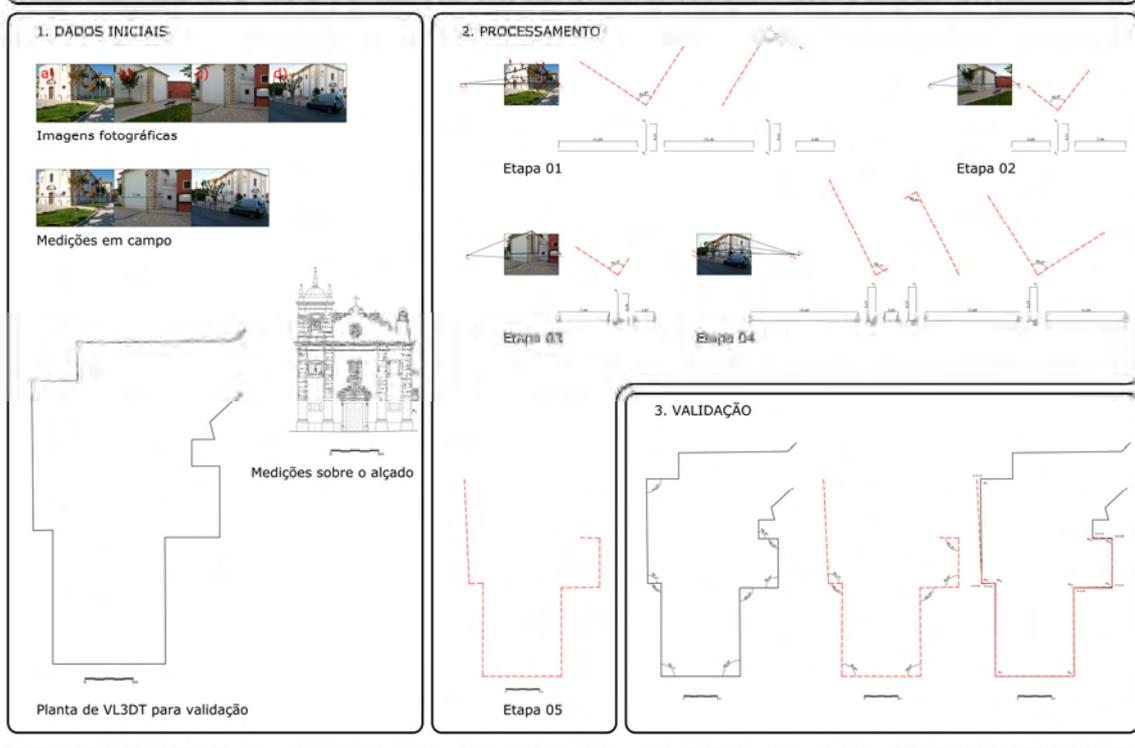


Figura 2-26: Painel com síntese das operações efectuadas relativamente ao desenho do perímetro.

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar.

A.2.3. ANÁLISE CRÍTICA

Foram recolhidas imagens sujeitas a dois critérios: i) imagens oblíquas com diferentes níveis de aproximação ao objecto, ii) imagens de esquina tiradas com o eixo da câmara na horizontal. As primeiras destinaram-se a servir de base à produção de desenhos para rectificar, e as segundas destinaram-se ao teste de uma ferramenta que permite determinar ângulos entre planos de fachada adjacentes e verticais.

Consolidámos a metodologia da rectificação vectorial aplicada à representação de fachadas aproximadamente planas. Verificámos que a utilização de imagens com diferentes níveis de aproximação ao objecto permite tornar a representação tão diferenciada quanto se queira. Explorámos os princípios da perspectiva para extrair informação relativa a formas não planas e não colocadas no plano da rectificação. Combinámos no mesmo processo a rectificação de planos de fachada com diferentes profundidades e pudemos constatar o tipo de erros que ocorrem nestas situações. Percebemos que esses erros derivam de premissas assumidas relativamente ao

objecto, em geral premissas direccionais. Foi claro para nós este tipo de erro na representação do frontão que se encontra em segundo plano na fachada. Parte do erro terá derivado de se ter assumido uma direcção ortogonal ao plano da fachada para a projecção do frontão naquele plano.

Verificámos que a utilização de medidas directas para controlo da rectificação pode levar a faltas de precisão se as áreas a rectificar se desenvolverem para fora do polígono definido pelos pontos ou linhas de controlo.

A comparação dos materiais produzidos com materiais homólogos produzidos por varrimento laser 3D, um método mais rigoroso, permitiu perceber melhor as qualidades dos nossos procedimentos. A comparação com o varrimento laser 3D mostrou que no plano principal da fachada se conseguiu cumprir a tolerância de $\pm 5\text{cm}$, na direcção horizontal, que se tinha assumido o que valida este procedimento para a produção de documentação nas escalas de 1/100 ou 1/200. Claro que isto depende também do nível de aproximação ao objecto das imagens mais gerais que se utilizam. Relativamente à direcção vertical nota-se a menor dimensão de controlo e daí o maior erro.

A sucessão de sucessivas operações de rectificação, do geral para o particular, deve ser seguida com cautela para tentar minimizar a acumulação de erros.

A metodologia que utilizámos para determinar os ângulos entre planos verticais de fachadas adjacentes entre si, acabou por se revelar bastante sensível aos desvios relativamente às premissas tomadas para o registo fotográfico. O requisito de que as imagens fossem obtidas com eixo horizontal é, na prática, muito difícil de satisfazer, mesmo que se utilize um tripé. A distorção radial das imagens é outro problema. E a somar a estes dois problemas temos ainda a obtenção de medidas de controlo. Face a estas questões observámos que a justaposição de mais que três ou quatro ângulos determinados sequencialmente, introduz erros significativos. Pensamos por isso que esta metodologia, no seu actual nível de desenvolvimento, não deverá ser utilizada de forma extensiva. Admitimos o seu uso condicionado a situações relativamente contidas e apenas como forma de gerar um primeiro nível de documentação. À semelhança da rectificação, esta metodologia aplica-se apenas a fachadas aproximadamente planas. E apresenta a mesma limitação de, sob a forma em que se encontra implementada, apenas poder ser utilizada no ambiente do AutoCAD.

A.2.4. CONCLUSÕES

Consolidámos a metodologia da rectificação vectorial e demonstrámos que pode se utilizada para gerar o nível de diferenciação que se pretender na representação. Os

resultados obtidos com esta experiência confirmam que o processo da rectificação é válido para a produção expedita de levantamentos de fachadas.

Testámos uma metodologia para a determinação de ângulos entre planos de fachada verticais adjacentes entre si que consistia em: i) registo fotográfico, ii) obtenção de medidas de controlo, iii) inserção das imagens no AutoCAD, iv) delineação das imagens em função das medidas de controlo, v) determinação de ângulo entre planos verticais adjacentes, vi) edição do desenho. Os resultados obtidos mostram também que o processo de produção do desenho do polígono envolvente de um edifício utilizando o procedimento descrito apresenta limitações sobretudo em utilização extensiva sequencial.

Reafirmamos a necessidade de uma cultura geométrica acentuada para a correcta utilização destas duas metodologias.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1: Delimitação da área a documentar.....	78
Figura 3-2: Fotografia utilizada em campo para anotar os pontos topográficos visados.	84
Figura 3-3: Excerto de planta correspondente ao levantamento topográfico.....	86
Figura 3-4: Montagem automática de imagem panorâmica com o software Hugin.	87
Figura 3-5: Pontos homólogos entre imagens adjacentes.....	87
Figura 3-6: Parâmetros angulares de orientação relativa entre as várias imagens.	88
Figura 3-7: Desenho efectuado em CAD sobre as imagens.....	89
Figura 3-8: Rectificação vectorial do desenho do muro.....	90
Figura 3-9: Desenho do levantamento da planta do muro.....	90
Figura 3-10: Desenho do levantamento dos alçados do muro e construções anexas.....	91

ÍNDICE

A.3	LEVANTAMENTO DO MURO DO HOSPITAL ST. LOUIS, LISBOA.....	77
A.3.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	77
A.3.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	77
A.3.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	78
A.3.1.2.1.	OBJECTIVOS	78
A.3.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER	79
A.3.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	79
A.3.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	80
A.3.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	80
A.3.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	82
A.3.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	83
A.3.2.1.	RECOLHA DE DADOS	83
A.3.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	85
A.3.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	91
A.3.3.	ANÁLISE CRÍTICA	91
A.3.4.	CONCLUSÕES.....	91

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

Neste processo a nossa participação reduziu-se ao desenho dos alçados do muro e construções anexas interiores tendo por base um levantamento topográfico, cuja execução também acompanhámos.

Quanto aos objectivos de investigação, pretendemos demonstrar que o processo fotogramétrico da rectificação vectorial pode ser aplicado de forma eficiente, também como método complementar de levantamento, e produzir resultados precisos se dispusermos de informação de controlo precisa, como são, em princípio, os dados topográficos obtidos com Estação Total.

A.3.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.3.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA
--

Identificação e localização do sítio:

- Hospital de St. Louis, Rua Luz Soriano, 182, Lisboa

Entidade contratante:

- Direcção do Hospital de St. Louis.

Entidade contratada:

- Topógrafo José Gonçalves. Com o apoio do Arquitecto Luís Mateus para o desenho de levantamento dos alçados do muro e anexos por rectificação vectorial.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Necessidade de documentação de base para projecto de recuperação do muro e construções anexas.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Pretende-se a elaboração de uma planta topográfica, alçado exterior do muro e alçados das construções anexas interiores.

Delimitação da área a documentar:

- O muro, pelo exterior e interior incluindo as construções anexas, de acordo com a figura 3-1.



Figura 3-1: Delimitação da área a documentar.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Não relevante.

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Não relevante.

Data:

- Início do processo: Outubro de 2008.

A.3.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

A.3.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- Projecto de recuperação do muro.

A.3.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Planta topográfica e alçados com o nível de informação da escala 1/100.

Desempenho métrico:

- Não definido.

Apresentação:

- O resultado final deverá ser apresentado à entidade contratante nos formatos *.dwg e *.dxf com a estrutura de layers visível.

Causas para a rejeição dos materiais:

- Não definido.

A.3.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- Informação não disponível.

Autorizações de acesso:

- Autorização de acesso dada pela direcção do Hospital.

Condições de segurança:

- É necessário ter em atenção a circulação de ambulâncias no pátio do hospital e a circulação de veículos nas ruas envolventes.

Condições de acessibilidade:

- Costumam encontrar-se viaturas estacionadas no interior do pátio delimitado pelo muro.
- Grande parte do muro encontra-se coberto de trepadeiras o que impede a recolha de imagens.

Retenção dos materiais:

- Não definido.

Impactos admissíveis no objecto:

- Não definido.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Não aplicável.

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Direitos de autoria dos levantamentos – os autores dos levantamentos
- Direitos reprodução dos materiais – a entidade contratante e os autores dos levantamentos.

A.3.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA**Entidades produtoras da documentação gráfica:**

- Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (arquitecto Luís Mateus)
- Topógrafo José Gonçalves.

Entidades fiscalizadoras:

- Não definido.

A.3.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- Este processo de documentação dividir-se-á em duas partes: i) visita de reconhecimento do local em que se fará uma recolha fotográfica prévia de suporte ao planeamento do levantamento, e ii) levantamento topográfico e fotogramétrico. A visita de reconhecimento servirá para fazer uma recolha fotográfica prévia de suporte ao planeamento e execução do levantamento. Em momento posterior será feito um levantamento topográfico da planta do muro através da utilização de estação total. Como o muro, sobretudo no seu alçado principal, apresenta algum detalhe, o levantamento topográfico não é o mais indicado para proceder ao seu registo. Assim considerou-se que a utilização de processos fotogramétricos seria mais adequada ao levantamento do muro e que também poderia ser aplicada ao levantamento dos alçados das construções anexas. Deste modo utiliza-se também o levantamento

topográfico para a determinação de pontos de controlo para o processo fotogramétrico.

- Assim, será feito um levantamento topográfico da planta do muro de coordenadas de pontos de controlo para rectificação vectorial.
- O levantamento fotogramétrico utilizará o princípio da rectificação vectorial uma vez que não se pretende a inclusão de imagens na documentação final. Através deste processo podem utilizar-se as imagens de forma versátil para o processo de desenho e até mesmo para derivar informação de controlo secundária mas importante para o processo de restituição gráfica.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Levantamento topográfico: Estação total Sokkia 130R3 com e sem prisma reflector e bastão de 1.5m de altura.
- Levantamento fotográfico: Câmara fotográfica SLR Olympus E-500, sensor de 13x17,3mm, 8Mp de resolução, cartão de memória de 2Gb, com uma objectiva de 14-45mm, e tripé com cabeça nodal, caso seja necessário recolher imagens para produzir panoramas.

Planeamento da recolha dos dados:

- Deverá ser feita uma visita de reconhecimento, na qual se recolherão imagens fotográficas que servirão de base ao planeamento e execução do levantamento. Em segunda visita proceder-se-á à execução da componente de campo do levantamento propriamente dito que consistirá na recolha dos dados topográficos e das imagens fotográficas para a fotogrametria.
- Os pontos topográficos de controlo para o desenho da planta e das rectificações serão identificados sobre as fotografias impressas resultantes da visita de reconhecimento e corresponderão a pontos naturais do objecto.
- A selecção dos pontos topográficos para o desenho da planta e para controlo das rectificações será efectuada em campo, sendo registados em caderneta electrónica.
- A escolha dos pontos de vista para a produção das imagens sobre as quais se desenhará será efectuada em campo. Em todo o caso, no caso do alçado principal do muro considera-se a hipótese de proceder à elaboração de uma imagem panorâmica para que se possa aceder, sobre uma única imagem, a informação com maior detalhe. Se assim se fizer, será necessário assegurar que as várias imagens base para os panoramas sejam produzidas sem paralaxe. Para o efeito deverá utilizar-se tripé com cabeça nodal.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Visita prévia: 1 pessoa – ½ dia.
- Levantamento topográfico: 2 pessoas – ½ dia.
- Levantamento fotográfico: 1 pessoa – ½ dia.
- Custos: informação não disponível.

A.3.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- A produção da planta e de alçados do muro que não apresentem decoração derivará directamente processamento dos dados topográficos, isto é, far-se-á através de processos de desenho correntes tendo por base as coordenadas derivadas do levantamento topográfico de campo.
- A produção dos alçados que apresentem alguma decoração ou pormenor será feita através do método da rectificação vectorial apoiada sobre as projecções, de acordo com os alçados específicos a produzir, das coordenadas dos pontos de controlo obtidos através da topografia. A rectificação vectorial é um método adequado na medida em que permite o acesso a informação detalhada sobre as imagens. Cada rectificação utiliza quatro pontos de controlo. Contudo serão identificados, em desenho, mais que os pontos necessários. A comparação das coordenadas topográficas destes pontos com os homólogos resultantes da aplicação da rectificação servirá como medida de avaliação da precisão do processo.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Os dados topográficos serão processados através do software SDRMap 6.0.
- O restante desenho, incluindo as operações de rectificação, será produzido no software AutoCAD 2004 com a ferramenta de fotogrametria elementar carregada. A descrição da ferramenta é feita no Volume I, no ponto 3.7.1 – Desenvolvimento de uma ferramenta de fotogrametria elementar.
- Caso seja necessário produzir alguma imagem panorâmica será utilizado o software Hugin.
- Estas operações são todas realizadas em hardware standard.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- Os dados topográficos, registados em campo em caderneta electrónica ligada à estação total, serão descarregados para o computador de trabalho. Do seu processamento deverá resultar um ficheiro *.dwg de base em que deverá constar a planta do muro e as coordenadas dos pontos de controlo para as rectificações.
- As imagens fotográficas, ou os panoramas, serão inseridas em CAD e delineadas manualmente. Esta operação é completamente independente da existência de pontos de controlo dado que a delineação é efectuada sobre as imagens directamente.
- Após a delineação, e considerando as coordenadas dos pontos de controlo, serão produzidas as rectificações.
- O resultado final apenas incluirá a componente desenhada e excluirá as imagens. Deverá ser apresentado, conforme solicitado, nos formatos *.dwg e *.dwf com a estrutura de layers visível.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Processamento dos dados topográficos: 1 pessoa – 2 dias.
- Processamento das imagens e desenho: 1 pessoa – 1 semana.
- Custos: informação não disponível.

A.3.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

A.3.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- O processo de recolha dos dados compreendeu as seguintes etapas: a) visita de reconhecimento, b) recolha dos dados topográficos, c) recolha das imagens fotográficas.
- Visita de reconhecimento:
Foi realizada uma visita de reconhecimento ao local pelo topógrafo José Gonçalves na primeira semana de Outubro de 2008 na qual foram recolhidas algumas imagens para planeamento.
- Recolha dos dados topográficos:

Os dados topográficos foram recolhidos no dia 8 de Outubro de 2010 entre as 12h e as 17h, sendo registada a sua localização sobre as imagens da visita prévia impressas como se ilustra na figura 3-2.

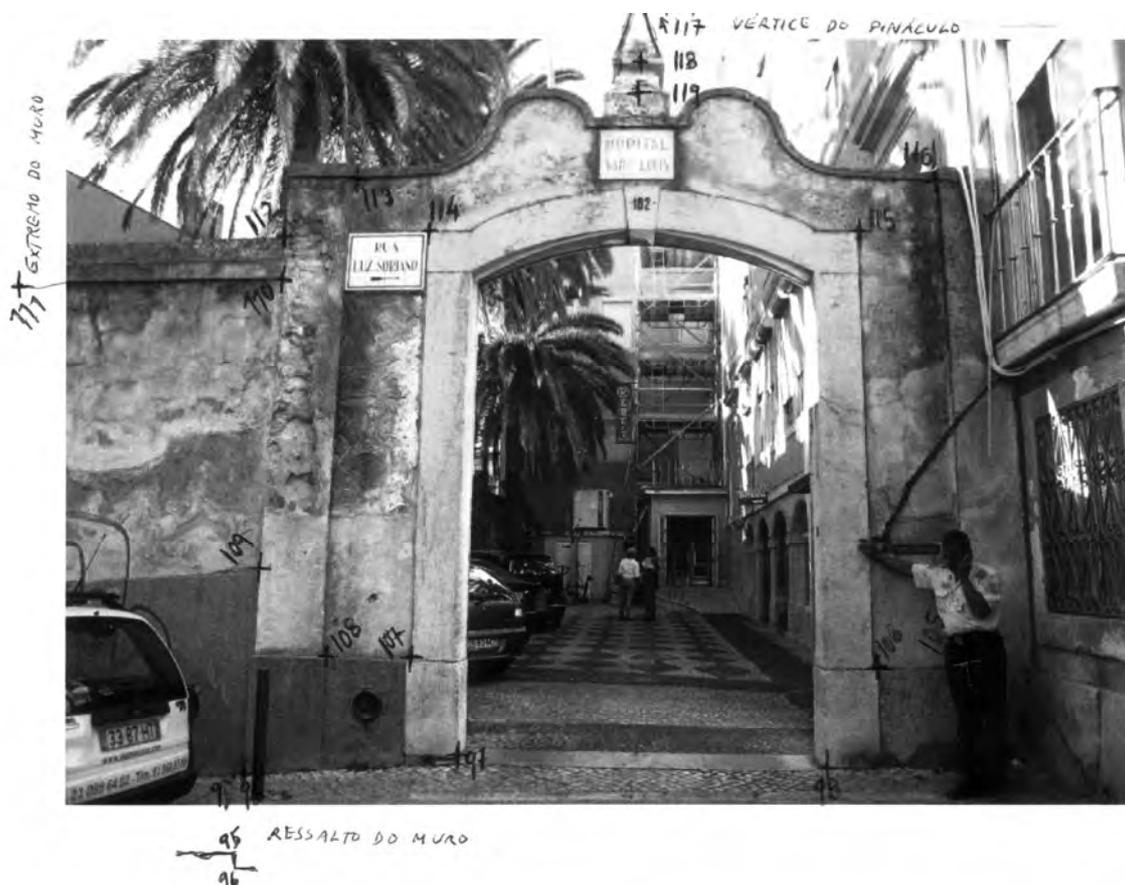


Figura 3-2: Fotografia utilizada em campo para anotar os pontos topográficos visados.

Os dados topográficos foram recolhidos considerando a adopção de um referencial planimétrico local e um datum vertical arbitrário definido pela primeira estação a que foi atribuída a cota 100.00.

Foram materializadas 3 estações topográficas no pavimento, através de marcação com tinta vermelha, definindo uma poligonal aberta. A partir destas foram lidas distâncias e ângulos até aos pontos que se consideraram relevantes para a definição da planta e para o controlo das rectificações. Os pontos situados ao nível do pavimento foram visados através da utilização de prisma reflector montado num bastão com 1.5m de altura. Os pontos situados acima do pavimento, isto é, sobre as paredes, foram visados directamente sem a utilização de prisma reflector.

- Recolha das imagens fotográficas:

Os dados fotográficos para rectificação vectorial foram recolhidos no dia 8 de Outubro de 2010 entre as 12h 45m e as 15h.

Considerou-se a produção de uma imagem panorâmica correspondente ao alçado principal do muro. Essas fotografias foram tiradas utilizando um tripé com cabeça nodal para evitar o efeito da paralaxe.

Para as imagens fotográficas, considerou-se sempre o ponto de vista o mais frontal possível em relação ao desenho a produzir.

Descrição dos dados recolhidos:

- Foram visados 35 pontos topográficos para registo da planta, 14 pontos topográficos para auxílio do desenho dos alçados do muro e 20 pontos de controlo para a rectificação.
- Foram recolhidas 24 imagens, no formato *.jpg e resolução de 3264x2448pixel, das quais foram utilizadas 15.

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar.

A.3.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

O processamento dos dados incluiu as seguintes etapas: a) processamento topográfico, b) processamento das imagens, e c) restituição gráfica.

- Processamento topográfico:

Os dados recolhidos em campo em caderneta electrónica foram descarregados para PC. De seguida foram importados através do software SDRMap 6.0. Dessa importação e processamento resultou a disposição espacial da nuvem de pontos recolhida. A etapa seguinte consistiu na união dos pontos para definição do desenho da planta e a exportação de um ficheiro de formato *.dwg de base para o processamento seguinte como se ilustra na figura 3-3. Esta figura corresponde a uma parte do levantamento topográfico.

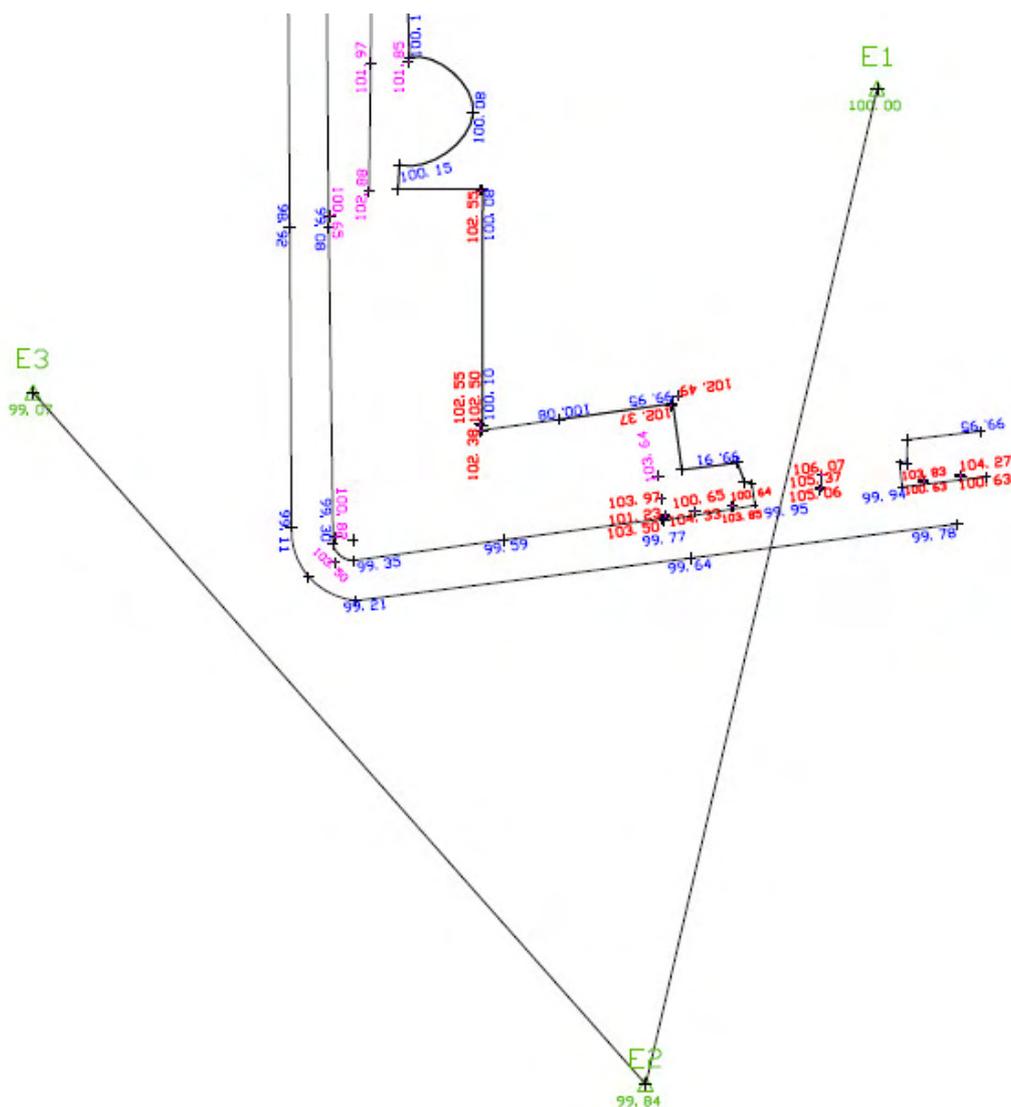


Figura 3-3: Excerto de planta correspondente ao levantamento topográfico.

- Processamento das imagens:

Das 15 fotografias úteis resultantes da recolha fotográfica, 9 foram utilizadas para a produção de uma imagem panorâmica correspondente ao alçado principal. Esta imagem panorâmica foi produzida através da utilização do software livre Hugin conforme se ilustra na figura 3-4.

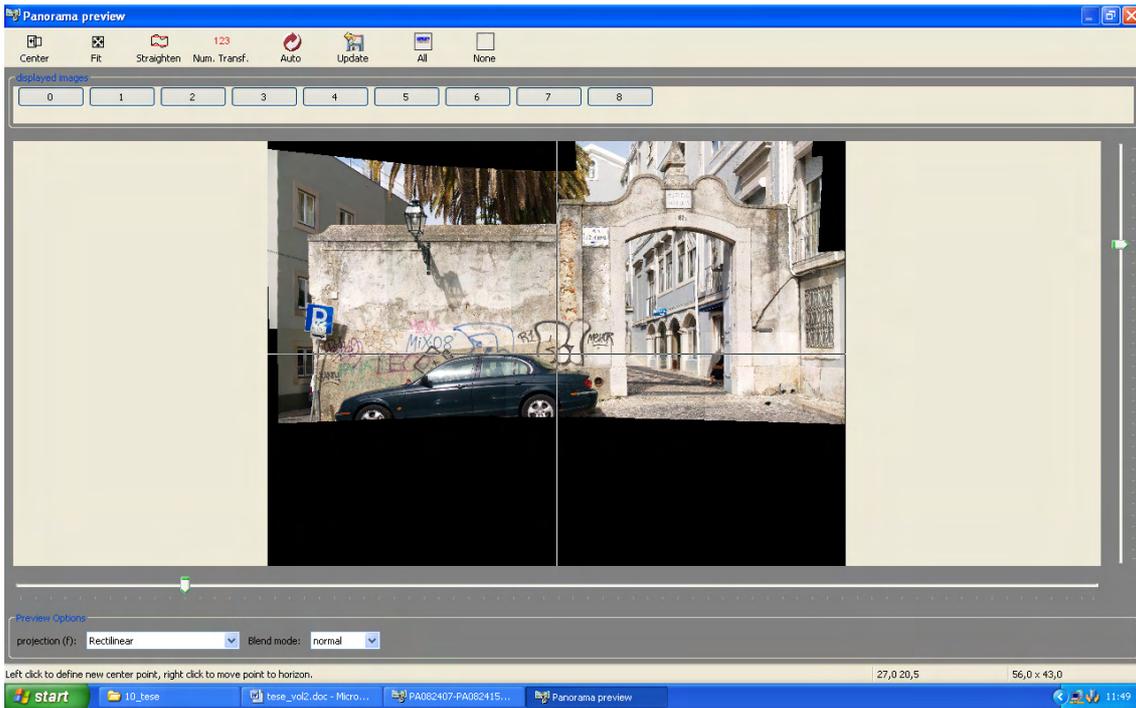


Figura 3-4: Montagem automática de imagem panorâmica com o software Hugin.

Esta aplicação permite o carregamento das imagens de base para a produção do panorama e calcula automaticamente um conjunto de pontos homólogos entre imagens, como se ilustra na figura 3-5.

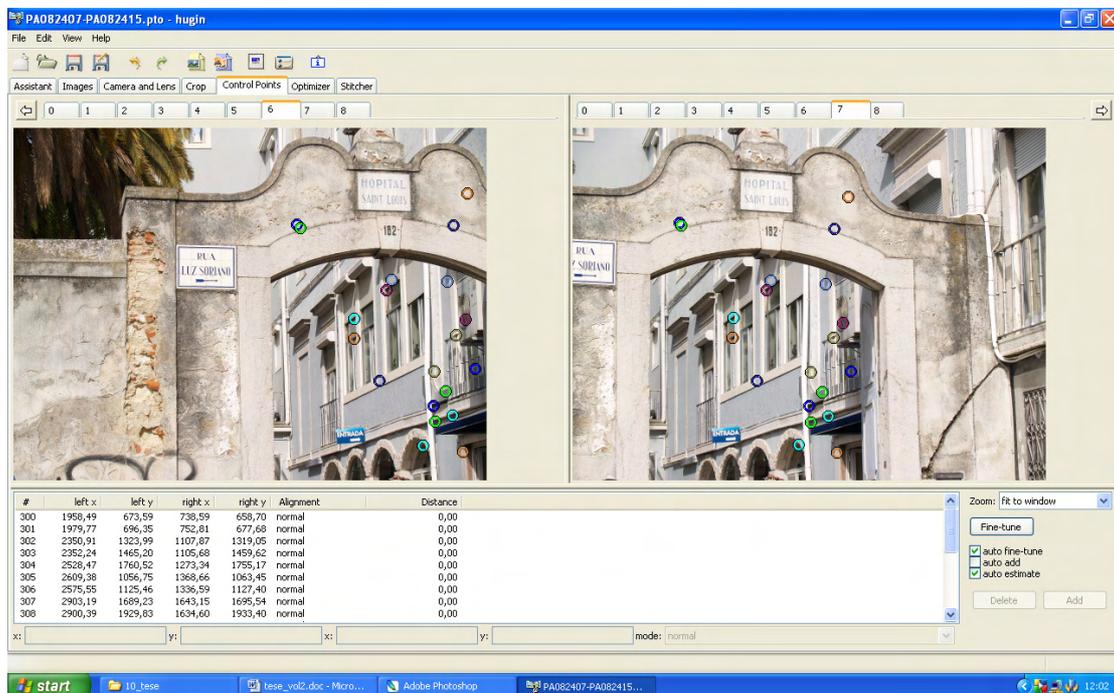


Figura 3-5: Pontos homólogos entre imagens adjacentes.

A partir destes pontos homólogos, e tendo por base a distância focal que é lida através no ficheiro exif associado a cada imagem, a aplicação calcula parâmetros da orientação relativa entre as várias imagens conforme se ilustra no quadro da figura 3-6.

#	Filename	width	height	yaw (y)	pitch (p)	roll (r)	Anchor	# Ctrl Pnts
0	PA082407.JPG	3264	2448	17	1,4	-0,5	AC	67
1	PA082408.JPG	3264	2448	0	0	0	--	109
2	PA082409.JPG	3264	2448	-6,2	1,7	-0,5	--	100
3	PA082410.JPG	3264	2448	-16,3	1,6	-0,5	--	60
4	PA082411.JPG	3264	2448	-17	10,5	0,5	--	60
5	PA082412.JPG	3264	2448	-6,3	10,6	0,5	--	107
6	PA082413.JPG	3264	2448	6,2	10,5	0,5	--	120
7	PA082414.JPG	3264	2448	14,6	10,4	0,4	--	80
8	PA082415.JPG	3264	2448	13,6	16,5	0,1	--	63

Figura 3-6: Parâmetros angulares de orientação relativa entre as várias imagens.

Estes parâmetros correspondem a três ângulos para cada imagem. Estes ângulos, designados por yaw, pitch e roll, correspondem a rotações dos referenciais cartesianos tridimensionais associados a cada imagem, em torno dos eixos z , y e x , respectivamente, de um referencial tomado como referência para o posicionamento relativo das várias imagens. Percebe-se, pela leitura dos valores dos ângulos, expressos em graus, que o referencial da imagem 1 foi considerado o referencial base de referência dado que os valores de rotação são nulos. Relembre-se que, como as imagens foram produzidas sem paralaxe, as origens dos referenciais de todas as imagens correspondem ao ponto de coordenadas $(0,0,0)$ do referencial base.

A aplicação permite implementar múltiplos sistemas de projecção na produção da imagem panorâmica. Foi escolhido o modo rectilinear que corresponde à produção de uma imagem de perspectiva plana.

- Restituição gráfica:

Esta imagem panorâmica e as restantes 6 imagens foram de seguida inseridas num ficheiro de AutoCAD 2004, e delineadas manualmente conforme se ilustra na figura 3-7.



Figura 3-7: Desenho efectuado em CAD sobre as imagens.

Neste processo de delimitação também foram identificados os pontos topográficos, que no caso foram pontos naturais do objecto.

A etapa seguinte corresponde à importação do ficheiro *.dwg topográfico e ao desenho, de acordo com os alçados pretendidos, das projecções dos pontos de controlo topográficos. Foram estas projecções que serviram de base às rectificações. Note-se que a determinação da orientação dos planos de desenho dos alçados, assumida vertical, faz-se de acordo com o posicionamento espacial dos pontos de controlo. Alguns dos pontos utilizados para o desenho da planta também serviram de controlo às rectificações.

Após a conclusão da etapa anterior pode proceder-se à aplicação das operações de rectificação que transformam os desenhos efectuados sobre as imagens em desenhos com as proporções e escala correctas. Estes procedimentos são idênticos aos descritos nos casos de estudo A.1 e A.2.

Após as operações de rectificação é possível avaliar a precisão do processo de restituição comparando as posições de pontos homólogos, que não foram utilizados para determinar parâmetros das operações de rectificação, como se ilustra na figura 3-8. No caso do alçado principal, os pontos 108, 105, 113 e 116 foram utilizados como pontos de controlo para a rectificação. Os restantes pontos situados na vizinhança destes foram utilizados como pontos de verificação dos resultados. A verificação é feita medindo as distâncias entre os pontos topográficos desenhados no alçado e os pontos homólogos resultantes do processo da rectificação. Ao nível dos pontos situados acima do pavimento, isto é no muro, a maior discrepância medida refere-se ao ponto 110 com o valor de 11mm. Ao nível dos pontos do pavimento a

maior discrepância medida refere-se ao ponto 97 com o valor de 18mm. Esta discrepância pode em parte ser explicada pelo facto de o ponto ter sido apontado com o bastão e prisma o que, pela dimensão do bastão e pela localização do ponto implica que o bastão esteja ligeiramente afastado em relação ao ponto que se pretendia visar. Em todo o caso trata-se de bons indicadores se considerarmos que os pontos obtidos por topografia correspondem a pontos naturais do objecto, e que todo o processo de desenho foi manual, incluindo a marcação destes pontos nos desenhos.

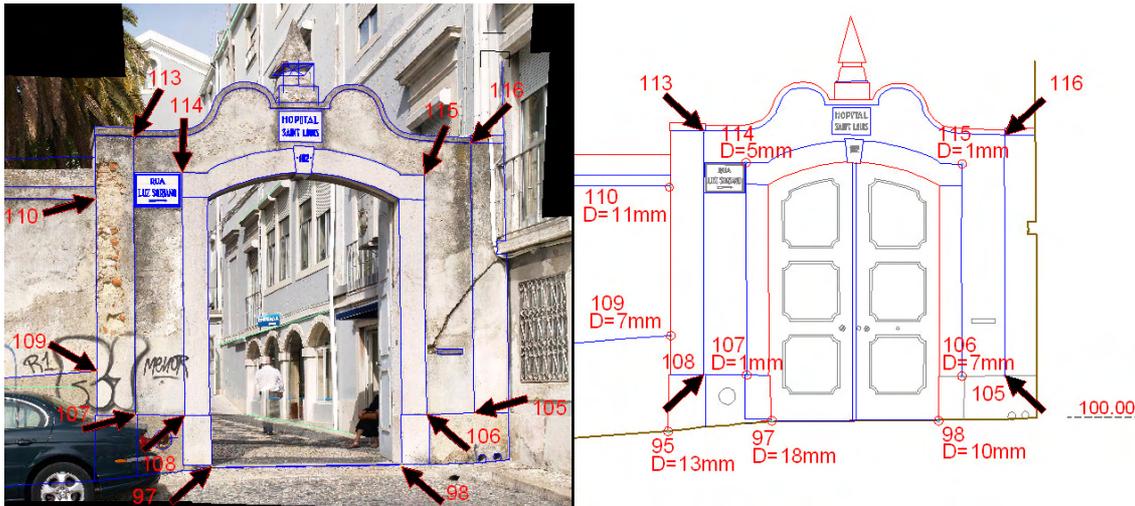


Figura 3-8: Rectificação vectorial do desenho do muro.

- Após a conclusão da etapa anterior procedeu-se à organização de dois desenhos finais em ficheiro *.dwg, em layouts correspondentes ao formato A3 a serem entregues nos formatos *.dwg e *.dwt como se ilustra nas figuras 3-9 e 3-10.

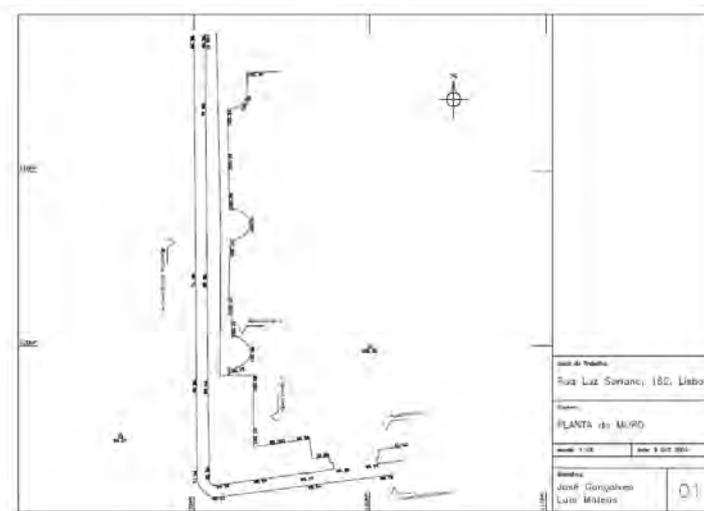


Figura 3-9: Desenho do levantamento da planta do muro.

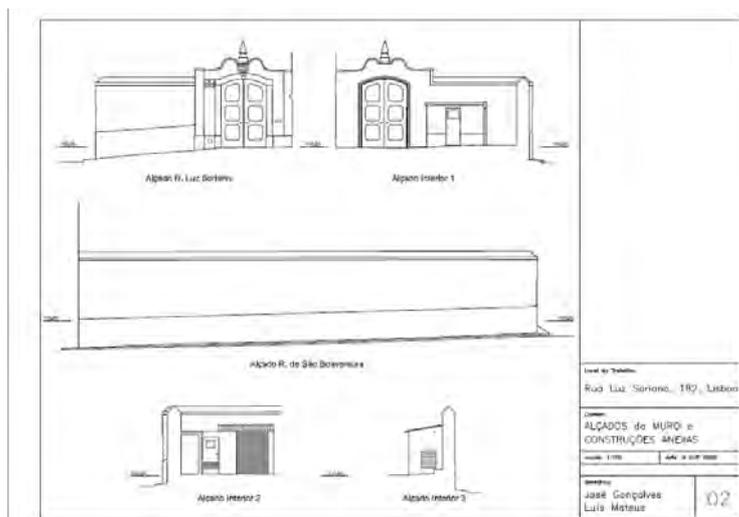


Figura 3-10: Desenho do levantamento dos alçados do muro e construções anexas.

A.3.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Os dois desenhos finais correspondem ao levantamento arquitectónico do muro e construções anexas, traduzidos por uma planta e alçados. Estão dispostos em layouts correspondentes ao formato A3 e foram entregues à entidade contratante nos formatos *.dwg e *.dwt para além de três cópias em papel.

Desvio em relação às previsões:

- O tempo de, edição de imagens, restituição gráfica e preparação dos layouts para entrega ficou aquém do esperado, tendo-se reduzido a 2 dias (12 horas). Também o tempo de processamento dos dados topográficos se reduziu a 1 dia.
- No CD anexo à tese podem ser consultados os ficheiros St_Louis_PCA.dwt, St_Louis_planta.pdf e St_Louis_alcados.pdf que correspondem aos materiais finais entregues, e os ficheiros St_Louis_topografia.dwt e St_Louis_topografia.pdf que correspondem apenas à componente do levantamento topográfico. Nos ficheiros de extensão *.dwt pode ainda ser consultada a estrutura de layers correspondentes aos ficheiros originais de AutoCAD.

A.3.3. ANÁLISE CRÍTICA

Da leitura e análise deste processo verificamos que o processo de rectificação vectorial pode ser eficientemente utilizado como método complementar do levantamento topográfico. Com efeito, e embora o nosso estudo incida sobre os

métodos da fotogrametria digital terrestre (FDT) e do VL3DT, voltamos a salientar que a abordagem a qualquer processo de documentação gráfica deve ser levada a cabo com os métodos que se considerem mais apropriados, não sendo lógico impor um determinado método arbitrariamente. Foi nesse sentido que se procedeu à escolha do método da rectificação vectorial. Entendeu-se que seria adequado à produção do tipo de informação pretendida. Verificámos que os resultados da rectificação vectorial colocaram em evidência as imprecisões que derivaram da leitura topográfica de pontos do pavimento com bastão topográfico, quando estes pontos deveriam corresponder a vértices do objecto. Por outro lado parece-nos que os valores de discrepâncias encontrados após a rectificação poderiam ser minimizados se tivessem sido utilizados alguma espécie de alvos, o que permitiria ainda maior rigor quer ao visar os pontos, quer depois na identificação dos mesmos no processo de desenho. Em todo o caso, os resultados obtidos foram satisfatórios face aos fins a que se destinava a documentação gráfica.

Também notamos que o processo de desenho, nas zonas de maior complexidade como era o caso da fachada principal do muro, beneficiou de se ter utilizado uma imagem panorâmica em vez de múltiplas imagens separadas, o que implicaria mais pontos de controlo e mais rectificações. Assim puderam utilizar-se menos pontos de controlo e para além disso o processo de desenho ficou facilitado porque se acedeu a informação com maior detalhe.

Da comparação entre os tempos envolvidos no processo resultaram os seguintes valores de tempos envolvidos: i) ½ dia de trabalho de campo para recolha dos dados topográficos, ii) ½ dia para a recolha dos dados fotográficos, iii) 1 dia para processamento dos dados topográficos, e iv) 2 dias para restituição gráfica e desenho. Neste caso verifica-se um rácio de 1 para 3 entre o tempo passado em campo e o tempo passado em gabinete. Contudo, se fosse pretendida a produção de documentação adicional seria necessário voltar a campo para recolher novas imagens e novos dados de controlo.

A.3.4. CONCLUSÕES

Este caso atesta o princípio de que numa aplicação prática, em contexto real, em princípio não se utiliza apenas uma única técnica de levantamento. Todas apresentam limitações e é na correcta integração de vários procedimentos que se pode ter o método adequado.

Demonstrou-se que a combinação entre levantamento topográfico e rectificação vectorial permite produzir informação métrica de qualidade. A primeira técnica garante

a coerência geral do levantamento e a segunda técnica permite a diferenciação e o detalhe através do desenho sobre imagens.

Verificámos que em situações relativamente contidas não é necessário um planeamento exaustivo que se traduza em suportes gráfico, sendo suficiente a definição geral de meios e a observação de regras de bom senso, podendo o planeamento operativo ser deixado para a fase de trabalho de campo.

Na aplicação da rectificação vectorial é conveniente dispor de informação de controlo redundante para que se possa ir avaliando o desempenho métrico à medida que a restituição gráfica avança.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1: Indicação, em planta, das fachadas a documentar.	105
Figura 4-2: Indicação, em planta, das fachadas a documentar.	111
Figura 4-3: Indicação, em planta, das fachadas a documentar.	115
Figura 4-4: Indicação das superfícies fotografadas no dia 27 de Setembro de 2009.	116
Figura 4-5: Exemplo de imagens recolhidas nas arcadas do quarteirão Norte do Terreiro do Paço em que se nota a obstrução de superfícies pelas actividades de comércio ao ar livre.	116
Figura 4-6: Exemplo de imagens do alçado sul do torreão nascente, para posterior montagem panorâmica.	117
Figura 4-7: Indicação das superfícies fotografadas no dia 01 de Outubro de 2009.	117
Figura 4-8: Exemplo de imagens da ala poente do Terreiro do Paço tiradas a partir da balaustrada da cobertura da ala nascente, a que se acedeu através das instalações do Ministério das Finanças.	118
Figura 4-9: Indicação das superfícies fotografadas no dia 15 de Outubro de 2009.	118
Figura 4-10: Exemplo de imagens em que é claramente perceptível a obstrução causada pela vegetação.	119
Figura 4-11: Indicação das superfícies fotografadas no dia 27 de Outubro de 2009.	119
Figura 4-12: Indicação das superfícies fotografadas no dia 3 de Novembro de 2009.	120
Figura 4-13: Exemplo de imagens capturadas na arcada do quarteirão norte do Terreiro do Paço, em frente ao Ministério da Justiça.	120
Figura 4-14: Exemplo de situação em que não foi possível manter constante a distância entre a câmara e o objecto devido ao facto de a fachada do edifício não se encontrar toda no mesmo plano.	121
Figura 4-15: Critério de diferenciação do objecto por quarteirões e por fachadas.	124
Figura 4-16: Extracção das dimensões gerais de controlo para a rectificação.	125
Figura 4-17: Panorama do alçado da Praça do Comércio, à esquerda do Arco da Rua Augusta. Imagem composta por 14 fotos.	126
Figura 4-18: 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.	127
Figura 4-19: Alçado métrico rectificado da Ala Poente do Terreiro do Paço.	129
Figura 4-20: Alçado Sul da Ala Nascente do Terreiro do Paço.	129
Figura 4-21: Alçado métrico rectificado da fachada sul do Terreiro do Paço.	130

Figura 4-22: Restituição gráfica do Alçado da fachada Sul do Terreiro do Paço. Este desenho foi elaborado no Atelier 15 sob a coordenação dos arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández, sobre os foto-mosaicos produzidos.	130
Figura 4-23: Exemplos de foto-mosaicos produzidos para entrega intermédia ao Atelier 15.	132
Figura 4-24: Exemplos de layout produzido pelo Atelier 15 para entrega à Parque Expo / Frente Tejo.	132
Figura 4-25: Delineação dos vários elementos construtivos para medição de áreas.	134
Figura 4-26: Recolha de informação em campo registada sobre alçado métrico rectificado.	135
Figura 4-27: Aplicação das rotinas para cálculo de áreas e comprimentos médios.	136
Figura 1-28: Aplicação das rotinas para cálculo de percentagens de incidência de anomalias.	136
Figura 4-29: A documentação gráfica de base como suporte da síntese gráfica da avaliação do estado de conservação.	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 4-1: Cálculo das distâncias máximas admissíveis entre câmara e objecto para várias escalas de representação.....	110
---	-----

ÍNDICE

A.4 LEVANTAMENTO DAS FACHADAS DOS QUARTEIRÕES DO TERREIRO DO PAÇO, LISBOA..... 103

A.4.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	104
A.4.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	104
A.4.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	106
A.4.1.2.1.	OBJECTIVOS.....	106
A.4.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER.....	106
A.4.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	107
A.4.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	109
A.4.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	109
A.4.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	112
A.4.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	114
A.4.2.1.	RECOLHA DE DADOS.....	115
A.4.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	123
A.4.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	131
A.4.3.	ANÁLISE CRÍTICA	133
A.4.4.	CONCLUSÕES.....	137

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

Este caso de estudo permite colocar em evidência o modo como uma metodologia de registo expedita pode ser perfeitamente adequada à produção de bases gráficas como suporte a acções de conservação.

Em Junho de 2009 a Parque Expo / Frente Tejo, lançou um concurso por convite limitado a três entidades. O âmbito desse concurso era a “Elaboração do projecto de adaptação dos pisos térreos e torreões e recuperação das fachadas dos edifícios do Terreiro do Paço.” Uma das entidades convidadas a participar foi o Atelier 15, coordenado pelos arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández. No âmbito da participação nesse concurso, o Atelier 15 convidou a FAUTL, através do professor José Aguiar, para a sua participação como entidade consultora no mesmo na componente de recuperação das fachadas. Na FAUTL, e também externamente quando justificado, o professor José Aguiar reuniu uma equipa para ajudar a preparar a resposta aos termos do concurso. Esta foi constituída pelo professor José Aguiar, pelo arquitecto Luís Mateus e pelo arquitecto João Pernão (os três da FAUTL), pelo especialista Delgado Rodrigues (do Laboratório Nacional de Engenharia Civil) e pela conservadora restauradora Milene Gil. A preparação da resposta ao concurso, naquilo que dizia respeito a esta equipa, incidiu sobre quatro aspectos fundamentais, nesta fase ainda de forma genérica: a) metodologia de levantamento das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço através de fotografia rectificada, b) metodologia de estudo da cor através de análises no local e com suportes gráficos expeditos, como a fotografia, c) metodologia de registo e análise do estado de conservação das fachadas, d) metodologia de intervenção de conservação. A par das metodologias foram estimados o número de pessoas necessárias e o tempo de intervenção.

O Atelier 15 foi a entidade vencedora do concurso, e a participação efectiva da FAUTL começou em Setembro de 2009.

Para a prossecução dos trabalhos a equipa foi alargada a mais cinco pessoas, quatro alunos finalistas e uma bolseira do Projecto de Investigação “Contributos para o Projecto de Conservação do Património Arquitectónico - Metodologia Documental baseada na fotogrametria digital e na digitalização laser 3D terrestres (FCT:PTDC/AUR/66476/2006)” em que esta acção também se insere.

A equipa final ficou então constituída por 10 elementos: José Aguiar, Luís Mateus, João Pernão, Delgado Rodrigues, Milene Gil, a bolseira Rita Santos, e os alunos Picaró, Inês, Corina e Catarina.

A exposição que aqui se faz incide sobretudo no que foi a participação de uma equipa coordenada pela FAUTL, e em particular no que incide sobre o tema da produção da documentação gráfica de base para Conservação. Serão também discutidos os aspectos que se prendem com o uso desta documentação pelos restantes agentes do processo, em particular em relação ao registo e análise do estado de conservação.

Procurou demonstrar-se como a aplicação de metodologias de documentação gráfica expeditas podem ser utilizadas como suporte aos registos implicados num processo de análise e quantificação de acções a realizar em contexto de Conservação, considerando o princípio da adequação entre meios e fins.

Em particular foca-se uma adaptação original do conhecido processo da rectificação de imagem como meio de produção de bases gráficas para projecto de conservação.

Os procedimentos desenvolvidos foram aplicados ao levantamento de aproximadamente 50 000m² de fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço, efectuados no espaço de um mês, descrevendo de seguida como foram aplicadas no contexto do Projecto de conservação das referidas fachadas.

A.4.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

O processo de planeamento da documentação gráfica teve dois momentos.

O primeiro momento centra-se na preparação da resposta ao concurso.

O segundo momento desenvolveu-se após a participação efectiva da equipa coordenada pela FAUTL no âmbito geral dos trabalhos desenvolvidos pelo Atelier 15.

A.4.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA

Identificação e localização do sítio:

- Terreiro do Paço – Lisboa entre o Cais do Sodré e o Campo das Cebolas.

Entidade contratante:

- Parque Expo / Frente Tejo.

Entidade contratada:

- Atelier 15, coordenado pelos Arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández.
- A Faculdade de Arquitectura da UTL, coordenada pelo Professor José Aguiar, participou com os estudos relativos ao projecto de recuperação das fachadas como entidade consultora do Atelier 15.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Elaboração do Projecto de recuperação das fachadas e adaptação dos pisos térreos dos quarteirões do Terreiro do Paço.
- A documentação gráfica existente é insuficiente, apresenta algumas discrepâncias em relação à realidade e é incoerente entre si. De acordo com o caderno de encargos do concurso do projecto “pretende-se corrigir e complementar os levantamentos existentes com outros elementos que se considerem adequados bem como proceder ao levantamento das fachadas a recuperar.” (nós apenas nos referiremos às fachadas daqui em diante)

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Correções às plantas existentes.
- Cortes.
- Alçados das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço.

Delimitação da área a documentar:

- A área a documentar inicialmente definida corresponde aproximadamente a 50000m² de fachadas assinaladas na figura 4-1.



Figura 4-1: Indicação, em planta, das fachadas a documentar.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Plantas em formato vectorial dos pisos térreos dos quarteirões do Terreiro do Paço fornecidas pela Parque Expo / Frente Tejo, obtidas por vectorização de plantas existentes no arquivo do IHRU (fornecidas pela entidade contratante).

- Desenhos de levantamento e de projectos de alteração, em formato raster, de alguns alçados de fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço no arquivo do IHRU (recolhida posteriormente).
- Alçados das fachadas da Praça do Comércio em formato vectorial fornecidos pelo Arquitecto Pedro Pacheco (recolhida posteriormente).
- No CD anexo poderá ser consultada a informação prévia que nos foi disponibilizada (001_TP.pdf).

Existência de documentação não gráfica prévia:

- (Existente mas considerada não aplicável ao processo de levantamento).

Data:

- Início do processo: Junho de 2009.

A.4.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

A.4.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A documentação a produzir destina-se a servir de base à elaboração do projecto de recuperação das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço. Em particular, destina-se a: a) constituir as bases descritivas que permitam diferenciar, medir e cartografar a ocorrência dos fenómenos de degradação, b) permitir estimar a percentagem de ocorrência dos fenómenos de degradação por relação a áreas ou comprimentos dos elementos e materiais, c) permitir a restituição gráfica dos alçados, d) permitir diferenciar e ilustrar os tipos de vãos existentes nas fachadas.

A.4.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Face aos fins a que se destina a informação e à dimensão da área a documentar, entendeu-se que o primeiro produto a produzir seria um conjunto de foto-mosaicos de imagens fotográficas rectificadas das fachadas. Desse modo pode fazer-se uma aproximação à geometria, permitindo estimar áreas e comprimentos, mas também se

incluem todos os aspectos semânticos que permitem a identificação das formas de degradação dos materiais, ou a contagem de elementos singulares como aparelhos de ar condicionado, candeeiros, ou outros. Posteriormente, estes foto-mosaicos podem servir de base a uma restituição gráfica.

- Face às dimensões, extensão e tipo de intervenção, considerou-se que a escala mais adequada para a representação deveria ser 1/200.

Desempenho métrico:

- Não foram definidos critérios de desempenho métrico pela entidade contratante do Projecto nem pela entidade contratada, o Atelier 15.
- Foi assumido que, em função da escala 1/200, a resolução das imagens dos foto-mosaicos deve ser melhor ou igual a 20mm por pixel.
- Foi assumido que, para a verificação das alturas, as medidas de controlo deveriam diferir por menos de 5cm em relação às medidas homólogas nas imagens rectificadas, nos planos das rectificações.

Apresentação:

- Foram definidas pela entidade contratante do Projecto, isto é, a Parque Expo / Frente Tejo, regras acerca de: produção e circulação de informação, codificação da documentação e produção de peças desenhadas. Estas regras aplicam-se directamente à entidade contratada, o Atelier 15.
- Foi decidido que foto-mosaicos de imagens rectificadas de todas as fachadas indicadas na figura 4-1 montados inseridos em ficheiro CAD constituíam a documentação base a fornecer ao Atelier 15.
- Foi decidido que a documentação produzida pela FAUTL seria entregue ao Atelier 15 em layout próprio e que caberia àquele utilizá-la da forma mais conveniente preparando-a para apresentação à Frente Tejo / Parque Expo respeitando as regras definidas.

Causas para a rejeição dos materiais:

- Não declaradas pelas entidades contratantes no que diz respeito aos levantamentos.

A.4.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- Foi definido um prazo de dois meses (de 15 de Setembro a 16 de Novembro) a para a execução do “projecto de adaptação dos pisos térreos e torreões e recuperação das

fachadas dos edifícios do Terreiro do Paço” no qual se inclui os levantamentos a efectuar bem como as correcções aos levantamentos existentes.

- Orçamento: valor não disponível.

Autorizações de acesso:

- Solicitações de autorização de acesso às seguintes entidades:
 - Ministério das Finanças
 - Ministério da Administração Interna
 - Ministério da Justiça
 - Ministério da Agricultura
 - Chefe de Estado-maior da Marinha
 - Chefe de Estado-Maior do exército
- Nas instalações afectas ao Ministério das Finanças, ao Exército e Marinha foi imposto o acompanhamento dos trabalhos por funcionário locais.
- Nos restantes casos foi dada liberdade de circulação.

Condições de segurança:

- Cuidados a ter na via pública com o trânsito.
- Cuidados a ter para evitar roubos e destruição de equipamentos por terceiros.
- Cuidados a ter na deslocação nas coberturas dos torreões e nas balaustradas superiores das fachadas das alas principais do Terreiro do Paço.

Condições de acessibilidade:

- Dificuldades de acesso ao centro da Praça do Comércio por motivos de vedações de obras.
- Oclusões de parte das fachadas das alas principais do Terreiro do Paço por motivos de vedações de obras.
- Obstruções nas arcadas devido ao comércio de rua.
- Dificuldades motivadas pela circulação frequente de peões e viaturas.
- Dificuldades em algumas ruas por motivo de existência de toldos de lojas.
- Oclusões motivadas por viaturas estacionadas e árvores no Claustro do Ministério das Finanças, nos espaços da Marinha, e no parque de estacionamento do Cais do Sodré.

Retenção dos materiais:

- Não definido.

Impactos admissíveis no objecto:

- Não definido.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Caderno de encargos do projecto no que respeita às regras de produção, organização e circulação da informação gráfica.
- Dec. Lei nº 273/2003 de 29 de Outubro (Higiene e Segurança no Trabalho).

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Direitos de autoria dos levantamentos por imagem rectificada – FAUTL.
- Direitos de autoria das restituições gráficas das fachadas – Atelier 15.
- Direitos de autoria dos mapas de vãos – Atelier 15.
- Direitos de reprodução dos levantamentos – FAUTL, Atelier 15, Parque-Expo/Frente-Tejo.

A.4.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA**Entidades produtoras da documentação gráfica:**

- FAUTL, no que respeita à produção do levantamento por fotografia rectificada, ao registo do estado de conservação sobre esta, e medições sobre a incidência das anomalias.
- Atelier 15, no que respeita à correcção das plantas, produção de cortes, e restituição gráfica dos alçados, e todas as outras peças gráficas de projecto.

Entidades fiscalizadoras:

- Frente Tejo / Parque Expo.

A.4.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- No que diz respeito à produção da documentação base, consideramos duas metodologias de recolha de dados: i) por recolha directa, ii) por recolha indirecta. Por recolha directa referimo-nos a medições efectuadas em campo com recurso a fita métrica, distanciómetro laser ou estação total. É o tipo de metodologia em que se seleccionam pontos específicos do objecto para medir. Esta abordagem justifica-se

para a correcção das plantas existentes e para a determinação de medidas de controlo para a rectificação de imagens.

Por recolha indirecta referimo-nos à recolha de imagens fotográficas. Será o tipo de metodologia justificada nos casos em que se pretende descrever de forma praticamente contínua o objecto. Servirá para gerar dados de suporte à análise do estado de conservação.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Câmara fotográfica SLR Olympus E-500, com sensor de 13x17,3mm, com 8Mp de resolução, cartão de memória de 2Gb, e duas objectivas de 14-45mm e 45-200mm.
- Tripé com cabeça nodal.
- Fita métrica de 5m, papel e lapiseira.
- Estação total (a definir).
- Distânciômetro laser (a definir).

Planeamento da recolha dos dados:

- As medições de controlo para a rectificação de imagem corresponderão a uma altura e uma largura gerais obtidas com distânciômetro laser ou com estação total.
- Tendo em conta a resolução máxima de 20mmx20mm por pixel de imagem (GSD – ground sample distance) tomada como referência para a escala 1/200, calculou-se a distância máxima (D. Max.) entre câmara e objecto em função do GSD definido e das lentes a utilizar como expresso a tabela 4-1. Note-se que neste quadro também se consideram outras escalas.

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 4-1: Cálculo das distâncias máximas admissíveis entre câmara e objecto para várias escalas de representação.

- Esquematizou-se numa planta, fornecida pela Frente Tejo / Parque Expo, um possível posicionamento para a recolha de imagens que permitiu fazer uma primeira

estimativa da duração do processo recolha de imagens bem como da quantidade de informação a recolher, conforme se ilustra na figura 4-2.

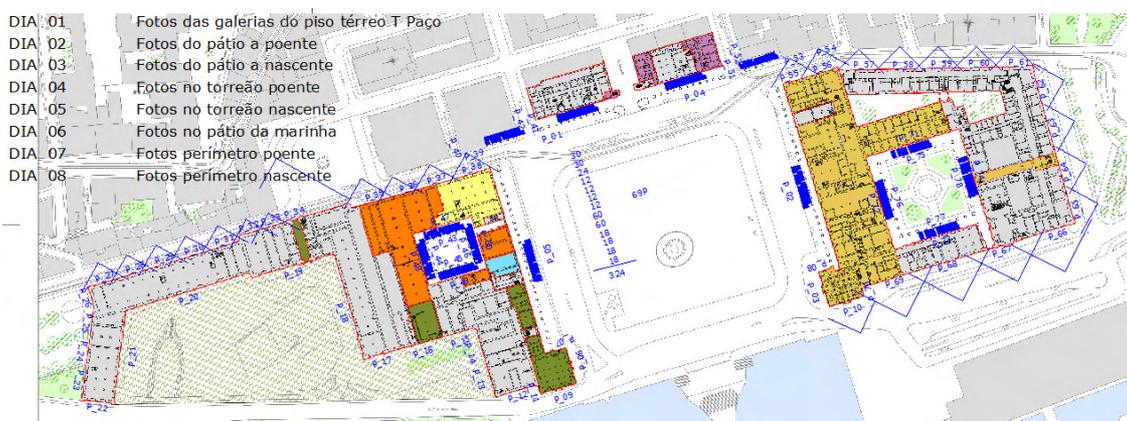


Figura 4-2: Indicação, em planta, das fachadas a documentar.

- Definiram-se três procedimentos tipo para a recolha de imagens: i) recolha de imagens individuais, ii) recolha de imagens para produção de panoramas ao nível de rua, e iii) recolha de imagens para produção de panoramas ao nível da cobertura dos torreões.
- Estimou-se ser necessário recolher 324 fotos isoladas + 69 panoramas.
- Deverá considerar-se sobreposição entre imagens adjacentes.
- Prevê-se a possibilidade de utilizar uma plataforma elevatória para recolher imagens de pontos de vista mais favoráveis.
- Nos casos em que for necessário produzir imagens panorâmicas, deve ser utilizado um suporte nodal para a câmara fotográfica de modo a garantir a ausência de paralaxe.
- As medições directas, com fita métrica ou distanciómetro laser, para a correcção dos levantamentos existentes, serão anotadas sobre impressões dos desenhos existentes (plantas, cortes e alçados) a fornecer pela entidade contratante. Pressupõe-se que as correcções a realizar não são relevantes. Só serão recolhidas medidas nos casos em que for evidente pela leitura visual dos desenhos a não conformidade entre a representação e o real.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Uma pessoa para a topografia: topógrafo (a definir) – 2 dias.
- Uma pessoa para recolha fotográfica: arquitecto Luís Mateus – 8 dias.
- Duas pessoas para as medições de correcção aos levantamentos: (Atelier 15) – 5 dias.

- Tempo total estimado: 15 dias.
- Custos: informação não disponível.

A.4.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- A metodologia a seguir para a produção da documentação base será a rectificação vectorial e a rectificação de imagem com base em dados de controlo dados por procedimentos topográficos. Face ao tipo de documentação pretendida, aos seus objectivos de uso, e reduzido tempo para a sua produção, esta é uma metodologia que se considera expedita e adequada.
- A metodologia de validação deverá passar pela comparação de medições sobre as imagens produzidas e medições homólogas feitas no local.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O processamento dos dados será feito com hardware standard.
- O controlo métrico das imagens deve ser feito através de topografia. É necessário contratar um topógrafo para coordenar um conjunto de pontos facilmente identificáveis nas fotografias. Esta tarefa deve ser realizada antes da recolha fotográfica. O processamento dos dados topográficos de controlo será da responsabilidade do topógrafo.
- Para a rectificação vectorial será utilizado o software AutoCAD 2004, a rotina rectificador.lsp (ver capítulo 4 do volume 1).
- Para a correcção da distorção radial das imagens será utilizado o software Olympus Master 2.
- Para a rectificação de imagem será utilizado o software Perspective Rectifier.
- Para a montagem de imagens panorâmicas será utilizado o software Hugin.
- Para a produção das bases para restituição gráfica será utilizado o software AutoCAD.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- Pressupõe-se que o cumprimento dos prazos fica dependente de não haver restrições de acesso aos vários locais na fase de recolha de dados.

- Prevê-se que o fluxo de trabalho seja composto pelas seguintes etapas: a) correcção da distorção radial das imagens, b) montagem de panoramas, c) rectificações, d) preparação de layouts base para suporte à restituição gráfica e ao registo das anomalias, e) restituição gráfica e correcção dos levantamentos existentes.
- Da aquisição topográfica deverão resultar um conjunto de medições de controlo para rectificação dos vários planos de fachada. No mínimo deverá ser registada uma largura e uma altura por plano a rectificar.
- A correcção da distorção radial é uma operação que visa remover o efeito de abaulamento das linhas que transforma rectas no objecto em curvas na imagem. Para o efeito todas as imagens fotográficas serão processadas com o software Olympus Master 2.
- No caso da produção de imagens panorâmicas, com o software Hugin, o processo de correcção da distorção radial está incluindo na operação de produção da imagem. Em todo o caso as imagens podem ser previamente corrigidas. A intenção da produção de panoramas é gerar imagens maiores, com mais definição, para diminuir o número de rectificações a realizar.
- A rectificação de imagens isoladas, a realizar com o software Perspective Rectifier, visa a produção de imagens com a remoção do efeito de perspectiva no plano principal. Para cada fachada deverá resultar um foto-mosaico composto de várias imagens rectificadas.
- A rectificação das imagens panorâmicas poderá ser efectuada com o software Perspective Rectifier ou com o software Photoshop no caso do primeiro apresentar limitações ao nível da gestão do tamanho de ficheiros. No caso de ser efectuada com o Photoshop, a rectificação será controlada através de uma bitola produzida através da rectificação vectorial tendo por base as medições de controlo.
- As imagens rectificadas serão inseridas em ficheiros CAD, para montar os foto-mosaicos. Será necessário recortá-las tentando minimizar as costuras entre elas.
- A restituição gráfica dos alçados será feita sobre as bases de CAD previamente preparadas.
- A correcção dos levantamentos existentes será efectuada sobre as bases CAD fornecidas pela entidade contratante. Não se considera a produção de novas plantas. Apenas se realizarão correcções se por observação visual for notória a discrepância entre o existente e as plantas.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Duas pessoas para rectificação de imagens: coordenação pelo arquitecto Luís Mateus – 5 dias.

- Duas pessoas para a produção dos layouts base com os foto-mosaicos: coordenação pelo arquitecto Luís Mateus – 5 dias.
- Duas pessoas para a restituição gráfica de alçados, produção de cortes, e correcção dos levantamentos existentes: (Atelier 15) – 20 dias.
- Tempo total estimado: 30 dias.
- Custos: informação não disponível.

A.4.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

- Uma nota prévia se impõe neste momento.

A preparação do levantamento relatada no ponto A.4.1.3 fez parte resposta ao concurso para o projecto.

Após resultado do concurso, efectivou-se a participação da FAUTL na execução dos trabalhos.

O marco que referencia o início dos trabalhos foi uma reunião preparatória ocorrida em 18 de Setembro de 2009 com a equipa do projecto, coordenado pelo Atelier 15, e com a Parque Expo / Frente Tejo, entidade contratante do mesmo.

Nesta reunião foi possível dirimir um conjunto de questões relevantes para o processo de levantamento tendo em conta os prazos apertados previstos para os mesmos. A discussão havida nessa reunião levou a algumas alterações ao planeamento inicial quer no que diz respeito à recolha de dados, quer no que diz respeito ao seu processamento, que na descrição desta etapa ficarão claras.

- Considerou-se que antes de proceder ao levantamento por fotografia rectificada deveria apurar-se se no arquivo da antiga Direcção dos Edifícios e Monumentos Nacionais (DGEMN), agora integrado no IHRU, existia esse tipo de documentação, que se veio a verificar que não existia.

- Face aos objectivos com que se ira produzir a documentação, no que diz respeito ao levantamento por fotografia rectificada, decidiu-se prescindir do levantamento topográfico de apoio e utilizar como informação de controlo as medidas gerais constantes de desenhos existentes no arquivo do Sistema de Informação do Património Arquitectónico (SIPA), ficando as medições de campo para a validação dos resultados.

- Também se considerou que, uma vez que o objectivo principal é estimar áreas de ocorrência de anomalias, não seria necessário que o levantamento fosse fiel às deformações do objecto desde que isso não implique erros significativos na estimativa de áreas.

- Por questões logísticas e de tempo também se optou por não utilizar a plataforma elevatória e efectuar a recolha de imagens ao nível do pavimento, e quando possível a partir das coberturas dos edifícios que for possível visitar.
- Nesta reunião alertou-se para a necessidade urgente de desencadear o processo de solicitações de autorização de acesso aos vários espaços a documentar. Em particular apontou-se a necessidade de aceder às coberturas dos torreões, aos pisos intermédios nos pátios dos ministérios, a vãos a meia altura das fachadas, ao estaleiro das obras do Terreiro do Paço.

A.4.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- A recolha dos dados fotográficos ocorreu em várias datas de acordo com a gestão das autorizações de acesso, que não foram concedidas todas em simultâneo. Para melhor se entender a gestão de acessos, na figura 4-3 esquematiza-se a dependência dos vários espaços por entidades.

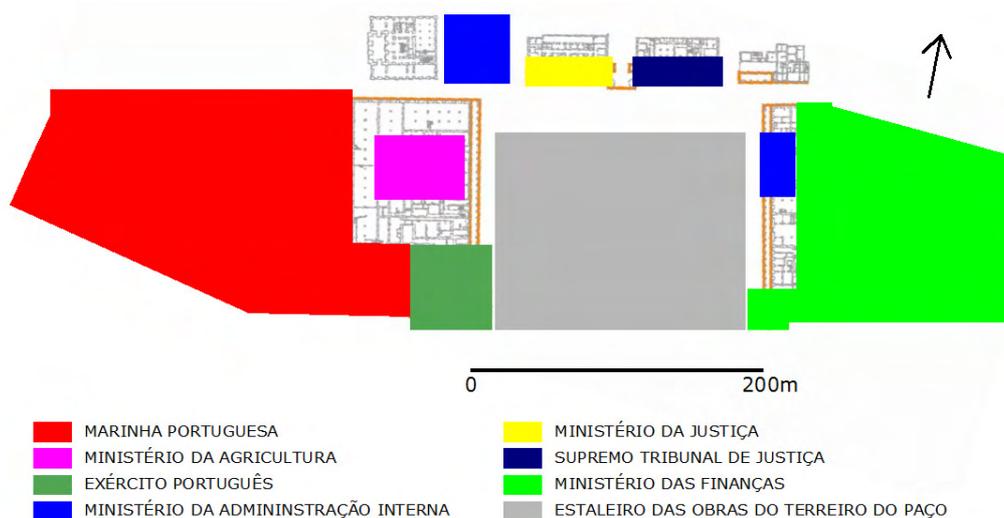


Figura 4-3: Indicação, em planta, das fachadas a documentar.

- No dia 27 de Setembro de 2009 fotografou-se: i) as fachadas norte, nascente e poente do quarteirão nascente, ii) a arcada em frente ao Ministério da Justiça, iii) a arcada em frente ao Supremo Tribunal de Justiça, e iv) parte da arcada do quarteirão poente, conforme se ilustra na figura 4-4.



Figura 4-4: Indicação das superfícies fotografadas no dia 27 de Setembro de 2009.

Esta sessão fotográfica demorou 3 horas, e foi realizada na parte da manhã. Estava um dia nublado o que foi um factor positivo uma vez que as imagens ficaram sem contrastes acentuados. Todas as imagens foram efectuadas ao nível do peão. Nas arcadas à esquerda e direita do Arco da Rua Augusta, havia uma venda ao ar livre, o que obstruiu bastante as superfícies a fotografar (figura 4-5). Na arcada do Ministério da Administração Interna a sessão foi interrompida pelo agente policial de serviço. Não foi possível resolver o problema de imediato dado tratar-se de um sábado.



Figura 4-5: Exemplo de imagens recolhidas nas arcadas do quarteirão Norte do Terreiro do Paço em que se nota a obstrução de superfícies pelas actividades de comércio ao ar livre.

Na figura 4-6 apresenta-se um conjunto de imagens que foram capturadas tendo em conta a montagem posterior de uma panorâmica.

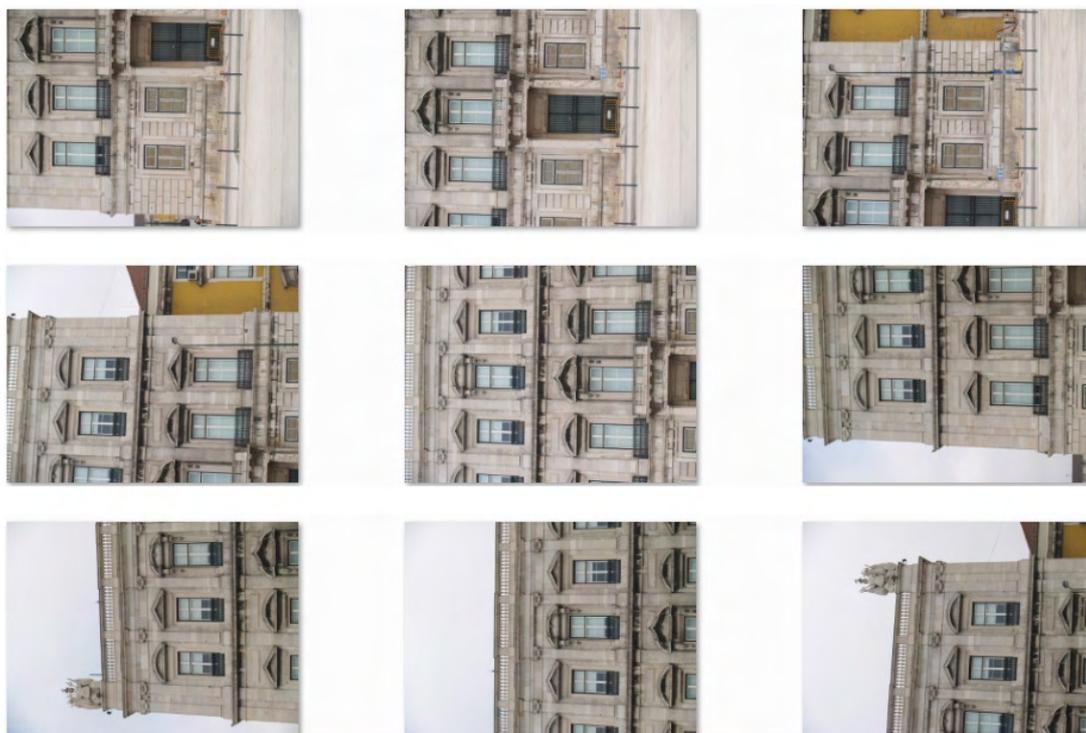


Figura 4-6: Exemplo de imagens do alçado sul do torreão nascente, para posterior montagem panorâmica.

- No dia 01 de Outubro de 2009 fotografou-se: i) parte da fachada sul do quarteirão poente, ii) os alçados sul e nascente do torreão poente, iii) a fachada da ala poente do Terreiro do Paço, iv) a fachada à direita do Arco da Augusta, e v) as fachadas das arcadas e pátio do quarteirão do Ministério das Finanças, conforme se ilustra na figura 4-7.



Figura 4-7: Indicação das superfícies fotografadas no dia 01 de Outubro de 2009.

Esta sessão ficou completada em 5 horas. À excepção do troço de fachada sul do quarteirão da Marinha e alçado sul do torreão poente, toda a restante sessão decorreu no interior das instalações do Ministério das Finanças. O alçado nascente do torreão

poente foi fotografado a partir de uma janela, a altura média, do torreão nascente. O alçado poente da ala nascente foi fotografado a partir da balaustrada da cobertura do Ministério das finanças (figura 4-8). As condições de luz não foram as ideais tendo havido lugar a algumas sombras nas imagens.

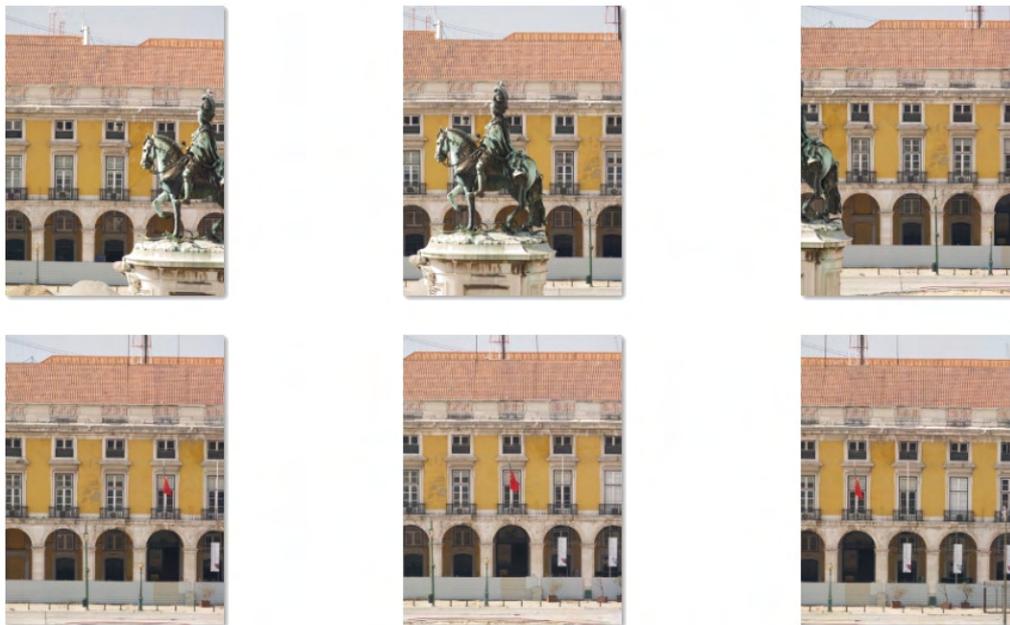


Figura 4-8: Exemplo de imagens da ala poente do Terreiro do Paço tiradas a partir da balaustrada da cobertura da ala nascente, a que se acedeu através das instalações do Ministério das Finanças.

- No dia 15 de Outubro de 2009 fotografou-se: i) as fachadas restantes do quarteirão da Marinha, ii) o alçado poente do torreão poente, e iii) as fachadas do piso superior do Pátio da Galé, através do Ministério da Justiça, conforme se ilustra na figura 4-9.



Figura 4-9: Indicação das superfícies fotografadas no dia 15 de Outubro de 2009.

Esta sessão ficou completada em 6 horas. Todas as fotos foram tiradas ao nível do peão. Mais uma vez as condições de iluminação não foram as ideais. Tratou-se de um dia limpo, o que implicou alguns contrastes nas imagens, em particular nas fachadas voltadas a sul. Nas fachadas voltadas a norte houve por vezes a dificuldade de controlar a iluminação em contra-luz. Também nestas fachadas voltadas a norte houve alguma dificuldade motivada pela circulação automóvel, por obras em edifícios, e toldos de estabelecimentos comerciais. Na fachada mais a poente, voltada ao Cais do Sodré, houve algumas dificuldades motivadas pela vegetação, em particular as copas das árvores, conforme ilustra a figura 4-10.



Figura 4-10: Exemplo de imagens em que é claramente perceptível a obstrução causada pela vegetação.

- No dia 27 de Outubro de 2009 fotografou-se: i) parte da arcada da ala poente do Terreiro do Paço, ii) parte da fachada sul do edifício do Ministério da Administração Interna, iii) a fachada à esquerda do Arco da Rua Augusta, iv) o alçado poente do quarteirão do Ministério das Finanças, e v) os alçados norte e poente do torreão nascente, conforme se ilustra na figura 4-11.



Figura 4-11: Indicação das superfícies fotografadas no dia 27 de Outubro de 2009.

Esta sessão completou-se em 6 horas. À excepção da arcada e do alçado norte do torreão nascente, toda a sessão decorreu a partir das instalações do Exército. Em particular, fotografou-se a partir da cobertura do torreão poente e da balaustrada da

cobertura da ala nascente do Terreiro do Paço. Tratou-se de um dia parcialmente nublado que obrigou a uma gestão dos momentos de céu nublado para capturar imagens sem sombras, o que nem sempre foi possível.

- No dia 03 de Novembro de 2009 fotografou-se: i) as fachadas do edifício do Ministério da Administração Interna, ii) todas as arcadas do quarteirão norte, iii) a fachada sul do Arco da Rua Augusta, iv) os topos orientados a nascente e poente dos edifícios do quarteirão norte, e v) a arcada da ala nascente no Terreiro do Paço, conforme se ilustra na figura 4-12.



Figura 4-12: Indicação das superfícies fotografadas no dia 3 de Novembro de 2009.

Esta sessão fotográfica completou-se em 5 horas. As fotos foram todas capturadas ao nível do peão. As fotos nas arcadas do quarteirão norte são uma repetição (figura 4-13). Só nesta data foi dada autorização para fotografar as fachadas de edifícios afectos ao Ministério da Administração Interna.



Figura 4-13: Exemplo de imagens capturadas na arcada do quarteirão norte do Terreiro do Paço, em frente ao Ministério da Justiça.

Comparem-se estas fotos com as equivalentes mostradas na figura 4-5.

- Sempre que possível procurou-se manter uma distância constante entre câmara e objecto. Foi importante respeitar ao máximo este princípio para evitar, aquando do processamento, desfazamentos verticais esteticamente desagradáveis entre imagens adjacentes. Nem sempre foi possível manter este princípio, por exemplo nos casos de fachadas com corpos salientes, como se ilustra nas imagens da figura 4-14.

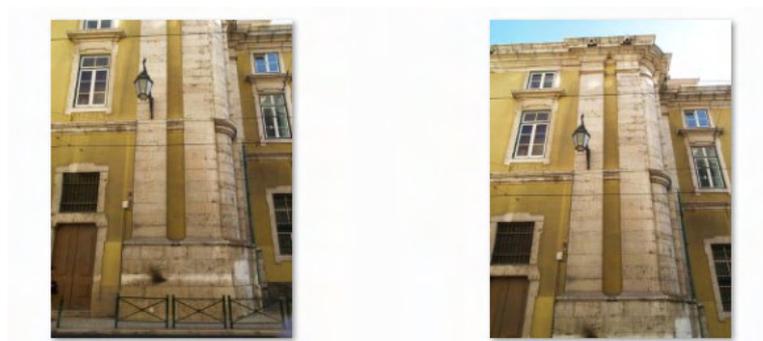


Figura 4-14: Exemplo de situação em que não foi possível manter constante a distância entre a câmara e o objecto devido ao facto de a fachada do edifício não se encontrar toda no mesmo plano.

Nos casos em que houve necessidade de fotografar com inclinações acentuadas em relação às fachadas, por exemplo nos casos de ruas estreitas, consideraram-se sempre aberturas de diafragma mínimas para conseguir maior profundidade de campo e com isso melhor qualidade de focagem.

- Procurou respeitar-se o exposto na tabela 4-1 no que diz respeito à relação entre câmara e objecto, isto é, para cada distância focal utilizada procurou garantir-se sempre uma distância ao objecto inferior à máxima admissível para a resolução preconizada, 20mmx20mm por pixel.
- No total, a recolha de imagens consumiu 25 horas de trabalho de campo repartidas por 5 dias. Todo o trabalho fotográfico foi conduzido pelo arquitecto Luís Mateus.
- Considerou-se ainda como recolha de dados, as imagens de desenhos de edifícios do Terreiro do Paço, disponíveis no arquivo SIPA/IHRU via internet, bem como as plantas existentes, em formato vectorial, fornecidas pela Parque Expo / Frente Tejo, sobre as quais, posteriormente se extrairão medidas de controlo. Estes elementos já foram referidos no item relativo à existência de documentação prévia.
- Em alguns casos pontuais, em que não podia ser deduzida informação de controlo a partir do material existente, foram feitas algumas medições directas em campo. Foi o caso do Pátio da Galé. Esta acção incluiu-se na etapa de recolha fotográfica.
- Toda a recolha de imagens fotográficas foi feita com uma câmara fotográfica SLR Olympus E-500, com sensor de 8Mp e 17.3mm de largura, com objectivas de 14-

45mm e 45-200mm. Para maior estabilização da câmara foi utilizado tripé. Prevendo a elaboração de panoramas, em alguns casos foi também utilizada uma cabeça nodal para evitar os efeitos de paralaxe entre imagens.

- Para a recolha de medições directas foi utilizada uma fita métrica, prancheta A4 e lapiseira.
- No caso da recolha de dados para correcção dos levantamentos existentes, as medições foram anotadas sobre impressões dos desenhos fornecidos pela entidade contratante. Esta componente ficou a cargo directo do Atelier 15.

Descrição dos dados recolhidos:

- Foram capturadas 1075 imagens em formato *.jpg com 3264x2448pixel correspondendo a um total de 3.4Gb de informação.
- Foi recolhido um conjunto de 19 desenhos de edifícios do Terreiro do Paço, disponíveis on-line no arquivo SIPA/IHRU (www.monumentos.pt).
- Foi disponibilizado um conjunto de plantas dos edifícios dos quarteirões do Terreiro do Paço.
- Medidas recolhidas directamente sobre a fachada sul do quarteirão do Ministério das Finanças, nas arcadas do Terreiro do Paço, e nas fachadas do Pátio da Galé.
- No CD anexo podem consultar-se uma listagem completa dos dados recolhidos (002_TP.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- Por acordo com a entidade contratante, foram consideradas algumas alterações em relação ao inicialmente previsto. Houve uma clarificação de premissas que possibilitou prescindir de levantamento topográfico de apoio, e a ausência de plataforma elevatória. Por esta razão, foi possível completar o trabalho de campo apenas em cinco dias.

Contudo os indicadores iniciais de planeamento mantiveram a sua validade.

Para além dos aspectos indicados, houve outros que levaram ao não seguimento estrito do planeamento: i) houve planos de fachada que se verificou não ser necessário documentar, como por exemplo o tardo do Arco da Rua Augusta e os planos inferiores do Pátio da Galé, ii) as condições de acessibilidade de alguns locais não correspondiam às expectativas iniciais devido a obras, viaturas estacionadas o que por vezes encurtou as distâncias disponíveis ou implicava oclusões se fosse mantido o planeamento inicial, iii) as condições de rua tornavam inviável a utilização sistemática de panoramas.

Assim, acabou por se optar geralmente pela recolha de imagens isoladas para produção de foto-mosaicos, mantendo a recolha de imagens para a produção de panoramas como procedimento a aplicar às fachadas dos Torreões, à fachada principal do Terreiro do Paço, incluindo o Arco da Rua Augusta, e às fachadas do Pátio da Galé.

- Houve alguns problemas com a gestão de autorizações de acesso, em particular na visita às instalações da Marinha, do Exército e do Ministério da Administração Interna, que implicaram a descontinuidade, no tempo, da recolha de dados.

A.4.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- Neste ponto, a descrição que fazemos, incide sobretudo na componente de trabalhos de levantamento efectuados pela FAUTL e conduzida pelo arquitecto Luís Mateus.

- O processamento dos dados respeitou as seguintes etapas: a) definição de um critério de organização e diferenciação dos dados, b) importação das imagens fotográficas e remoção do efeito da distorção radial, c) extracção de medidas de controlo para as rectificações, d) produção de imagens panorâmicas, e) rectificações, f) inserção das imagens rectificadas em ficheiros CAD, e g) restituição gráfica.

- Equipamentos e sistemas utilizados para o processamento dos dados em gabinete:

- Dois PCs com sistema operativo Windows Xp e Windows Vista, 32 bits, ambos com 4gb de memória RAM.

- Software Olympus Master para remoção da distorção radial das imagens.

- Software Hugin para a produção de panoramas.

- Software Perspective Rectifier para rectificação de imagens isoladas.

- Software Adobe Photoshop para rectificação de imagens panorâmicas e edição de imagens.

- Software AutoCAD 2004 para edição CAD das imagens.

- Rotina rectificador.lsp para a rectificação vectorial de desenhos.

- Face à enorme quantidade de imagens capturadas foi necessário, em primeiro lugar, definir um critério de diferenciação dos dados. Este passou por associá-los a uma nomenclatura relativa às fachadas. Esta foi uma decisão importante face à quantidade de pessoas que em paralelo com a produção do levantamento, o iriam utilizar por exemplo para efectuar medições e registo de anomalias. Assim, a distinção assumiu o objecto como referente. Começou por fazer-se uma subdivisão por quarteirões, e em

cada quarteirão uma subdivisão por fachada. Na imagem da figura 4-15 ilustra-se a subdivisão efectuada. Note-se no entanto que este foi um critério adoptado pela equipa da FAUTL que em nada vinculou a equipa do Atelier 15. Com efeito, para entrega final foi adoptada designação distinta.

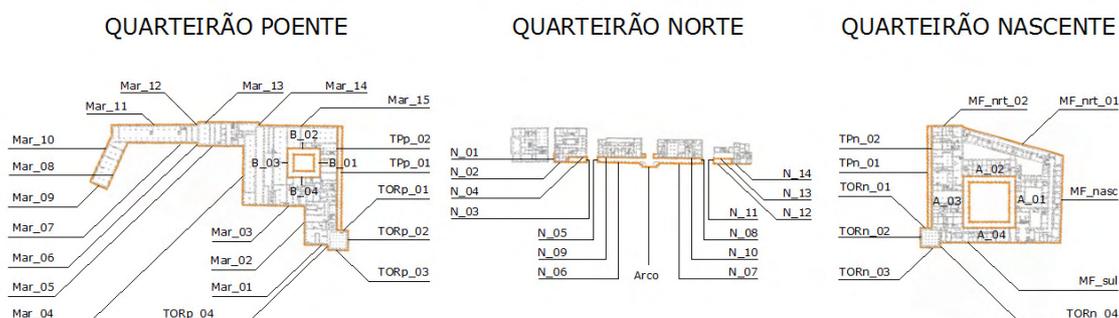


Figura 4-15: Critério de diferenciação do objecto por quarteirões e por fachadas.

- A primeira etapa do processo consistiu naturalmente em descarregar as imagens recolhidas em campo para os discos dos computadores a utilizar. Esta é uma tarefa que ocorre no final de cada sessão fotográfica. De seguida importaram-se as imagens no software Olympus Master 2 sendo removida a distorção radial das mesmas. Este é um processo automático. Após este pré processamento é necessário seleccionar as melhores imagens a serem utilizadas. Naturalmente, em campo experimentam-se vários níveis de exposição das imagens, ou há imagens que registaram informação não pretendida como viaturas, ou pessoas em circulação, pelo que uma selecção deve ser feita.

De seguida as imagens foram organizadas em pastas de acordo com as fachadas a que dizem respeito, pelo que é necessário, nesta altura ter presente as designações das várias fachadas.

Uma análise das imagens, nos termos do que está expresso na tabela 4-1, no que respeita á resolução das mesmas relativamente ao GSD. Verificou-se que na prática acabou-se por obter imagens com GSD entre 4mm (quando foi necessário fotografar próximo dos objectos com distância focal equivalente a 28mm a 5m das superfícies) e 15 mm (quando se fotografou a maior distância com distância focal equivalente a 300mm a 200m das superfícies) passando por vários valores intermédios. É claro que se trata de valores indicativos dado que nem sempre se fotografou perpendicularmente às fachadas.

- A extracção de medidas de controlo gerais para a rectificação foi feita tomando por correctas as dimensões gerais dadas pelas plantas fornecidas pela Parque Expo /

Frente Tejo. Considerando as dimensões horizontais com dado de controlo inicial, as imagens extraídas do SIPA/IHRU foram colocadas à escala. A partir dessas extraiu-se a informação de controlo para a rectificação na direcção vertical, tal como se ilustra na figura 4-16.

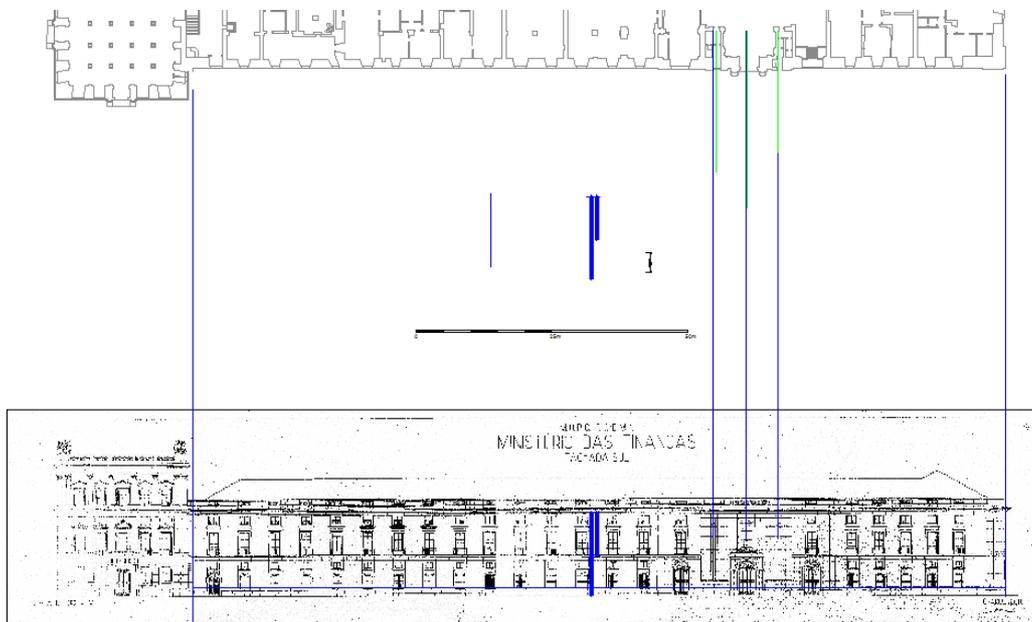


Figura 4-16: Extração das dimensões gerais de controlo para a rectificação.

Note-se porém que estas dimensões são gerais, e que, na maior parte dos casos o foto-mosaico a gerar será composto por imagens que se juntam lado a lado. Por isso informação de controlo adicional tem de ser gerada. Este passo adicional será explicado adiante.

Para cada quarteirão, esta operação necessita ser realizada apenas uma vez dado a altura constante das cornijas que encimam as fachadas. De uns alçados pode derivar-se informação de controlo altimétrica para os outros.

- A produção de imagens panorâmicas fez-se de modo quase automático através da aplicação Hugin. Para cada panorama a produzir foi importado um conjunto de imagens, todas feitas a partir do mesmo ponto de vista. É feita uma identificação automática de pontos homólogos entre as imagens e aplicada uma re-projecção das imagens num sistema definido pelo utilizador. Para este tipo de aplicação, o sistema que se escolhe é o da perspectiva de quadro plano. A imagem da figura 4-17 representa uma imagem panorâmica gerada a partir de 14 imagens fotográficas individuais. O resultado foi uma imagem, no formato *.tif com aproximadamente 200Mb. Produziu-se este tipo de imagens sempre que a distância o permitia, e sempre que a composição por foto-mosaicos gerasse resultados pouco agradáveis com é o

caso em que os edifícios não apresentam fachadas planas. No total foram produzidos 36 panoramas a que correspondeu cerca de 2.9Gb de imagens.

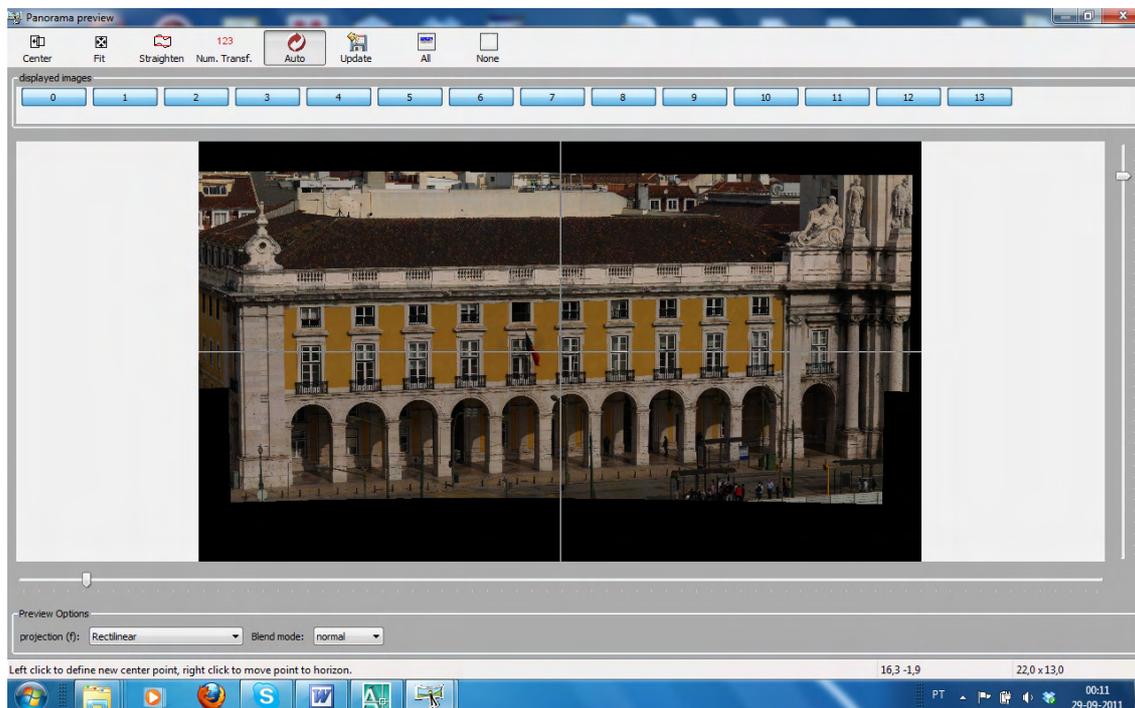


Figura 4-17: Panorama do alçado da Praça do Comércio, à esquerda do Arco da Rua Augusta. Imagem composta por 14 fotos.

- No que respeita a rectificações, foram considerados dois tipos de procedimento: i) a produção de imagens panorâmicas rectificadas através dos procedimentos da rectificação de imagem e da rectificação vectorial que a seguir descrevemos, e ii) a rectificação de imagens individuais utilizando o software Perspective Rectifier. Optou-se pelo segundo procedimento sempre que foi possível um deslocamento paralelo à fachada e pelo primeiro procedimento quando tal deslocamento não era possível, ou quando, pela natureza pouco plana do objecto, se introduziriam efeitos impossíveis de compensar visualmente através da justaposição de imagens tiradas de pontos de vista distintos, eventualmente com prejuízo do aumento das distorções na vertical e na horizontal. Nestes casos foi utilizada uma adaptação nodal para o tripé de modo a conseguir-se fotografar sem paralaxe. Foi por exemplo o caso da fachada à esquerda do Arco da Rua Augusta que se ilustra nas figuras 4-17 e 4-18.

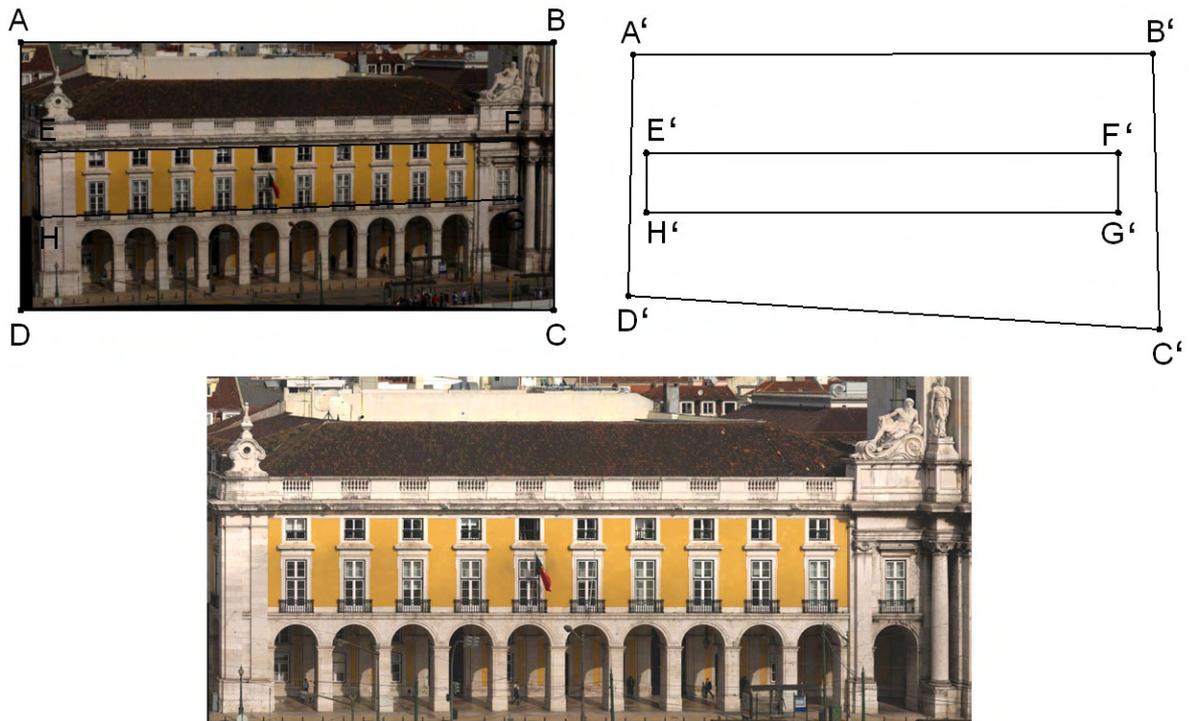


Figura 4-18: Em cima à esquerda: Imagem panorâmica produzida com 14 fotografias. Em cima à direita: Rectificação vectorial de controlo para a rectificação de imagem. Em baixo: Imagem final rectificada.

Utilizou-se a rectificação vectorial para gerar informação de controlo para a rectificação de imagem. A razão de ser deste processo prendeu-se com o facto de se estar a pretender rectificar uma imagem panorâmica plana com 200Mb gerada por 14 fotos. Normalmente as aplicações ordinárias vocacionadas para a rectificação de imagem, como a já referida Perspective Rectifier, têm um limite de dimensão de saída das imagens que implicaria, neste caso, uma perda de resolução. Para evitar este efeito, procedeu-se à rectificação da imagem no software Photoshop 6 em que é possível processar imagens maiores. A informação de controlo utilizada, dado este software não permitir um controlo de rectificação por coordenadas, foi a base gráfica produzida pela rectificação vectorial.

Na figura 4-18 em cima à esquerda ilustra-se o ponto de partida. O rectângulo [ABCD] delimita a imagem panorâmica. O quadrilátero [EFGH], em cima à esquerda, é homólogo do rectângulo [E'F'G'H'], em cima à direita. O quadrilátero [E'F'G'H'] corresponde à verdadeira grandeza do quadrilátero [EFGH]. Estes dois quadriláteros permitem definir os parâmetros da transformação projectiva que transforma o rectângulo [ABCD] no quadrilátero [A'B'C'D']. O quadrilátero [A'B'C'D'] foi utilizado como bitola para, através da aplicação Photoshop 6, transformar a imagem da

esquerda na imagem inferior sem perda de qualidade (note-se que a escala da imagem inferior não é, na figura, a mesma do rectângulo [E'F'G'H']). As dimensões do rectângulo [E'F'G'H'] foram obtidas a partir de medições efectuadas sobre bases gráficas existentes. A transformação projectiva foi definida utilizando a rotina `rectificador.lsp` (ver capítulo 4 do volume 1).

Na produção das várias rectificações, de imagens isoladas, que compõem cada foto-mosaico foi seguido o seguinte procedimento expedito. Efectuou-se a rectificação de uma primeira imagem atendendo às direcções vertical e horizontal e arbitrando uma medida horizontal. De seguida esta imagem forneceu medidas de controlo para a rectificação da imagem seguinte, e assim sucessivamente. No final obteve-se um foto-mosaico com a dimensão correcta na vertical mas com dimensão incorrecta na horizontal. A correcção na horizontal correspondeu à aplicação de um factor de escala constante na direcção horizontal a cada uma das imagens do foto-mosaico. O factor de escala foi obtido através da relação entre a dimensão do foto-mosaico inicial e a dimensão total real obtida em planta e considerada correcta. Para verificar a correcção do processo foram confirmadas as dimensões de alguns elementos, como janelas e nembos, através de medições no lugar, não se encontraram discrepâncias superiores a 3 cm. Este procedimento evitou uma recolha exaustiva de medições de controlo e permitiu ser mais célere nos procedimentos. Naturalmente considerou-se este procedimento admissível face aos objectivos da documentação. Embora se trate de um procedimento sujeito a erro este foi minimizado dado ter-se considerado bastante sobreposição entre imagens adjacentes.

No total foram rectificadas cerca de 551 imagens, correspondendo a 6.4Gb de informação.

- Produzidas as imagens, foi feita a uma inserção em ficheiros de CAD. De seguida foram recortadas para não haver sobreposição entre imagens.

Dados os objectivos e o prazo para a produção desta documentação não se teve em conta os aspectos relativos à compatibilização cromática entre as várias imagens.

Nas figuras 4-19 e 4-20 ilustra-se o resultado relativo ao alçado nascente do quarteirão e o resultado relativo ao alçado sul do quarteirão nascente, respectivamente.

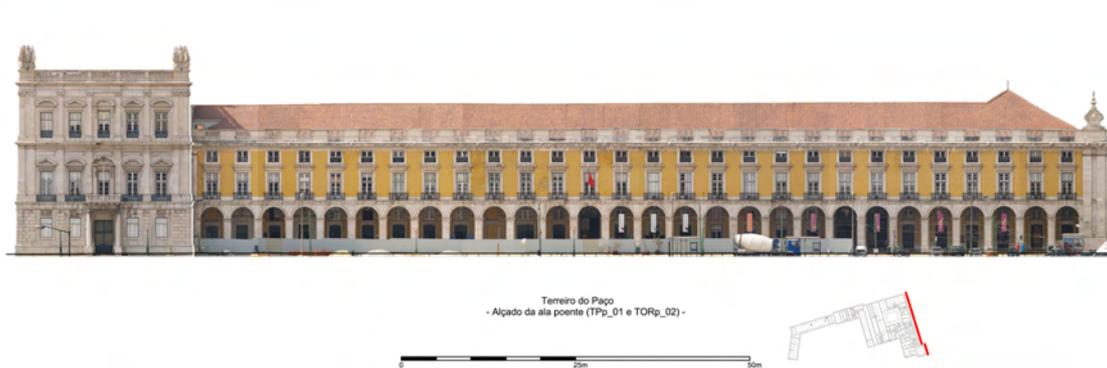


Figura 4-19: Alçado métrico rectificado da Ala Poente do Terreiro do Paço.

Note-se que a distância ao objecto é maior na situação ilustrada na figura 4-19 o que tem a implicação de que o telhado pode ser registado. Soma-se a isto o facto de se ter conseguido fotografar à mesma cota que a balaustrada. Estas duas condições em simultâneo permitem considerar a representação do telhado como muito próxima do alçado. Tal situação já não verificou possível no caso ilustrado na figura 4-20 em que não aparece registada a cobertura.

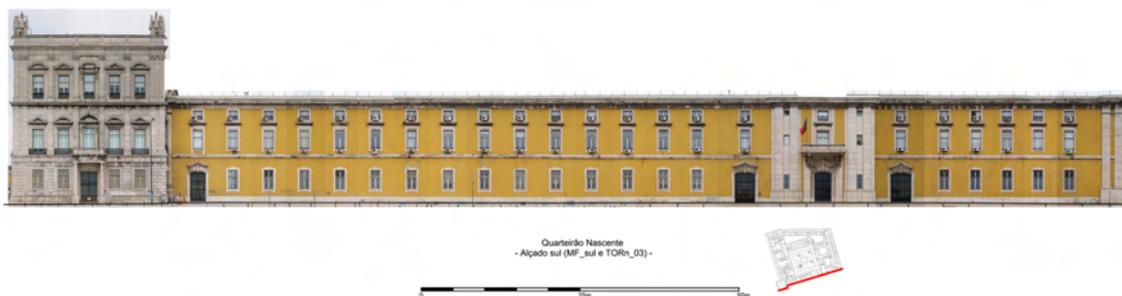


Figura 4-20: Alçado Sul da Ala Nascente do Terreiro do Paço.

Os efeitos de deslocamento vertical aparente ficam bem patentes na imagem da figura 4-21 na parte central relativa ao Arco da Rua Augusta. Este efeito deve-se ao facto de não ter sido possível fotografar a grande distância do objecto como nos casos ilustrados nas 4-19 e 4-20 ou como nas partes laterais daquela figura. Note-se que no caso do foto-mosaico da figura 4-19 as fotos foram tiradas a cerca de 200 de distância da fachada com uma lente zoom de 45-200mm, e a uma altura tal que permitiu remover praticamente todos os efeitos de deslocamento vertical aparente devidos a elementos salientes e tratar o foto-mosaico como se de um alçado de facto se tratasse. Com efeito, a configuração tipo da figura 4-19 é a que se deve adoptar sempre que possível. Nota-se ainda que ao compor o foto-mosaico através de tiras verticais de imagens estreitas também se remove o efeito horizontal equivalente ao deslocamento vertical aparente.



Figura 4-21: Alçado métrico rectificado da fachada sul do Terreiro do Paço.

Neste exemplo não se tratou a harmonização cromática entre as várias imagens do foto-mosaico por não ser relevante para os fins considerados. As diferenças de cor entre as várias imagens resultam de uma multiplicidade de factores que fazem variar a quantidade de luz da cena fotografada que a câmara recebe. Entre estes factores encontram-se os efeitos da reflexão da luz em edifícios vizinhos, a inclinação da câmara em relação às superfícies, a variação da luz ambiente, entre outros.

- Restituição gráfica:

Na figura 4-22 apresenta-se a restituição gráfica feita em AutoCAD sobre a imagem da figura 4-21.



Figura 4-22: Restituição gráfica do Alçado da fachada Sul do Terreiro do Paço. Este desenho foi elaborado no Atelier 15 sob a coordenação dos arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández, sobre os foto-mosaicos produzidos.

Torna-se evidente, pela simples comparação visual entre as figuras 4-21 e 4-22, que o desenho produzido sobre imagens rectificadas é mais que simples delineação da imagem. É necessário compensar os efeitos de deslocamento vertical aparente bem como as variações de escala para além do plano de referência. Esta é uma das

limitações desta técnica que se torna tanto mais evidente quanto menos plano é o objecto. Isto significa que desenhar sobre imagens rectificadas tem limitações e implica uma forte cultura geométrica e arquitectónica para produzir resultados fiáveis.

Esta etapa de restituição gráfica ficou a cargo do Atelier 15.

- Duração do processamento de dados em gabinete:

Foram consumidas 210 horas de trabalho repartidas por duas pessoas e aproximadamente 5 semanas de trabalho. Este valor inclui todo o processo de rectificação e edição CAD das imagens. Esta componente do processo ficou concluída no dia 10 de Novembro de 2009.

Foram consumidas aproximadamente 100 horas de trabalho, correspondentes a 2 semanas para proceder à restituição gráfica dos alçados (informação Atelier 15).

As correcções ao levantamento existente e a produção de elementos complementares (cortes) foram contabilizadas no processo do projecto. Este ficou concluído em 16 de Novembro de 2009.

A.4.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Os produtos finais do processo de levantamento, no que respeita aos foto-mosaicos produzidos, consistiu num conjunto de 26 pranchas inseridas em ficheiros *.dwg e entregues ao Atelier 15 em formato digital. As imagens da figura 4-23 ilustram três dessas pranchas. Note-se que estes elementos não constituíram a entrega final feita à Frente Tejo / Parque Expo. Foram antes uma entrega intermédia, que em verdade foi acontecendo à medida que os elementos iam sendo produzidos, que permitiu à equipa do Atelier 15 ir desenvolvendo os seus trabalhos de projecto, e à equipa da FAUTL ir desenvolvendo a componente dos estudos de recuperação das fachadas.

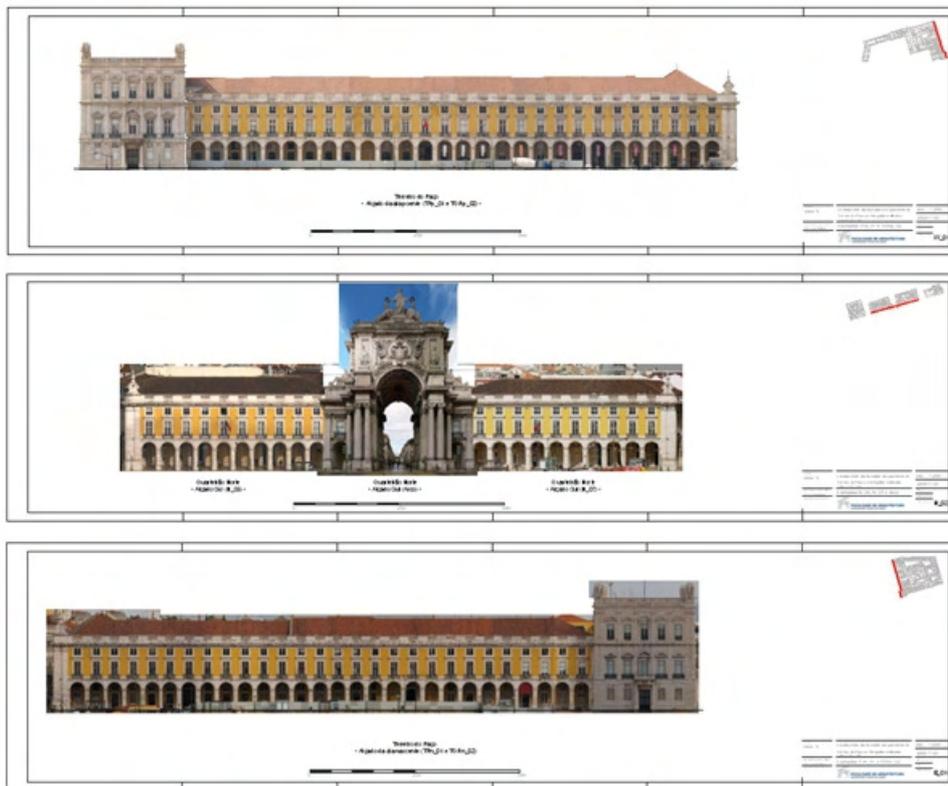


Figura 4-23: Exemplos de foto-mosaicos produzidos para entrega intermédia ao Atelier 15.

- Os produtos finais do processo de levantamento, no que respeita aos desenhos de restituição dos alçados correspondeu a 7 pranchas desenhadas em ficheiros CAD, no formato *.dwg, posteriormente exportados para o formato *.dwf e *.pdf, para entrega à entidade contratante respeitando as suas normas, conforme se ilustra na figura 4-24.

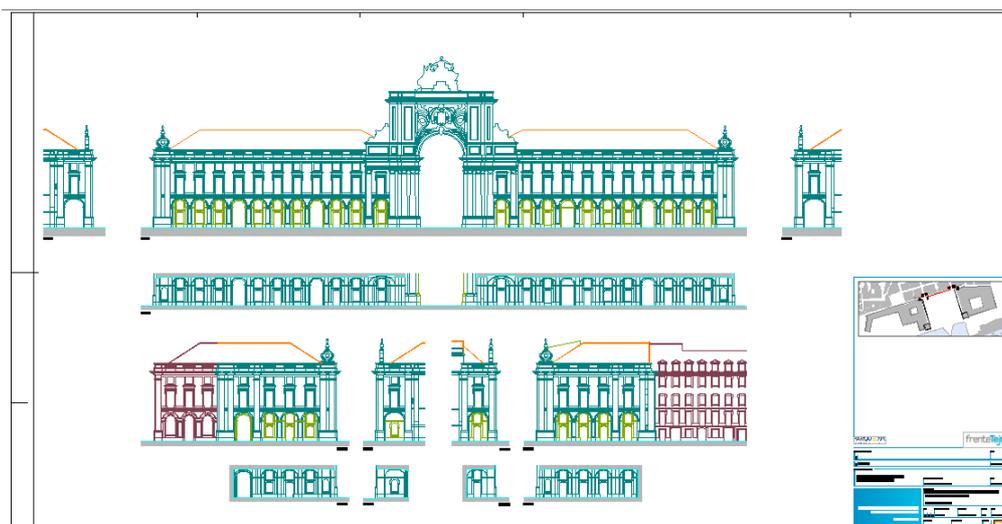


Figura 4-24: Exemplos de layout produzido pelo Atelier 15 para entrega à Parque Expo / Frente Tejo.

- Os produtos finais do processo de correcção dos levantamentos existentes, e produção de elementos complementares de levantamento (cortes) corresponderam a quatro e duas pranchas adicionais, respectivamente. Estas foram entregues nos mesmos formatos que as anteriores.
- A entrega final de todos os elementos à entidade contratante, incluindo levantamento e projecto, ocorreu no dia 16 de Novembro de 2009.
- No CD anexo podem ser consultados as pranchas que correspondem aos foto-mosaicos (003_TP.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- Os principais desvios a notar neste ponto correspondem às diferenças entre o planeado e o executado, que aqui se resumem.

Foram simplificados os processos de controlo métrico dos levantamentos efectuados, dispensando-se o levantamento topográfico de apoio e utilizando, em lugar deste, medições efectuadas sobre documentação gráfica existente. Para validação dos resultados efectuaram-se algumas medições em campo.

Também na recolha de dados se admitiu alguma simplificação que passou por não utilizar plataforma elevatória. Deste modo, embora de forma interpolada, conseguiu-se completar o trabalho de campo em menos tempo que o previsto.

Foi preferida a utilização generalizada da rectificação de imagens isoladas, em vez de panoramas.

No computo geral acabou por se utilizar menos tempo na produção da documentação que o inicialmente previsto.

<h4>A.4.3. ANÁLISE CRÍTICA</h4>
--

Neste ponto faremos uma análise crítica das várias etapas dos dois processos descritos, tendo em conta a apropriação dos elementos produzidos nos processos a que foram destinados sempre que esta informação é disponível.

Os materiais base do levantamento por fotografia rectificada foram utilizados de várias formas no processo de projecto.

Após se ter segmentado as fachadas de acordo com a sua morfologia arquitectónica e materiais procedeu-se ao cálculo das áreas por elemento e material. A representação esquemática da figura 4-25 ilustra o cálculo gráfico das áreas de uma das fachadas, a fachada Tpp_01. Para a optimização do processo de cálculo das áreas foram programadas algumas rotinas em AutoLisp com o objectivo de permitirem a soma de áreas de elementos definidos por várias entidades diversas de desenho que encerram áreas, como sejam polilinhas, sp-linhas, arcos, e outras nos ficheiros de CAD. Estas

áreas foram transpostas para uma tabela e a seguir foram afectadas por percentagens de incidência de ocorrência de anomalias estimadas através de processos de amostragem que a seguir descreveremos.

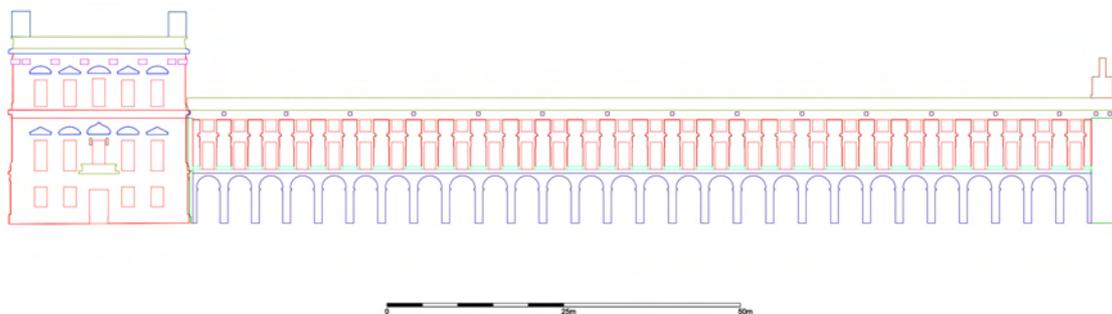


Figura 4-25: Delineação dos vários elementos construtivos para medição de áreas.

Uma segunda fase de diferenciação do objecto ocorreu neste momento. Foi necessário subdividir cada fachada nos seus elementos construtivos. Começou por subdividir-se em: i) elementos pétreos, e ii) superfícies de reboco pintadas. De seguida os elementos pétreos foram subdivididos em colunas, pilastras, cornijas, tímpanos, gárgulas, e outros. As superfícies de reboco pintado foram subdivididas em paramentos verticais e superfícies de abóbadas.

Para cada um destes tipos de elementos foram definidos critérios e formas de medição. Por exemplo, as gárgulas foram contabilizadas à unidade, as superfícies de reboco foram contabilizadas ao metro quadrado, as cornijas foram contabilizadas ao metro quadrado indicando que se tratava de uma projecção.

Com base neste tipo de critério procedeu-se às medições que foram registadas em folha de cálculo.

Nesta fase, utilizaram-se as imagens para proceder, em CAD, a uma delimitação das áreas, comprimentos, e contabilização de elementos. Este foi o primeiro nível de utilização dos foto-mosaicos. O processo de medição foi conduzido pelo arquitecto Luís Mateus com o apoio dos alunos André Picaró, Inês Barcelos, Corina e Catarina, e foram consumidas aproximadamente 140 horas de trabalho.

Numa segunda fase, que foi ocorrendo de forma simultânea à produção das imagens rectificadas foi feita, em campo e em gabinete, um registo das anomalias no sentido de elaborar um diagnóstico do estado de conservação das superfícies. Para o efeito, definido um léxico apropriado das anomalias presentes e um critério para a sua contabilização em campo. Os foto-mosaicos foram utilizados para efectuar os registos em campo, como se ilustra na figura 4-26. Estes registos foram produzidos pela conservadora Milene Gil, pela arquitecta Rita Santos e pela estudante de arquitectura

Inês Barcelos. A sua produção foi coordenada pelo arquitecto José Aguiar e pelo geólogo Delgado Rodrigues.

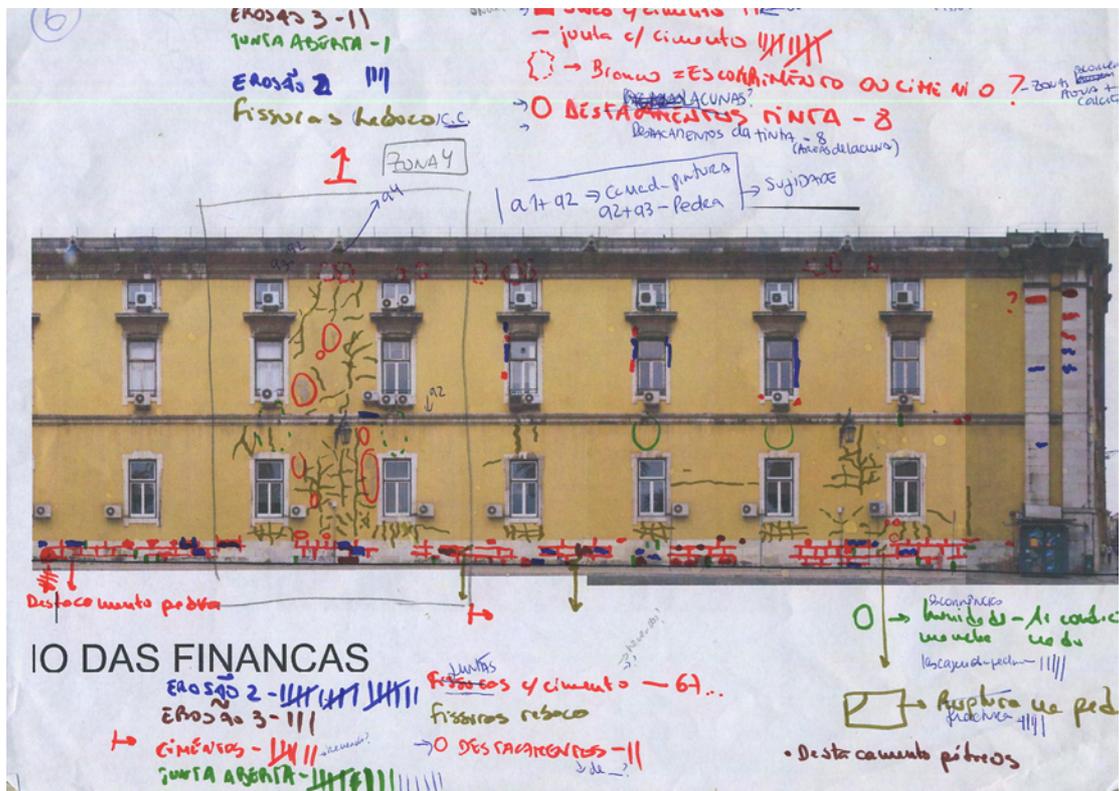


Figura 4-26: Recolha de informação em campo registada sobre alçado métrico rectificado.

Dada a extensão da área a tratar não se afigurou possível a cartografia exaustiva das formas de degradação. Antes, foram escolhidas zonas consideradas significativas da ocorrência de anomalias para, através da sua análise, em campo e gabinete, se poderem estimar índices de ocorrência a aplicar às áreas calculadas. Nalguns casos afigurou-se mais simples a contagem de elementos, por exemplo blocos ou juntas, afectados por uma dada anomalia. Nestas situações foi preciso estabelecer um tamanho médio de bloco ou um comprimento médio de junta para definir como unidade. Esta determinação foi feita por amostragem gráfica sobre as imagens rectificadas através da aplicação de rotinas de AutoLisp programadas para o efeito. Na figura 4-27 ilustra-se este procedimento.



Figura 4-27: Aplicação das rotinas para cálculo de áreas e comprimentos médios.

De modo semelhante foram definidas as percentagens de incidência dos vários tipos de anomalias. Foi definida uma área de amostragem e calculado o rácio entre a área de manifestação da anomalia e a área de amostragem. Na figura 4-28 ilustra-se o procedimento.



Figura 4-28: Aplicação das rotinas para cálculo de percentagens de incidência de anomalias.

Os vários valores obtidos foram vertidos para uma tabela de Excel para serem processados de modo a permitir estimar a quantidade das acções de conservação necessárias.

Sendo um suporte semântico, para além de métrico, as imagens rectificadas permitiram ainda efectuar a contabilização de elementos estranhos à lógica arquitectónica das fachadas como os aparelhos de ar condicionado, bem como permitiram caracterizar e quantificar as tipologias de caixilhos actualmente em uso naquelas fachadas.

Naturalmente o uso final dos suportes gráficos consistiu na síntese gráfica da análise do estado de conservação que foi entregue à entidade promotora do projecto. Esta permite estabelecer o elo entre a descrição escrita das formas de degradação e a sua localização espacial como se ilustra no exemplo da figura 4-29.

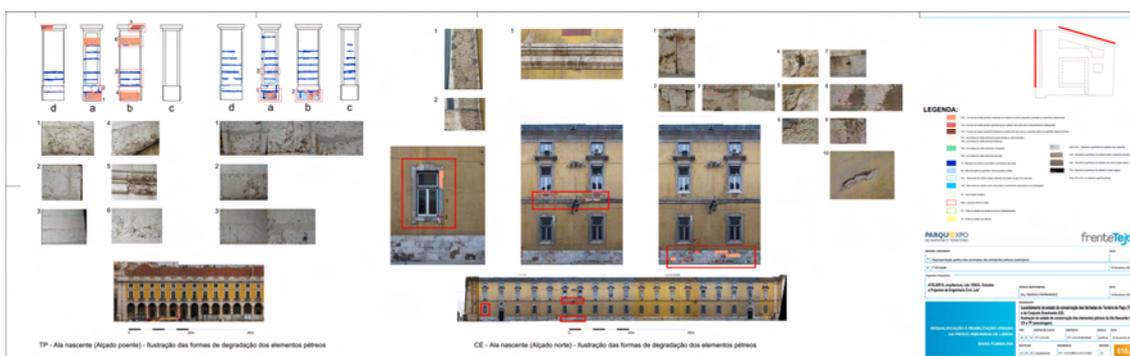


Figura 4-29: A documentação gráfica de base como suporte da síntese gráfica da avaliação do estado de conservação

A fase de análise do estado de conservação e de definição de acções de conservação a aplicar às fachadas consumiu aproximadamente 1000 horas considerando apenas os estudos coordenados pela equipa da FAUTL, em que participaram o professor José Aguiar, o arquitecto Luís Mateus, a bolseira Rita Santos, a aluna Inês Barcelos, o geólogo Delgado Rodrigues e a conservadora restauradora Milene Gil.

- No CD anexo podem ser consultados as pranchas que correspondem a esta fase do trabalho (004_TP.pdf).

A.4.4. CONCLUSÕES

As intervenções de conservação em património arquitectónico carecem sempre de documentação gráfica de base adequada ao tipo de estudos e acções a realizar. Intervenções que visem avaliar a integridade estrutural do edificado implicam um determinado nível de rigor e precisão da documentação gráfica e para intervenções de manutenção ou intervenções mais epidérmicas podem ser suficientes elementos produzidos através de metodologias mais expeditas.

Neste projecto seguiu-se uma metodologia expedita baseada na fotogrametria, mais concretamente aplicando o princípio da rectificação, para suporte à produção da

documentação gráfica do projecto de Conservação. Tratou-se de uma metodologia que permitiu obter resultados de forma rápida e fiável para cumprir os objectivos propostos. Permitiu produzir informação métrica e semântica que é fundamental para os processos de interpretação em Conservação, com o nível de detalhe apropriado à escala de abordagem dos problemas. As imagens utilizadas apresentavam resoluções variáveis, com máximo igual a 9mm e mínimo igual a 2mm, bastante abaixo do valor de referência para a escala usada, 20mm. Considerou-se uma escala intermédia entre o edificado e o urbano que foi consubstanciada graficamente por representações à escala 1/200. Observou-se o princípio da adequação entre meios e fins que deve sempre nortear a escolha dos métodos documentais no contexto da arquitectura em geral, e da Conservação em particular. Tratou-se de uma metodologia inovadora que integrou o princípio da rectificação vectorial e que permitiu integrar mecanismos de cálculo rápido de áreas e percentagens de anomalias através da sua visualização gráfica sobre os suportes produzidos, o que contribuiu para o afinar da sensibilidade visual dos agentes participantes no processo, e que é sempre um aspecto relevante. Foram consideradas e integradas as bases gráficas existentes. Foi a partir destas que se extraiu informação de controlo no que se entendeu adequado, minimizando esforços a recolha de dados em campo ao estritamente necessário. A metodologia considerou várias fases desde a recolha de informação prévia, planeamento, execução, e conclusão.

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da adopção de metodologias expeditas de documentação gráfica como suporte a acções de conservação que não impliquem alterações estruturais no edificado. Os resultados obtidos foram validados em campo. Entendemos que a metodologia apresentada pode ser considerada como referência para a intervenção em situações similares.

A.5 Levantamento do Chafariz dos Canos, Torres Vedras

LISTA DE FIGURAS

Figura 5-1 – Localização da área a documentar do Chafariz dos Canos em Torres Vedras.....	148
Figura 5-2: Alçado do Chafariz dos Canos, Torres Vedras. Desenho fornecido pela Câmara Municipal de Torres Vedras.	149
Figura 5-3: Planta do Largo Infante D. Henrique e vizinhança em que se encontra representado o Chafariz dos Canos, Torres Vedras. Desenho fornecido pela Câmara Municipal de Torres Vedras.....	149
Figura 5-4: Exemplo de fotografia utilizada em campo para anotar os pontos topográficos visados.....	158
Figura 5-5: Exemplo de desenhos de campo.	159
Figura 5-6: Características das imagens em função do tipo de processamento. Imagens a utilizar para produção de imagem panorâmica com o software Hugin e subsequente rectificação com o software Perspective Rectifier. Para a produção destas imagens foi utilizado tripé e suporte nodal para evitar erros de paralaxe.	160
Figura 5-7: Características das imagens em função do tipo de processamento. Imagens a utilizar para processamento fotogramétrico com o software Photomodeler 5.2 Pro. No conjunto destas imagens cada ponto do objecto aparece representado três vezes.	160
Figura 5-8: Características das imagens em função do tipo de processamento. Imagens a utilizar para delineação directa. Estas imagens foram produzidas procurando a máxima ortogonalidade relativamente ao plano principal da figura.	161
Figura 5-9: Fotografia da carta de calibração do software Photomodeler.5.2. Pro.	163
Figura 5-10: Pontos topográficos (a branco) e pontos fotogramétricos (a azul).	164
Figura 5-11: Identificação gráfica dos pontos fotogramétricos através de captura de ecrã.	165
Figura 5-12: Exemplo do processamento com o software Photomodeler.5.2. Pro. Nesta aplicação, têm de ser identificados pontos homólogos em várias imagens.	166
Figura 5-13: Modelação tridimensional do paramento de fundo do chafariz.....	166
Figura 5-14: Modelo de linhas em ficheiro CAD resultante da assemblagem das várias restituições fotogramétricas parciais. As cores diferenciam os vários modelos produzidos.	167
Figura 5-15: Rectificação da imagem do espaldar.....	168
Figura 5-16: Projecção das linhas sobre um plano de projecção definido.....	168
Figura 5-17: Exemplos de desenhos base após as várias operações de edição. À esquerda: alçado de troço central do chafariz. À direita: Cortes transversais de um arco.	169
Figura 5-18: Pormenor de alçado de capiteis de colonelos.	169
Figura 5-19: Planta e corte / alçado do paramento e espaldar do chafariz.....	170

Figura 5-20: Excerto da estrutura de layers do ficheiro CAD.....	171
Figura 5-21: Exemplo de layout final correspondente à superfície interior do chafariz.....	172
Figura 5-22: Exemplo de desenho de caracterização construtiva e análise do estado de conservação elaborada em campo (efectuado pelo arquitecto Luís Mateus orientado pela conservadora Inês Cardoso).....	174
Figura 5-23: Exemplo de desenho de caracterização construtiva elaborado em CAD em gabinete (efectuado pela conservadora Inês Cardoso).....	174
Figura 5-24: Captura de ecrã de modelo de nuvem de pontos reconstruído a partir de 159 fotos no portal do Photosynth.....	176
Figura 5-25: Sobreposição entre a planta por nós produzida (a azul) e uma secção equivalente produzida no modelo de pontos extraído do Photosynth.....	177
Figura 5-26: Matriz de correspondências entre imagens (VSFM).....	178
Figura 5-27: Correspondências entre imagens (VSFM) visualizada sob a forma de árvore.....	178
Figura 5-28: Reconstrução esparsa com a visualização simultânea da posição e orientação das câmaras (VSFM).....	179
Figura 5-29: Reconstrução densa (CMVS+PMVS).....	180
Figura 5-30: À esquerda: comparação entre a nossa planta e a secção equivalente produzida no modelo extraído do Photosynth. À direita: comparação entre a nossa planta e a secção equivalente produzida no modelo denso.....	181
Figura 5-31: Comparação entre restituição gráfica 2D e orto-imagem.....	181
Figura 5-32: Comparação entre restituição gráfica 2D e orto-imagem.....	182

LISTA DE TABELAS

Tabela 5-1: Resumo da recolha dos dados relativos às imagens fotográficas. 161

Tabela 5-2: Excerto da listagem das coordenadas topográficas de apoio..... 162

ÍNDICE

A.5	LEVANTAMENTO DO CHAFARIZ DOS CANOS, TORRES VEDRAS	147
A.5.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)	147
A.5.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	147
A.5.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	150
A.5.1.2.1.	OBJECTIVOS	150
A.5.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER	150
A.5.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	152
A.5.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA	153
A.5.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS	153
A.5.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	155
A.5.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)	157
A.5.2.1.	RECOLHA DE DADOS	157
A.5.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	163
A.5.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	171
A.5.3.	ANÁLISE CRÍTICA	172
A.5.3.1.	CONCLUSÕES	175
A.5.4.	A RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL AUTOMÁTICA	176
A.5.4.1.	CONCLUSÕES	182

A.5 Levantamento do Chafariz dos Canos, Torres Vedras

O Chafariz dos Canos, localizado em Torres Vedras é classificado como monumento nacional pelo Dec. 16-06-1910, DG 136 de 23 Junho 1910 (www.monumentos.pt).

A nossa participação nesta acção de levantamento foi realizada através de um protocolo celebrado entre a Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FAUTL) e a Câmara Municipal de Torres Vedras. Este protocolo envolveu, da parte da FAUTL, o Professor José Aguiar, que coordenou, o Professor Francisco Agostinho e o Assistente Luís Mateus.

A definição de objectivos e critérios para a informação a recolher foi definida em conjunto com a empresa Nova Conservação, responsável pela etapa de caracterização construtiva e do estado de conservação subsequente ao levantamento. O nosso propósito com o estudo foi explorar a fotogrametria de convergência como técnica para a produção de documentação gráfica em Conservação, e entender o modo como essa informação é depois utilizada em campo para a caracterização construtiva e registo das anomalias. Posteriormente fez-se uma análise comparativa entre o procedimento fotogramétrico que utilizámos para gerar a informação base, e o processamento fotogramétrico automático e reconstrução tridimensional que é hoje possível realizar através da metodologia SFM (structure from motion) e MVS (multi-view stereo).

A.5.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.5.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA
--

Identificação e localização do sítio:

- Chafariz dos Canos, Rua Cândido dos Reis, Torres Vedras

Entidade contratante:

- Câmara Municipal de Torres Vedras

Entidade contratada:

- FAUTL – Arquitecto Luís Mateus e Professor José Aguiar.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Ausência de documentação com as qualidades descritivas adequadas à avaliação do estado de conservação do monumento, pela empresa Nova Conservação, visando futura realização de projecto de conservação.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Pretende-se a elaboração de plantas, cortes e alçados, do monumento de modo a individualizar cada um dos elementos morfológicos diferenciáveis, tais como colunas, capiteis, bases.

Delimitação da área a documentar:

- A área a documentar corresponde a todo o chafariz incluindo o muro com que este se articula, tal como ilustrado na montagem da figura 5-1.



Figura 5-1 – Localização da área a documentar do Chafariz dos Canos em Torres Vedras.

Existência de documentação gráfica prévia:

- A Câmara Municipal de Torres Vedras forneceu uma planta do Largo Infante D. Henrique, em que se situa o chafariz, e quatro desenhos de alçados do largo do chafariz e edifícios do largo e ruas adjacentes, num dos quais aparece representado o Chafariz dos Canos (figuras 5-2 e 5-3).



Figura 5-2: Alçado do Chafariz dos Canos, Torres Vedras. Desenho fornecido pela Câmara Municipal de Torres Vedras.

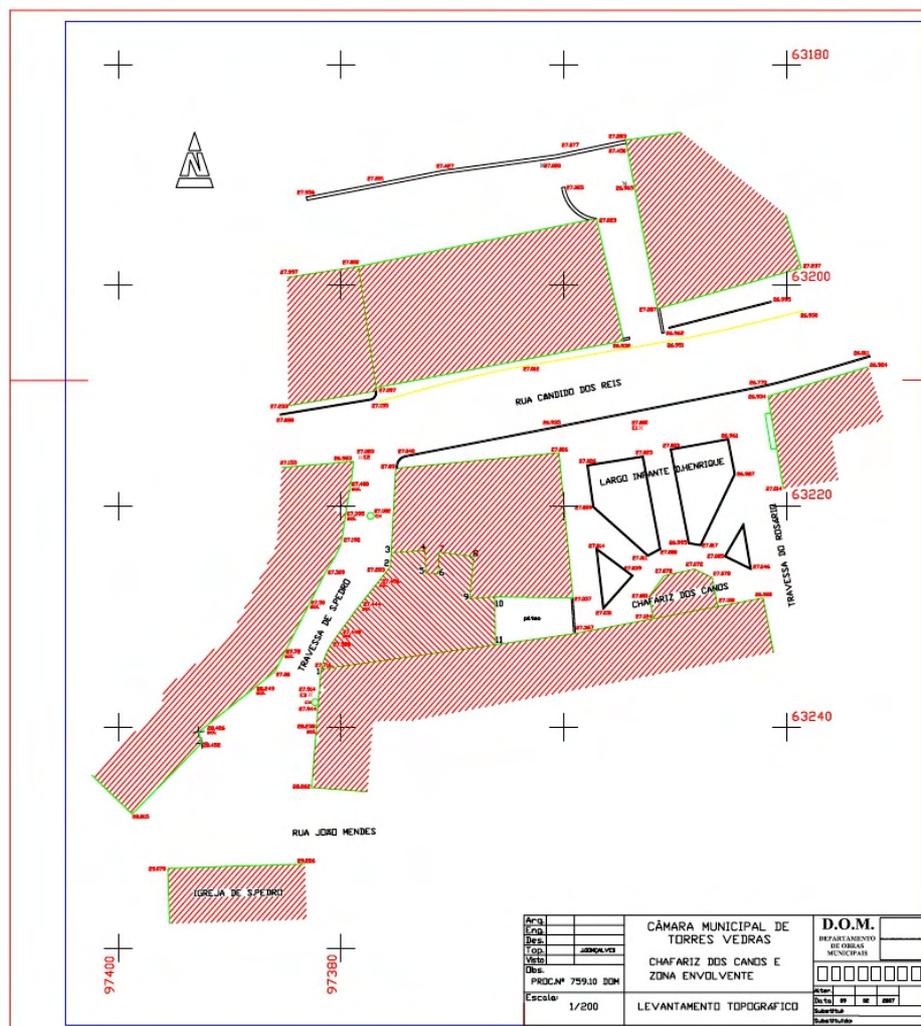


Figura 5-3: Planta do Largo Infante D. Henrique e vizinhança em que se encontra representado o Chafariz dos Canos, Torres Vedras. Desenho fornecido pela Câmara Municipal de Torres Vedras.

- Para além destes desenhos foram ainda fornecidas imagens fotográficas impressas e uma gravura de data não referida.
- Verificamos ainda a existência de uma planta e um corte não datados, na escala 1/100, no inventário do Sistema de Informação do Património Arquitectónico (SIPA – www.monumentos.pt).
- No CD anexo pode ser consultada uma listagem relativa à documentação gráfica prévia que pudemos reunir (001_CC.pdf).

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Foi fornecido um texto intitulado “Patrimonia da água: o Chafariz dos Canos” de Carlos Guardado da Silva, Técnico Superior do Arquivo Municipal de Torres Vedras. Trata-se de um texto histórico sobre a construção e sucessivos restauros do monumento bem como sobre a sua relação com a história do abastecimento de água a Torres Vedras.

Data:

- Início do processo: Março de 2008.

A.5.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

A.5.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A documentação destina-se a servir de suporte à cartografia de caracterização construtiva e de caracterização do estado de conservação do monumento, no sentido de proceder a uma avaliação do estado de conservação visando uma intervenção de conservação e restauro.

A.5.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- A aferição de conteúdos a considerar para a produção da documentação foi articulada com a empresa Nova Conservação. A nossa interlocução foi com o conservador Nuno Proença e com a conservadora Inês Cardoso.

- Pretende-se a produção de uma planta geral, uma planta de tectos, alçados e cortes com o nível de detalhe adequado à escala 1:20. Entende-se que o objecto deve apenas ser descrito naqueles aspectos que dizem respeito à geometria. Os aspectos relativos ao estado de conservação devem ser deixados para uma fase posterior a caracterizar por conservadores restauradores.
- Cada elemento (por exemplo capitéis, colunas, bases, nervuras, abóbadas, pedras) deve ser representado em CAD através de uma polilinha fechada de modo a definir uma área. Assim definidos facilita-se ao cálculo de áreas quer na caracterização construtiva como depois na eventual quantificação de acções a realizar.
- As juntas da estereotomia de pedra devem ser correctamente representadas pois o seu desenho ajuda a caracterizar o seu tipo.
- Embora a pedra do monumento de encontre bastante erodida, o que implica a ausência frequente da geometria original, pretende-se o seu desenho. Esta exigência prende-se com o facto de se entender que assim representado o objecto, se torna mais fácil avaliar a quantidade de degradação através de comparação entre o objecto real e os desenhos idealizados.

Desempenho métrico:

- Não foi definido nenhum critério específico de desempenho métrico. Porém assumiu-se como procedimento a recolha de algumas medidas de controlo através de medições directas para comparação com o resultado do levantamento.

Apresentação:

- O resultado do levantamento deve ser apresentado sob a forma de um ficheiro de CAD de formato *.dwg em que os vários elementos construtivos devem estar individualizados (por exemplo capitéis, colunas, bases, nervuras, abóbadas) e organizados por layers independentes das peças desenhadas. Isto é, se uma coluna aparece em mais que um desenho, as várias representações devem estar na mesma layer. Esta forma de estruturação de informação, embora extensa, permite individualizar elementos e evitar posteriormente que sejam cartografados em duplicado.

Causas para a rejeição dos materiais:

- O não cumprimento dos requisitos no que diz respeito aos conteúdos e apresentação é causa que obriga à reformulação dos materiais de levantamento.

A.5.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- Foi definido o prazo de 3 meses para realização dos trabalhos de levantamento.
- Custos: informação não disponível.

Autorizações de acesso:

- O chafariz encontra-se em espaço público aberto pelo que o acesso é livre.
- O acesso à cobertura do chafariz é feito através de uma residência particular, o que requer acompanhamento de um técnico da Câmara Municipal de Torres Vedras. De qualquer modo, não nos foi solicitada a representação da cobertura.

Condições de segurança:

- Nada a assinalar.

Condições de acessibilidade:

- Não existe trânsito na praça, mas existe estacionamento na rua fronteira, a rua Cândido dos Reis, bem como nas proximidades. Por esta razão o chafariz é de fácil acesso e apresenta sempre campo de visão desimpedido.
- No jardim da praça há vegetação que pode condicionar alguns pontos de vista se for pretendida alguma distância para recolha fotográfica.
- O acesso à cobertura do chafariz é feito através de uma janela de dimensões reduzidas de uma residência particular.

Retenção dos materiais:

- Não definido.

Impactos admissíveis no objecto:

- Não definido.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Protocolo de colaboração entre a Câmara Municipal de Torres Vedras e a FAUTL.

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- FAUTL (Luís Mateus): direito de autoria e direito de reprodução para efeitos pedagógicos e de investigação.

- Câmara Municipal de Torres Vedras: direito de reprodução dos materiais para quaisquer fins.
- Nova Conservação: direito de reprodução dos materiais no âmbito das acções de caracterização construtiva, do estado de conservação, e de eventual acção de conservação.

A.5.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA
--

Entidades produtoras da documentação gráfica:

- FAUTL (arquitecto Luís Mateus).

Entidades fiscalizadoras:

- Empresa Nova Conservação.

A.5.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS

Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:

- O chafariz dos canos apresenta alguma variedade formal de decorativa que torna excessivamente demorado o seu processo de registo através de métodos directos. Assim opta-se pelas técnicas fotogramétricas da fotografia rectificada, nos casos de grandes extensões planas, e pela reconstrução tridimensional a partir de múltiplas imagens nos casos em que existe variedade espacial.
- Para garantir a coerência métrica do levantamento proceder-se-á a um levantamento topográfico de apoio visando pontos naturais do objecto.
- Efectuar-se-á ainda a recolha de um conjunto de medições, através de métodos directos, para controlo do levantamento.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Levantamento topográfico de apoio: Estação total Sokkia 130R3 com e sem prisma reflector e bastão de 1.5m de altura.
- Levantamento fotográfico: Câmara fotográfica SLR Olympus E-500, sensor de 17,3x13mm, 8Mp de resolução (3264p x 2448p), cartão de memória de 2Gb, com uma objectiva de 14-45mm, e tripé com cabeça nodal, caso seja necessário recolher imagens para produzir panoramas.
- Medições directas de controlo: Fita métrica metálica, prancheta, papel e lapiseira.

Planeamento da recolha dos dados:

- Previamente à recolha dos dados em campo deverão ser recolhidas imagens da carta de calibração do software Photomodeler 5.2 para calibração da câmara. Estas imagens deverão corresponder às distâncias focais extremas (14mm e 45mm) com a focagem no infinito, o que restringirá o nosso trabalho à utilização destas duas distâncias focais.
- Deverá ser feita uma visita de reconhecimento, na qual se recolherão imagens fotográficas que servirão de base ao planeamento e execução do levantamento. Em visitas posteriores proceder-se-á à execução da componente de campo do levantamento propriamente dito que consistirá na recolha dos dados topográficos e das imagens fotográficas para a restituição fotogramétrica.
- Deverá ser seleccionado um conjunto de pontos bem distribuídos pelo objecto, a serem registados por processos topográficos clássicos com estação total, de modo a servir de controlo para o levantamento fotogramétrico. Os pontos topográficos de controlo para a modelação tridimensional e rectificações serão pontos naturais do objecto identificados sobre as fotografias impressas resultantes da visita de reconhecimento.
- A selecção dos pontos topográficos de controlo será efectuada em campo, sendo registados em caderneta electrónica.
- A definição das distâncias ao objecto e pontos de vista mais adequadas, para efeitos da recolha fotográfica, será feita em campo, durante o processo de recolha de imagem, e procurará obedecer às conhecidas regras 3x3 fotogramétricas, descritas no ponto 3.6 do volume 1 da presente tese.
- Previamente ou posteriormente à recolha dos dados em campo deverá ser feita uma recolha fotográfica de base para a calibração da câmara fotográfica, em condições idênticas às de campo.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Visita prévia: 1 pessoa – ½ dia (professor José Aguiar, arquitecto Luís Mateus, professor Francisco Agostinho).
- Levantamento topográfico: 2 pessoas – 1 dia (topógrafo José Gonçalves, arquitecto Luís Mateus).
- Levantamento fotográfico: 1 pessoa – 2 dias (arquitecto Luís Mateus).
- Medições directas de controlo: 2 pessoas – ½ dia (arquitecto Luís Mateus, bolsreira Eunice Torres).
- Custos: informação não disponível.

A.5.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- Do levantamento topográfico deverá resultar uma nuvem de pontos que servirá para garantir a coerência métrica do levantamento fotogramétrico. Esta nuvem de pontos garantirá a possibilidade de junção, num único referencial, de modelos parciais do chafariz a serem produzidos por fotogrametria.
- Estima-se que o procedimento mais adequado de restituição fotogramétrica passe pela produção de vários modelos parcelares, cada um utilizando poucas imagens, o que gera ficheiros mais pequenos e mais fáceis de manipular.
- Como a zona do espaldar do chafariz é aproximadamente plana, considera-se a opção da produção de uma imagem rectificadas.
- Após produção dos vários modelos parcelares e sua junção num referencial único, serão posicionados os planos de projecção e secção sobre os quais será feita a redução do 3D ao 2D correspondente. De seguida proceder-se-á à limpeza do 2D e edição e produção dos desenhos finais, as plantas, cortes e alçados, com eventual inserção de orto-imagens e imagens rectificadas.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Os dados topográficos serão processados através do software SDRMap 6.0.
- A calibração da câmara fotográfica será feita através do software PhtoModeler Pro 5.2.
- A modelação tridimensional fotogramétrica será efectuada através do software PhtoModeler Pro 5.2.
- A serem produzidas orto-fotos, estas serão produzidas através do software PhtoModeler Pro 5.2.
- As imagens rectificadas serão produzidas com o software Perspective Rectifier.
- Caso seja necessário produzir alguma imagem panorâmica será utilizado o software Hugin.
- O processo de desenho, incluindo a redução do 3D ao 2D dos dados resultantes da restituição fotogramétrica tridimensional será produzido no software AutoCAD 2004.
- Estas operações são todas realizadas em hardware standard.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- Os dados topográficos, registados em campo em caderneta electrónica ligada à estação total, serão descarregados para um PC. Do seu processamento deverá resultar um ficheiro *.dwg, ou um ficheiro de texto, do tipo *.txt, correspondente às coordenadas dos pontos seleccionados e visados, num sistema de coordenadas locais. Esta nuvem de pontos permitirá a junção de todos os elementos do levantamento num único referencial.
- A restituição fotogramétrica será feita por troços. Cada troço deverá incluir um mínimo de pontos de controlo topográficos de modo a garantir que todos os troços partilham o mesmo sistema de coordenadas.
- Após a restituição fotogramétrica no software Photomodeler, cada troço será exportado para o formato *.dxf de modo a poder ser importado através do software AutoCAD.
- Após a importação dos vários troços num único ficheiro, poderão então ser seleccionados planos de projecção e secção apropriados à representação do Chafariz. O critério base para esta selecção é o da representação do maior número possível de superfícies e não o dos desenhos globais. Será necessário representar as várias colunas, os vários tramos do chafariz, a superfície do espaldar, os elementos decorativos, o tanque, a superfície interior do chafariz.
- Nos ficheiros de CAD, serão definidas layers por cada elemento arquitectónico, o que facilitará o isolamento de cada um deles bem como a verificação, em fase posterior, que a mesma anomalia não foi registada nem contabilizada em duplicado.
- Embora a entrega do levantamento seja feita apenas em suporte digital, serão preparados layouts de impressão à escala 1/20.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Processamento dos dados topográficos: 1 pessoa – 1 dia (topógrafo José Gonçalves).
- Processamento das imagens e desenho: 1 pessoa – 3 meses (arquitecto Luís Mateus).
- Custos: informação não disponível.

A.5.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)

A.5.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- Todas as operações de levantamento foram realizadas utilizando os equipamentos previstos.

- Levantamento fotográfico prévio:

No dia 06/03/2008 foi realizado um levantamento fotográfico prévio pelo Arquitecto Luís Mateus com a intenção de recolher informação de suporte para o registo de dados relativos ao levantamento topográfico de apoio mas antevendo a possibilidade de utilizar aqueles dados fotográficos para processamento fotogramétrico. Assim, houve o cuidado de fotografar com as distâncias focais extremas (14mm ou 45mm) com focagem no infinito de modo a facilitar o processo de calibração da câmara. As imagens foram produzidas sem tripé.

- Levantamento topográfico

No dia 09/05/2008 foi realizado o levantamento topográfico de apoio pelo topógrafo José Gonçalves coadjuvado pelo Arquitecto. Luís Mateus. Foram materializadas cinco estações topográficas no terreno sobre a superfície do pavimento através de círculos de pequeno diâmetro feitos com tinta vermelha. De seguida, a partir de cada estação foi visada a estação anterior e posterior de modo a fechar a linha poligonal. A um dos vértices da poligonal foram atribuídas a coordenadas arbitrárias $M=1000$, $H=1000$, $P=100$, considerando-se um referencial topográfico local orientado a Norte. De cada vértice da poligonal foram visados alguns pontos naturais do objecto de modo sendo registada a sua localização em imagens fotográficas do levantamento fotográfico prévio impressas conforme se ilustra na figura 5-4.

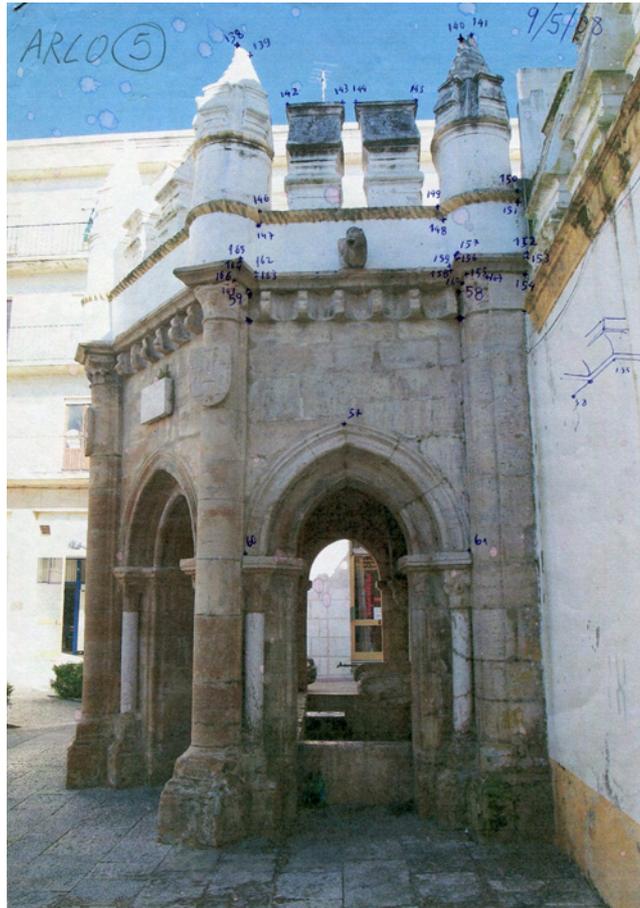


Figura 5-4: Exemplo de fotografia utilizada em campo para anotar os pontos topográficos visados.

- Levantamento manual de controlo:

No dia 13/05/2008 foi realizado um levantamento manual de algumas medidas para controlo do levantamento fotogramétrico. Este levantamento foi realizado pela bolsreira arquitecta Eunice Torres, orientada pelo arquitecto Luís Mateus. Foram produzidos alguns esquiços sobre os quais foram registadas as medidas obtidas por medição através de fita métrica (figura 5-5). O objectivo destas medições é o confronto com as medidas homólogas a obter através do levantamento fotogramétrico.

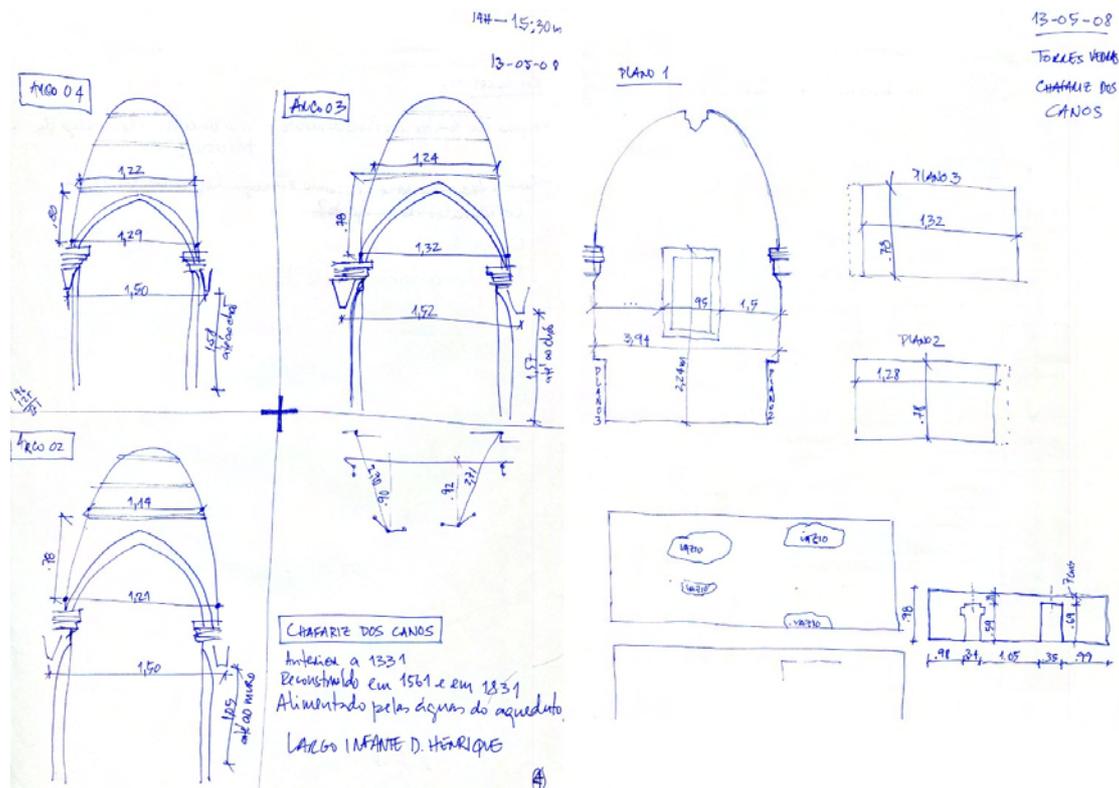


Figura 5-5: Exemplo de desenhos de campo.

- Levantamentos fotográficos posteriores

Posteriormente ao levantamento fotográfico prévio foram realizadas mais três sessões de levantamento, conduzidas pelo arquitecto Luís Mateus. Estas tiveram lugar nos dias 13/05/2008, 19/05/2008 e 03/07/2008, esta última para recolha de dados complementares pontuais, nomeadamente relativos a elementos isolados como bicas e bacias. Nos vários levantamentos, as imagens foram recolhidas tendo em conta o tipo de processamento a que iam ser sujeitas. Assim, nos casos em que se previa a utilização das imagens para rectificação, estas foram capturadas procurando o máximo de ortogonalidade possível relativamente ao plano visado. Nas situações de panorama procurou-se um ponto de vista central em relação à cena registada (figura 5-6). Nos casos em que se previa o processamento fotogramétrico por convergência, as imagens foram recolhidas observando os princípios enunciados nas regras 3x3 fotogramétricas, isto é, cada elemento foi registado pelo menos em três imagens (figura 5-7). Por fim, casos houve, em particular em pequenos detalhes, em que se considerou a produção do desenho directamente sobre a imagem, por exemplo no caso dos capitéis dos colunelos menores (figura 5-8). Nestas situações a imagem foi produzida com a maior distância focal disponível, com a maior distância possível, e procurando a máxima ortogonalidade possível relativamente ao plano principal da figura. No interior do chafariz foi utilizado tripé com o objectivo de permitir tempos de

exposição maiores e com isso garantir imagens mais expostas. Note-se que o interior do chafariz é um espaço com bastantes sombras. Neste caso houve alguma dificuldade em controlar as fotos orientadas para o exterior por causa do efeito de contra luz.

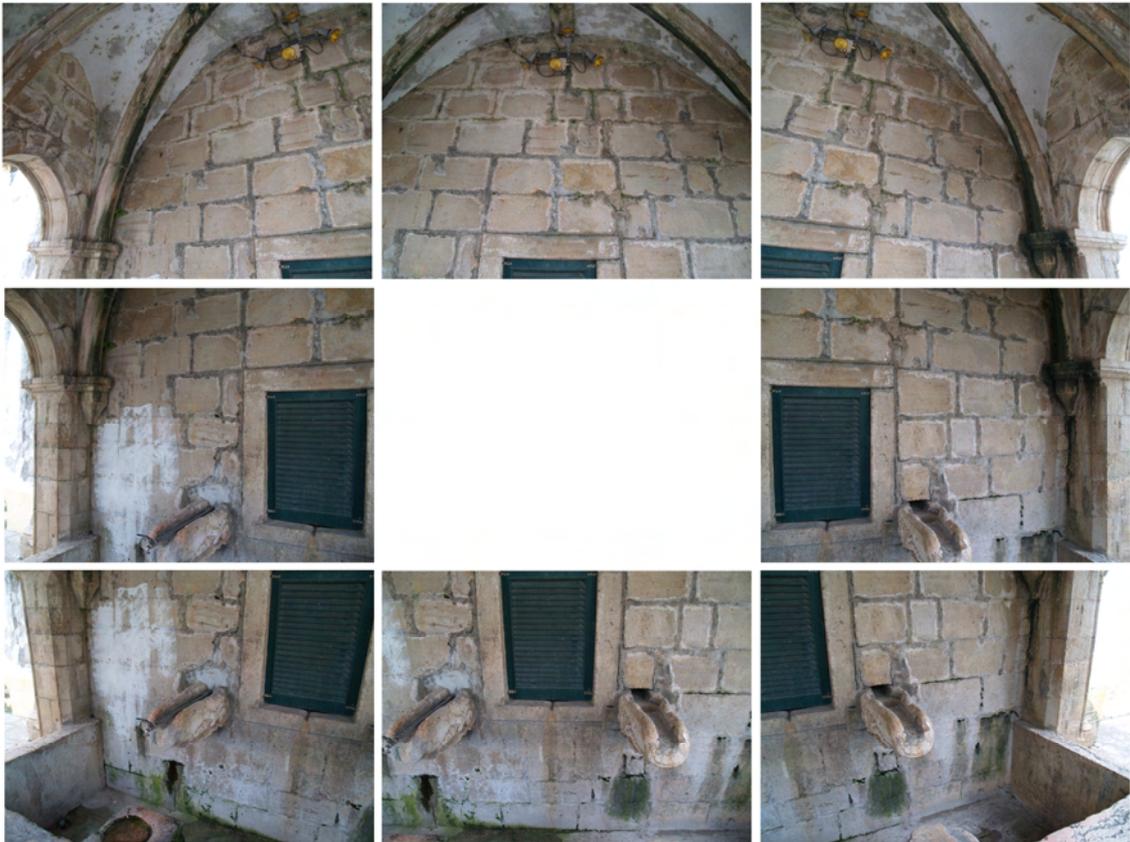


Figura 5-6: Características das imagens em função do tipo de processamento. Imagens a utilizar para produção de imagem panorâmica com o software Hugin e subsequente rectificação com o software Perspective Rectifier. Para a produção destas imagens foi utilizado tripé e suporte nodal para evitar erros de paralaxe.



Figura 5-7: Características das imagens em função do tipo de processamento. Imagens a utilizar para processamento fotogramétrico com o software Photomodeler 5.2 Pro. No conjunto destas imagens cada ponto do objecto aparece representado três vezes.



Figura 5-8: Características das imagens em função do tipo de processamento. Imagens a utilizar para delineação directa. Estas imagens foram produzidas procurando a máxima ortogonalidade relativamente ao plano principal da figura.

Todas as imagens fotográficas foram capturadas com distâncias focais de 14mm ou 45mm, dado considerar-se a calibração da câmara fotográfica para essas distâncias extremas.

Descrição dos dados recolhidos:

- No total dos vários levantamentos fotográficos foram capturadas cerca de 519 imagens com a resolução de 3264p x 2448p (8Mp) no formato *.jpg, correspondendo aproximadamente a 1.9Gb de dados, conforme se ilustra na tabela 5-1.

CHAFARIZ DOS CANOS – TORRES VEDRAS		
RESUMO DAS IMAGENS CAPTURADAS		
Nº de imagens	Data	Quantidade de dados
209	06-03-2008	796,31Mb
54	23-04-2008	162,24Mb
103	13-05-2008	390,51Mb
87	19-05-2008	308,1Mb
66	03-07-2008	252,02Mb
519		1,86Gb

Tabela 5-1: Resumo da recolha dos dados relativos às imagens fotográficas.

- Do levantamento topográfico de apoio resultou uma listagem de coordenadas de 323 pontos, cinco dos quais estações topográficas (tabela 5-2). Os pontos a que se referem estas coordenadas são pontos naturais do objecto.

```

ID trb          : TTT
Nome do trabalho : Torres vedras
Descrição       : Torres vedras
Referência      :
Topógrafo       : ze goncalves
Operador computador :
Dados impressos : 11/05/08      3:27pm

```

Ponto	Código	P	M	Cota	Descrição
0001	EST	1000.000	1000.000	100.000	ESTACAO
0002	EST	1008.000	1001.530	99.840	ESTACAO
0003	EST	1009.670	1008.380	99.860	ESTACAO
0004	EST	1008.290	1014.020	99.830	ESTACAO
0005	EST	1002.040	1018.230	99.840	ESTACAO
0050	C	1000.980	1011.152	102.995	COTA
0051	C	1001.071	1011.155	102.591	COTA
0052	C	1001.084	1011.219	102.513	COTA
0053	C	1000.664	1011.190	102.308	COTA
0054	C	1000.731	1011.254	102.263	COTA
0055	C	1001.503	1011.101	102.350	COTA
0056	C	1001.453	1011.177	102.304	COTA
0057	C	1000.596	1006.519	102.937	COTA
0058	C	999.688	1006.596	104.031	COTA
0059	C	1001.346	1006.416	104.013	COTA
0060	C	1001.365	1006.433	101.939	COTA
0061	C	999.689	1006.613	101.945	COTA
0062	C	999.872	1006.605	102.474	COTA
0063	C	1000.198	1006.568	102.803	COTA
0064	C	1000.904	1006.485	102.811	COTA

Tabela 5-2: Excerto da listagem das coordenadas topográficas de apoio.

- As medições directas para controlo e validação dos resultados foram registadas em 5 folhas A4 sobre esquiços produzidos no local (figura 5-5).
- No CD anexo podem ser consultados os dados relativos a esta etapa de recolha de dados (001_CC.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- A recolha de dados não foi realizada de uma única vez. Acabou por voltar-se ao local mais duas vezes que o previsto. A última dessas visitas, no dia 3 de Julho de 2008, prendeu-se com a solicitação, que não fora inicialmente prevista, de efectuar uma visita à cobertura do chafariz. A outra prendeu-se com a verificação, em gabinete, da necessidade de recolha de informação complementar, já em fase de processamento dos dados.
- No que diz respeito ao levantamento topográfico de apoio, houve uma mudança de estratégia a meio do levantamento. Começou por se fazer uma recolha exaustiva de pontos. Com a evolução do levantamento verificou-se que esta abordagem era pouco prática e que geraria excessiva informação de controlo. Então assumiu-se como necessário apenas alguns pontos de controlo, podendo os restantes ser gerados posteriormente por triangulação fotogramétrica. O resultado desta mudança a meio do processo traduziu-se num desequilíbrio na distribuição dos pontos pelo objecto.

A.5.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- O processamento dos dados foi realizado de acordo com as seguintes etapas: i) calibração da câmara, ii) importação das coordenadas topográficas de apoio e geração de pontos fotogramétricos, iii) restituição fotogramétrica, iv) produção de panoramas e rectificação de imagens, v) importação em CAD, iv) produção dos desenhos bidimensionais.

- Calibração da câmara:

Foram realizadas duas calibrações da câmara fotográfica, uma relativa à distância focal de 14mm e outra relativa à distância focal de 45mm. Em ambos os casos considerou-se a focagem no infinito. Para cada uma das calibrações foram tiradas oito imagens fotográficas da carta de calibração do software Photomodeler de acordo com as instruções de calibração do fabricante. A figura 5-9 ilustra a configuração da carta de calibração e corresponde a uma das imagens utilizadas para o processo de calibração.

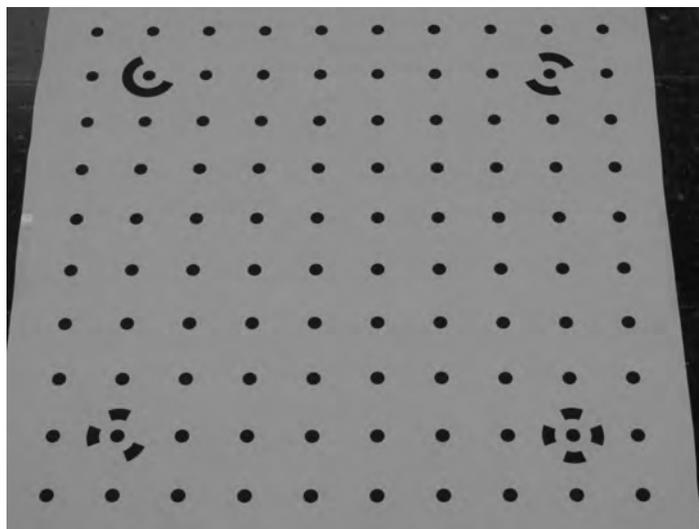


Figura 5-9: Fotografia da carta de calibração do software Photomodeler.5.2. Pro.

Para cada uma das calibrações, foi feito um processamento automático das imagens, sendo detectados os círculos pretos. Através desta detecção e correspondência entre imagens são calculados os parâmetros de distorção da câmara que consistem na posição do ponto principal da imagem, no cálculo da distância focal, no cálculo das dimensões do sensor, na determinação dos parâmetros da distorção radial e da

distorção de descentramento. Note-se que, na verdade, o que importa, para o software Photomodeler, é a relação entre valores e não os valores tomados em absoluto.

O resultado da operação de calibração é um ficheiro de texto com uma listagem dos parâmetros calculados que é guardado na base de dados do software e invocado quando se processam imagens correspondentes à situação da calibração.

- Importação das coordenadas topográficas de apoio e geração de pontos fotogramétricos:

Da enorme quantidade de pontos topográficos disponíveis, foram utilizados um número muito reduzido. Com base nesses, foram gerados pontos fotogramétricos de controlo, conforme se ilustra na figura 5-10.

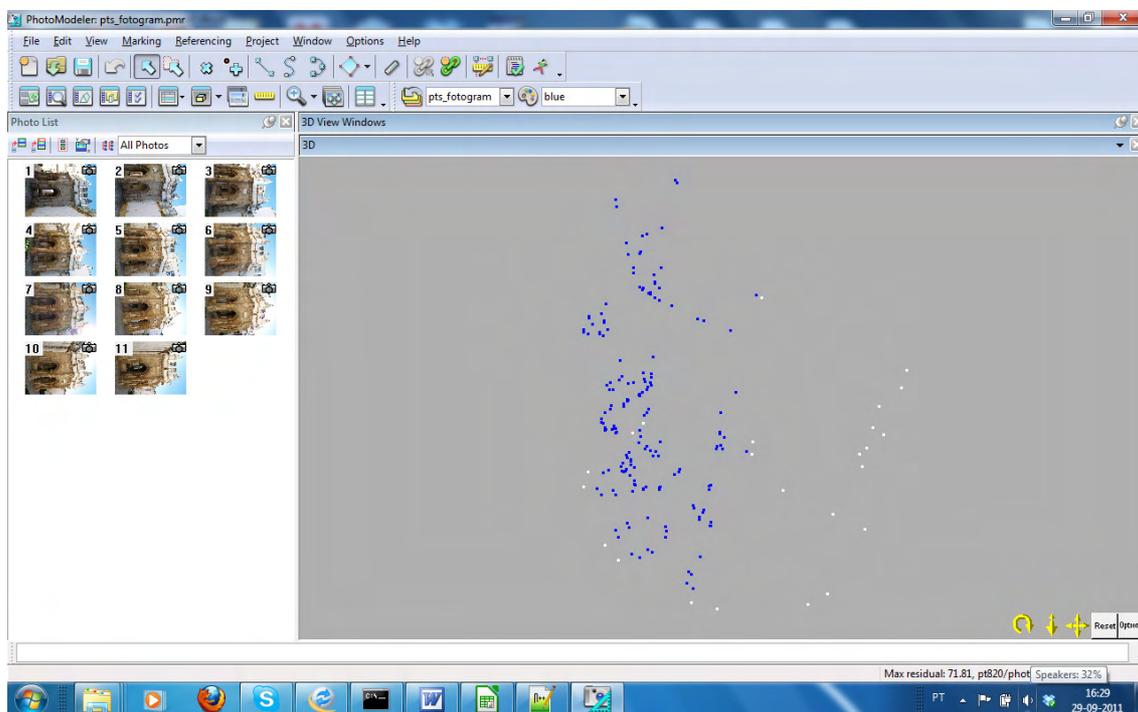


Figura 5-10: Pontos topográficos (a branco) e pontos fotogramétricos (a azul).

Foram gerados 195 pontos fotogramétricos distribuídos pelo chafariz. Para a determinação destes pontos foram processadas cerca de 11 imagens. Neste software a identificação de pontos é um processo manual, e por isso é um processo demorado. Cada ponto deve ser identificado em pelo menos três imagens, o que significa que fizemos pelo menos 585 marcações individuais de pontos. A partir da identificação dos pontos homólogos é reconstruída a orientação relativa entre as várias imagens. Neste caso, a orientação externa faz-se em simultâneo uma vez que no processamento foram consideradas coordenadas fixas, expressas no referencial topográfico local adoptado. As coordenadas dos pontos fotogramétricos foram guardadas num ficheiro *.txt para utilização posterior na fase de restituição. Adicionalmente foram feitas

capturas de ecrã, como se exemplifica na imagem da figura 5-11 para se poder identificar visualmente a localização dos pontos, o que é fundamental para que se consiga, na fase seguinte, voltar a identificar os pontos.

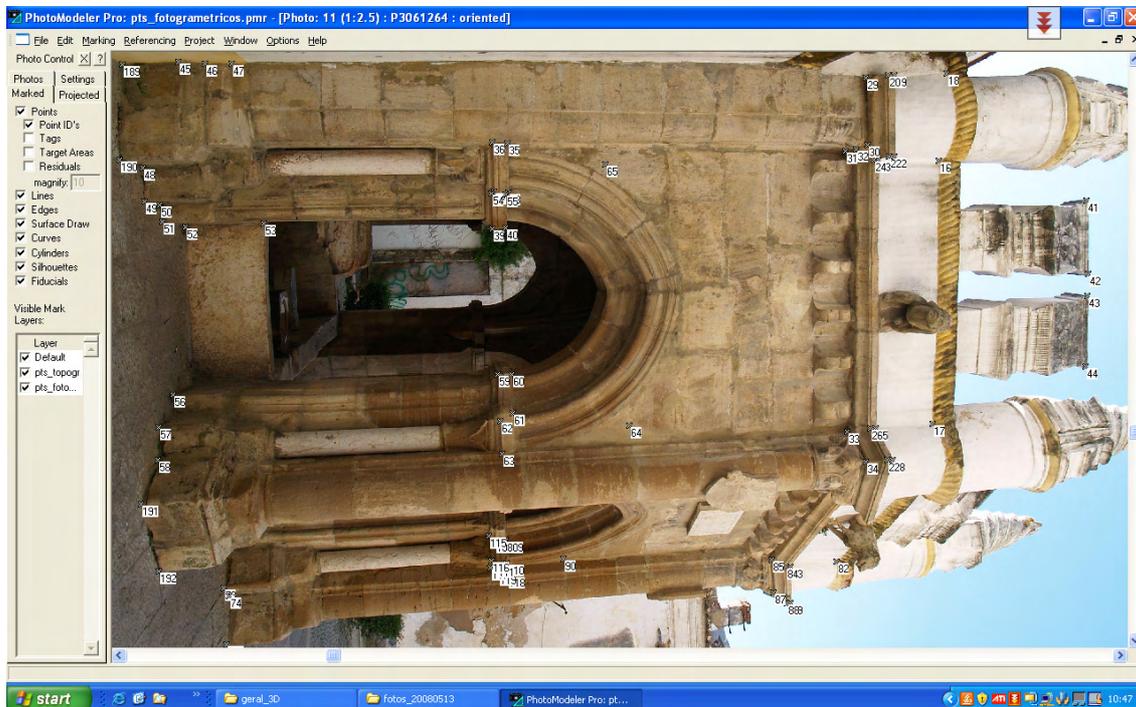


Figura 5-11: Identificação gráfica dos pontos fotogramétricos através de captura de ecrã.

- Numa fase seguinte, e com base na informação gerada na fase anterior, procedeu-se à restituição fotogramétrica propriamente dita. O Chafariz foi decomposto em cinco secções correspondentes aos seus cinco arcos. E cada secção foi dividida em três níveis, um nível inferior compreendendo as colunas até aos capitéis dos colunelos, um nível médio até às cornijas abaixo das gárgulas, e um nível superior acima das cornijas. Cada uma destas células foi restituída separadamente. Esta estratégia prendeu-se com o facto apurado de que a dificuldade de manuseamento dos ficheiros ser proporcional ao número de imagens utilizadas no processamento.

Na imagem da figura 5-12 ilustra-se o resultado parcelar do processo de restituição de um dos troços em que se segmentou o objecto.

A restituição passa pela importação das imagens, definição da câmara usada (ficheiro de calibração da câmara), identificação de pontos homólogos para efectuar a orientação relativa, identificação de pontos topográficos e fotogramétricos para efectuar a orientação externa, e delineação tridimensional do objecto. É esta última parte que consome mais tempo. Há várias estratégias possíveis de implementar. Cada ponto pode ser determinado por triangulação espacial ou podem definir-se superfícies e desenhar elementos projectando-os sobre elas. Nos casos em que é possível, esta

solução é a que minimiza o esforço dado que, cada ponto apenas necessita ser identificado numa única imagem, sendo o posicionamento espacial dos pontos resultado da intersecção das projectantes com as superfícies.

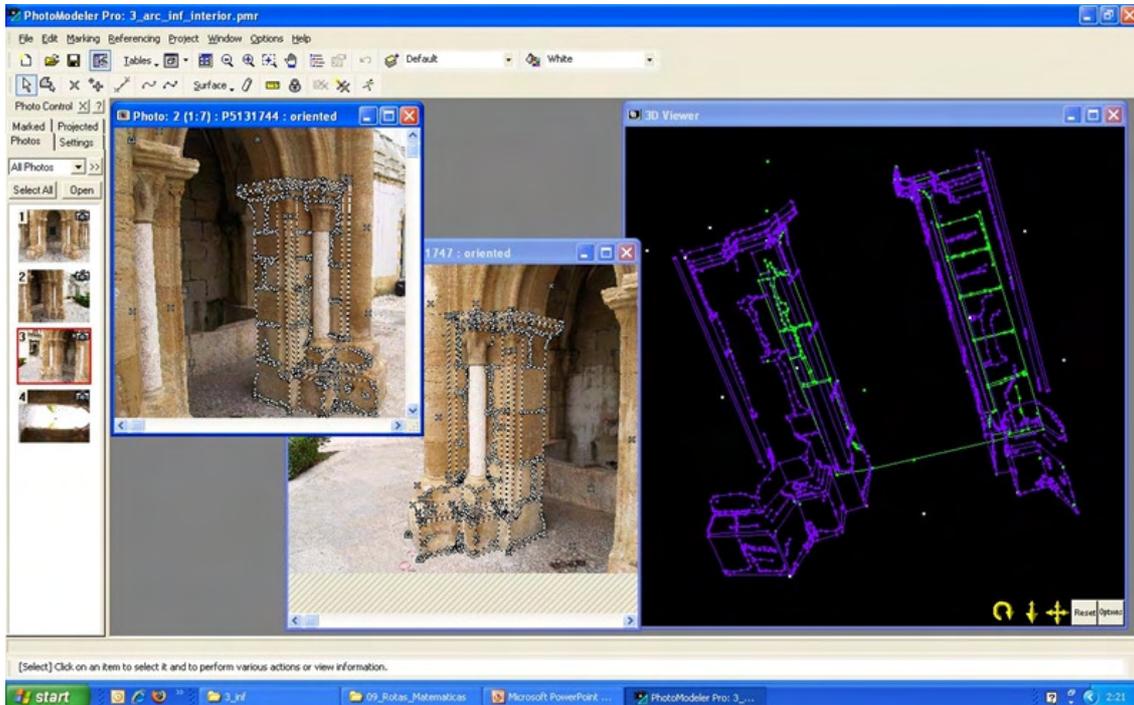


Figura 5-12: Exemplo do processamento com o software Photomodeler.5.2. Pro. Nesta aplicação, têm de ser identificados pontos homólogos em várias imagens.

Simultaneamente, foi modelado o paramento de fundo do chafariz. Foi produzido um modelo correspondente à ao paramento situado à esquerda do chafariz e um modelo correspondente ao paramento situado à direita do chafariz, conforme se ilustra na figura 5-13.

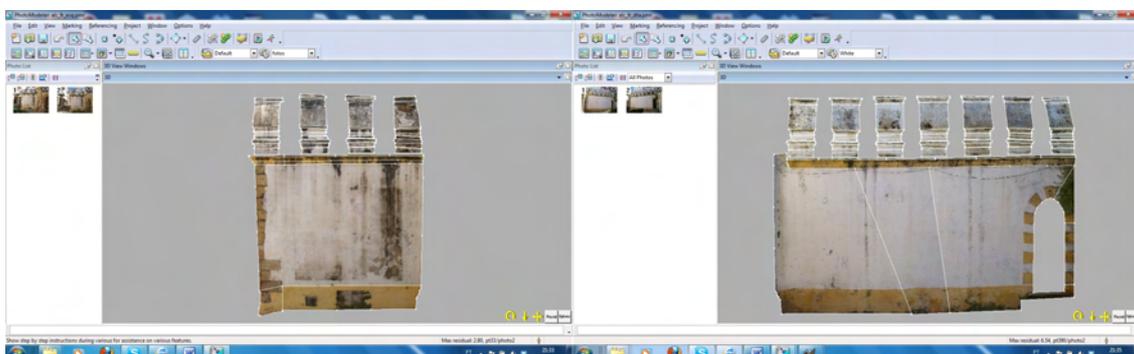


Figura 5-13: Modelação tridimensional do paramento de fundo do chafariz.

O objectivo foi o da produção de orto-imagens destas duas secções de parede. No total foram produzidos 34 modelos parcelares.

- Na fase seguinte, os vários modelos lineares parcelares produzidos foram inseridos num único ficheiro CAD. Naturalmente, as posições relativas entre os vários modelos são as correctas dado que foram produzidos com base nos pontos de controlo topográficos e fotogramétricos. O resultado da junção dos vários modelos está ilustrado na figura 5-14. Trata-se de um modelo de linhas correspondente a uma delineação espacial do objecto. Não é ainda um produto acabado mas sim a base para a etapa seguinte. Também é um modelo em que há lacunas que devem ser resolvidas posteriormente. Também nas zonas de sobreposição entre modelos adjacentes a coincidência não é total. Tudo isso são características próprias deste tipo de operação que devem ser resolvidas na etapa de edição dos desenhos.



Figura 5-14: Modelo de linhas em ficheiro CAD resultante da assemblagem das várias restituições fotogramétricas parciais. As cores diferenciam os vários modelos produzidos.

- Simultaneamente, e para o espaldar do chafariz, dado tratar-se de uma superfície aproximadamente plana, considerou-se a produção de uma imagem rectificadas. Em

primeiro lugar as imagens, identificadas na figura 5-6, foram utilizadas para a produção de uma imagem panorâmica com o software Hugin. De seguida, a imagem foi rectificada com o software Perspective Rectifier (figura 5-15) tendo como informação de controlo os pontos topográficos e fotogramétricos, e algumas direcções e dimensões.

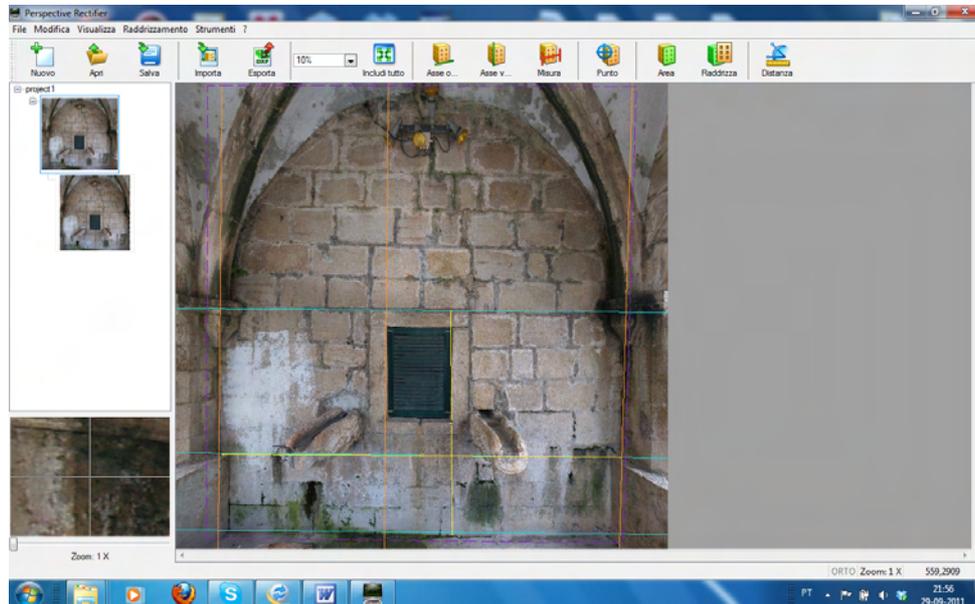


Figura 5-15: Rectificação da imagem do espaldar.

- Na etapa seguinte, os vários materiais produzidos têm de ser articulados de modo a produzir os desenhos 2D finais.

Em primeiro lugar, no ficheiro do modelo 3D de linhas, foram definidos planos de projecção. Sobre estes, efectua-se a projecção dos pontos e das linhas por eliminação da distância entre estes e o plano de projecção, como se ilustra na figura 5-16.

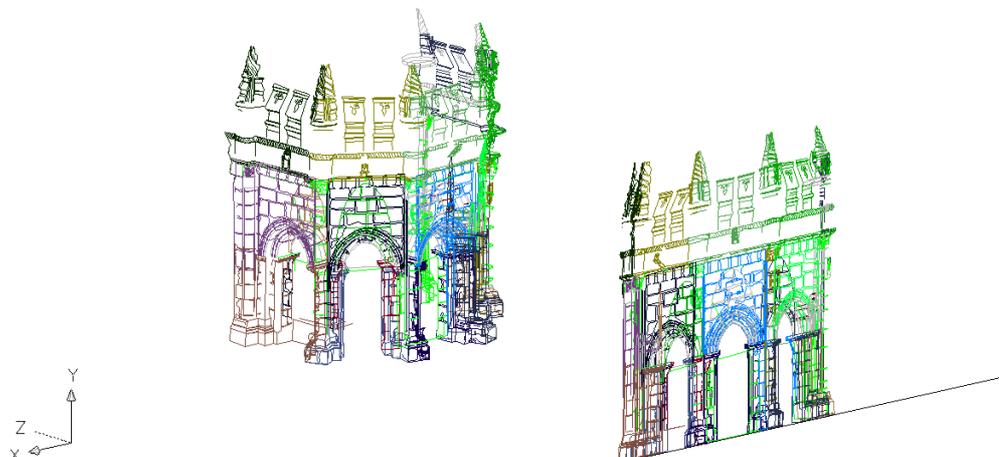


Figura 5-16: Projecção das linhas sobre um plano de projecção definido.

Após esta operação, é necessário editar os desenhos, completá-los, resolver pormenores, eliminar linhas em duplicado, eliminar linhas irrelevantes para o desenho específico. Após edição pode obter-se o tipo de resultados que se apresentam nas figuras 5-17 e 5-18.

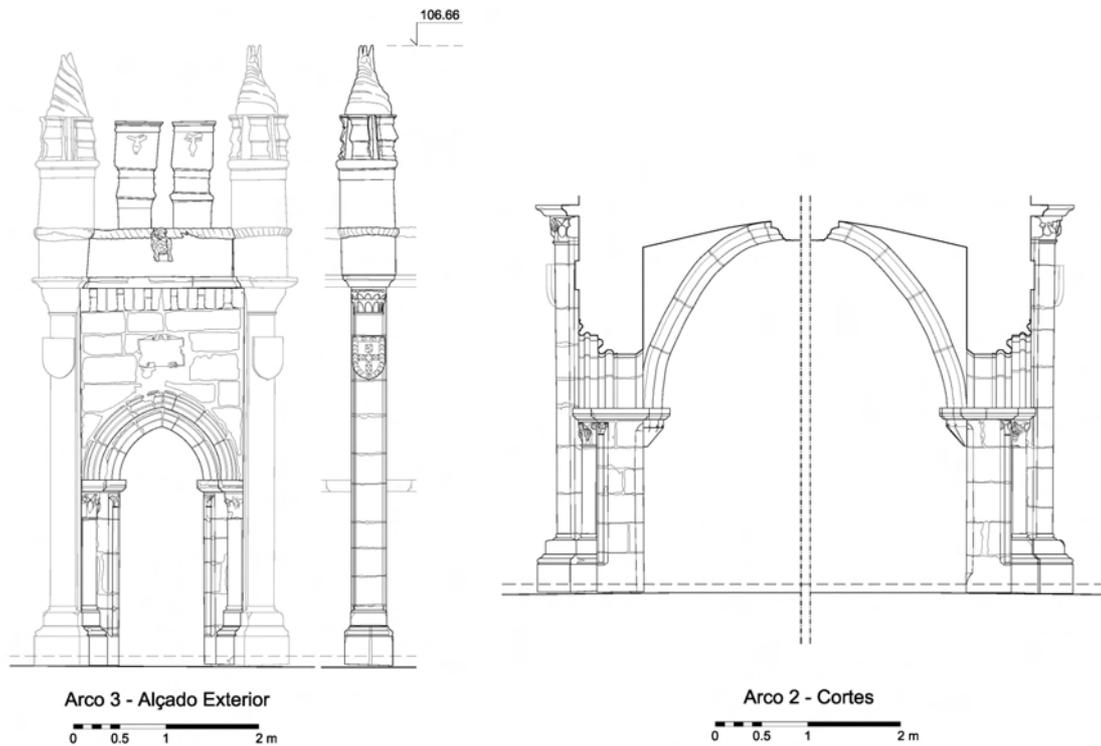


Figura 5-17: Exemplos de desenhos base após as várias operações de edição. À esquerda: alçado de troço central do chafariz. À direita: Cortes transversais de um arco.

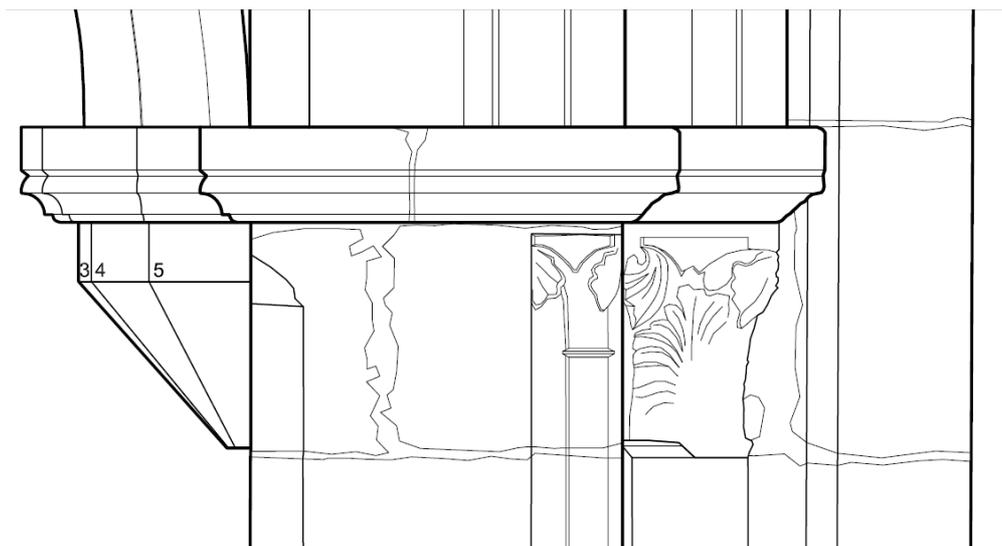


Figura 5-18: Pormenor de alçado de capiteis de colunelos.

Em articulação com os desenhos lineares, foram também inseridas as imagens rectificadas e as orto-imagens conforme se ilustra na figura 5-19.

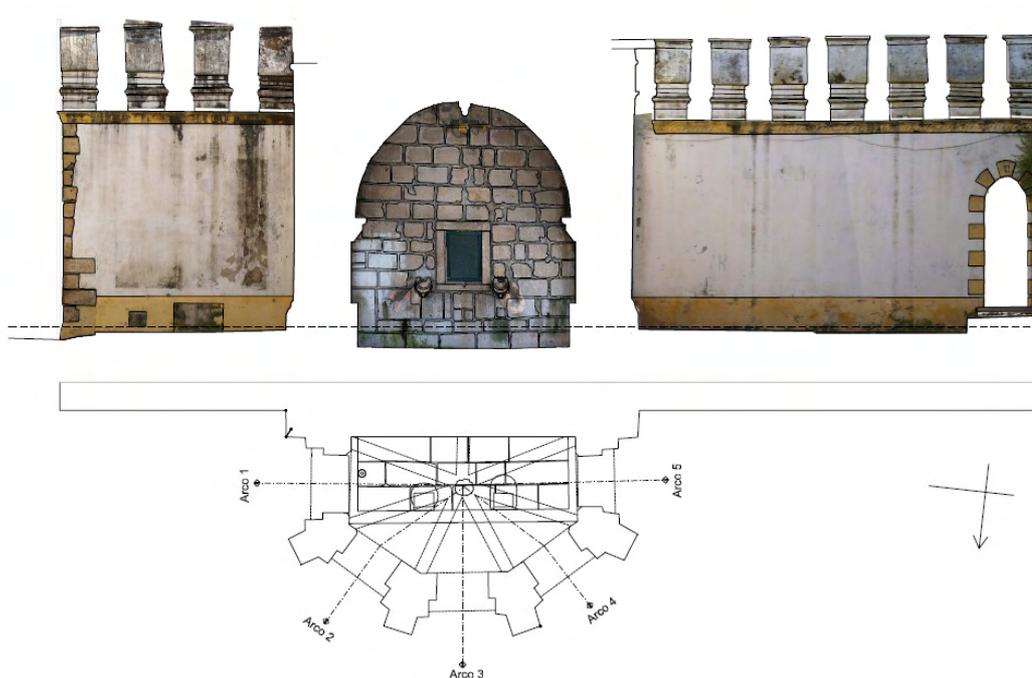


Figura 5-19: Planta e corte / alçado do paramento e espaldar do chafariz.

Nesta fase de edição e preparação dos materiais base finais, é importante a forma de organização e estruturação da informação nos ficheiros de CAD.

O processo de edição gráfica foi acompanhado de perto pela empresa Nova Conservação, através da conservadora restauradora Inês Cardoso. Houve várias reuniões de acompanhamento dos trabalhos nas quais se foi afinando critérios de representação das formas, de diferenciação dos elementos construtivos, de organização da informação no desenho e do seu modo de apresentação. Nesse sentido, a documentação foi preparada de modo a ser facilmente recebida pelos agentes que a receberam e trataram de seguida. Em particular, solicitou-se que os vários elementos arquitectónicos, por exemplo uma coluna, um capitel, uma pia, o tanque, fossem diferenciados por layers. Solicitou-se que cada elemento arquitectónico fosse delimitado no desenho através de uma polilinha fechada. Um aspecto interessante foi a solicitação que o desenho representasse mais a geometria do objecto e menos a sua degradação, deixando este aspecto para uma fase posterior. Este foi verdadeiramente um desafio face ao nível de degradação do objecto.

A vantagem referida neste tipo de abordagem é que cada elemento, que aparece representado em mais que uma peça desenhada, pode ser facilmente diferenciado

dos demais. Esta possibilidade permitirá que, mais tarde, qualquer elemento pode ser facilmente tratado, e poder-se-á verificar se as anomalias foram registadas em duplicado, bem como será mais simples proceder a contabilizações.

Na figura 5-20, apresenta-se um excerto da estrutura de layers do ficheiro de CAD.

S. Name	On	Fre...	L...	Color	Linetype	Lineweight	Plot St...	P...	N...	Description
02_arco	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco(corte)	✓	○	○	ma...	Continuous	Default	Color_6			
02_arco(contorno_cinza)	✓	○	○	252	Continuous	Default	Color_2...			
02_arco_bases	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco_cachorros	✓	○	○	blue	Continuous	Default	Color_5			
02_arco_colunas	✓	○	○	blue	Continuous	Default	Color_5			
02_arco_colunas_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
02_arco_Exos	✓	○	○	gre...	DASHDOT	Default	Color_3			
02_arco_gargula	✓	○	○	blue	Continuous	Default	Color_5			
02_arco_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
02_arco_merlões	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco_merlões_decoração	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
02_arco_molduras	✓	○	○	132	Continuous	Default	Color_1...			
02_arco_molduras_inf	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco_molduras_inf_quebras_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
02_arco_molduras_sup	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco_molduras_sup_quebras_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
02_arco_pés_direitos	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco_pés_direitos_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
02_arco_placa	✓	○	○	132	Continuous	Default	Color_1...			
02_arco_platibanda	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
02_arco_platibanda_cordão	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_(TEXTO)	✓	○	○	wh...	Continuous	Default	Color_7			
03_2_base_nervuras	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna(contorno_cinza)	✓	○	○	252	Continuous	Default	Color_2...			
03_2_coluna(corte)	✓	○	○	ma...	Continuous	Default	Color_6			
03_2_coluna_bases	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna_cordão	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna_escudo	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			
03_2_coluna_merlões	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna_moldura_sup	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_coluna_platibanda	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_nervura	✓	○	○	red	Continuous	Default	Color_1			
03_2_nervura_juntas	✓	○	○	yell...	Continuous	Default	Color_2			

Figura 5-20: Excerto da estrutura de layers do ficheiro CAD.

- A etapa de processamento dos dados ficou concluída em 17 de Julho de 2008 e consumiu aproximadamente 250 horas distribuídas ao longo de quatro meses e meio. Dessas, aproximadamente 150 horas foram dedicadas a processamento fotogramétrico, cabendo à componente de orientação relativa entre imagens cerca de um quarto desse tempo, isto é, aproximadamente 40 horas.

A.5.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Os materiais finais corresponderam a desenhos de levantamento do chafariz, na forma de plantas, cortes, alçados, na escala 1/20, e pormenores na escala 1/10.
- Foram organizadas 15 pranchas desenhadas, com os respectivos ficheiros de configuração de impressão, entregues à empresa Nova Conservação e à Câmara Municipal de Torres Vedras em suporte digital no formato *.dwg. A imagem da figura 5-21 representa um layout tipo.

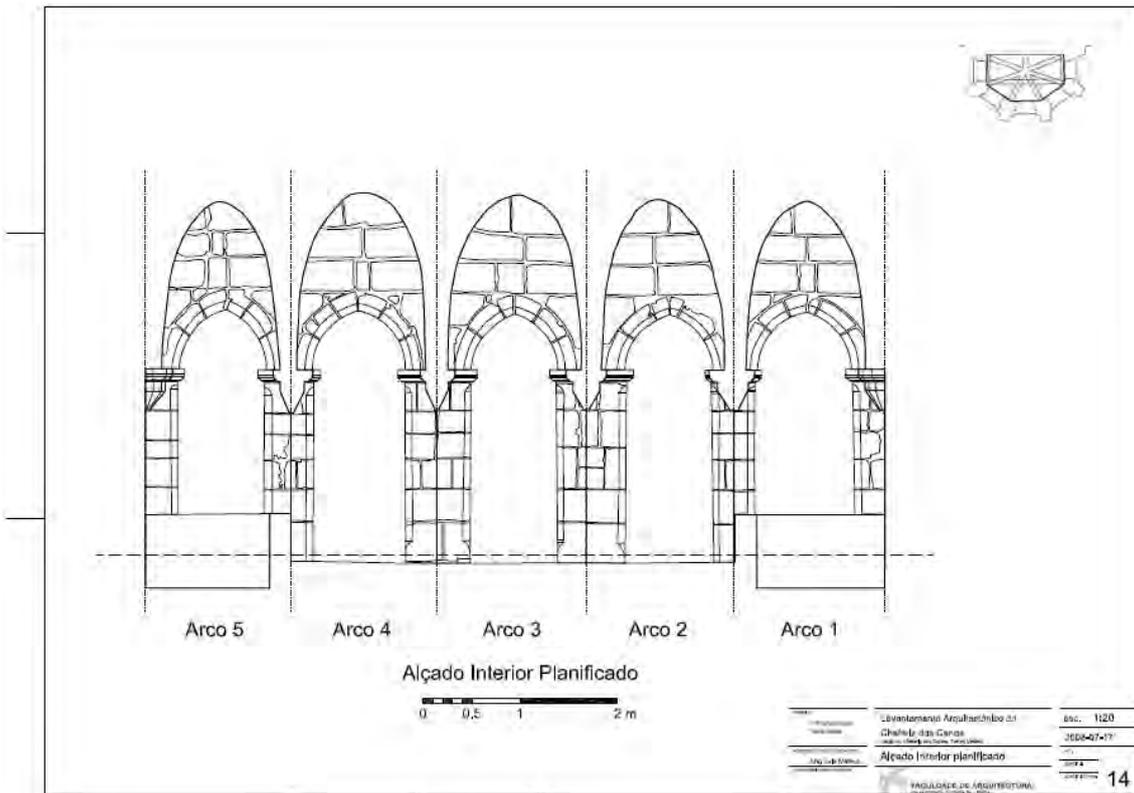


Figura 5-21: Exemplo de layout final correspondente à superfície interior do chafariz.

- No CD anexo à tese podem ser consultados os elementos que constituíram a entrega final em formato *.pdf (004_CC.pdf) e formato *.dwf. Neste último formato é possível visualizar a estrutura de layers dos desenhos.

Desvio em relação às previsões:

- Registou-se um atraso significativo na entrega dos materiais finais. Com efeito, a complexidade do objecto, o seu nível de degradação, e a morosidade do processo de restituição fotogramétrica foram subavaliados na fase de planeamento.
- Também o facto da etapa de edição gráfica ter sido bastante participada, o que encaramos como factor altamente positivo para a qualidade dos materiais produzidos, implicou algumas readaptações do desenho o que teve consequências no tempo consumido.

A.5.3. ANÁLISE CRÍTICA

Neste ponto faremos uma análise crítica das várias etapas do processo acima descrito, tendo em conta a apropriação dos elementos produzidos nos processos a que foram destinados, e que neste caso correspondeu à caracterização construtiva e do estado de conservação do chafariz. De seguida discutiremos um conjunto de

ações e análises que desenvolvemos posteriormente ao fecho do processo com a Nova Conservação e com a Câmara Municipal de Torres Vedras. Em particular, discutiremos a possibilidade de reconstrução automática de modelos tridimensionais a partir de imagens fotográficas e procuraremos aferir se a qualidade semântica e métrica dessas reconstruções é compatível com a produção do tipo de documentação que efectivamente produzimos.

- Sobre o planeamento:

Nesta experiência, não se efectuou um planeamento da recolha de dados do tipo em que procura prever, em fase anterior à execução, o número de imagens que se vai recolher, nem o posicionamento da câmara. Face à flexibilidade do processo fotográfico, o planeamento consistiu apenas na tomada de consciência de um conjunto de princípios que deveriam nortear a recolha dos dados: i) capturar imagens com redundância, ii) fotografar cada elemento pelo menos três vezes. A adopção deste procedimento prendeu-se também com a nossa intenção de fundo de tentar compreender quais as condições mínimas necessárias cumprir numa recolha fotográfica para que as imagens capturadas possam servir para restituição fotogramétrica. O resultado obtido mostrou-nos que as imagens capturadas se mostraram adequadas àquele fim.

No que respeita ao levantamento topográfico de controlo, concluímos que foi exagerado e desequilibrado o número de pontos de recolhemos. Pensamos que teria sido mais eficiente ter procedido à afixação de um número reduzido de alvos bem distribuídos pelo objecto, podendo gerar-se informação de controlo adicional, caso necessária, por triangulação fotogramétrica.

- Sobre a execução:

O carácter erodido do objecto tornou difícil o processo de restituição fotogramétrica. A ausência de arestas e vértices definidos trouxe alguns problemas na caracterização geométrica e no desenho. Isso acabou por implicar um tempo bastante elevado de edição do levantamento para a produção dos desenhos finais uma vez que se solicitou uma certa esquematização do mesmo na restituição gráfica. Esse aspecto acabou por significar também tempo acrescido.

O acompanhamento do processo de edição gráfica pela Nova Conservação foi muito positivo e permitiu antever o modo como a informação viria a ser utilizada.

- Sobre a utilização posterior dos materiais produzidos:

No essencial, os materiais produzidos foram utilizados como suporte para dois tipos de descrição: i) caracterização construtiva, ii) caracterização do estado de conservação. Em ambos os casos, essa caracterização, do ponto de vista gráfico, passa por: i)

visitas ao local com registo de observações sobre desenhos impressos (figura 5-22), ii) registo final em CAD das observações (figura 5-23).

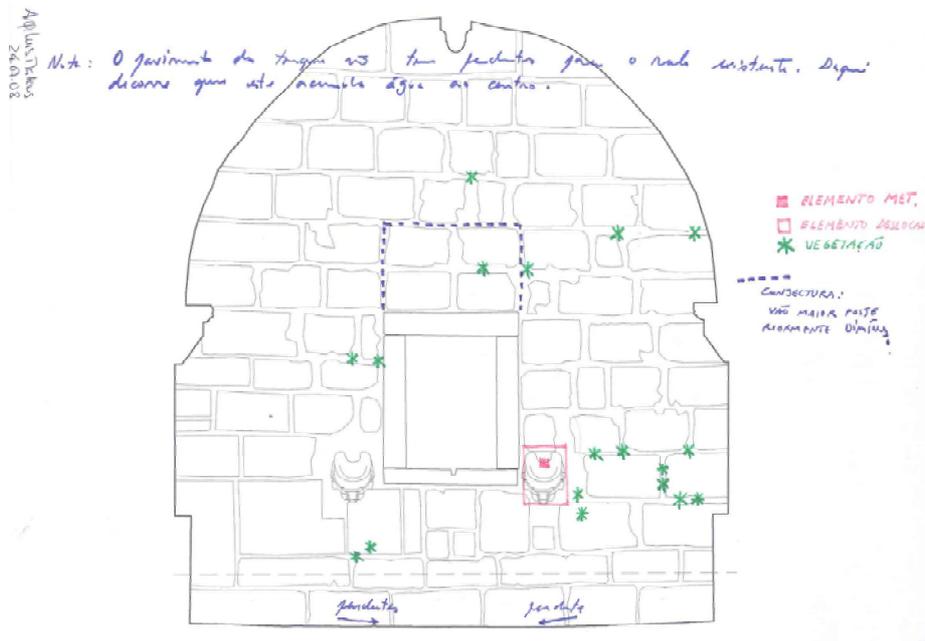


Figura 5-22: Exemplo de desenho de caracterização construtiva e análise do estado de conservação elaborada em campo (efectuado pelo arquitecto Luís Mateus orientado pela conservadora Inês Cardoso).

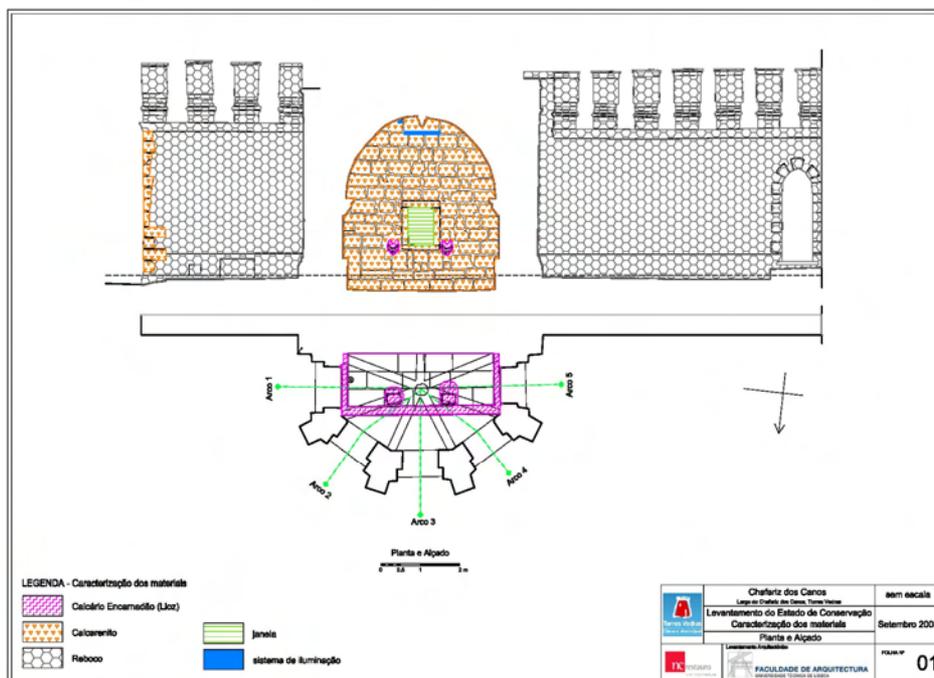


Figura 5-23: Exemplo de desenho de caracterização construtiva elaborado em CAD em gabinete (efectuado pela conservadora Inês Cardoso).

Da nossa experiência e acompanhamento do trabalho de análise realizado no chafariz dos Canos, do ponto de vista da documentação gráfica, podemos concluir que o tipo de representação que interessa em conservação parece distinguir-se um pouco da que se pretende na prática corrente da arquitectura. Com efeito, não nos foram solicitados alçados de conjunto do chafariz. Pretendeu-se um tipo de representação mais parcelar, isolando os elementos construtivos, e colocando em evidência a verdadeira grandeza das superfícies sempre que possível, e não deixando superfícies por representar. O exemplo da figura 5-21 é disso prova. A parte posterior dos arcos do chafariz foi representada em planificação porque desse modo, e num único desenho, se tornava possível aferir áreas de uma vez só, perceber a relação entre as estereotomias e diferenciá-las, e ter uma leitura de continuidade construtiva.

Também podemos concluir que, em conservação estrita, não havendo lugar à alteração material do objecto, o desenho base assume um carácter mais finalizado que, por exemplo, o desenho de levantamento para projecto de arquitectura.

A participação dos conservadores no processo de produção da documentação e a participação dos produtores, neste caso arquitecto, no processo de análise conduzido pelos conservadores registou-se como uma mais valia para ambos. A formação do arquitecto permite-lhe compreender aspectos construtivos que não são tão evidentes para o conservador, e a formação do conservador informa o produtor da informação sobre que aspectos da representação devem ser relevados por terem importância para as análises subsequentes. Esta ligação ajuda a firmar o que são os objectivos e os fins a que se destina a documentação e funciona como factor norteador da sua produção.

A.5.3.1. CONCLUSÕES

A restituição fotogramétrica manual é um processo bastante demorado e requer a participação de um operador para a realização de tarefas repetitivas, como é a marcação de pontos para a orientação de imagens. É ainda um processo que apresenta dificuldades acrescidas quando o objecto a representar não apresenta uma geometria definida.

Para a restituição fotogramétrica é conveniente dispor de informação de controlo distribuída de forma equilibrada sobre o objecto, e não localizada numa zona concentrada.

Embora se possa afirmar que para que um elemento possa ser restituído apenas necessita aparecer representado em mais que uma imagem, na verdade concluímos que melhores resultados são obtidos se as imagens sobre as quais se efectua a restituição forem capturadas de modo aproximadamente ortogonal às superfícies dos objecto a registar.

Concluimos que o envolvimento dos destinatários da documentação gráfica no processo da sua produção é um factor de acréscimo de qualidade na medida em que se facilita a compreensão de objectivos. E também o inverso é verdadeiro. Isto é, o envolvimento dos produtores da documentação base nos processos de análise e diagnóstico permite-lhes ter uma melhor perspectiva sobre as formas de utilização da documentação base. Parece-nos uma recomendação de boas práticas o envolvimento mútuo dos vários agentes.

Verificámos que, entre a comunidade dos conservadores, parece haver uma preferência por suportes gráficos lineares, por oposição a imagens. Parece-nos que isto deriva de um entendimento de que a representação base apenas é um suporte do registo de análises a efectuar em campo, mais que um instrumento de análise por si só. Não queremos fazer a generalização, embora tenhamos ficado com esta noção.

A.5.4. A RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL AUTOMÁTICA

Já numa altura bastante posterior à produção da documentação base, pudemos realizar uma experiência que demonstra ser possível o processamento fotogramétrico automático de imagens. Fizemo-lo através do portal do Photosynth (www.photosynth.net) que implementa metodologia SFM (structure from motion) conforme se ilustra na figura 5-24.

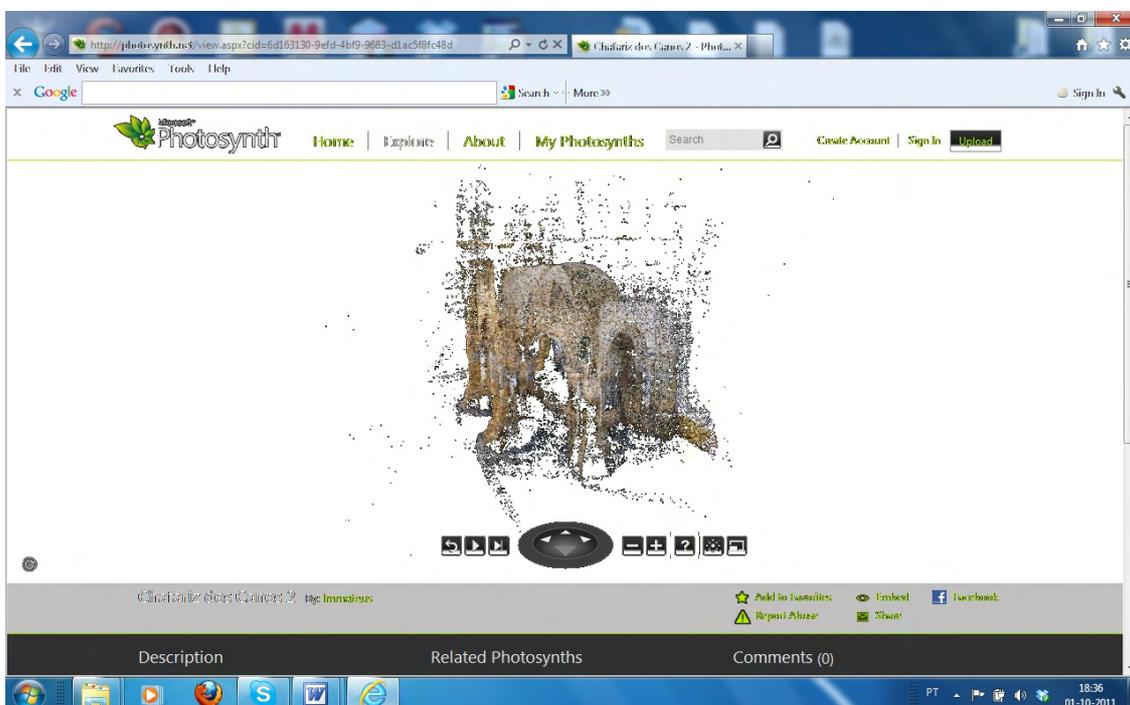


Figura 5-24: Captura de ecrã de modelo de nuvem de pontos reconstruído a partir de 159 fotos no portal do Photosynth.

Este modelo pode ser descarregado e guardado localmente para edição. Porém trata-se de um modelo bastante esparso com apenas 159354 pontos. Um dos aspectos interessantes do modelo exportado a partir deste serviço é que vem com uma boa aproximação à direcção vertical. Uma conclusão a que chegámos é que, embora esparsa, a nuvem de pontos gerada pelo Photosynth é suficientemente rigorosa para poder ser utilizada para produzir uma boa aproximação a secções gerais do objecto, conforme se ilustra na figura 5-25.

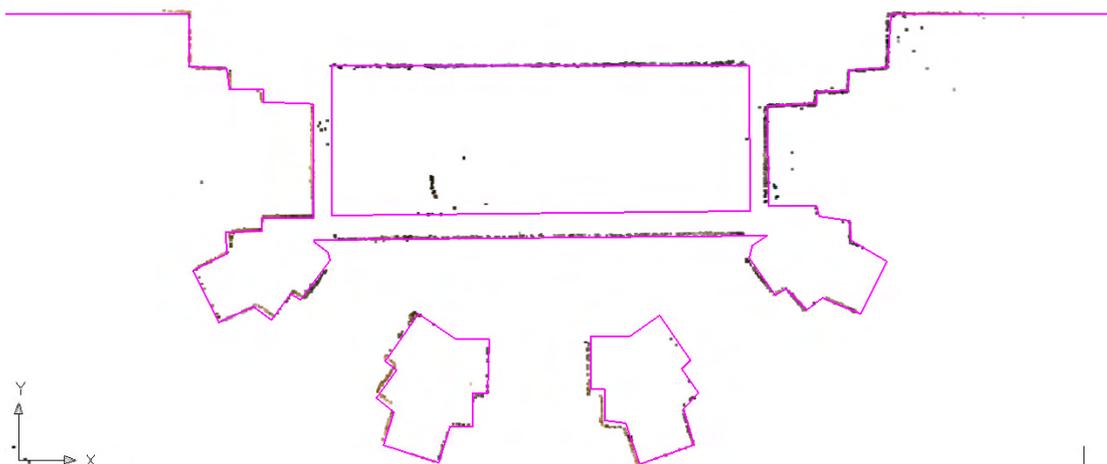


Figura 5-25: Sobreposição entre a planta por nós produzida (a azul) e uma secção equivalente produzida no modelo de pontos extraído do Photosynth.

Com efeito, as discrepâncias encontradas entre nossa secção e a produzida sobre o modelo de pontos não ultrapassaram os 4cm em zonas pontuais, o que, atendendo à erosão de indefinição do objecto, nos parece perfeitamente aceitável. Colocamos inclusivamente a hipótese de a secção produzida sobre o modelo de nuvem de pontos ser mais rigorosa que a nossa dado ter sido produzida com muito mais redundância de dados, enquanto que a nossa foi baseada em alguns pontos seleccionados sobre as imagens.

Mais tarde fizemos nova experiência, desta vez com a combinação de um software SFM (o Visual Structure From Motion – VSFM) e de um software MVS (o Clustering-views for Multi-View Stereo + Patch-based Multi-View Stereo). O primeiro resolve o problema da calibração e orientação das câmaras e produz um modelo esparso, semelhante ao photosynth, e o segundo procede a uma reconstrução densa do modelo. Estes são os dois momentos da reconstrução automática. Para o efeito utilizámos um conjunto de 453 imagens com 3264x2448px. O primeiro passo do processamento corresponde à extracção de pontos característicos das imagens. Essa operação fez-se através do algoritmo SiftGPU e demorou cerca de 91 segundos

(aproximadamente um minuto e meio). De seguida é feita uma correlação entre esses pontos característicos. Essa é uma etapa que envolve $(453 \times 452) / 2 = 102378$ operações e foi concluída em 6972 (aproximadamente 116 minutos). Nas figuras 5-26 pode observar-se a matriz de correspondência entre imagens e na figura 5-27 a mesma correspondência visualizada sob a forma de estrutura em árvore.

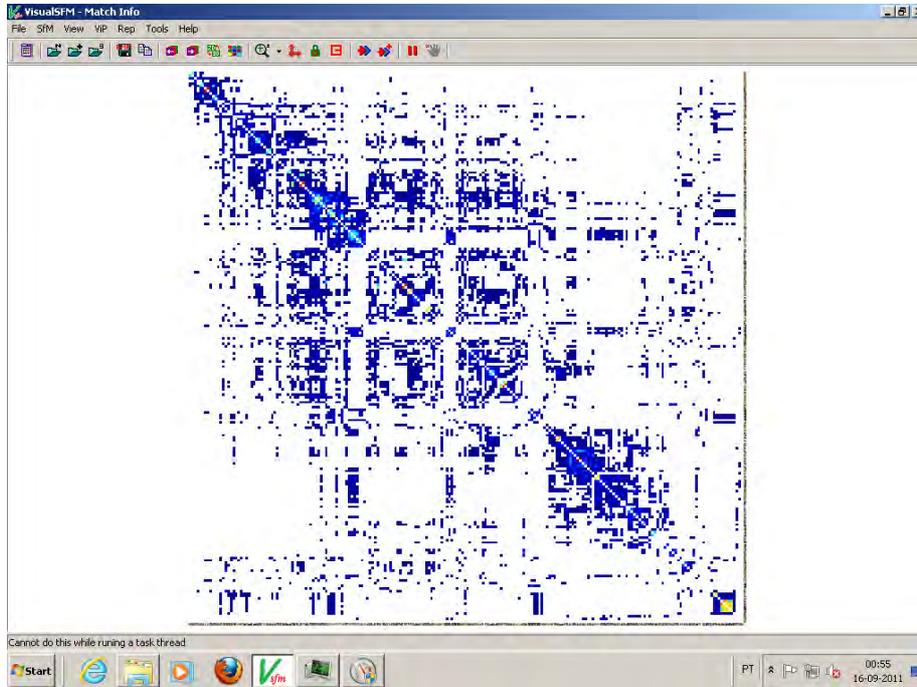


Figura 5-26: Matriz de correspondências entre imagens (VSFM).

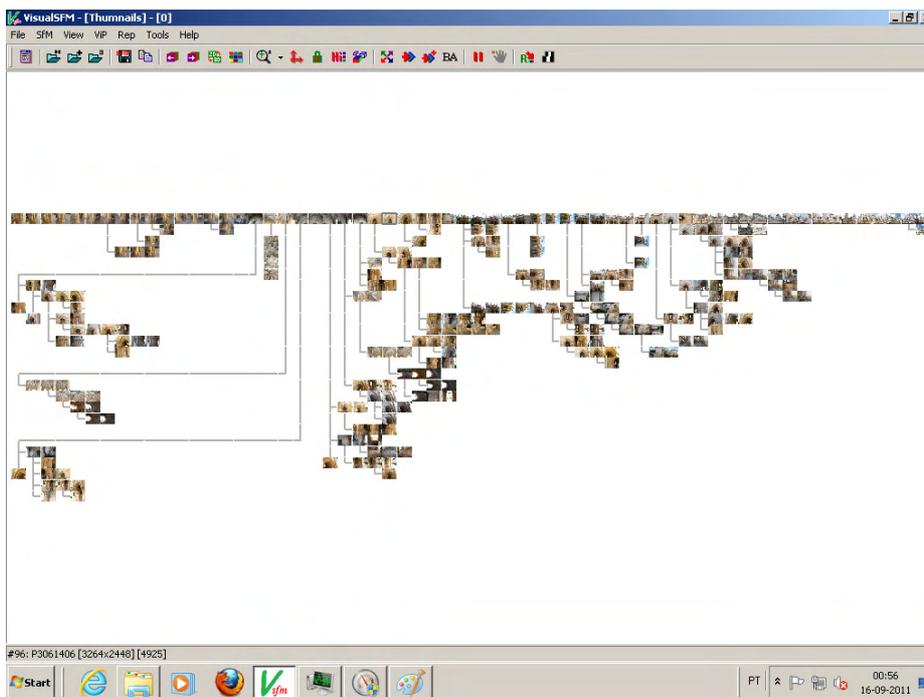


Figura 5-27: Correspondências entre imagens (VSFM) visualizada sob a forma de árvore.

De seguida procedeu-se à reconstrução esparsa, o que demorou cerca de 353 segundos (aproximadamente 6 minutos). O resultado pode ser visualizado na imagem da figura 5-28.

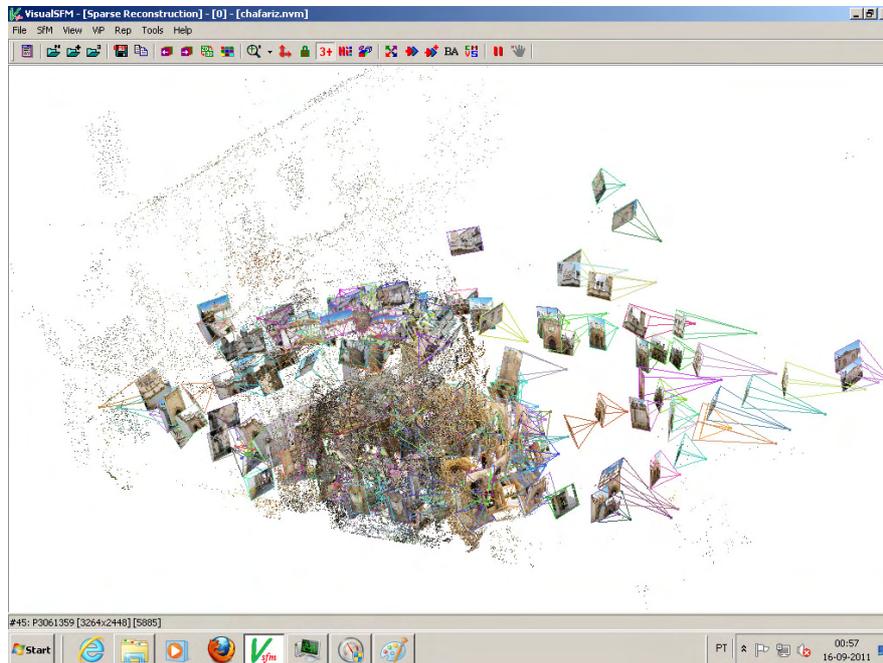


Figura 5-28: Reconstrução esparsa com a visualização simultânea da posição e orientação das câmaras (VSFM).

Todo o processo de reconstrução até esta fase demorou cerca de 124 minutos (pouco mais que 2 horas).

Após ter-se concluído a fase de reconstrução esparsa passou-se à reconstrução densa. Esta foi feita a partir do ambiente do VSFM aplicando os algoritmos CMVS e PMVS, com um conjunto de parâmetros definidos por omissão ($\text{threshold}=0.7$, $\text{level}=0$, $\text{csize}=2$). A reconstrução densa demorou aproximadamente 5 horas. Na figura 5-29 pode visualizar-se o resultado.



Figura 5-29: Reconstrução densa (CMVS+PMVS).

Foram produzidas 15 nuvens de pontos, num total aproximado de 17.4 milhões de pontos e 1.07Gb de dados. O total do processo, após a importação das imagens até à reconstrução final, ocorreu quase sem intervenção de operador e demorou pouco mais de 7 horas a ficar concluído. Foi utilizada uma workstation com 48Gb de RAM e placa gráfica de 1Gb, com sistema operativo de 64bit.

Uma análise visual do modelo permitiu verificar que nalguns troços a reconstrução apresenta lacunas, sobretudo nas zonas de textura mais fraca. A utilização de fotos tiradas a várias alturas do dia representa também um problema dado que a conjugação de diferentes condições de iluminação provoca resultados incongruentes na reconstrução da cor da nuvem de pontos.

Do ponto de vista métrico, o modelo encontra-se fora de escala e não se encontra orientado. Isto resulta do facto de não ter sido introduzida nenhuma espécie de informação de controlo no processo. Porém, isso poderá ser facilmente ultrapassado em fase posterior através da introdução de informação métrica de controlo.

Utilizando o software MeshLab extraímos algumas imagens que comparámos com desenhos equivalentes que tínhamos produzido. Na figura 5-30 comparamos a planta que tínhamos produzido anteriormente com a planta extraída do Photosynth (à esquerda) e com a planta do CMVS+PMVS (à direita).

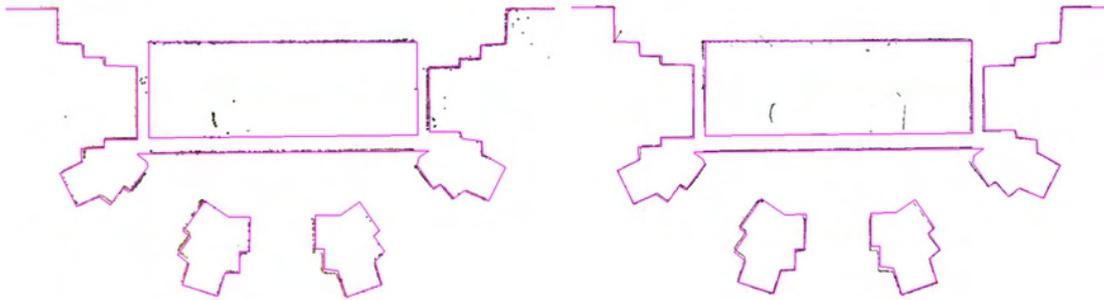


Figura 5-30: À esquerda: comparação entre a nossa planta e a secção equivalente produzida no modelo extraído do Photosynth. À direita: comparação entre a nossa planta e a secção equivalente produzida no modelo denso.

Ambas as comparações apontam no mesmo sentido e apresentam discrepâncias no mesmo sentido em relação à nossa planta, o que parece comprovar a hipótese que atrás colocámos acerca de possíveis erros na nossa planta. Note-se que ambos os modelos foram produzidos com conjuntos diferentes de imagens e de forma independente.

Procedemos também a comparações idênticas em alçados, conforme se ilustra nas figuras 5-31 e 5-32.



Figura 5-31: Comparação entre restituição gráfica 2D e orto-imagem.



Figura 5-32: Comparação entre restituição gráfica 2D e orto-imagem.

Em ambos os casos verificámos que existe boa concordância métrica entre as orto-imagens e a restituição gráfica que efectuámos. Porém verificamos que o detalhe das imagens, embora bom, é inferior ao nível de diferenciação que levámos a cabo na restituição gráfica. Pensamos que este aspecto poderia ser ultrapassado de dois modos: i) utilizando mais fotos de detalhe, ii) alterando os parâmetros da reconstrução tridimensional de modo a serem geradas nuvens de pontos mais densas. Julgamos também que a utilização de fotos com condições de iluminação idêntica melhoraria os resultados.

Isto requer novas experiências para tentarmos comprovar as nossas hipóteses.

A.5.4.1. CONCLUSÕES

Desta experiência posterior verificamos que a reconstrução automática se apresenta com um enorme potencial como suporte para a produção de documentação gráfica de base para conservação. Uma comparação entre tempos de execução e resultados

obtidos leva-nos facilmente à conclusão que a adopção por este tipo de procedimento é um garante de economia de tempo e de coerência global da documentação produzida. Note-se que em aproximadamente 7 horas foram processadas 453 imagens e reconstruído um modelo tridimensional de elevada densidade. O nosso processamento inicial consumiu apenas 40 minutos para orientar imagens, isto é, excluindo qualquer restituição com valor semântico.

Temos a convicção de que dispor de um modelo deste tipo à partida tinha-nos abreviado significativamente o tempo consumido. O facto de a qualidade das ortofotografias geradas não ter a qualidade equivalente ao nível de diferenciação que efectuámos, poderia ter sido colmatada através da observação directa de imagens para densificar a representação.

O elevado grau de conformidade entre a documentação que produzimos inicialmente e a que extraímos do modelo tridimensional produzido de forma automática leva-nos a crer na validade deste tipo de procedimento para a produção de documentação adequada à conservação. No entanto, maior comprovação acerca das qualidades métricas deste tipo de modelos deve ser levada a cabo até que se possam aceitar como válidos.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 6-1: Delimitação da área a documentar.....	193
Figura 6-2: Articulação entre as várias imagens base inseridas no ficheiro de CAD.....	201
Figura 6-3: Aspecto da secção vectorial em bruto produzida sobre o modelo de nuvens de pontos.....	202
Figura 6-4: Pormenor da secção vectorial em bruto. Note-se o seu aspecto irregular.	203
Figura 6-5: Imagem de reflectância de varrimento laser 3D correspondente à vista a partir de um corte.....	204
Figura 6-6: Configurações geométricas da imagem de reflectância resultantes do padrão de varrimento laser e do efeito de sobreposição de várias nuvens de pontos.....	205
Figura 6-7: Exemplo de imagem de varrimento laser 3D correspondente a um espaço bastante obstruído.....	206
Figura 6-8: Efeito das oclusões nas imagens de reflectância e a procura de minimização através da utilização de nuvens de pontos com pontos de vista complementares.....	207
Figura 6-9: Exemplo da falta de resolução das imagens de reflectância no que diz respeito aos detalhes finos, neste caso correspondentes aos gradeamentos.	207
Figura 6-10: Utilização da fotografia como fonte complementar de informação no processo de restituição gráfica. Exemplo de utilização da rotina rectificador.lsp.	208
Figura 6-11: Restituição gráfica de um corte.	209
Figura 6-12: Restituição gráfica de um alçado.....	210
Figura 6-13: Restituição gráfica de uma planta.	210
Figura 6-14: Layout da restituição gráfica no ficheiro de CAD.....	211

ÍNDICE

A.6 RESTITUIÇÃO GRÁFICA DO LEVANTAMENTO DE EDIFÍCIO DO SÉCULO XIX NA RUA DO SOL, LISBOA 191

A.6.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	192
A.6.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	192
A.6.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	193
A.6.1.2.1.	OBJECTIVOS.....	193
A.6.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER.....	194
A.6.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	194
A.6.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	195
A.6.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	196
A.6.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	197
A.6.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	199
A.6.2.1.	RECOLHA DE DADOS.....	199
A.6.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	199
A.6.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	211
A.6.3.	ANÁLISE CRÍTICA	212
A.6.4.	CONCLUSÕES.....	214

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

Esta experiência refere-se à restituição gráfica de plantas, cortes e alçados de um edifício do século XIX, produzida a partir de imagens de reflectância e secções obtidas de um modelo tridimensional produzido através de levantamento por varrimento laser 3D (VL3DT). Tratou-se de uma colaboração com a empresa 3D Total no âmbito da nossa tese de doutoramento.

Neste processo a nossa participação reduziu-se apenas à restituição gráfica, não tendo sido acompanhado o processo de levantamento de campo nem de processamento das nuvens de pontos. O nosso envolvimento no processo ocorreu após essa primeira etapa estar completada. Assim, as referências ao VL3DT na nossa descrição servirão apenas como forma de enquadramento e não têm carácter exaustivo de descrição dos processos utilizados. A fonte dessas referências foi a empresa 3D Total. Deste modo, embora os dados iniciais deste processo sejam nuvens de pontos de VL3DT, os nossos dados correspondem às orto-imagens de reflectância e secções vectoriais resultantes de uma primeira fase de processamento, pois estes foram o ponto de partida da nossa intervenção.

Quanto aos objectivos de investigação, pretendemos avaliar as qualidades das imagens de reflectância geradas pela projecção ortogonal de nuvens de pontos sobre planos de referência, e das secções base produzidas sobre os modelos de pontos VL3DT, como dados base para o processo de restituição gráfica. Foi ainda intenção o registo do tempo de execução desta acção no sentido de procurar estabelecer uma relação entre os tempos expectáveis para a restituição gráfica e os tempos passados em: a) campo para recolha das nuvens de pontos, b) gabinete para a orientação das nuvens de pontos e para a extracção da informação base (imagens de reflectância e secções), e c) em gabinete para a restituição gráfica. Por outro lado o registo do tempo permitirá ir desenvolvendo alguma capacidade preditiva em relação a futuras situações em que seja necessário proceder a restituições gráficas sobre imagens de reflectância de VL3DT. Os dados relativos aos tempos de execução das acções relacionadas com o processamento directo das nuvens de pontos foram fornecidos pela empresa 3D Total.

A.6.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.6.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA
--

Identificação e localização do sítio:

- Rua do Sol a Santa Catarina, 28 / Travessa do Alcaide, Lisboa.

Entidade contratante:

- Grupo Inland. (Informação 3D Total).

Entidade contratada:

- Empresa 3D Total, com a colaboração do Arquitecto Luís Mateus na restituição gráfica.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Necessidade de documentação base para a elaboração de projecto de Reabilitação do edifício a elaborar pelo atelier do Arquitecto João Luís Carrilho da Graça. (informação 3D Total).

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Pretende-se a produção de plantas, cortes e alçados do edifício na escala 1/100. (informação 3D Total).

Delimitação da área a documentar:

- A área a documentar corresponde aos três pisos do edifício a que deverão corresponder três plantas. A estas plantas acresce a planta da cobertura. A área bruta das plantas é aproximadamente 200m². Para além das plantas, pretende-se também a representação de três alçados conforme a figura 6-1, e ainda dois cortes transversais, paralelos ao alçado 2, e um corte longitudinal paralelo aos alçados 1 e 3 a representar os acessos verticais. (informação 3D Total)



Figura 6-1: Delimitação da área a documentar.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Não verificado.

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Não relevante.

Data:

- Início do processo: Setembro de 2007.

A.6.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

A.6.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A documentação destina-se a servir de base ao projecto de reabilitação do imóvel a realizar pelo arquitecto João Luís Carrilho da Graça.

A.6.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Os conteúdos de informação dos desenhos deverão corresponder ao nível de detalhe da escala 1/100. (Informação 3D Total)
- São admitidas algumas lacunas na documentação se for impossível aceder a partes do edifício por motivos de existência de obstáculos inamovíveis como contentores ou outros. (Informação 3D Total)

Desempenho métrico:

- Não definido. (informação 3D Total)

Apresentação:

- Ficheiro com as plantas, cortes e alçados em formato *.dwg, não sendo necessária a entrega de cópias impressas em papel. (informação 3D Total)

Causas para a rejeição dos materiais:

- A não-aceitação da qualidade da documentação por parte do atelier de arquitectura responsável pelo projecto de reabilitação. (informação 3D Total)

A.6.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- Prazo definido: 1 mês. (Informação 3D Total)
- Orçamento: informação não disponível.

Autorizações de acesso:

- Autorização de acesso ao edifício dado pela entidade contratante. (Informação 3D Total)
- Autorizações de acesso aos edifícios vizinhos a serem solicitadas aos proprietários. (Informação 3D Total)

Condições de segurança:

- Cuidados a ter com a integridade física e com a integridade dos equipamentos ao circular na cobertura do edifício e edifícios vizinhos. (Informação 3D Total)

- Cuidados a ter com a integridade física e com a integridade dos equipamentos ao circular no interior do edifício devido aos materiais e lixo existentes. (Informação 3D Total)
- Cuidados a ter com a integridade física de terceiros que se situem nos espaços a documentar, derivados da utilização de sistemas laser. (Informação 3D Total)

Condições de acessibilidade:

- Interior e exterior do edifício bastante obstruído com materiais de construção e lixo. (Informação 3D Total)
- O acesso à cobertura do edifício faz-se através de trapeiras e a circulação na cobertura faz-se pelos algerozes e sobre o telhado. (Informação 3D Total)
- O acesso às coberturas e janelas dos edifícios vizinhos faz-se através de cada um dos edifícios vizinhos. (Informação 3D Total)
- Costumam encontrar-se veículos estacionados no exterior do edifício junto à fachada voltada para a Rua do Sol a Santa Catarina que se podem constituir como obstáculos. (Informação 3D Total)

Retenção dos materiais:

- Não definido. (Informação 3D Total)

Impactos admissíveis no objecto:

- Não definido. (Informação 3D Total)

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Dec. Lei nº 273/2003 de 29 de Outubro (Higiene e Segurança no Trabalho).

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Direitos de autoria – os autores dos levantamentos.
- Direitos de reprodução – a entidade contratante.

A.6.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA
--

Entidades produtoras da documentação gráfica:

- Empresa 3D Total, com a colaboração do Arquitecto Luís Mateus na restituição gráfica.

Entidades fiscalizadoras:

- Não definida. (informação 3D Total)

A.6.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- A entidade contratante fez a opção pelo método do VL3DT de forma experimental para avaliar se a qualidade dos resultados se considera adequada aos fins que se pretende, isto é, como base para a elaboração do projecto de reabilitação do edifício. (Informação 3D Total)
- O levantamento será feito considerando um referencial local arbitrário dado que não foi especificada a necessidade de adoptar um referencial específico. (Informação 3D Total)
- Para controlo da direcção vertical do modelo tridimensional será digitalizada, por varrimento laser, uma linha de fio-de-prumo materializada para o efeito. (Informação 3D Total)
- Serão ainda feitas algumas fotografias auxiliares com fins documentais não métricos. (Informação 3D Total)

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Aquisição de nuvens de pontos: Scanner de comparação de fase Z+F Imager 5006 com disco rígido de 80Gb incorporado, incluindo baterias, carregador de baterias e tripé. (Informação 3D Total).

Planeamento da recolha dos dados:

- Deverá ter-se o cuidado de levar baterias carregadas para o equipamento bem como o carregador de baterias e verificar se existe a possibilidade de carregamento no local. (Informação 3D Total)
- A selecção das localizações de estação do equipamento de VL3DT será feita em campo na altura de aquisição. Porém prevê-se a necessidade de aceder à cobertura do edifício e aos edifícios fronteiros. (Informação 3D Total)
- Apenas se procederá à recolha de dados em campo após ter sido assegurado o acesso às construções vizinhas se possível. (Informação 3D Total)
- Prevê-se o retorno a campo para recolher novos dados caso se verifique a necessidade de preenchimento de lacunas decorrente da primeira sessão de recolha de dados.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Recursos humanos: 2 pessoas. (Informação 3D Total)
- Tempo de execução: 1 ou 2 dias. (Informação 3D Total)
- Estimativa de custos: Informação não disponível.

A.6.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- A orientação das nuvens de pontos será feita exclusivamente através da utilização do algoritmo ICP (iterative closest point) de correspondência de pontos entre superfícies tomando o erro médio quadrático (RMSE) resultante do processo de orientação relativa de cada nuvem de pontos como indicador da qualidade do processamento. (Informação 3D Total)
- Tendo por base o modelo tridimensional de nuvens de pontos resultante do processo de orientação, serão orientados planos de modo a seccionar o modelo e a servir igualmente como planos de projecção das nuvens de pontos. Estes planos deverão ser posicionados em função do tipo de peça a produzir (planta, corte, alçado). (Informação 3D Total)
- O processo de restituição gráfica, a ser levado a cabo, consistirá na delineação manual das orto-imagens de reflectância e das secções base em formato vectorial digital, tendo as imagens fotográficas como fonte visual de informação complementar.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Para orientação das nuvens pontos e extracção de orto-imagens de reflectância e secções base: software JRC 3D Reconstructor 2.5. (Informação 3D Total)
- Para restituição gráfica: software AutoCAD 2004.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- Processamento das nuvens de pontos e extracção de informação base:
- As nuvens de pontos serão descarregadas através de ligação USB para o disco do computador em que irão ser processadas. De seguida serão importadas através do software JRC 3D Reconstructor, pré-processadas automaticamente para remoção de dados espúrios, e de seguida orientadas sequencialmente de acordo com as

sobreposições entre nuvens adjacentes uma vez que não se utilizaram quaisquer alvos. (Informação 3D Total)

- Após orientação das nuvens de pontos serão posicionados planos de referência correspondentes às peças desenhadas a produzir. Esses planos servirão como planos de projecção das nuvens pontos para a geração de orto-imagens de reflectância e como planos de intersecção para a geração das secções vectoriais base correspondentes às plantas, cortes e alçados. (Informação 3D Total)

- As orto-imagens e secções base são de seguidas exportadas no formato *.dxf nas suas posições espaciais relativas. Destes ficheiros de extensão *.dxf resultará uma série de ficheiros de extensão *.dwg homólogos àqueles que constituirão um primeiro conjunto de materiais finais a submeter ao atelier responsável pelo projecto de reabilitação. (Informação 3D Total)

- Caso o atelier entenda que esses materiais não são adequados à prossecução dos trabalhos de projecto, então deverão produzir-se desenhos com as características pretendidas a partir daquelas bases. (Informação 3D Total)

- Restituição gráfica:

- Sendo necessário proceder a uma restituição gráfica, as orto-imagens e secções vectoriais base serão inseridas num único ficheiro de AutoCAD e estruturadas de acordo com uma matriz geométrica bidimensional que permitirá relacionar os vários desenhos a produzir de modo a garantir coerência entre peças desenhadas.

- Posteriormente as imagens e as secções serão delineadas manualmente de modo a produzir os desenhos finais. As entidades do desenho serão agrupadas por layers de acordo com o critério de diferenciação por peça desenhada (planta, corte, alçado) e segundo o critério de diferenciação hierárquica de visualização (linhas de corte, linhas de vista próxima ou principal, linhas de vista afastada ou secundária, linhas de indicação de corte).

- Prevê-se a produção de 4 plantas, 3 alçados e 3 cortes.

- As peças desenhadas serão organizadas considerando a escala 1/100 em layout apropriado, não previsto nesta altura, que implicará: i) a escolha de formatos de impressão, ii) a definição de estilos de impressão, a guardar em ficheiro de extensão *.ctb, iii) a definição de uma plotter virtual do tipo DWF, a guardar em ficheiro do tipo *.pc3.

- Os desenhos finais resultantes da restituição gráfica serão entregues em formato *.dwg com a inclusão dos rótulos da empresa 3D Total e incluindo os ficheiros *.ctb e *.pc3.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Recursos humanos para processamento das nuvens de pontos, extracção das ortomagens e secções base e exportação de ficheiros em formato *.dxf: 1 pessoa. (Informação 3D Total)
- Tempo de execução para o processamento das nuvens de pontos e extracção de informação base : não previsto. (Informação 3D Total)
- Estimativa de custos: Informação não disponível.
- Recursos humanos para restituição gráfica: 1 pessoa.
- Tempo de execução para a restituição gráfica: Não previsto.
- Estimativa de custos para a restituição gráfica: Informação não disponível.

A.6.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)

A.6.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- Os dados de VL3DT foram recolhidos nos dias 14 e 27 de Setembro de 2007, tendo o segundo dia sido utilizado para proceder ao preenchimento de lacunas do modelo identificados após o processamento inicial. (Informação 3D Total)
- Os equipamentos utilizados foram os previstos. (Informação 3D Total)

Descrição dos dados recolhidos:

- No total foram recolhidas 83 nuvens de pontos e um conjunto de fotografias sem fins métricos. (Informação 3D Total)

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar. (Informação 3D Total)

A.6.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- Processamento das nuvens de pontos e extracção de informação base:

- As operações de processamento envolveram a importação das nuvens, pré-processamento, orientação relativa, orientação de planos de projecção/secção, extracção de secções em formato vectorial, extracção de orto-imagens de reflectância, exportação das secções em formato *.dxf e das orto-imagens em formato *.png incluindo a relação entre umas e outras. Todas estas operações foram efectuadas utilizando o software JRC 3D Reconstructor e tiveram a duração de 3 dias tendo ocupado 1 operador. (Informação 3D Total)
- Destas operações foram exportadas: i) 11 orto-imagens correspondentes a 3 alçados, 3 cortes e 1 planta, e ii) 8 secções correspondentes a 1 alçado, 4 plantas e 3 cortes. Abaixo, na figura 6-3 ilustra-se o exemplo de uma secção e na figura 6-5 representa-se a orto-imagem correspondente, relativas a um corte transversal.
- Os ficheiros resultantes destas operações de exportação foram organizados em ficheiros de AutoCAD, no formato *.dwg com as imagens inseridas, e entregues à entidade contratante, no dia 18 de Outubro de 2007, para os submeter ao atelier de arquitectura no sentido deste se pronunciar acerca da usabilidade destes materiais. O atelier entendeu que estes materiais base não satisfaziam as exigências que se pretendem relativamente a desenhos de levantamento de arquitectura, de onde foi necessário proceder à restituição gráfica. (Informação 3D Total)
- Layout das secções e orto-imagens no desenho:
 - As várias orto-imagens e secções foram inseridas num ficheiro de CAD, como ficheiros de referência, e dispostas de acordo com uma matriz geométrica bidimensional de relação entre elas como representado na figura 6-2. Como cada peça desenhada, isto é, cada planta, corte ou alçado, deve ser posta em relação com outras, esta abordagem constitui uma solução possível a este problema. Deste modo, no processo de desenho garante-se coerência entre as várias peças desenhadas e pode extrair-se informação, isto é, medidas, de umas para as outras. Assim, naturalmente se percebe que a restituição gráfica não é um processo linear, isto é, não se começa e acaba uma peça desenhada antes de passar a outra. A restituição das várias peças vai evoluindo a par e passo, e do diálogo entre as várias peças desenhadas vai-se desenvolvendo uma compreensão da geometria do objecto. Mas neste processo é preciso observar as qualidades das secções em bruto que se obtêm de um modelo de nuvens de pontos bem como as qualidades das orto-imagens de reflectância. Deve também perceber-se que o varrimento laser não é um processo selectivo e que essa característica pode apresentar vantagens como inconvenientes.

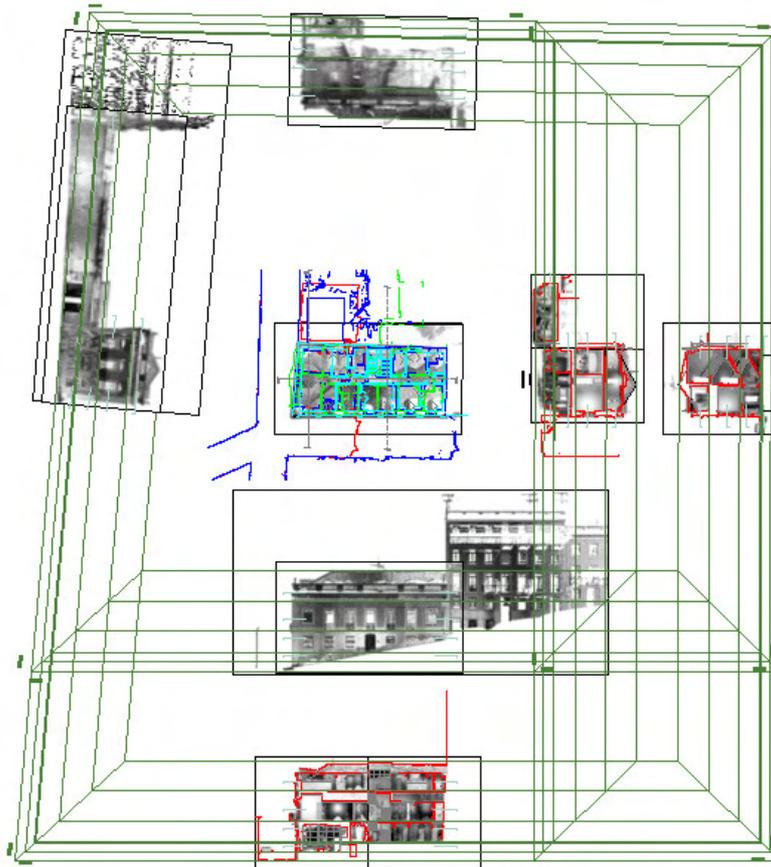


Figura 6-2: Articulação entre as várias imagens base inseridas no ficheiro de CAD.

- As características das secções base:
- Com efeito verificámos as secções em bruto apresentam ruídos de variada natureza:
 - i) zonas com informação em falta,
 - ii) excessiva fragmentação,
 - iii) informação redundante,
 - iv) informação falsa,
 - v) informação não relevante,
 - vi) falta de resolução em detalhes finos.Deve ter-se consciência destes aspectos de modo a poder garantir-se uma restituição gráfica adequada.

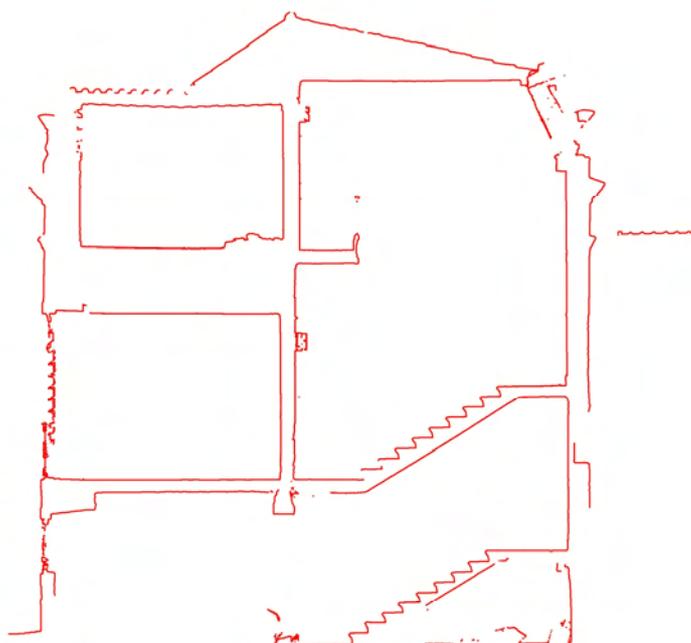


Figura 6-3: Aspecto da secção vectorial em bruto produzida sobre o modelo de nuvens de pontos.

- As zonas com informação em falta correspondem a zonas do objecto sujeitas a um qualquer tipo de obstrução relativamente ao campo de visão do dispositivo de varrimento laser 3D. Por exemplo no compartimento inferior esquerdo na, figura 6-3, a inexistência de linha de pavimento resultou de uma limpeza do modelo de nuvens de pontos correspondente à remoção de dados que apenas representavam entulho no objecto. Se não tivesse havido essa limpeza haveria uma linha de secção que não corresponderia à secção que se pretendia desenhar.
- A excessiva fragmentação da secção em bruto resulta da elevada densidade de pontos do modelo tridimensional a que corresponde uma malha triangulada igualmente densa que é implicitamente gerada para que se possa produzir a secção. Assim a linha de secção é composta por uma miríade de pequenos segmentos de recta correspondentes às secções produzidas pelo plano de intersecção nos vários triângulos da malha que intersecta.
- A informação falsa corresponde à geração de triângulos espúrios no processo de triangulação anteriormente referido que resultam da união de pontos situados em planos distintos e em relação aos quais deveria haver descontinuidade.
- A informação redundante corresponde á existência de mais que uma linha de secção onde deveria haver apenas uma. Isto resulta do facto de o modelo de nuvens de pontos ser composto por uma assemblagem de nuvens de pontos que se

sobrepõem. Assim, para cada nuvem é calculada uma linha de intersecção, e o que chamámos de secção é o conjunto das intersecções produzidas por um plano nas várias nuvens. A imagem da figura 6-4, corresponde a um pormenor da secção representada na figura 6-3, e ilustra os efeitos da informação falsa, da informação redundante e da falta de resolução em detalhes finos.

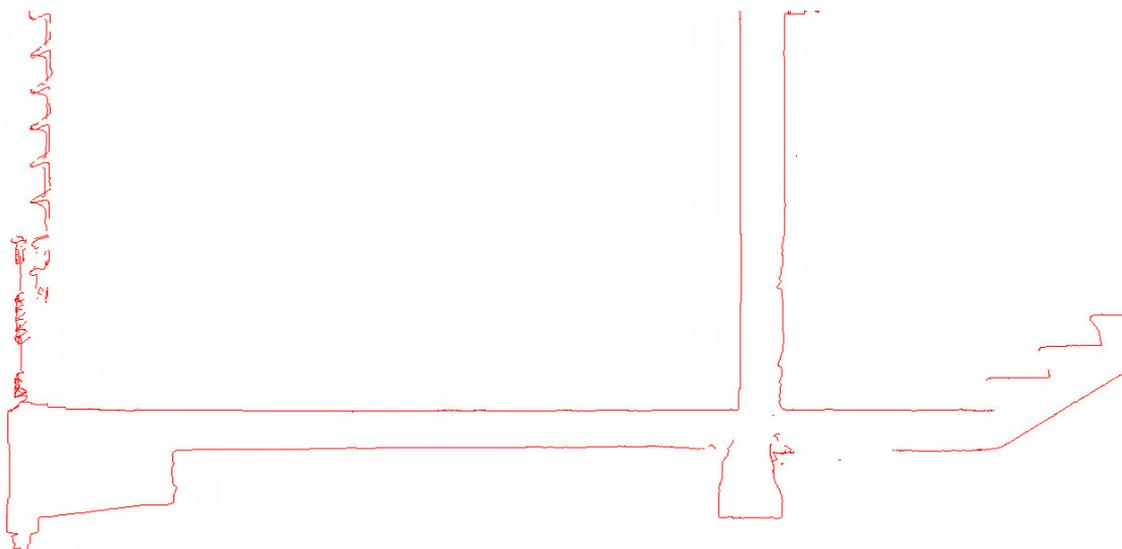


Figura 6-4: Pormenor da secção vectorial em bruto. Note-se o seu aspecto irregular.

- A falta de resolução em detalhes finos pode parecer à primeira vista um contra-senso na medida em que somos levados a supor que o VL3DT é um processo que implica grande resolução e detalhe. Embora tal facto seja verdadeiro, é preciso observar que há sempre detalhes que não são capturados pelo dispositivo de varrimento laser. Estes correspondem àquelas características dos objectos que só podem ser correctamente diferenciadas com uma densidade de pontos maior que a que foi definida para o varrimento. Naturalmente a escolha da densidade de varrimento é um compromisso entre vários aspectos, entre os quais a escala e o nível de detalhe da documentação a produzir. Neste caso concreto verificou-se que detalhes como gradeamentos, guarnições de portas e janelas não apareciam convenientemente descritos nas secções. Adiante descreveremos o modo como ultrapassámos esta limitação.
- Há ainda aquela informação não relevante que corresponde a objectos distribuídos pelo edifício ou a portas semi-abertas, por exemplo, e que deve ser excluída da restituição gráfica. Porém, uma porta semi-aberta dá-nos uma indicação do sentido de abertura da porta, o que já é uma informação relevante.
- As características das imagens base:

- À semelhança do referimos para as secções base, também relativamente às orto-imagens de reflectância somos levados a tecer um conjunto de considerações. Das 11 imagens de que dispusemos, sete tinham uma resolução de 1cm por pixel, isto é, um pixel na imagem corresponde a um centímetro no objecto, uma tinha uma resolução de 0.83cm por pixel, uma tinha uma resolução de 1.33cm por pixel, uma tinha uma de 2.5cm por pixel e outra um resolução de 5cm por pixel. Estas duas últimas apenas serviram para enquadramento geral e desenho dos volumes de enquadramento das construções vizinhas.

Verificámos que as imagens de que dispúnhamos apresentavam as seguintes características: i) gradações de claro-escuro não correspondentes a variações cromáticas do objecto, ii) padrões geométricos variáveis, iii) em algumas zonas apresentavam informação não relevante, iv) visibilidade de vários níveis de profundidade, v) omissões, vi) falta de resolução em detalhes finos.



Figura 6-5: Imagem de reflectância de varrimento laser 3D correspondente à vista a partir de um corte.

- As gradações de claro-escuro não correspondentes a variações cromáticas do objecto podem ser entendidas através do fenómeno de variação da reflectância que é sujeito a vários parâmetros como são a distância do dispositivo de varrimento laser ao objecto e a inclinação do feixe laser em relação às superfícies em que incide. Estes dois factores combinados levam a que uma superfície homogénea do objecto apareça

representada na orto-imagem com uma tonalidade não constante e não homogênea como se pode observar na imagem da figura 6-5.

- Aquilo a que chamamos padrões geométricos variáveis corresponde à projecção, na imagem, do padrão de varrimento do scanner quando o espaçamento entre linhas de varrimento consecutivas é superior à resolução da imagem, e pode também corresponder aos padrões de interferência entre os vários varrimentos que deram origem às várias nuvens que, em conjunto, constituem o modelo. Este efeito é ilustrado na imagem da figura 6-6.



Figura 6-6: Configurações geométricas da imagem de reflectância resultantes do padrão de varrimento laser e do efeito de sobreposição de várias nuvens de pontos.

- A informação não relevante corresponde, mais uma vez, à existência de objectos de variadas naturezas, distribuídos pelos vários espaços do objecto e que inevitavelmente ficam registados nas nuvens de pontos. A imagem da figura 6-7 dá bem a ideia deste fenómeno. Trata-se de uma imagem de um compartimento em que se pode observar a existência de lixo amontoado aos cantos, armários e outro tipo de mobiliário aleatoriamente espalhados pelo espaço. Mais uma vez se salienta que devido à natureza não selectiva do método do varrimento laser, tudo quanto se encontra no campo de visão, e a uma distância de alcance, do dispositivo de varrimento é capturado.



Figura 6-7: Exemplo de imagem de varrimento laser 3D correspondente a um espaço bastante obstruído.

- A visibilidade de vários níveis de profundidade não é necessariamente uma característica desvantajosa, bem pelo contrário. Como o modelo de nuvens de pontos é epidérmico em relação ao objecto, e como os pontos embora muito próximos uns dos outros se encontram a uma determinada distância, a combinação destes dois factores permite que, em alguns casos se veja através das paredes e noutros casos de possa observar através das zonas ocas dos modelos como é o caso dos espaços entre tectos e pavimentos superiores e desvãos de telhados. Na imagem da figura 6-5 percebe-se este efeito ao nível da cobertura numa situação em que, para além da pendente em corte, é possível observar uma pendente em vista que, efectivamente não deveria ser visível se considerada a opacidade do objecto físico. No entanto pode tirar-se partido deste tipo de efeitos como auxiliar da restituição gráfica.
- As omissões correspondem a zonas cegas para o dispositivo de varrimento laser, isto é, zonas situadas fora do campo de visão do instrumento devido a obstáculos de variada natureza. Estas zonas também podem corresponder a partes do modelo apagadas por corresponderem a lixo que não interessava manter no modelo. Seja como for, estas zonas costumam traduzir-se em zonas brancas nas orto-imagens. Na figura da imagem 6-8 ilustra-se este efeito. Uma zona em que este tipo de efeito se pode manifestar corresponde a vigas salientes nos tectos ou a zonas atrás de portas. Na figura podemos observar o efeito junto a vigas no tecto de um compartimento. Uma das formas de minimizar este efeito é a escolha de posições de estação para o dispositivo de varrimento laser que evitem as oclusões. Contudo, evitar este efeito na totalidade pode ser uma tarefa impossível. Na 6-8 figura observamos que há uma minimização do efeito, embora não eliminação, que se pode perceber pela relação entre as zonas brancas e zonas de sobreposição de imagens correspondentes a

nuvens de pontos distintas, como se pode ver na zona superior e ao centro da imagem.



Figura 6-8: Efeito das oclusões nas imagens de reflectância e a procura de minimização através da utilização de nuvens de pontos com pontos de vista complementares.

- A falta de resolução em detalhes finos corresponde àquelas zonas em que as imagens necessitariam de maior resolução, e eventualmente as nuvens de pontos de maior densidade de pontos, para que as características dos objectos pudessem ser diferenciadas. No exemplo da figura 6-9 ilustramos esse efeito ao nível da representação dos gradeamentos. No entanto também observamos que o nível de detalhe da imagem é suficiente para uma representação esquemática dos gradeamentos, embora não o seja para uma representação mais literal.



Figura 6-9: Exemplo da falta de resolução das imagens de reflectância no que diz respeito aos detalhes finos, neste caso correspondentes aos gradeamentos.

- A restituição gráfica:
- Tendo em conta as características das secções e das orto-imagens base atrás descritas, e tendo definido o layout de suporte à restituição gráfica, pode esta começar.
- Em primeiro começamos a delinear as secções atendendo ao princípio de relação entre as várias peças desenhadas, e de seguida, ou em simultâneo, delineamos as imagens de modo a complementar o desenho das secções com os elementos que aparecem em vista. Este processo implica o cruzamento de informação das orto-imagens e das secções por exemplo para desenhar de forma rigorosa alturas de vãos de porta ou janelas, espessuras de cantarias, e outros elementos. Por outro lado, para compensar algumas características das secções e orto-imagens base, podem utilizar-se as fotografias como forma de consulta e esclarecimento de dúvidas, isto é, utiliza-se mais que uma fonte de informação.
- Nos casos em que considerámos que as orto-imagens não apresentavam detalhes suficientes, como no caso dos gradeamentos, utilizámos o processo da rectificação vectorial desenhando sobre imagens fotográficas como se ilustra na figura 6-10. Sobre a orto-imagem são desenhadas linhas envolventes que servem como linhas de controlo para a rectificação. De seguida são desenhadas as linhas homólogas sobre a imagem fotográfica. Após este passo, é possível desenhar parte do gradeamento sobre a imagem fotográfica e proceder à rectificação do desenho. Assumindo que o gradeamento se desenvolve de forma modular, apenas se efectua a rectificação de uma parte reduzida, procedendo-se ao resto do desenho através da cópia e simetria do elemento base desenhado.

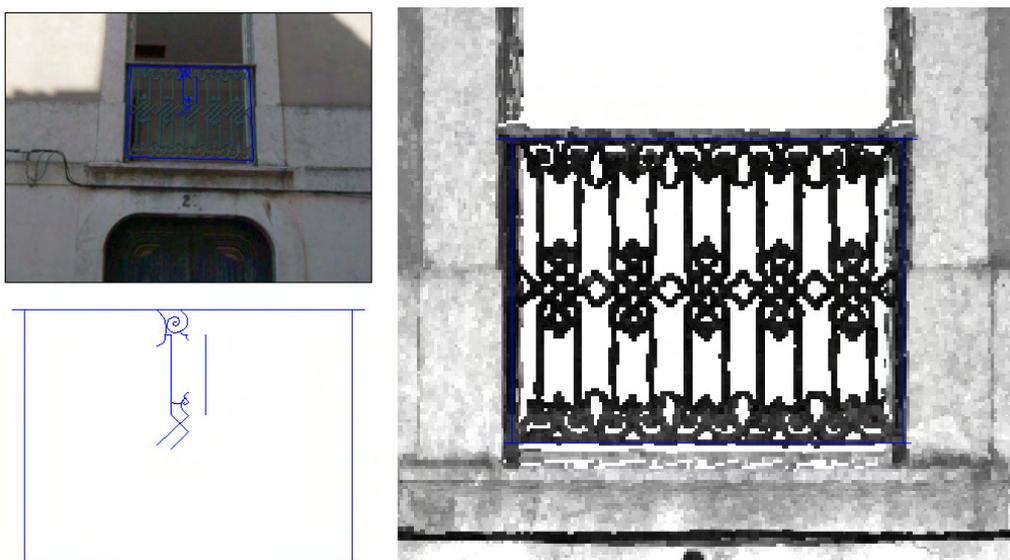


Figura 6-10: Utilização da fotografia como fonte complementar de informação no processo de restituição gráfica. Exemplo de utilização da rotina `rectificador.lsp`.

- A cada peça desenhada (planta, corte, alçado) fez-se corresponder um sistema de coordenadas específico que se traduziu, no ficheiro de AutoCAD, pela definição de um UCS (user coordinate system) próprio. Deste modo, cada desenho tem uma orientação específica que facilita o processo de desenho.
- Devemos notar no entanto que a escolha que fizemos relativamente ao modo de efectuar a restituição gráfica envolve algum tempo no processo de desenho uma vez que implica o traçado de muitas linhas auxiliares para transporte gráfico de medidas entre desenhos.
- Nas figuras 6-11, 6-12 e 6-13 ilustra-se, com maior detalhe o resultado da restituição gráfica de um corte, de uma planta e de um alçado, respectivamente.
- O tempo despendido no processo de rectificação e produção dos layouts finais para entrega correspondeu aproximadamente a 10 dias (85 horas).
- Toda a restituição gráfica foi levada a cabo utilizando hardware standard com o software AutoCAD 2004, e com a rotina rectificador.lsp carregada.

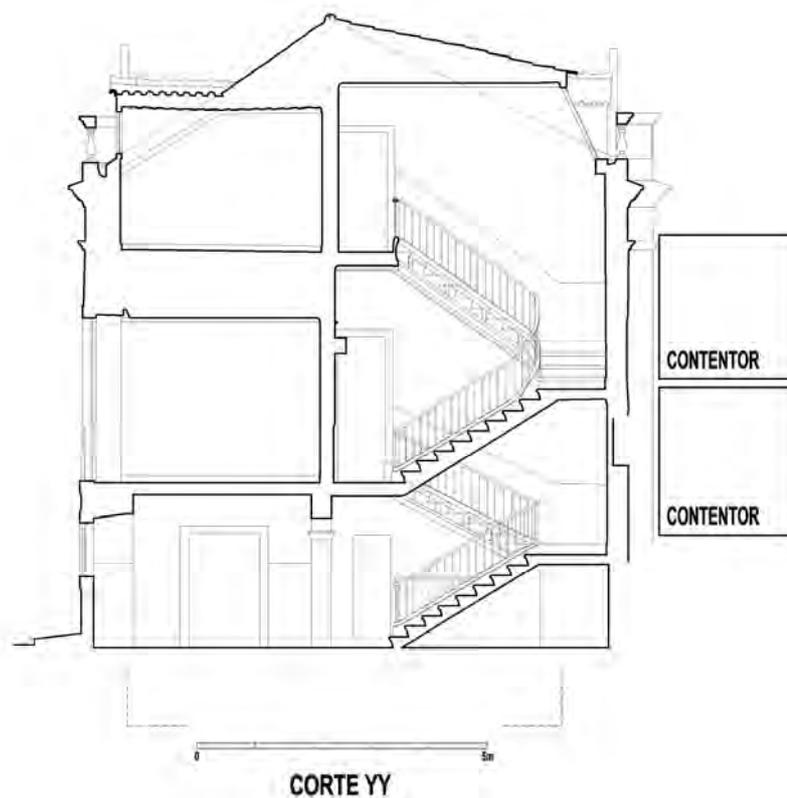


Figura 6-11: Restituição gráfica de um corte.



Figura 6-12: Restituição gráfica de um alçado.

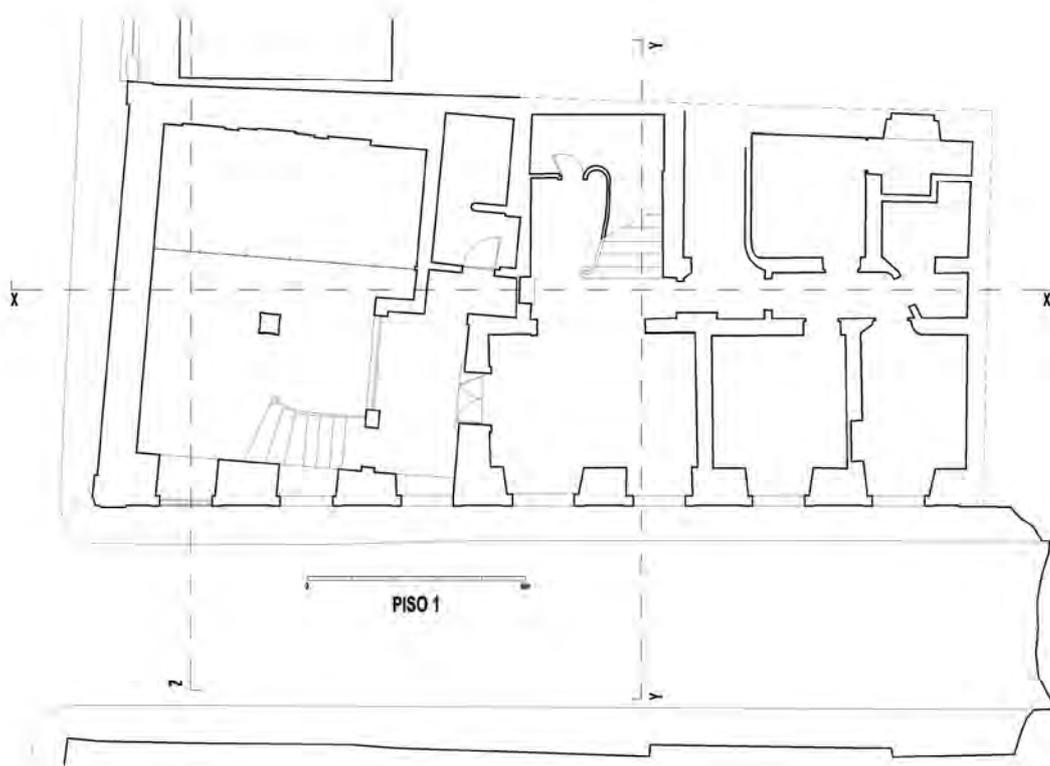


Figura 6-13: Restituição gráfica de uma planta.

A.6.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Na figura 6-14 ilustramos o resultado final do processo de restituição gráfica no que diz respeito à articulação entre as várias peças desenhadas. Naturalmente, esta figura é um desenvolvimento da disposição ilustrada na imagem da figura 6-2 e corresponde aos materiais finais entregues.
- Os desenhos finais, correspondentes às plantas, cortes e alçados, foram organizados num ficheiro CAD de extensão *.dwg com os vários UCS declarados, e entregues à entidade contratante em 12 de Dezembro de 2007, tendo merecido por parte desta e do atelier de arquitectura a sua aprovação.

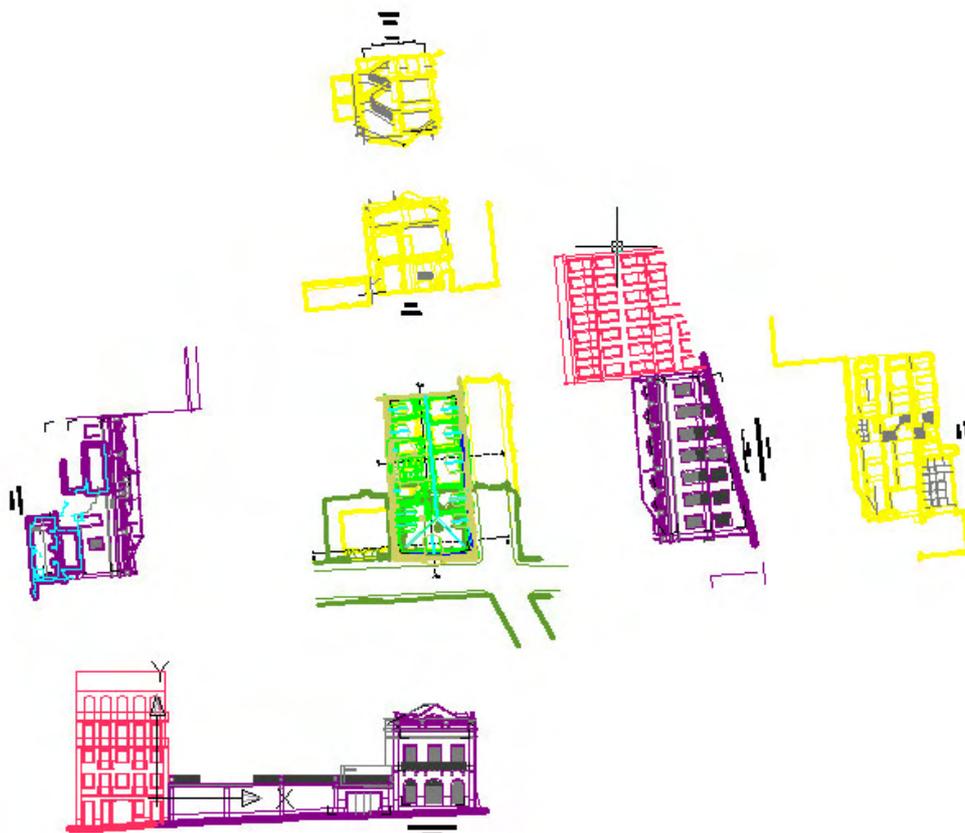


Figura 6-14: Layout da restituição gráfica no ficheiro de CAD.

Desvio em relação às previsões:

- A utilização do processo de rectificação vectorial como ferramenta completar de levantamento não estava prevista inicialmente. Porém verificou-se eficiente no caso do desenho de elementos decorativos em gradeamentos.
- Neste processo, embora tal não se recomende, a restituição gráfica foi feita sem proceder a nenhuma visita ao local. Este facto acarretou algumas dificuldades de interpretação das imagens e secções base, sobretudo naquelas situações em que a informação não se encontra toda descrita ou se encontra deficientemente descrita. Exemplos deste tipo de situação correspondem a zonas por detrás de portas ou janelas, aos recortes finos da geometria das guarnições, à existência de obstáculos. Esta limitação levou a que o resultado final pecasse por algumas omissões. Por exemplo, a partir dos dados base não foi possível posicionar os planos de algumas janelas, completar o desenho de algumas paredes e vãos. Isto significa que o levantamento terá de ser completado através de uma visita ao local. Os materiais finais foram entregues com esta advertência e assim foram aceites.
- No CD anexo a este volume podem ser consultados os ficheiros Rua_Sol_PCA.dwf e Rua_Sol_PCA_v1.dwf, ambos correspondentes ao ficheiro de AutoCAD entregue à entidade contratante. No segundo ficheiro encontram-se os desenhos finais da restituição e no primeiro ficheiro encontram-se também as orto-imagens e as secções base. Notamos que as plantas se encontram sobrepostas no desenho mas podem ser observadas de modo isolado através da gestão da visualização das camadas (layers) do desenho.

A.6.3. ANÁLISE CRÍTICA

Interessa-nos fazer alguns comentários em relação a este processo, sobretudo no que diz respeito à restituição gráfica.

Voltamos a salientar que antes de desenhar é necessário ter em consideração as características das secções e orto-imagens base que derivam do modo como são produzidas, as primeiras por intersecção plana de uma malha triangulada implícita e as segundas por projecção de pontos com valores de reflectância associados em planos de referência. Estas características já foram descritas acima.

Notamos que é sempre conveniente dispor de fontes de informação adicional como seja imagens fotográficas, pois permitem o esclarecimento de dúvidas que surgem durante o processo de restituição gráfica.

Recomenda-se sempre que o processo de restituição gráfica seja sempre precedido de uma visita ao local por parte do operador da restituição.

Verificamos, pela leitura das qualidades das secções e orto-imagens base, que o processo de VL3DT é extremamente eficiente para descrever globalmente a geometria de um objecto arquitectónico, neste caso um edifício de habitação do sec. XIX, permitindo ser sensível às várias deformações do objecto, embora possa apresentar limitações em detalhes muito finos. Estas limitações podem ser ultrapassadas aumentando a densidade de varrimento. Porém a densidade do varrimento deve ser ponderada em função da escala e do nível de detalhes pretendidos para a restituição. O facto do varrimento laser não ser um processo selectivo acarreta alguns inconvenientes uma vez que há um conjunto de dados não relevantes para a restituição gráfica que são recolhidos e que impediram que outros mais relevantes fossem recolhidos. Em alguns casos é possível compensar este efeito colocando o dispositivo de varrimento laser em posições de varrimento complementares. Noutros casos, quando os obstáculos estão muito próximos do objecto e não podem ser removidos, a lacuna de informação permanece. É por exemplo, neste caso, a existência de contentores de obra junto ao edifício.

Cuidado especial deve ser considerado ao pretender descrever vãos de portas e janelas através do varrimento laser. Deve notar-se que uma porta ou janela semi-abertas implicam necessariamente oclusões que só podem ser compensadas com novos varrimentos em que estas estão fechadas, o que parece não ter sido efectuado neste caso. Porém reconhece-se que as portas e janelas semi-abertas também podem dar indicações importantes como referimos. Notámos que algumas das deficiências das imagens, na representação dos vãos de janelas correspondem a zonas de vidro ou em zonas metálicas escuras no caso de gradeamentos. É sabido que o varrimento laser tem pior desempenho neste tipo de superfícies pelo que é prudente prever que este tipo de elementos sejam registados com meios complementares. O processo da rectificação vectorial pode constituir uma solução em alguns casos.

O processo de restituição gráfica implica garantir que existe coerência entre as várias peças desenhadas. Esta coerência corresponde à definição de alturas de pés-direitos em pisos comuns a mais que um corte ou alçado, corresponde à largura de compartimentos que aparece representada em cortes e plantas simultaneamente, corresponde às medidas dos vãos que aparecem representadas simultaneamente representados em plantas, cortes e alçados. Enfim, corresponde à correcta aplicação dos princípios de desenho oriundos da Geometria Descritiva. No entanto deve notar-se o processo de restituição também coloca em evidência os desalinhamentos da geometria do objecto, que não devem ser confundidos com erros. Estamos a referir-nos por exemplo ao facto das linhas de corte de duas plantas de pisos consecutivos não se sobreporem exactamente mesmo quando correspondem a secções produzidas

nos mesmos planos de parede. Este tipo de diferenças pode chegar a alguns centímetros.

A representação da arquitectura nas várias escalas implica determinados níveis de esquematização que supõem uma abstracção em relação às representações mais literais que resultam dos dados base de VL3DT. É por exemplo o caso da interrupção da representação de uma escada que sobe de um piso a outro piso com uma linha diagonal a traço-ponto.

Da comparação entre os tempos envolvidos no processo, desde o tempo despendido em campo, até ao tempo despendido em gabinete, chegamos aos seguintes valores: i) dois dias de varrimento laser em campo, ii) três dias de processamento das nuvens de pontos e extracção dos elementos base para restituição gráfica, e iii) dez dias para a restituição gráfica. A relação entre estes valores permite concluir que é o processo de restituição gráfica o que consome maior quantidade de tempo no fluxo de trabalho. Em contraste, o tempo despendido em campo reduziu-se apenas a dois dias, o que é bastante inferior ao que seria de esperar caso se adoptassem procedimentos tradicionais de levantamento. O rácio entre tempo passado em campo e tempo passado em gabinete é aproximadamente 1 para 7. Esta observação leva-nos a considerar que é muito importante não desprezar a componente de restituição gráfica no processo e prever desde o início a quantidade exacta de peças desenhadas a produzir e a sua localização. É que poderemos ser levados a supor que uma vez que dispomos de um modelo tridimensional, não implica grande esforço produzir elementos adicionais. Esta suposição é apenas parcialmente verdadeira, no que diz respeito à produção de das secções e orto-imagens base. Pois no que diz respeito à restituição gráfica, mais uma peça desenhada corresponde sempre a um esforço adicional que deve ser atempadamente previsto. Porém mais uma peça desenhada não envolve, em princípio, visitas adicionais a campo o que é uma vantagem deste tipo de processos.

A.6.4. CONCLUSÕES

Com esta experiência sintetizámos um conjunto de qualidades das imagens de reflectância de das secções resultantes do processo de varrimento laser 3D que devem ser cuidadosamente consideradas no processo de restituição gráfica.

As imagens apresentadas permitiram um nível de restituição gráfica que seria difícil conseguir através da utilização de métodos directos.

No entanto, verificámos que a restituição gráfica não pode ser um processo passivo de simples delineação das imagens ou das secções base. É antes um acto de

interpretação que deve ser realizado com inteligência cruzando a informação das imagens base com imagens complementares, por exemplo fotografia.

A restituição gráfica parece consumir a maior parte do processo de documentação quando comparada com o tempo passado em campo e com a produção do modelo 3D base a partir do qual se extrai a documentação base.

Por esta razão parece-nos prudente que esta etapa do processo de documentação não seja subestimada na fase de planeamento do levantamento. Cada peça gráfica nova a produzir representa um encargo adicional.

As condições de desimpedimento dos locais que se documentam por varrimento laser são um factor determinante da qualidade da documentação que se pode produzir e na diferenciação do objecto que é possível fazer. É preferível limpar o local, colocando as superfícies relevantes à vista, para não ter de limpar o modelo de nuvens de pontos, o que inevitavelmente leva a lacunas de informação que se traduzem forçosamente por uma restituição gráfica incompleta.

O rigor do processo do VL3D leva a uma aparente discrepância entre representações, sobretudo em planta, dado que é sensível a pequenas variações na orientação dos paramentos. Caberá na definição de objectivos e detalhe para a documentação a produzir, decidir se a restituição gráfica deve ser sensível a essas diferenças ou se pode haver nivelamento da representação.

O varrimento laser aparenta ter fraco desempenho para a representação de elementos lineares de pequena espessura como por exemplo gradeamentos.

O nível de detalhe na representação da geometria das molduras dos vãos (guarnições de portas e janelas, molduras) não permitia mais que uma restituição esquemática.

A definição das secções através da representação vectorial em bruto extraída das nuvens de pontos parece introduzir um nível de ruído que deforma a geometria.

A.7 Levantamento do Palácio de Valflores, Loures

LISTA DE FIGURAS

Figura 7-1: Quinta e Palácio de Valflores. O Palácio encontra-se inscrito no círculo vermelho.....	226
Figura 7-2: Exemplo de tecto em risco de colapso.	229
Figura 7-3: Exemplos da presença de vegetação superior na envoltória do palácio e quinta.	229
Figura 7-4: Planta de campo com o planeamento da colagem dos alvos.....	232
Figura 7-5: Exemplo de alvo.	233
Figura 7-6: Planta com a marcação da posição das estações de varrimento laser 3D.....	234
Figura 7-7: Ábaco para planeamento e definição do nível de resolução da captura de VL3DT.	235
Figura 7-8: Planta com a marcação da posição das estações de varrimento laser 3D e respectivas densidades de pontos.....	236
Figura 7-9: Execução do levantamento topográfico.....	238
Figura 7-10: Execução do levantamento de campo de VL3DT (1ª fase).	239
Figura 7-11: Execução do levantamento de campo de VL3DT (2ª fase).	240
Figura 7-12: Planta com o levantamento topográfico da Quinta de Valflores elaborado pelo topógrafo Gilberto Rola da CML.	242
Figura 7-13: Identificação de pontos homólogos em duas nuvens de pontos, a 44 e a 05, uma das quais considerada como referência (05).....	244
Figura 7-14: Optimização da orientação relativa da nuvem 44 através a aplicação do algoritmo ICP.....	244
Figura 7-15: Resultado da optimização da orientação relativa.	245
Figura 7-16: Em cima: matriz de posição da nuvem de referência (05). Em baixo: matriz de posição da nuvem móvel (44).	245
Figura 7-17: Modelo de nuvens de pontos com mapeamento de intensidade.....	246
Figura 7-18: Exemplo da identificação de um alvo.	247
Figura 7-19: Modelo de nuvens de pontos com a identificação dos alvos.....	247
Figura 7-20: Excerto do relatório de cálculo da transformação de georreferenciação.....	248
Figura 7-21: Pré visualização de panorama obtido a partir de 4 imagens.	249
Figura 7-22: Identificação de pontos homólogos na nuvem de pontos (à direita) e na imagem (à esquerda) para a calibração da imagem.....	249
Figura 7-23: Projector da textura sobre as nuvens de pontos.	250
Figura 7-24: Orientação de um plano de secção.	251

Figura 7-25: Exportação da secção em bruto no formato *.dxf.....	251
Figura 7-26: Resultado do seccionamento múltiplo do modelo.	252
Figura 7-27: Análise icónica da fachada sul do Palácio.....	252
Figura 7-28: Sequência de imagens de animação do modelo texturado com inserção da topografia.	253
Figura 7-29: Sequência de imagens de animação do modelo texturado com inserção da topografia através das curvas de nível.	253
Figura 7-30: Sequência de secções produzidas na fachada por um plano vertical passante por dois alvos topográficos.	254
Figura 7-31: Visualização das deformações através de mapas de profundidade. Em cima: deformações para lá do plano de referência. Em baixo: deformações para cá do plano de referência. À direita: escala cromática das deformações.....	254

LISTA DE TABELAS

Tabela 7-1: Resumo do processo de recolha dos dados relativos a nuvens de pontos capturadas no dia 11 de Novembro de 2008.....	239
Tabela 7-2: Resumo do processo de recolha dos dados relativos a nuvens de pontos capturadas no dia 28 de Abril de 2010.	241
Tabela 7-3: Excerto da tabela com as coordenadas dos alvos topográficos no Datum 73.....	241
Tabela 7-4: Resumo dos dados relativos a nuvens de pontos.	242
Tabela 7-5: Resumo dos dados relativos a registos fotográficos.....	243

ÍNDICE

A.7 LEVANTAMENTO DA QUINTA E PALÁCIO DE VALFLORES, LOURES... 225

A.7.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	226
A.7.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	226
A.7.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	227
A.7.1.2.1.	OBJECTIVOS	227
A.7.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER	228
A.7.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	228
A.7.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	230
A.7.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	230
A.7.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	237
A.7.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	238
A.7.2.1.	RECOLHA DE DADOS	238
A.7.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	243
A.7.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	255
A.7.3.	ANÁLISE CRÍTICA	255
A.7.4.	CONCLUSÕES	258

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

A Quinta e Palácio de Valflores, situados na freguesia de Santa Iria de Azóia, concelho de Loures, são um exemplar reconhecido da arquitectura civil do século XVI. O conjunto foi classificado como imóvel de interesse público em 1982, e hoje encontra-se em estado de pré ruína (ver abaixo o item documentação prévia).

O nosso envolvimento com a documentação da Palácio remonta ao ano de 2007, altura em que o considerámos como caso de estudo no âmbito da pós graduação em “Recuperação e Conservação do Património Construído”, efectuada no Instituto Superior Técnico. Nessa altura, fizemos uma análise do estado de conservação do palácio baseada numa inspecção visual e em complemento da documentação existente na Carta de Risco do Património acessível através do portal do SIPA (Sistema de Informação do Património Arquitectónico – www.monumentos.pt). O resultado da nossa análise visual foi o ponto de partida para a investigação que descrevemos neste documento.

Na sua fase inicial foi realizado em articulação com a Câmara Municipal de Loures (CML).

Em Dezembro de 2007 participámos numa reunião na CML com a participação do Sr. Presidente da Câmara Carlos Teixeira, do Sr. Vereador da Cultura Ricardo Leão, do Sr. Vereador de obras João Pedro Domingues. Esta reunião foi solicitada pela Sra. Cristina Mendes, presidente da associação local de defesa do património de Santa Iria de Azóia (ADPAC). Teve o objectivo de apresentação da nossa investigação, realizada no IST, como modelo de intervenção a realizar naquele imóvel. No essencial definimos três níveis de acção preparatórios de qualquer tipo de intervenção: i) colocação de uma cobertura metálica como forma de proteger o imóvel e sustentar a degradação, ii) consolidar as alvenarias por meio de pregagens ou outro meio equivalente, iii) repor as soluções estruturais das abóbadas e dos tirantes.

A primeira destas medidas acabou por ser implementada em Abril de 2009.

Nesta reunião assumimos a inclusão do imóvel como caso de estudo no projecto de investigação “Contributos para o projecto de conservação do património arquitectónico: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e na digitalização laser 3D terrestres” (FCT:PTDC/AUR/66476/2006).

A CML procedeu ao levantamento topográfico de apoio ao levantamento por varrimento laser.

Embora o objectivo último seja a produção de documentação base para a elaboração do projecto de restauro e reabilitação da Quinta e Palácio, este estudo assumiu um carácter exploratório dos processos associados ao varrimento laser 3D, numa perspectiva de identificar utilizações potenciais da tecnologia e de começar a identificar os termos da metodologia que pretendemos desenvolver. Particular ênfase foi dado às questões relacionadas com o planeamento do processo documental.

A.7.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.7.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA

Identificação e localização do sítio:

- Palácio e Quinta de Valflores, situados na freguesia de Santa Iria de Azóia, Concelho de Loures (figura 7-1).



Figura 7-1: Quinta e Palácio de Valflores. O Palácio encontra-se inscrito no círculo vermelho.

Entidade contratante:

- Não aplicável.

Entidade contratada:

- Não aplicável.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Estudo exploratório no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006.
- No futuro, produção da documentação de base para o projecto de restauro e reabilitação do imóvel.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Não definido.

Delimitação da área a documentar:

- Numa primeira fase a nossa acção incidirá sobre o Palácio.

Existência de documentação gráfica prévia:

- A documentação prévia, gráfica e não só, foi compilada aquando da realização da realização de análise e inspecção no âmbito de pós graduação efectuada pelo autor da tese. O documento correspondente a esse estudo pode ser consultado no CD anexo a este volume (001_Valf.pdf)

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Ver item anterior.

Data:

- Início do processo: Dezembro de 2007.

A.7.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES**A.7.1.2.1. OBJECTIVOS****Fins projectuais a que se destina a documentação:**

- A documentação a produzir visa identificar potenciais da tecnologia de varrimento laser 3D terrestre (VL3DT) como meio para a documentação de edifícios antigos e patrimoniais. Visa ainda estudar as várias etapas do levantamento por varrimento laser

3D desde o planeamento até à produção de materiais diversos após a construção de um modelo 3D.

- Adicionalmente pretendemos testar uma hipótese referida na documentação prévia segundo a qual o paramento da fachada principal do Palácio apresenta um desvio em relação à vertical.

A.7.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Não definido.

Desempenho métrico:

- Não foi imposto nenhum critério de desempenho métrico. No entanto pretende-se fazer uma avaliação deste ponto no processamento dos dados. O levantamento por varrimento laser será comparado com um levantamento topográfico de apoio.

Apresentação:

- Não definido.

Causas para a rejeição dos materiais:

- Não aplicável.

A.7.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- As acções a realizar deverão incluir-se no prazo de vigência do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006.
- Custos: informação não disponível.

Autorizações de acesso:

- O acesso está condicionado à autorização da Câmara Municipal de Loures.

Condições de segurança:

- Dado o nível de degradação do palácio, algumas dependências não podem ser visitadas porque existem coberturas em risco de colapso, conforme se pode observar na figura 7-2. Nas restantes deve permanecer-se o mínimo tempo possível.



Figura 7-2: Exemplo de tecto em risco de colapso.

Condições de acessibilidade:

- As primeiras observações do espaço da quinta revelam que existe bastante vegetação superior na envolvente do palácio e na quinta em geral, como ilustra a figura 7-3. Esta será factor de impedimento da utilização eficiente de métodos indirectos de levantamento como a fotogrametria ou o varrimento laser 3D. Prevê-se a necessidade de proceder à limpeza do espaço envolvente.



Figura 7-3: Exemplos da presença de vegetação superior na envolvência do palácio e quinta.

Retenção dos materiais:

- Não definido.

Impactos admissíveis no objecto:

- Não definido.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Não aplicável.

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Os elementos produzidos serão propriedade intelectual dos seus autores.

A.7.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA**Entidades produtoras da documentação gráfica:**

- Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FAUTL) – arquitecto Luís Mateus

Entidades fiscalizadoras:

- Não aplicável.

A.7.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- O varrimento laser 3D terrestre (VL3DT) justifica-se como metodologia para a recolha de dados para a documentação do palácio. Dado tratar-se de uma tecnologia de não contacto, e face às condicionantes de segurança, entende-se que é adequada a este caso.
- Para garantir a coerência do levantamento, proceder à georreferenciação, e avaliar o desempenho métrico do processo do VL3DT, proceder-se-á à realização de um levantamento topográfico de apoio no qual serão registados um conjunto de coordenadas de pontos de controlo a materializar nas estruturas edificadas.
- O levantamento topográfico incidirá sobre o registo da topografia da quinta, enquanto que o levantamento por VL3DT incidirá sobre o Palácio e aqueduto. Serão processos complementares.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Para a execução do levantamento topográfico de apoio serão utilizados meios da Câmara Municipal de Loures.
- Para a execução do levantamento por VL3DT será utilizado um scanner de comparação de fase da marca ZF 5006, operado sobre tripé. Este tipo de equipamento parece-nos adequado face à necessidade da captura de dados com elevada densidade.

Planeamento da recolha dos dados:

- O planeamento da recolha de dados consistiu em: i) preparação da aquisição dos serviços de VL3DT, ii) limpeza do terreno, iii) planeamento do levantamento topográfico de apoio, iv) planeamento do levantamento por VL3DT.
- A preparação da aquisição dos serviços consistiu na consulta a empresa do sector. Face ao montante em causa procedeu-se a um ajuste directo.
- No intervalo de tempo que mediou entre os nossos contactos com a Câmara e a execução do levantamento, a CML procedeu à limpeza do terreno por meios mecânicos. Esta limpeza passou também pela poda de árvores e abate de arbustos de grande dimensão que ameaçavam a estrutura do aqueduto.
- No dia 3 de Novembro de 2008 fez-se uma visita de reconhecimento das condições do local. Nesta visita participaram o autor da tese, o Professor do IST João Vieira Caldas, a arqueóloga Raquel da CML, a presidente da ADPAC Cristina Mendes, e o topógrafo Gilberto Rola da CML. Uma vez que os vãos do edifício se encontram emparedados, considerou-se o levantamento em duas fases: i) levantamento do exterior do palácio e aqueduto, ii) levantamento do interior.

Neste dia foi discutida a estratégia para a execução do levantamento topográfico de apoio e foram materializadas as estações topográficas. Foram materializadas nove estações topográficas para o levantamento integral da Quinta. Destas, quatro deverão ser utilizadas para observar alvos a colocar na superfície exterior do palácio. As estações foram materializadas por meio de estacas de madeira cravadas no solo. No topo das estacas foi pregado um prego que corresponde à materialização do ponto de estação propriamente dito. As estações foram marcadas de modo a haver inter-visibility entre elas.

Neste mesmo dia foram feitos quatro ensaios de colagem de alvos. Os alvos foram fabricados em plástico pintado com tinta de esmalte mate na cor RAL 7004. A colagem foi feita com silicone. Foi feitas colagens em diferentes superfícies: i) pedra, ii) reboco, iii) cal, iv) graffiti.

Aproveitou-se a visita de reconhecimento para identificar necessidades pontuais de limpeza do terreno. Verificou-se ainda alguma presença de vegetação na envoltória do palácio e na quinta em geral (canas, ervas, arbustos), e depósito de lixo junto aos paramentos do palácio.

- No dia 4 de Novembro de 2008 foram feitos testes de arranque dos alvos colados no dia anterior. Verificou-se que estes apresentavam boa adesão e que a sua remoção introduz danos mínimos. Por isso deverão escolher-se localizações para os alvos em superfícies com valor reduzido.

Tendo por base a documentação prévia de que dispúnhamos, que consistia em plantas e alçados, fez-se um planeamento do posicionamento dos alvos topográficos para controlo. Este posicionamento foi registado numa planta, como se ilustra na figura 7-4.

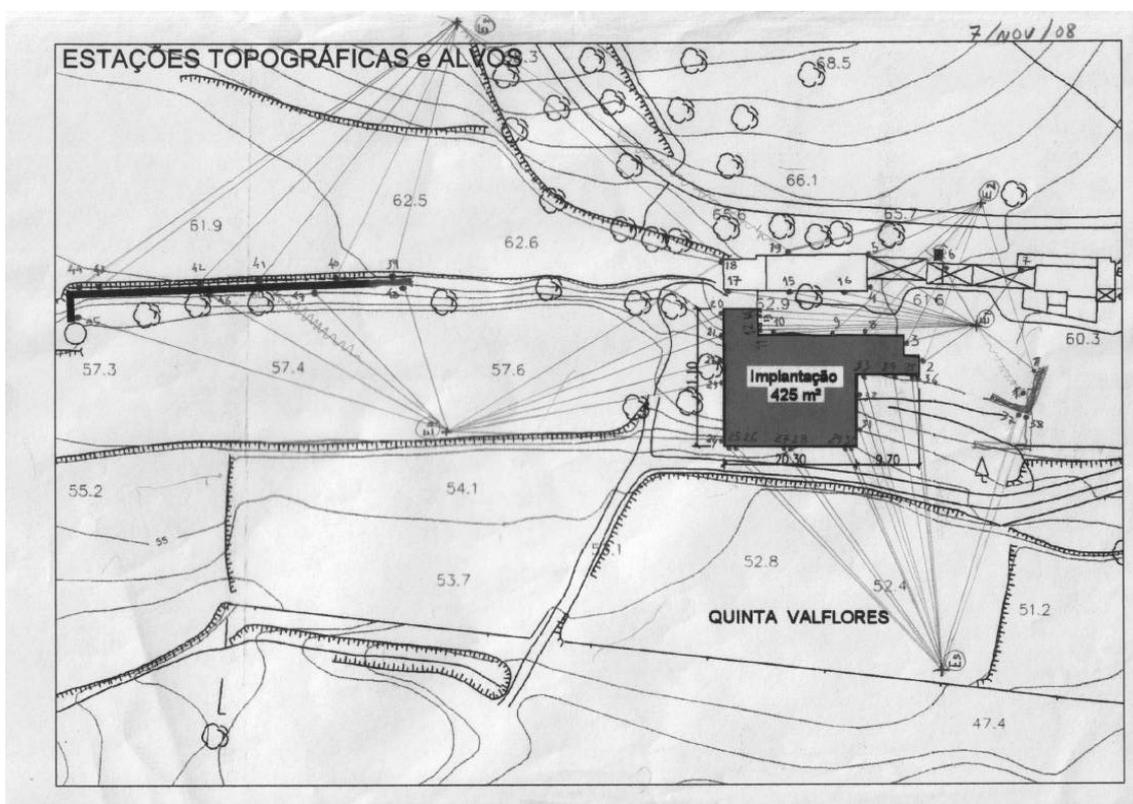


Figura 7-4: Planta de campo com o planeamento da colagem dos alvos.

Este posicionamento teve em conta as estações previamente materializadas e a limitação, em altura, para a colagem dos alvos. De seguida procedeu-se à colagem dos alvos. Cada alvo foi afixado com 5 pontos de silicone no verso. Para alcançar cotas mais elevadas, no sentido de distribuir os alvos o melhor possível, foi utilizado um escadote. Na imagem da figura 7-5 mostra-se a configuração do tipo de alvo utilizado. As dimensões são 120mm x 120mm x 1.5mm.



Figura 7-5: Exemplo de alvo.

Sentiu-se a necessidade de proceder a este planeamento no local. O relevo acentuado, a existência de obstáculos como a vegetação, a irregularidade das superfícies do edifício, as condições de acesso, foram factores que ditaram este procedimento. Entendeu-se que um planeamento em gabinete correria o risco de não ser aplicável na prática. A planta com o registo do posicionamento foi preparada, com uma numeração dos alvos, para entrega ao topógrafo. Face aos constrangimentos ao acesso ao edifício, uma vez que os vãos se encontravam emparedados, todos os alvos foram afixados em posição relativamente baixa. No total foram afixados 49 alvos, 10 dos quais no aqueduto.

- No dia 6 de Novembro de 2008 foi efectuada uma visita ao local para verificar se os alvos se encontravam todos afixados. Verificou-se que nenhum alvo havia caído.
- No dia 7 de Novembro fez-se, também no local, o planeamento do posicionamento das estações de varrimento laser. À semelhança do que acontecera com o planeamento da colocação dos alvos topográficos, as posições previstas foram registadas sobre uma planta como se ilustra na figura 7-6. Neste caso, ainda nos pareceu mais evidente a necessidade de proceder a um planeamento no local. Só no local, face às diferenças de cota, face à experiência visual concreta, é possível perceber e antecipar o que serão os campos de visão possíveis para o VL3DT e assim evitar oclusões escolhendo as melhores posições de estação, e estimando desde logo as interdependências entre nuvens de pontos a capturar.

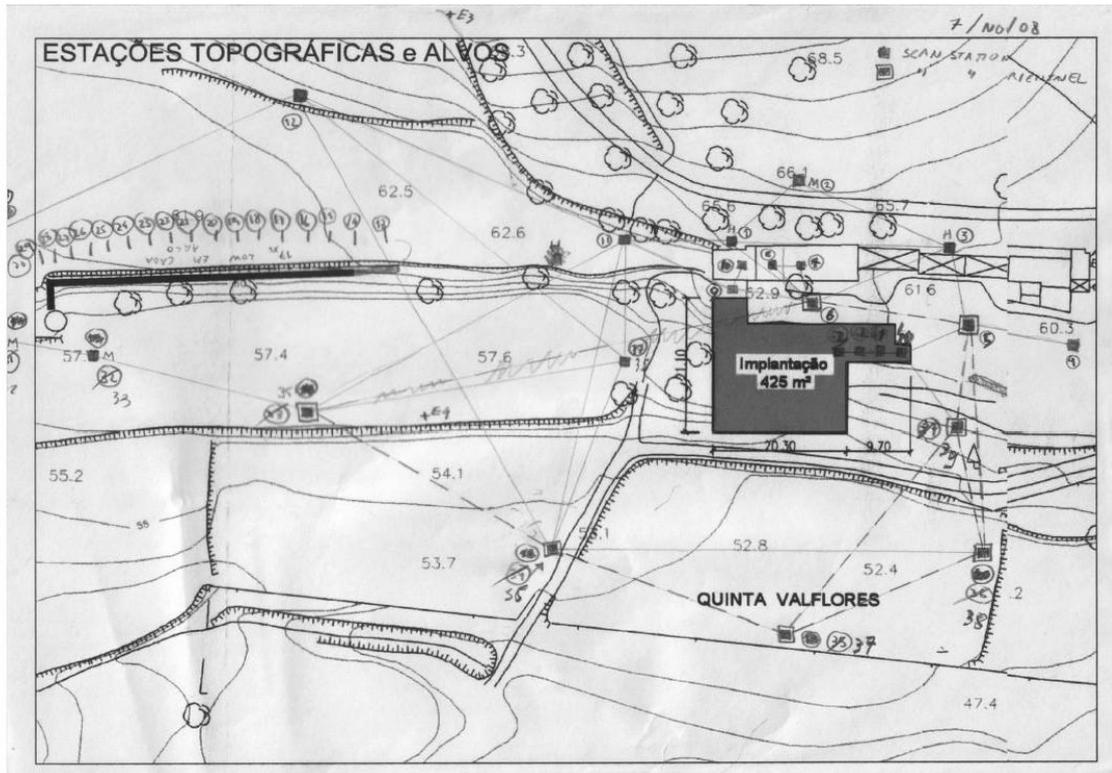


Figura 7-6: Planta com a marcação da posição das estações de varrimento laser 3D.

Complementarmente a esta acção de campo, em gabinete definiram-se as resoluções pretendidas para as nuvens de pontos. Estas são função do nível de diferenciação pretendido para o objecto e dependem da distância da estação ao objecto. O equipamento a utilizar permite quatro resoluções de nuvem de pontos medidas em número de pontos por círculos de 360º de varrimento. Estas assumem as designações: i) Super-High (S), ii) High (H), Middle (M), e Preview (P). A cada uma destas resoluções corresponde um tempo de varrimento e uma densidade de pontos específicas:

- i) S – 6min e 44s de varrimento – 20 000 pontos;
- ii) H – 3min e 22s de varrimento – 10 000 pontos;
- iii) M – 1min e 40s de varrimento – 5 000 pontos;
- iv) P – 25s de varrimentos – 1 250 pontos.

Tem ainda um nível de resolução acima destes mas não é praticável dado gerar ficheiros de tal ordem grandes que o hardware de que dispomos seria insuficiente para os processar.

O primeiro passo dessa operação de planeamento corresponde a traduzir as resoluções dadas deste modo em espaçamento entre pontos sobre as superfícies a registar. Isso pode ser feito através de cálculo ou através da utilização de um ábaco

como o da figura 7-7 que produzimos para o efeito. O ábaco permite estimar a resolução de pontos nas superfícies em várias localizações das mesmas. Note-se que a resolução também é função do ângulo de incidência do feixe em relação às superfícies.

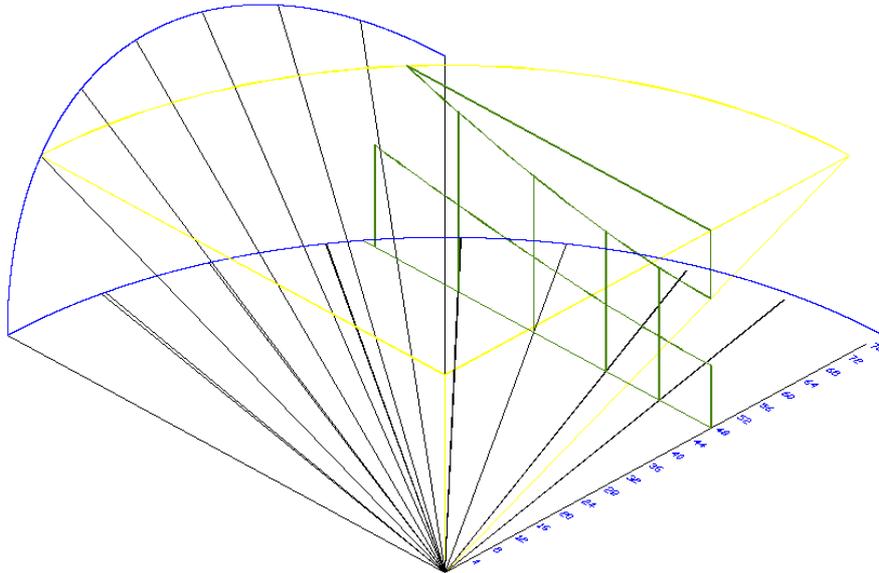


Figura 7-7: Ábaco para planeamento e definição do nível de resolução da captura de VL3DT.

Com base na utilização deste ábaco foram definidas os parâmetros de captura de cada uma das nuvens de pontos como se pode observar na planta da figura 7-8.

Após ter-se definido o nível de densidade de cada nuvem de pontos foi possível estimar o tempo de varrimento efectivo. E com base nesta estimativa pode concluir-se que um dia seria o suficiente para a aquisição dos dados.

No total estimou-se a recolha de 43 nuvens de pontos, 9 com resolução S, 4 com a resolução H, 12 com resolução M, e as restantes com resolução P.

Estimou-se que o tempo efectivo de varrimento laser será de aproximadamente 102 minutos.

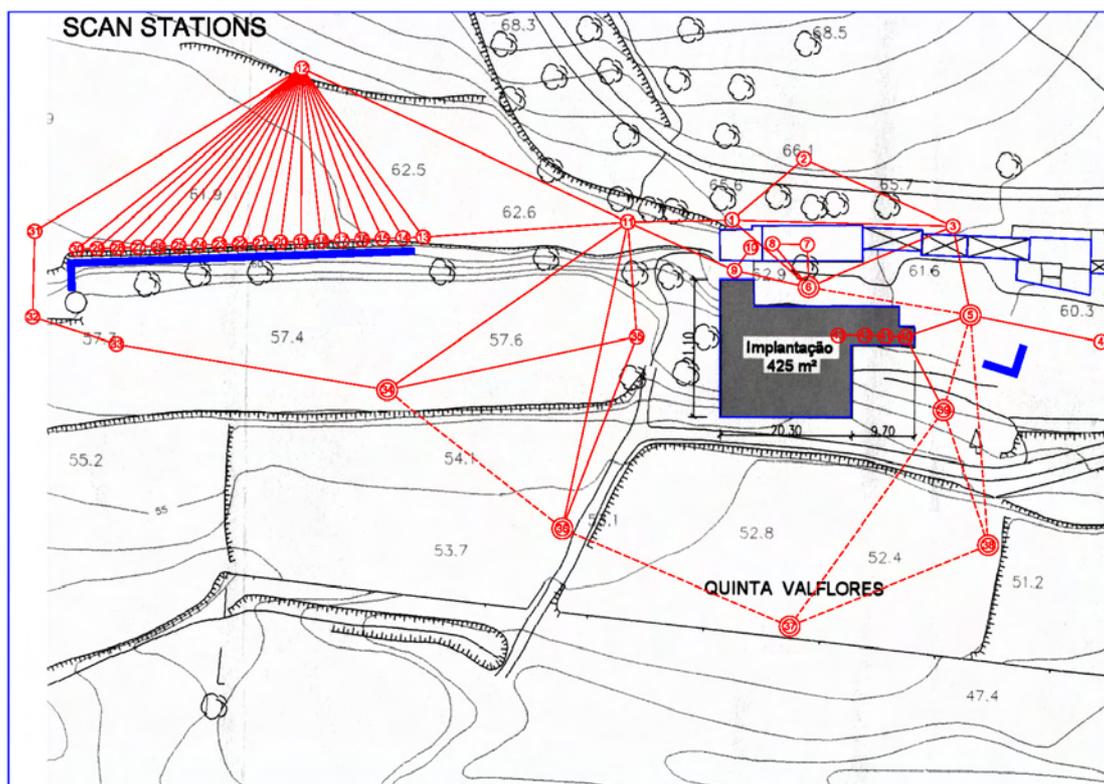


Figura 7-8: Planta com a marcação da posição das estações de varrimento laser 3D e respectivas densidades de pontos.

- Nos dias anteriores à execução do levantamento, procedeu-se a uma limpeza mais pontual de alguns elementos de vegetação remanescente, e remoção de lixo na envolvente do palácio. Esta limpeza foi levada a cabo pelo autor da presente tese, pela presidente da Associação de Defesa do Património Cultural de Santa Iria de Azóia (ADPAC) e ainda por dois voluntários locais. Foram utilizadas enxadas, machado e serrote como ferramentas de apoio. O objectivo foi ter a área o mais desimpedida possível para a realização do levantamento por VL3DT. Estas acções de limpeza ocorreram nos dias 7, 8, 9 e 10 de Novembro de 2008.
- Simultaneamente à captura das nuvens de pontos deverá ser feito um registo fotográfico para posterior mapeamento das nuvens de pontos.
- A descrição acima feita corresponde apenas à primeira fase de levantamento.
- O planeamento da segunda fase do levantamento, que ocorreu bastante mais tarde, apenas quando se garantiu da parte da CML a autorização para a desobstrução dos vãos que tinham sido emparedados. Este planeamento ocorreu em termos muito semelhantes aos referidos para a primeira fase. No entanto, como se tratava neste caso exclusivamente de situações de interior, em princípio mais facilmente controláveis, não fomos tão exaustivos na estimação das densidades de pontos das

superfícies. Adoptámos a resolução M para a generalidade das nuvens de pontos e a resolução H para cinco nuvens de pontos, para um total de 43 nuvens de pontos estimadas. Preconizámos ainda a utilização de um mastro para captura de nuvens de pontos com ponto de vista mais elevado. Nesta fase efectuámos também um planeamento do registo fotográfico. Todas as acções de planeamento foram registadas sobre plantas.

- No CD anexo a este volume podem ser consultados os elementos correspondentes ao planeamento do levantamento (002_Valf.pdf).

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Para a realização do levantamento topográfico prevê-se a necessidade de duas pessoas. No que diz respeito ao levantamento dos alvos para controlo do VL3DT, estima-se que não será necessário mais que um dia de trabalho de campo.
- Para a realização do trabalho de campo de VL3DT será necessário um operador de scanner e uma pessoa para coordenar as acções, neste caso, o autor da tese.
- Custos: informação não disponível.

A.7.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- Todo o processo de orientação das nuvens de pontos será realizado num referencial local arbitrário através do algoritmo ICP (iterative closest point) sem recurso ao levantamento topográfico. De seguida todo o modelo será orientado relativamente ao referencial topográfico tendo por base uma transformação rígida calculada com base na identificação de pontos homólogos identificados no modelo de VL3DT local e no levantamento topográfico. Pretendemos avaliar a qualidade da transformação, medida através do erro quadrático médio dos resíduos da transformação. Este será o indicador de qualidade do processamento.
- Para além desta acção mais definida, o restante trabalho a realizar será exploratório.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O processamento dos dados será efectuado com o software JRC 3D Reconstructor v.2.5.
- Será utilizado um computador portátil com 4Gb de Ram, placa gráfica de 512Mb e sistema operativo de 32bit.
- Para processo de desenho será utilizado o software AutoCAD 2004.

- Para edição de imagens será utilizado o software Adobe Photoshop 6.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- Dado o carácter exploratório deste estudo, não se prevêem formas tipo de apresentação dos materiais, nem suportes de distribuição ou armazenamento dos mesmos.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Todo o processamento será realizado pelo autor da tese.
- Tempo de execução: não previsto.
- Custos: não aplicável.

A.7.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

A.7.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- A recolha de dados topográficos de apoio e levantamento da quinta decorreu na semana 10 a 14 de Novembro de 2008. Foi levada a cabo pelo topógrafo Gilberto Rola dos serviços da CML. Na imagem da figura 7-9 ilustra-se esta acção.



Figura 7-9: Execução do levantamento topográfico.

- O levantamento de campo de VL3DT, correspondente à primeira fase do levantamento ocorreu no dia 11 de Novembro de 2008 (figura 7-10).



Figura 7-10: Execução do levantamento de campo de VL3DT (1ª fase).

Para o efeito foram requeridos os serviços da empresa 3D Total.

O trabalho de campo consumiu cerca de 4 horas, tendo sido capturadas 46 nuvens de pontos, mais três que o previsto (tabela 7-1).

1ª Fase - Exterior do Palácio e Aqueduto				
Data:	11 de Novembro de 2008			
Início:	8h 30m			
Fim:	12h 30m			
Total (min):	240			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	9			
H	5			
M	14			
P	18			
Total	46	108,27	8.562.757	45%

Tabela 7-1: Resumo do processo de recolha dos dados relativos a nuvens de pontos capturadas no dia 11 de Novembro de 2008.

O rácio entre tempo de varrimento efectivo e o tempo de duração da sessão foi de 45%. Este rácio explica-se pela necessidade de deslocar o equipamento de estação em estação.

- Posteriormente ao levantamento por VL3DT, procedeu-se a um registo fotográfico para mapeamento sobre as nuvens de pontos. Foram realizadas duas sessões, uma no dia 11 de Novembro de 2008 e outra no dia 5 de Março de 2009. Os levantamentos fotográficos foram realizados com uma câmara fotográfica Olympus E-500 com sensor de 8Mp, montada sobre tripé. Previu-se a realização de imagens panorâmicas. As imagens foram registadas no formato *.jpg.
- O levantamento de campo de VL3DT, correspondente à segunda fase do levantamento, ocorreu no dia 28 de Abril de 2010 (figura 7-11).



Figura 7-11: Execução do levantamento de campo de VL3DT (2ª fase).

Foram capturadas 47 nuvens de pontos, mais 4 que o previsto. O tempo total em campo foi de 6 horas (tabela 7-2).

O rácio entre tempo de varrimento efectivo e o tempo de duração da sessão foi de 28%. Este rácio explica-se pela necessidade de deslocar o equipamento de estação em estação, e também pelo facto de algumas nuvens de pontos terem sido capturadas com a utilização de um mastro o que trouxe mais demora ao processo. A montagem e desmontagem do mastro em cada compartimento foi um processo que tornou a sessão um pouco mais lenta.

Especial cautela foi tida na circulação pelo interior dos compartimentos do piso superior uma vez que as abóbadas do piso inferior não se encontram escoradas e apresentam alguma degradação.

2ª Sessão - Interior do Palácio				
Data:	28 de Abril de 2010			
Início:	13h			
Fim:	19h			
Total (min):	360			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	0			
H	12			
M	36			
P	0			
Total	48	100,40	3.410.698	28%

Tabela 7-2: Resumo do processo de recolha dos dados relativos a nuvens de pontos capturadas no dia 28 de Abril de 2010.

- No mesmo dia em que se procedeu ao levantamento por VL3DT procedeu-se também a um registo fotográfico das superfícies interiores com o objectivo de mapeamento das nuvens de pontos. O levantamento fotográfico foi realizado com uma câmara fotográfica Olympus E-500 com sensor de 8Mp. As imagens foram registadas no formato *.jpg.
- Os vãos foram abertos na véspera da realização dos trabalhos e voltados a fechar no dia seguinte. Esta acção ficou a cargo do serviço de obras da CML.

Descrição dos dados recolhidos:

- No que respeita à topografia, foi-nos fornecida uma listagem com as coordenadas dos alvos no sistema cartográfico Datum 73 (tabela 7-3).

1	E1	-82601.333	-90575.636	52.171
2	E2	-82708.065	-90598.525	31.852
3	E3	-82672.674	-90471.470	70.643
4	E4	-82594.513	-90502.151	66.001
5	E5	-82595.135	-90523.196	61.292
6	Lz1	-82588.595	-90531.689	62.561
7	Lz2	-82603.651	-90527.588	63.427
8	Lz3	-82605.992	-90525.571	63.574
9	Lz11	-82628.302	-90523.491	63.763
10	Lz12	-82628.305	-90523.385	66.143
11	Lz13	-82628.305	-90520.282	65.763
12	Lz14	-82628.303	-90520.429	63.870
13	Lz17	-82633.660	-90516.927	64.430
14	Lz10	-82623.135	-90524.041	65.480
15	Lz9	-82616.713	-90524.116	65.878
16	Lz8	-82610.482	-90524.152	64.653
17	Lz14	-82621.264	-90517.166	64.110
18	Lz16	-82615.345	-90517.206	64.701
19	Lz4	-82611.830	-90516.463	64.066
20	Lz5	-82611.793	-90512.168	66.533
21	Lz6	-82602.521	-90513.058	63.349
22	Lz7	-82588.641	-90513.221	63.965
23	Lz5	-82611.831	-90512.137	66.542
24	Lz19	-82617.446	-90509.507	67.116
25	Lz8	-82610.509	-90524.116	64.664
26	Lz9	-82616.738	-90524.078	65.885
27	E6	-82650.534	-90424.301	78.030
28	E7	-82535.473	-90600.343	44.417
29	E8	-82674.271	-90538.453	57.340
30	Lz3	-82633.069	-90540.905	55.124
31	Lz26	-82631.357	-90540.917	56.787
32	Lz27	-82624.192	-90540.992	56.490
33	Lz28	-82622.999	-90540.994	54.551
34	Lz29	-82613.843	-90541.041	54.176

Tabela 7-3: Excerto da tabela com as coordenadas dos alvos topográficos no Datum 73.

Para além disso, foi-nos fornecida a planta com o levantamento topográfico da quinta associada a uma foto aérea, como se ilustra na figura 7-12.



Figura 7-12: Planta com o levantamento topográfico da Quinta de Valflores elaborado pelo topógrafo Gilberto Rola da CML.

- No que respeita a nuvens de pontos capturadas, faz-se a síntese na tabela 7-4.

PALÁCIO E QUINTA DE VALFLORES - RESUMO DE DADOS - NUVENS DE PONTOS							
Resolução	Tempo unitário (min)	Nº de nuvens de pontos por resolução	Tempo de scanning por sessão (min)	Tamanho dos dados por sessão (Kb)	Nº de nuvens de pontos por sessão	Sessão	Data
S	6,73	9	108,27	8.562.757	46	1ª Sessão	11-11-2008
H	3,37	17	100,40	3.410.698	48	2ª Sessão	28-04-2010
M	1,67	50					
P	0,42	18					
		94	208,67	11.973.455	94	Total final	

Tabela 7-4: Resumo dos dados relativos a nuvens de pontos.

No total das duas fases de levantamento, recolheu-se um total de 94 nuvens de pontos a que correspondeu aproximadamente 11.4Gb de dados. O tempo de varrimento efectivo foi de aproximadamente 3 horas e meia.

- Foram registadas 393 imagens fotográficas para mapeamento das nuvens de pontos, no formato *.jpg, 3264 x 2448 px, correspondendo a um total de 1,5Gb de dados.

PALÁCIO E QUINTA DE VALFLORES - RESUMO DE DADOS - FOTOS					
Nº de fotos	Tamanho total (Kb)	Formato	Câmara	Pasta	Descrição
50	198.105	*.jpg	Olympus E-500	..02_Valif_20081111_fotos_panoramas	Registo fotográfico elaborado para mapeamento das nuvens de pontos exteriores.
99	388.453	*.jpg	Olympus E-500	..02_Valif_20090305_fotos_panoramas	Registo fotográfico elaborado para mapeamento das nuvens de pontos exteriores.
244	974.968	*.jpg	Olympus E-500	..02_Valif_20100505_VL3D_2	Registo fotográfico elaborado para mapeamento das nuvens de pontos interiores.
393	1.561.526				

Tabela 7-5: Resumo dos dados relativos a registos fotográficos.

- No CD anexo a este volume pode ser consultada uma listagem completa dos dados recolhidos (003_Valif.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- Não houve desvios significativos a assinalar.

A.7.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- O processamento aqui descrito corresponde apenas aos dados recolhidos na primeira fase do levantamento. Numa primeira etapa pretendemos estudar a sequência de procedimentos desde a análise dados até à produção de um modelo 3D de nuvens de pontos, como base para a produção de documentação gráfica.

De seguida pretendemos explorar as qualidades desse modelo e o modo de extrair informação com relevância no contexto de uma eventual intervenção de conservação ou restauro.

- A sequência de etapas foi a seguinte: i) orientação relativa das nuvens de pontos, ii) georreferenciação, iii) montagem de imagens panorâmicas para mapeamento do modelo, iv) mapeamento de imagens sobre o modelo, v) análises exploratórias do modelo.

- A orientação relativa das nuvens de pontos é a operação que nos permite construir um modelo 3D coerente em que todas se encontram no mesmo sistema de coordenadas. Para o efeito tomámos por referência o sistema de coordenadas local da nuvem 05 (figura 7-8). De seguida, e de modo sequencial foram adicionadas nuvens de pontos àquele sistema de coordenadas. A operação de adição de uma nuvem de pontos ao referencial local adoptado, designa-se por orientação relativa. Primeiro o operador faz uma primeira aproximação manual à orientação relativa de cada nuvem de pontos através da identificação de um número mínimo de três pontos homólogos da nuvem fixa e da nuvem móvel.

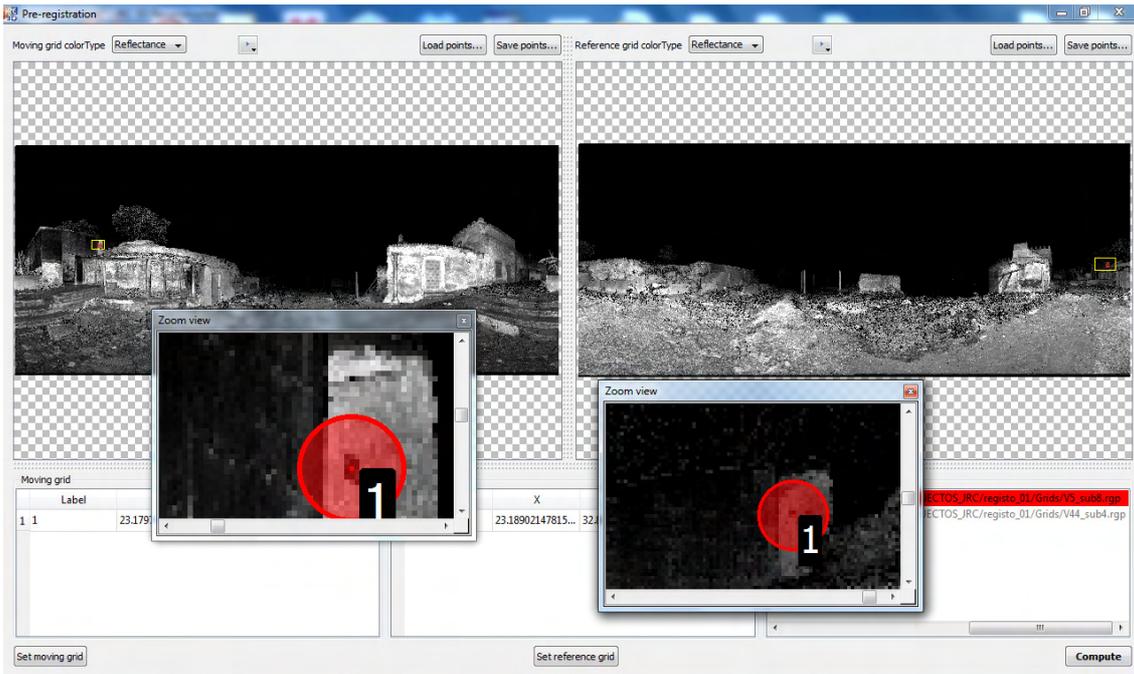


Figura 7-13: Identificação de pontos homólogos em duas nuvens de pontos, a 44 e a 05, uma das quais considerada como referência (05).

Após esta primeira operação o resultado é otimizado iterativamente de forma automática através da utilização do algoritmo ICP (Iterative Closest Point), conforme se ilustra na figura 7-14.

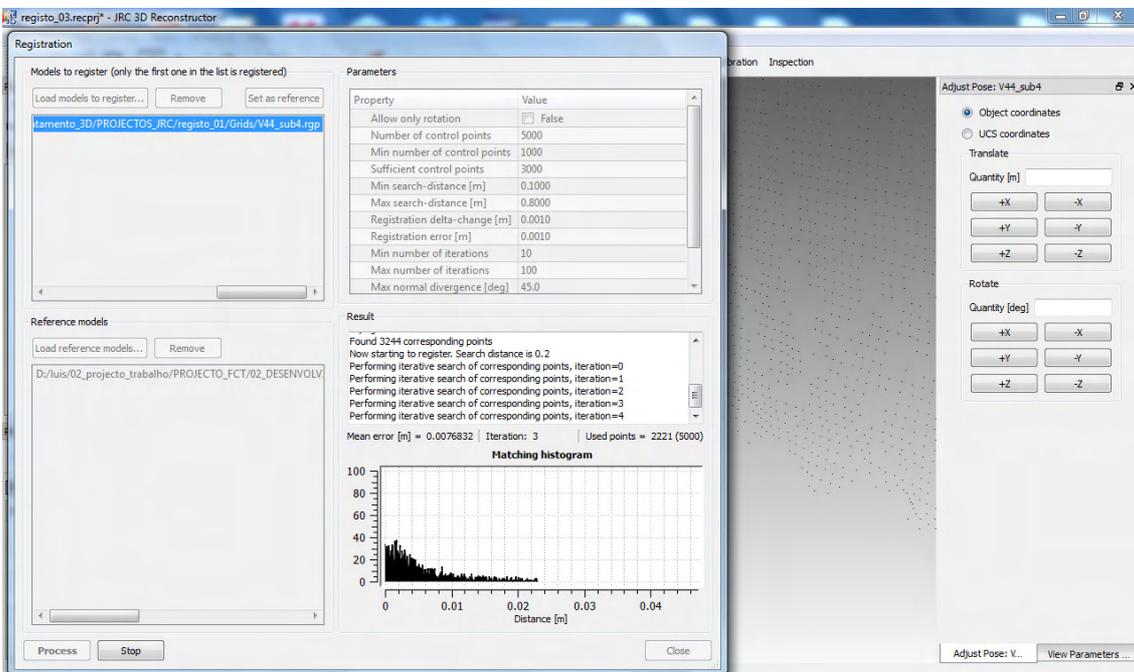


Figura 7-14: Otimização da orientação relativa da nuvem 44 através a aplicação do algoritmo ICP.

O indicador de qualidade da operação é o erro médio quadrático (em inglês: root mean square error – RMSE), como se ilustra na figura 7-15.

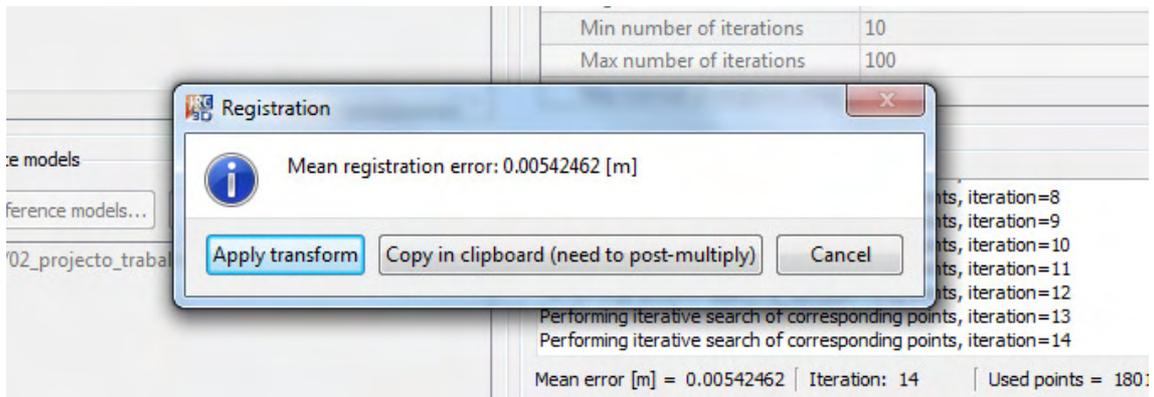


Figura 7-15: Resultado da otimização da orientação relativa.

Após a orientação da nuvem de pontos é-lhe atribuída uma posição que pode ser expressa de várias formas, sendo a forma matricial a mais expedita, conforme se ilustra na figura 7-16.

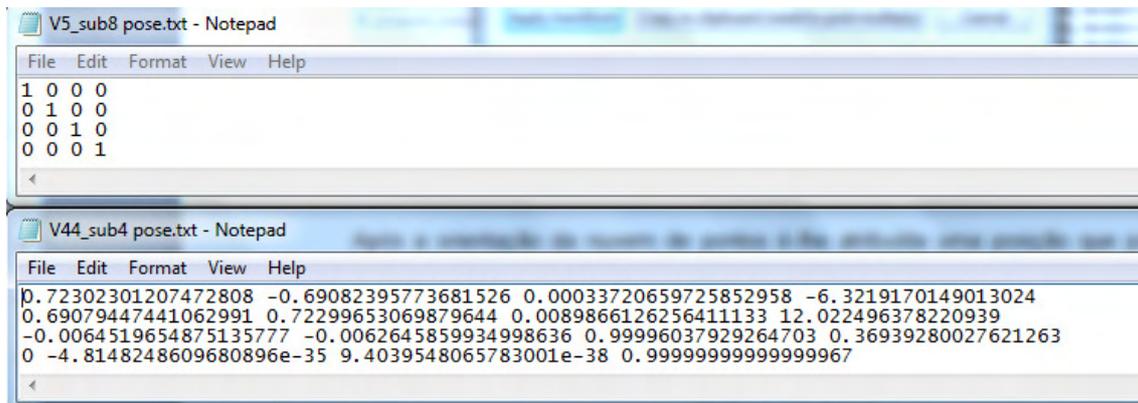


Figura 7-16: Em cima: matriz de posição da nuvem de referência (05). Em baixo: matriz de posição da nuvem móvel (44).

Foram contabilizadas 47 operações de orientação relativa sendo a média dos erros quadráticos médios aproximadamente igual a 5.3mm.

Após a todas as nuvens de pontos estarem orientadas temos então um modelo de nuvens de pontos, conforme se ilustra na figura 7-17. As nuvens de pontos apresentam a textura que trazem por omissão e que corresponde à intensidade do sinal de laser recebido pelo scanner.



Figura 7-17: Modelo de nuvens de pontos com mapeamento de intensidade.

- Após a etapa anterior procedeu-se à georreferenciação do modelo. Para efectuar a georreferenciação do modelo é necessário calcular uma transformação rígida que o coloque no Datum dado, neste caso o Datum 73. Os parâmetros dessa transformação são calculados em função das coordenadas homólogas dos alvos topográficos, determinados pelos processos topográficos e pelo processo do VL3DT.

Para o efeito, três operações têm de ser consideradas: i) extracção das coordenadas dos alvos no modelo de nuvens de pontos, ii) análise das coordenadas dada pela topografia e pelo VL3DT para despistar erros, iii) cálculo da transformação.

A extracção das coordenadas dos alvos no modelo de nuvem de pontos foi feita para todas as nuvens de pontos em que era possível identificar alvos. Dos 49 alvos materializados, não se conseguiram identificar três deles nas nuvens de pontos, dois por terem qualidade deficiente e um por ter ficado oculto pela vegetação.

Quatro alvos foram identificados em três nuvens de pontos; nove alvos foram identificados em duas nuvens de pontos e os restantes alvos foram identificados cada um numa nuvem de pontos. No caso dos alvos que foram identificados em mais que uma nuvem de pontos, tomou-se por coordenadas a média das coordenadas apuradas. A identificação de cada alvo é um processo manual, por limitação do software utilizado, que implicou: i) seleccionar um conjunto de pontos no plano do alvo, ii) ajustar um plano aos pontos seleccionados, iii) ajustar visualmente a posição do plano de modo a que o centro se aproxime o mais possível da posição pretendida. Na figura 7-18 ilustra-se este processo.

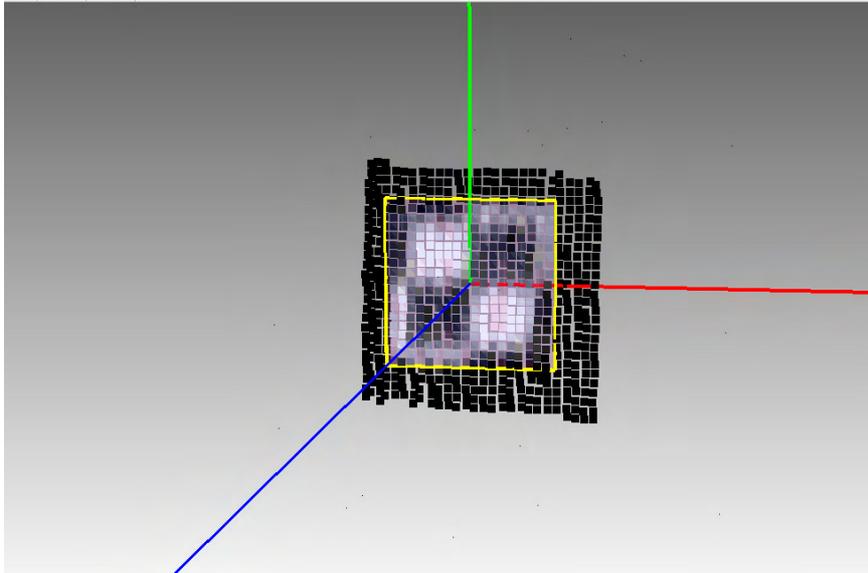


Figura 7-18: Exemplo da identificação de um alvo.

Na imagem da figura 7-19 podemos observar o modelo com os alvos identificados.



Figura 7-19: Modelo de nuvens de pontos com a identificação dos alvos.

De seguida procedeu-se à análise das coordenadas obtidas pelos dois processos. Foram calculadas distâncias homólogas entre os alvos. A comparação das distâncias homólogas permitiu detectar erros no levantamento topográfico. Com efeito, se a diferença entre duas distâncias homólogas ultrapassa 5cm, então provavelmente está-se na presença de erros. Um facto curioso da nossa análise é que permitiu perceber um erro de operador durante o processo de levantamento topográfico. Um conjunto de pontos visados a partir de uma dada estação apresentava um desvio dado por uma constante. Esta constante correspondia a uma altura de 1.6m (altura de bastão com

prisma retro reflector) considerada indevidamente dado os pontos estarem a ser visados diretamente e não com bastão. Adicionado aquele valor à coordenada Z dos pontos em causa, eliminou-se o erro. Para além desta questão eliminou-se um ponto com coordenadas erradas e excluíram-se dois pontos que apareciam com designações duplicadas.

Verificou-se ainda que na nossa preparação houve uma omissão na designação de um ponto.

Após esta análise apurou-se uma listagem de 45 pontos homólogos com base nos quais se calculou a transformação de georreferenciação, com um erro médio quadrático de 2.5cm, conforme se ilustra na figura 7-20.

	Match	Error [m]
1	Lx01: (-1.0254000000000001, -10.6708, -0.2442) - Lx01: (46.4050000000000001, 13.311, -0.439)	0.122949676376810972
2	Lx02: (-9.2200000000000006, 2.6288999999999998, 0.44240000000000002) - Lx02: (31.349, 17.4119999999999999, 0.4269999999999999)	0.020101689994647864
3	Lx03: (-9.5475999999999999, 5.7028999999999999, 0.56179999999999997) - Lx03: (29.0079999999999999, 19.4289999999999998, 0.57399999999999995)	0.02062121300308078
4	Lx04: (-7.5903999999999998, 16.3496999999999999, 0.96879999999999999) - Lx04: (23.1700000000000002, 28.5369999999999999, 1.06600000000000001)	0.12752989948439089
5	Lx05: (-4.6405000000000003, 19.4845000000000001, 3.43230000000000001) - Lx05: (23.2070000000000001, 32.8320000000000001, 3.53299999999999999)	0.038605586590512394
6	Lx06: (1.5414000000000001, 12.4712, 0.3407) - Lx06: (32.4789999999999999, 31.942, 0.34899999999999998)	0.033157070545009929
7	Lx07: (11.5574999999999999, 2.86209999999999999, 1.11111) - Lx07: (46.3590000000000002, 31.779, 0.96499999999999997)	0.122060791225452601
8	Lx08: (-11.8659, 9.8163, 1.5908) - Lx08: (24.5180000000000001, 20.8479999999999999, 1.653)	0.021598867011267898
9	Lx09: (-16.3974000000000001, 14.1133000000000001, 2.7521) - Lx09: (18.2869999999999999, 20.884, 2.87800000000000001)	0.02289008856607372
10	Lx10: (-21.0367, 18.5549, 2.2751999999999999) - Lx10: (11.865, 20.959, 2.48)	0.025167482070054201
11	Lx11: (-24.4139000000000002, 22.4725, 0.48209999999999997) - Lx11: (6.69800000000000004, 21.509, 0.76300000000000001)	0.02860546052000086
12	Lx12: (-24.3628, 22.5787000000000001, 2.86140000000000002) - Lx12: (6.69500000000000003, 21.6149999999999998, 3.14299999999999998)	0.03434138895114138
13	Lx13: (-22.2395, 24.8403999999999999, 2.47739999999999998) - Lx13: (6.69500000000000003, 24.718, 2.76299999999999999)	0.033080960274815965
14	Lx14: (-22.3216, 24.7087, 0.58289999999999997) - Lx14: (6.69700000000000001, 24.5710000000000002, 0.87)	0.02847515040836289
15	Lx15: (-14.9502000000000001, 22.2821, 0.91310000000000002) - Lx15: (13.7360000000000001, 27.834, 1.11000000000000001)	0.038018684751529118

Figura 7-20: Excerto do relatório de cálculo da transformação de georreferenciação.

Completada esta operação, ficou o modelo preparado para a extracção de informação e exploração.

No sentido de verificar a coerência do modelo foi ainda realizado um conjunto de testes adicionais. Foram ensaiadas quatro transformações de orientação do modelo considerando conjuntos de pontos de referência visados de apenas uma estação topográfica. Em nenhuma das quatro transformações o erro médio quadrático ultrapassou os 10mm.

- De seguida procedeu-se à produção de imagens panorâmicas para mapeamento das nuvens de pontos. Estas foram produzidas com o software Hugin. Esta aplicação calcula automaticamente as transformações necessárias para orientar e reprojectar as varias imagens dando origem a uma única imagem composta. A figura 7-21 ilustra a pré visualização de um dos panoramas produzidos.

No total foram produzidos 6 panoramas, exportados no formato *.tif, correspondendo a aproximadamente 617Mb de dados.

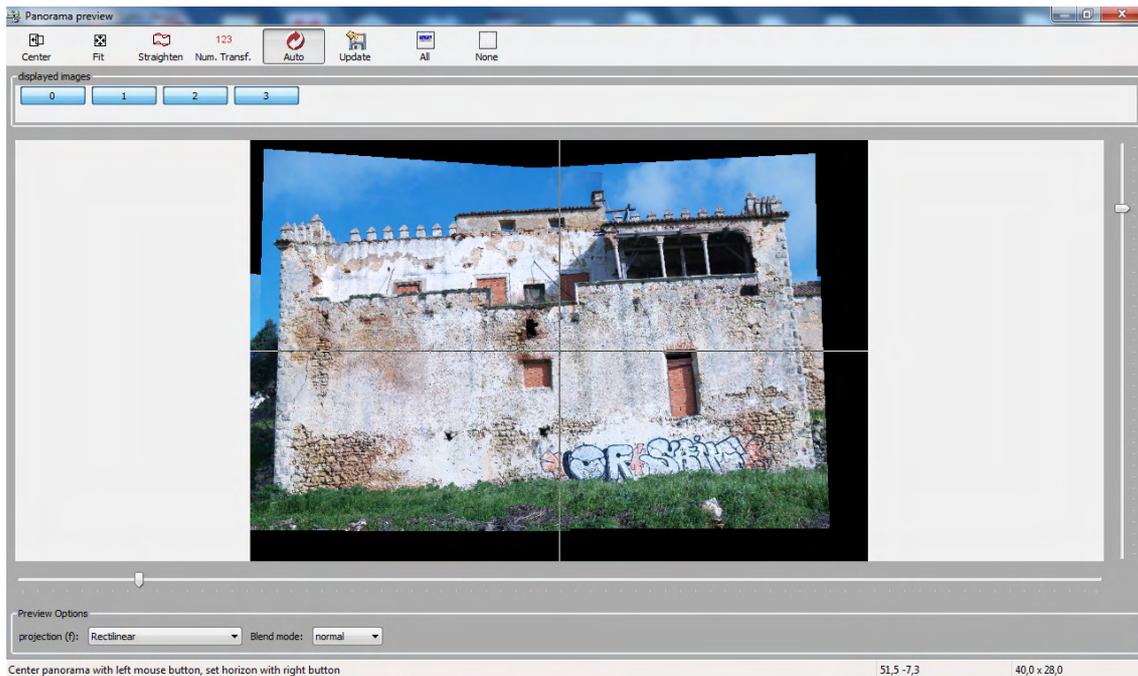


Figura 7-21: Pré visualização de panorama obtido a partir de 4 imagens.

- De seguida procedeu-se ao mapeamento das nuvens de pontos, operação realizada com o software JRC 3D Reconstructor v.2.5. Esta operação implica a identificação de pontos homólogos (figura 7-22) na imagem e na nuvem de pontos, num mínimo de 11.

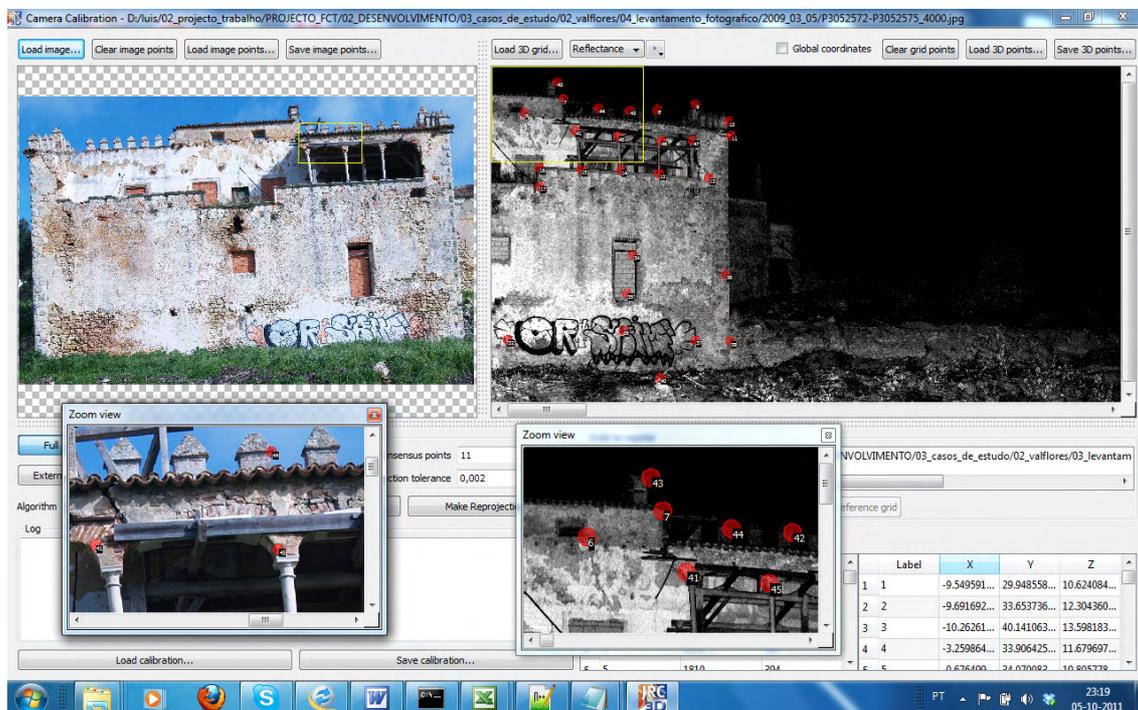


Figura 7-22: Identificação de pontos homólogos na nuvem de pontos (à direita) e na imagem (à esquerda) para a calibração da imagem.

Com base nesta correspondência entre pontos são calculados os parâmetros de calibração da imagem, gravados num ficheiro de texto, e é produzida uma nova imagem com a distorção corrigida, e é definido um projector da imagem sobre o modelo 3D, conforme se ilustra na figura 7-23.

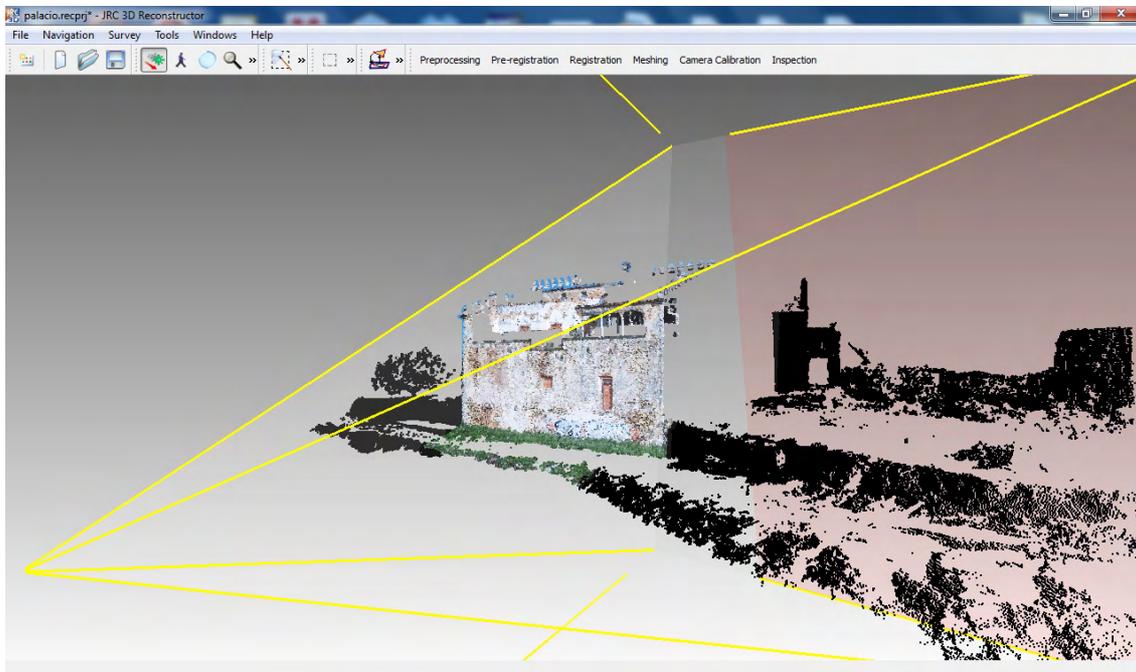


Figura 7-23: Projector da textura sobre as nuvens de pontos.

Uma das formas de otimizar a projecção é converter a nuvem de pontos numa malha triangulada. Assim, em vez de se ter a cor projectada sobre pontos, tem-se a cor projectada sobre superfície havendo um maior aproveitamento da textura. O processo de produção da malha triangulada é automático, porém requer alguma edição posterior para preencher vazios.

Através deste processo é possível produzir um modelo texturado.

- A partir deste momento procedemos a um conjunto experiências exploratórias do modelo disponível que passaram por: i) extracção de secções, ii) análise icónica da fachada sul, iii) produção de vídeos, iv) análise das deformações do plano da fachada sul.

A extracção de secções é uma operação que passa pela condução de planos orientados de acordo com o resultado pretendido. O plano pode ser definido com a extensão pretendida e facilmente orientado, conforme se ilustra na imagem da figura 7-24.

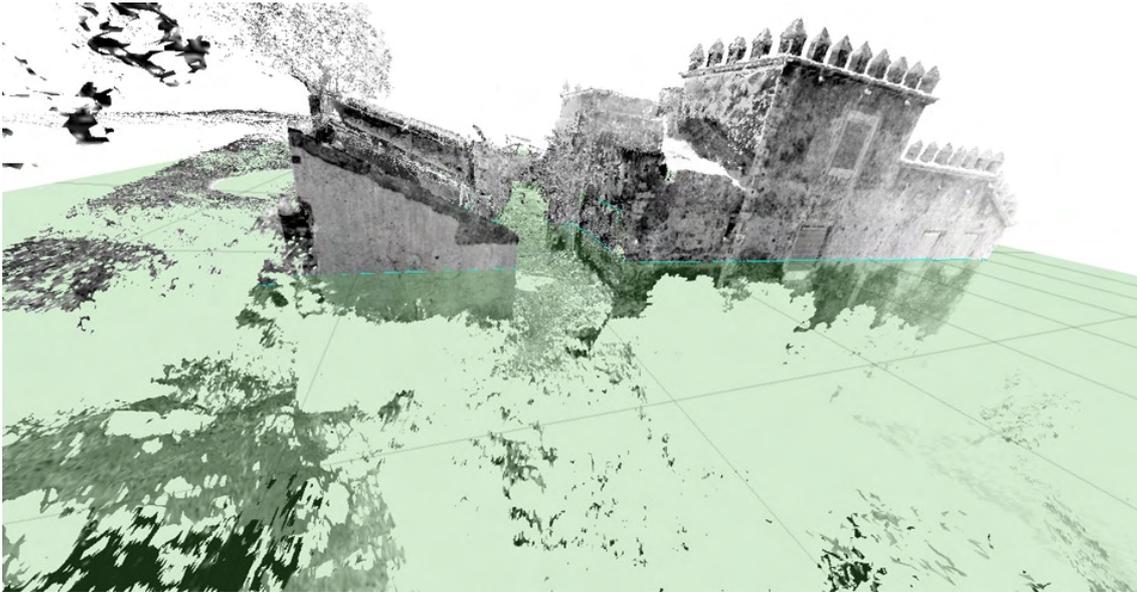


Figura 7-24: Orientação de um plano de secção.

A secção produzida pode ser exportada num formato vectorial, por exemplo *.dxf, e importada através de um software de CAD, conforme se ilustra na figura 7-25.



Figura 7-25: Exportação da secção em bruto no formato *.dxf.

Da mesma forma que se pode obter uma secção isolada, é igualmente possível extrair de modo praticamente automático um conjunto de secções produzidas por planos paralelos entre si, conforme se pode observar na figura 7-26. Para o efeito é necessário orientar um plano de referência, definir um valor para a equidistância das secções e o número de secções pretendidas. Com estes dados, aquelas são geradas automaticamente.

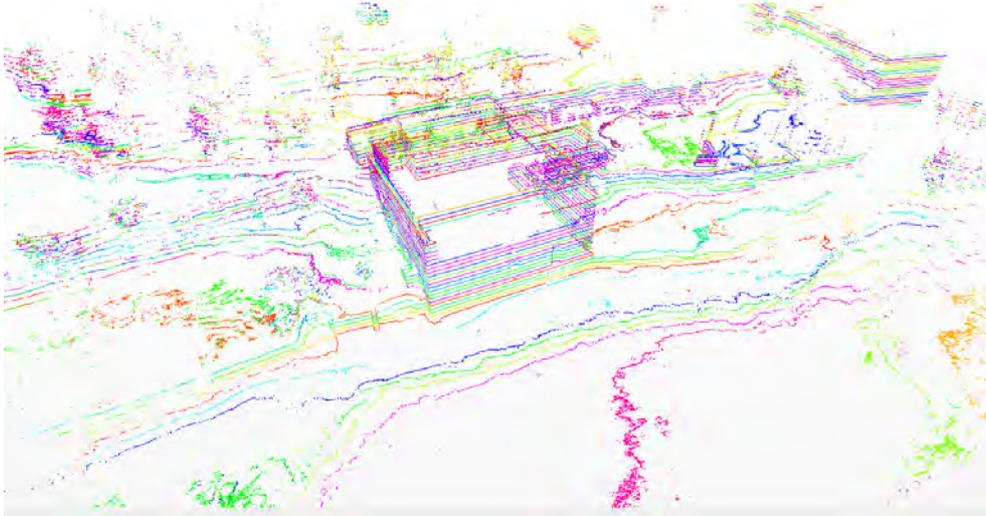


Figura 7-26: Resultado do seccionamento múltiplo do modelo.

As orto-imagens que se podem exportar a partir do modelo são também um suporte com utilidades variadas. O exemplo ilustrado na figura 7-27 corresponde a uma análise da métrica da fachada principal do palácio em que se concluiu que a estrutura métrica de parte da fachada se baseia no palmo de 22cm.

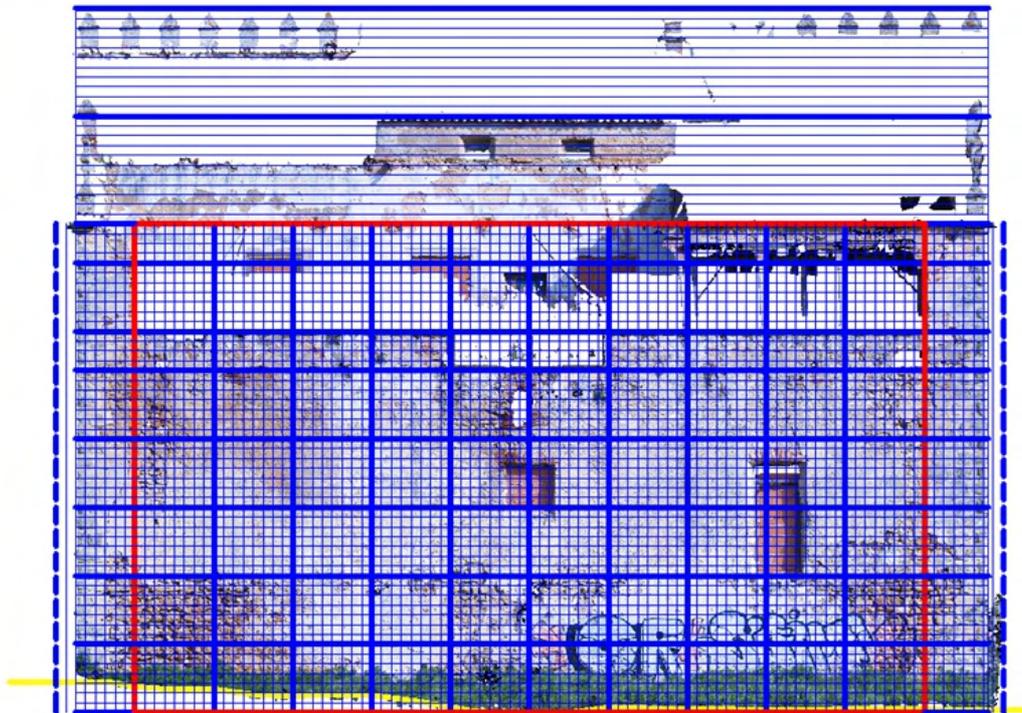


Figura 7-27: Análise icónica da fachada sul do Palácio.

A fiabilidade métrica dos dados traduz-se na confiança com que se pode aceitar aquela conclusão.

Outra forma de utilizar o modelo é para a produção de animações. As imagens das figuras 7-28 e 7-29 foram retiradas de sequências de vídeo do modelo.



Figura 7-28: Sequência de imagens de animação do modelo texturado com inserção da topografia.



Figura 7-29: Sequência de imagens de animação do modelo texturado com inserção da topografia através das curvas de nível.

Face à representação extensiva da geometria do objecto, os modelos de VL3DT são uma fonte de informação para a análise das deformações. Considerámos dois procedimentos para analisar as deformações da fachada principal do palácio: i)

através de uma seqüência de secções produzidas por planos verticais aproximadamente paralelos ao plano da fachada (figura 7-30), e ii) através da produção de mapas de profundidades relativamente a um plano vertical de referência (figura 7-31).

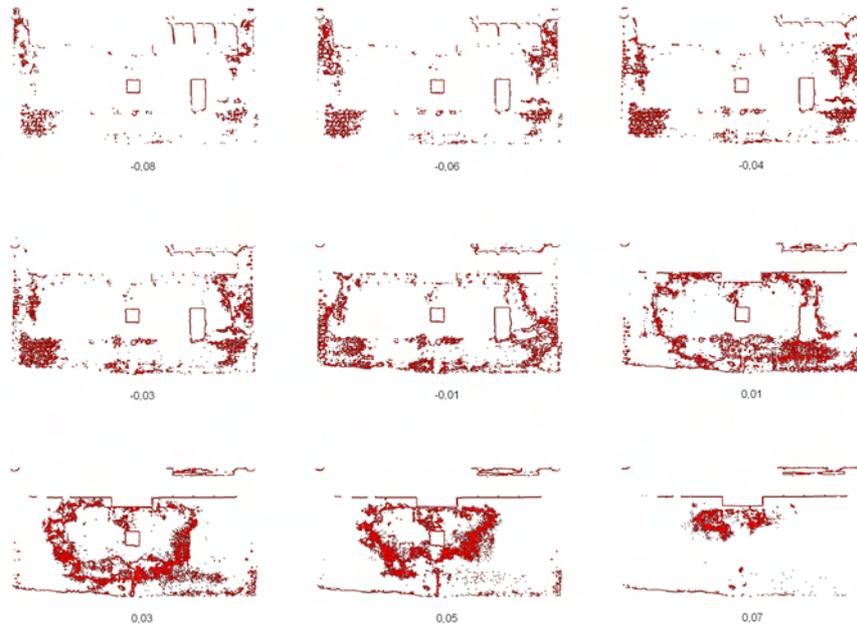


Figura 7-30: Sequência de secções produzidas na fachada por um plano vertical passante por dois alvos topográficos.

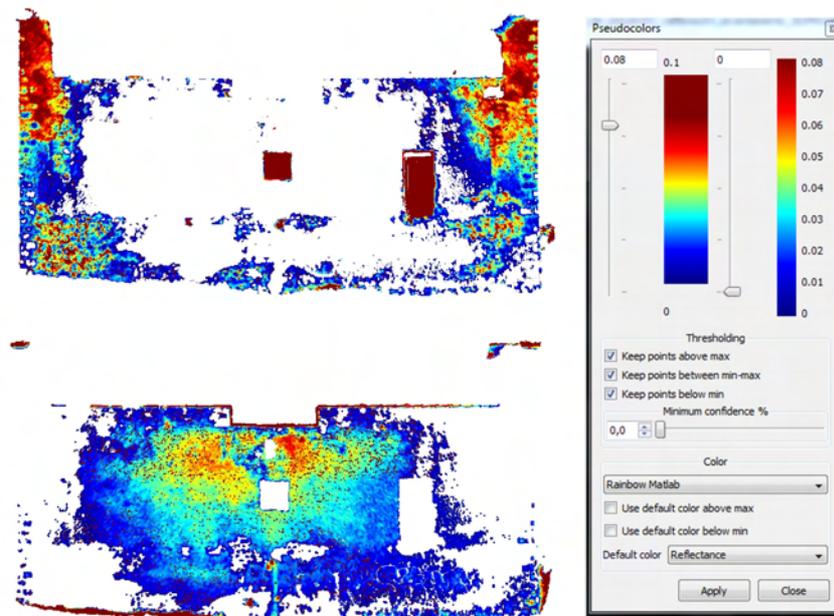


Figura 7-31: Visualização das deformações através de mapas de profundidade. Em cima: deformações para lá do plano de referência. Em baixo: deformações para cá do plano de referência. À direita: escala cromática das deformações.

Nesta última forma de representação, um código de cores permite-nos perceber o afastamento da superfície em relação ao plano de referência, para um lado e outro deste.

A.7.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Não aplicável.

Desvio em relação às previsões:

- Não aplicável.

A.7.3. ANÁLISE CRÍTICA

Este caso de estudo correspondeu ao nosso primeiro contacto prático com o processo do VL3DT desde o planeamento até ao processamento e exploração do modelo.

- No processo de planeamento foi fundamental um reconhecimento prévio do local. Foi este que permitiu avaliar toda uma série de questões sensíveis para o desenvolvimento dos trabalhos de levantamento e documentação. Estas prenderam-se com a avaliação da segurança, avaliação das acessibilidades, e gestão dos processos de autorização. Os aspectos relacionados com a limpeza e acessibilidade dos locais a registar são vitais para o sucesso ou insucesso do trabalho, em particular numa situação em que se utilizam métodos indirectos de levantamento que registam dados de forma indiscriminada.

O facto de se dispor de alguma documentação gráfica prévia facilitou o processo de planeamento. Esta documentação serviu como base para o registo das acções a realizar e das acções de facto realizadas.

Verificámos que foi da maior importância ter procedido ao planeamento no local. Só assim foi possível considerar as condições reais como o relevo, as oclusões provocadas pela vegetação, os caminhos percorriáveis. No essencial, e no que respeita ao VL3DT, o planeamento consistiu em definir as várias posições de estação do equipamento de varrimento. Esta definição fez-se através da nossa colocação na posição preconizada para o equipamento e, aí colocados, através da antevisão do campo de visão do mesmo. Há uma analogia entre aquilo que nós observamos será aquilo que o equipamento registará. Nesta fase é também importante ter uma noção das distâncias às superfícies a registar, dado que este parâmetro é determinante na

definição da densidade da nuvem de pontos e respectivo espaçamento entre pontos na superfície.

A estimação das várias posições de estação do equipamento de VL3DT permite-nos estruturar o planeamento da sequência de processamento dos dados. Deve ter-se em atenção que um conjunto, o mais reduzido possível, de nuvens de pontos deverá definir o esqueleto do modelo base, e que as restantes nuvens de pontos deverão ser acopladas a este modelo a partir do momento em que este se encontre estabilizado.

A definição das densidades para as nuvens de pontos, permite-nos calcular o tempo de varrimento efectivo e com isso a duração dos trabalhos de recolha de dados. Para além disso permite fazer uma gestão de cargas das baterias do equipamento.

Os rácios que apurámos na relação entre tempo de varrimento laser efectivo e tempo dispendido em campo, 45% na primeira fase e 28% na segunda fase, permitem-nos compreender a influência das condições de acessibilidade e da utilização de diferentes plataformas no rendimento dos trabalhos. Para além disso, estes valores constituem-se como indicadores preciosos para o planeamento de acções futuras. Em ambos os casos, estamos convencidos que a não ter havido planeamento prévio, aqueles rácios seriam bastante inferiores, isto é, na globalidade a recolha de dados demoraria muito mais tempo.

O carácter visual de parte da avaliação dos resultados do processamento das nuvens de pontos, ao contrário do que acontece com a topografia, permite que esta qualidade seja utilizada como instrumento de controlo e despiste de erros grosseiros. Com efeito a comparação das coordenadas dos alvos obtidas pela topografia e as homólogas obtidas pelo varrimento laser (estes últimos visualmente verificáveis) permitiu constatar a existência de erros no levantamento topográfico. Aqueles erros que eram de natureza sistemática puderam ser corrigidos.

O levantamento topográfico de apoio serviu-nos apenas para a georreferenciação do modelo de VL3DT, tomando o erro médio quadrático da transformação como o indicador da qualidade do processo de levantamento. O valor obtido, cerca de 2.5cm, parece-nos ligeiramente acentuado. Experiências adicionais em que orientámos partes do modelo tomando por referencia pontos que apenas foram visados a partir de uma estação topográfica, nunca deram origem a erros superiores a 10mm o que significa, em nossa opinião, que a responsabilidade de parte do erro obtido se deve também às qualidades do levantamento topográfico.

Os levantamentos topográficos realizados foram dissociados do levantamento por VL3DT. Isto é, foram realizados a partir de posições distintas das posições de estação do equipamento de varrimento, e em alguns casos em dias distintos. Este facto implica o efeito de paralaxe aquando do mapeamento das imagens sobre o modelo. Uma

forma de resolver este problema foi através da utilização de imagens produzidas de pontos de vista complementares. A montagem de panoramas para o mapeamento das nuvens de pontos permitiu reduzi-las em número.

- O facto de se dispor de um modelo tridimensional garante-nos a liberdade de conduzir as secções por onde se pretende de um modo bastante flexível.

Por essa razão, a inquirição do objecto arquitectónico por esta via torna-se viável. Isto é, as questões levantadas pela leitura de uma secção podem ser respondidas pela leitura de outras. A teia que se pode gerar não tem limites dado que o processo de extracção de secções, após orientação do plano por parte do operador, é totalmente automático. Por outro lado, a natureza quase contínua do modelo de nuvem de pontos garante que a informação que se obtém traduz de forma verosímil a variação da geometria da forma.

Do ponto de vista de uma possível produção de documentação base projecto de arquitectura, consideramos que as secções extraídas do modelo, e ainda em bruto, podem desde logo constituir-se como um suporte para o desenvolvimento da etapa conceptual do projecto. Isto significa que logo numa fase muito preliminar do processo de levantamento é possível disponibilizar materiais, que embora ainda não editados, assumem um carácter de utilidade.

A geração de múltiplas secções permite uma aproximação à representação do terreno por meio de curvas de nível. Mais uma vez, a quase continuidade do modelo transparece aqui como um factor distintivo. Se uma superfície não tem grande variação de textura, uma secção é praticamente linear. Por outro lado, se a superfície apresentar uma textura acentuada e irregular, essa característica transparece na configuração da secção que tende a ser percebida quase como mancha.

As orto-imagens podem constituir-se como um suporte adequado a vários tipos de análises. Neste caso ensaiámos uma análise icónica do objecto que nos permitiu tirar algumas conclusões acerca da sua métrica compositiva. Pensamos que as qualidades das orto-imagens as podem tornar também adequadas à análise construtiva e à análise do estado de conservação, embora nestes casos, consideremos que não se deve dispensar a leitura das superfícies no local. Porém, do ponto de vista métrico, poderão servir para quantificar os elementos construtivos e as formas de degradação.

As animações, que consideramos de valor reduzido para a conservação propriamente dita, podem no entanto ser um veículo interessante para a divulgação e visita virtual do objecto, por exemplo em situações que não seja desejável a sua visita directa, como é o caso quando se colocam questões de segurança.

Um factor distintivo das metodologias que se apoiam nos métodos indirectos de levantamento é tenderem para uma representação extensiva do objecto. Esta permite

capturar todas aquelas qualidades que têm expressão pela variação subtil da forma. A análise das deformações do plano da fachada principal, que efectuámos (figuras 7-30 e 7-31), permite-nos ler várias anomalias no objecto. Podemos ler: as ausências de argamassas de revestimento, o abaulamento do paramento que assume maior expressão ao centro e em cima, a profundidade dos planos dos vãos, o nível de irregularidade e textura das superfícies. Por outro lado estes aspectos assumem carácter qualitativo e quantitativo. Pensamos que este tipo de materiais poderá assumir grande relevância para o processo de projecto de restauro e reabilitação do imóvel.

A.7.4. CONCLUSÕES

- Concluimos que o planeamento é uma acção fundamental para garantir o sucesso das operações de levantamento e processamento dos dados.
- Demonstrámos que é fundamental que o planeamento seja feito no local de modo a poder ser percebidos e antevistos os reais constrangimentos que possam ocorrer.
- Verificámos que a utilização de sistemas redundantes (VL3DT e topografia) permitiu a avaliação das qualidades métricas do processamento do levantamento por VL3DT.
- Demonstrámos que a metodologia de processamento e orientação das nuvens de pontos através do algoritmo ICP e sem recurso à topografia permite gerar um modelo tridimensional globalmente coerente e fiável.
- Demonstrámos que o VL3DT permite gerar uma quantidade de dados muito elevada que permite caracterizar o objecto de forma extensiva e a partir da qual é possível obter informação variada para aumentar o conhecimento do objecto, o que é fundamental em contexto de Conservação e Restauro.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 8-1: Paços do Infante, incluindo Claustro da Lavagem (à esquerda) e casa em ruínas no Pátio dos Carrascos (à direita), no Convento de Cristo em Tomar.....	269
Figura 8-2: Planta do Convento de Cristo de 1961. Fonte: SIPA (www.monumentos.pt).....	270
Figura 8-3: Exemplo de desenho do levantamento topográfico existente dos Paços do Infante, realizado em 2001. Corte Oeste/Este passando pelos Paços do Infante.	271
Figura 8-4: Exemplo de desenho do levantamento efectuado pela Estereofoto. Corte Este/Oeste passando pelo Claustro da Lavagem. Note-se que exclui os Paços do Infante.	271
Figura 8-5: Base para planeamento do levantamento – Paços do Infante e Claustro da Lavagem.	277
Figura 8-6: Base para planeamento do levantamento – Pátio dos Carrascos.	278
Figura 8-7: Desenho de planeamento efectuado em campo – Paços do Infante.....	278
Figura 8-8: Desenho de planeamento final – Paços do Infante.	279
Figura 8-9: Dois alvos afixados em paramentos nos Paços do Infante.	280
Figura 8-10: Estação topográfica materializada no terreno por meio de cavilha cravada no solo (esquerda) e materializada por marcação com tinta sobre uma pedra de pavimento (direita).	285
Figura 8-11: Posicionamento dos vértices da poligonal por processos topográficos.	285
Figura 8-12: Scanner colocado sobre tripé.....	286
Figura 8-13: Folha de planeamento utilizada em campo para registar o decorrer das acções de levantamento.	287
Figura 8-14: Folha de planeamento com o registo do tempo estimado de realização dos trabalhos. Utilizada em campo para registar a sequência das acções de levantamento.....	287
Figura 8-15: Alvos caídos aquando da campanha de varrimento laser 3D.....	290
Figura 8-16: Desenho da poligonal topográfica de apoio e alvos topográficos de apoio.	290
Figura 8-17: Fases do processamento de uma nuvem de pontos até que fique pronta a ser orientada.....	293
Figura 8-18: Alvo 26 identificado e posicionado na nuvem de pontos D16.....	294
Figura 8-19: Imagem da nuvem de pontos D16 capturada no centro do Claustro da Lavagem.....	295
Figura 8-20: Aproximação manual à orientação da nuvem D15 tendo por referência a nuvem D16.....	295
Figura 8-21: Impressão de ecrã durante a optimização da orientação relativa com a aplicação do ICP.....	296
Figura 8-22: Visualização dos alvos no modelo de nuvens de pontos.....	297

Figura 8-23: Erro verificado na orientação relativa (à esquerda) e a situação corrigida após nova orientação relativa (à direita).....	298
Figura 8-24: Zona do jardim (à esquerda) e Paços do Infante (à direita). Estas duas zonas adjacentes comunicam por meio de janelas.....	298
Figura 8-25: Visualização do modelo de nuvens de pontos dos Paços do Infante.....	301
Figura 8-26: Comparação entre dados base do tipo vectorial (à esquerda) e do tipo raster (à direita).....	302
Figura 8-27: Comparação entre os mapeamentos de reflectância (à esquerda), confiança (ao centro), e inclinação (à direita) da nuvem G04, projectados num plano de corte.....	303
Figura 8-28: Diferenças nas qualidades das imagens em função da sua resolução espacial.....	304
Figura 8-29: As várias peças desenhadas colocadas espacialmente.....	305
Figura 8-30: Vista do modelo de nuvem de pontos da ruína do Pátio dos Carrascos.....	307
Figura 8-31: Visualização das várias peças desenhadas colocadas espacialmente.....	308
Figura 8-32: Exemplo de layout de impressão.....	308
Figura 8-33: A utilização dos desenhos bidimensionais do levantamento do Pátio dos Carrascos para a produção de um modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).....	314
Figura 8-34: A utilização dos desenhos bidimensionais do levantamento do Pátio dos Carrascos para a produção de um modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).....	314
Figura 8-35: Visualização do modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).....	315
Figura 8-36: Visualização do modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).....	315
Figura 8-37: Visualização de desnível entre dois espaços adjacentes não comunicantes.....	316
Figura 8-38: Desfasamento posicional entre o nosso levantamento e os levantamentos fornecidos.....	317
Figura 8-39: Maior nível de discretização do levantamento topográfico relativamente ao levantamento por varrimento laser.....	318
Figura 8-40: A simplificação dos ângulos e a incorrecta representação de detalhes.....	319
Figura 8-41: A simplificação dos ângulos e a incorrecta representação de detalhes.....	319
Figura 8-42: A correcta representação das estereotomias.....	320
Figura 8-43: Corte/Alçado do paramento dos Paços do Infante orientado a nascente – levantamento topográfico de 2001.....	321
Figura 8-44: Corte/Alçado do paramento dos Paços do Infante orientado a nascente – levantamento por varrimento laser de 2009.....	321

LISTA DE TABELAS

Tabela 8-1: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos dos Paços do Infante.	288
Tabela 8-2: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos do Pátio dos Carrascos.....	289
Tabela 8-3: Tratamento dos dados topográficos.....	292
Tabela 8-4: Coordenadas dos alvos no referencial da nuvem D16 (à esquerda) e no referencial Datum 73 a menos de uma translação (à direita).	297
Tabela 8-5: Coordenadas dos alvos no modelo de nuvens de pontos após a georreferenciação (à esquerda) e após a correcção da orientação relativa (à direita).	299
Tabela 8-6: Comparação das coordenadas dos alvos topográficos após a nova orientação relativa, com as coordenadas topográficas homólogas.....	300
Tabela 8-7: Comparação entre coordenadas dos alvos após cálculo da nova georreferenciação.	300
Tabela 8-8: Matriz da transformação da nova georreferenciação (que não foi aplicada).	301
Tabela 8-9: Comparação das coordenadas dos alvos topográficos após a nova georreferenciação (não adoptada), com as coordenadas topográficas homólogas.	301
Tabela 8-10: Coordenadas dos alvos no referencial da nuvem A07 (à esquerda) e no referencial Datum 73 a menos de uma translação (à direita).	306
Tabela 8-11: Comparação das coordenadas dos alvos topográficos, após a georreferenciação, com as coordenadas homólogas do modelo de varrimento laser 3D.	306

ÍNDICE

A.8 LEVANTAMENTO DOS PAÇOS DO INFANTE E PÁTIO DOS CARRASCOS, CONVENTO DE CRISTO, TOMAR 267

A.8.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	268
A.8.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	268
A.8.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	272
A.8.1.2.1.	OBJECTIVOS.....	272
A.8.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER.....	272
A.8.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	273
A.8.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	274
A.8.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	275
A.8.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	281
A.8.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	284
A.8.2.1.	RECOLHA DE DADOS.....	284
A.8.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	291
A.8.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	308
A.8.3.	ANÁLISE CRÍTICA	309
A.8.4.	CONCLUSÕES.....	322

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

O Convento de Cristo está inscrito como património mundial da UNESCO desde 1983 (www.igespar.pt).

Os Paços do Infante são hoje uma zona em ruína no Convento de Cristo em Tomar. Trata-se uma área não acessível ao público em geral dado o seu estado de ruína o que implicaria riscos de segurança. Porém é visualmente acessível a partir do piso superior do Claustro da Lavagem que lhe é adjacente. O piso inferior deste claustro também não é acessível ao público em geral. Uma parte dos Paços do Infante foi ocupada durante o século XX como bar de oficiais, já que uma das ocupações desta zona foi feita por militares.

O Pátio dos Carrascos é uma zona do Convento de Cristo igualmente não acessível ao público em geral. Situa-se a poente do Claustro dos Corvos e a sul das Necessárias. Actualmente esta zona funciona como acesso de serviço ao Convento de Cristo,

No contexto do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006 o IGESPAR solicitou que se procedesse à documentação destas duas áreas. Dado tratar-se de acções no âmbito de um projecto de investigação de que ambas as entidades envolvidas, a FAUTL e o IGESPAR, são parceiras, todos os custos relacionados foram integrados no mesmo.

A documentação a produzir deveria servir essencialmente como base para a elaboração de dois projectos de arquitectura.

No caso dos Paços do Infante, o IGESPAR pretende instalar aí a nova recepção do Convento de Cristo. Actualmente esta funciona entre o Claustro da Lavagem, o Claustro do Cemitério e a Charola, em condições precárias de acesso, em particular para pessoas com mobilidade condicionada. Integrado neste projecto pretende-se ainda integrar a parte inferior do Claustro da Lavagem no circuito de visita do Convento, reestruturando-o, bem como a musealização do seu conteúdo.

No caso do Pátio dos Carrascos, pretende-se reabilitar a casa em ruínas dando-lhe o uso de cafetaria e restaurante, fazendo desta área o final do circuito de visita do Convento, ficando este assim alargado em relação ao circuito actual.

Logicamente pretende-se ainda sustentar a degradação destas duas zonas.

Estas duas áreas, embora espacialmente distintas, serão tratadas em comum porque fizeram parte de um processo único de documentação ao nível do planeamento.

Na primeira discussão preparatória com o IGESPAR, que decorreu no dia 8 de Janeiro de 2009, apontou-se que o método do varrimento laser 3d seria o mais adequado à documentação das zonas acima referidas e que, em traços muito gerais, deveria obedecer a quatro etapas: i) avaliação inicial, recolha de informação existente e planeamento, ii) levantamento topográfico de apoio a assegurar pelo IGESPAR caso não exista, iii) levantamento de campo – aquisição de nuvens de pontos, e iv) processamento dos dados de campo e produção de plantas, cortes e alçados, uma vez que foi desde logo manifestada a necessidade deste tipo de bases. Após esta discussão inicial ficou agendada uma visita ao local para reconhecimento prévio que ocorreu a 6 de Fevereiro. Posteriormente o IGESPAR forneceu um conjunto de documentação prévia que permitiu o início do planeamento dos trabalhos.

Do ponto de vista da nossa investigação, pretendemos estudar os procedimentos metodológicos do varrimento laser 3D desde a etapa de planeamento do levantamento até à etapa de processamento dos dados e produção da documentação final. Procurámos perceber o encadeamento das várias acções e a implicação de umas nas outras. Procurámos entender de que forma os materiais produzidos são utilizados em projecto de Arquitectura, e discutir formas de otimizar a produção de informação base. Em suma, procurámos começar a traçar os termos para uma metodologia de documentação baseada no varrimento laser.

A.8.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.8.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA
--

Identificação e localização do sítio:

- Paços do Infante, incluindo o Claustro da Lavagem, e casa em ruínas no Pátio dos Carrascos, no Convento de Cristo em Tomar (figura 8-1).



Figura 8-1: Paços do Infante, incluindo Claustro da Lavagem (à esquerda) e casa em ruínas no Pátio dos Carrascos (à direita), no Convento de Cristo em Tomar.

Entidade contratante:

- IGESPAR, como entidade parceira, no contexto do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006 “Contributos para a Conservação do Património: Metodologia Documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres”.

Entidade contratada:

- FAUTL, como entidade parceira, no contexto do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Necessidade de documentação base para a elaboração do projecto da nova recepção do Convento de Cristo a instalar nos Paços do Infante.
- Necessidade de documentação base para a elaboração do projecto da nova cafetaria a instalar na casa em ruína situada no Pátio dos Carrascos.
- Esta necessidade deriva da não adequação da documentação gráfica existente aos projectos que se pretendem desenvolver. Esta inadequação está relacionada com a qualidade e nível de detalhe, por um lado, e com o facto de não cobrir a totalidade das áreas a intervir, por outro.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Foi solicitada a produção de plantas, cortes e alçados a entregar em formato CAD com o nível de detalhe adequado ao desenvolvimento de projectos de arquitectura.
- Dada a natureza dos objectos a documentar, a sua complexidade geométrica, o seu nível de deformação e instabilidade, entende-se como adequada a adopção de uma

metodologia de levantamento não invasiva e que implique o menor contacto possível com as estruturas a documentar, sobretudo por questões de segurança. Assim, o levantamento por varrimento laser 3D surge como uma opção acertada uma vez que reduz substancialmente o tempo e o número de agentes em campo.

Delimitação da área a documentar:

- Nos Paços do Infante pretende-se a documentação de toda a ruína, incluindo o bar dos oficiais, cujo acesso se faz pelo Pátio da Botica, e incluindo o Claustro da Lavagem.
- No Pátio dos Carrascos pretende-se a documentação da casa em ruína, incluindo o perímetro do pátio.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Levantamento fotográfico digital fornecido pelo IGESPAR.
- Fotos e uma planta datada de 1961 obtidas no SIPA – Sistema de Informação do Património Arquitectónico (www.monumentos.pt).

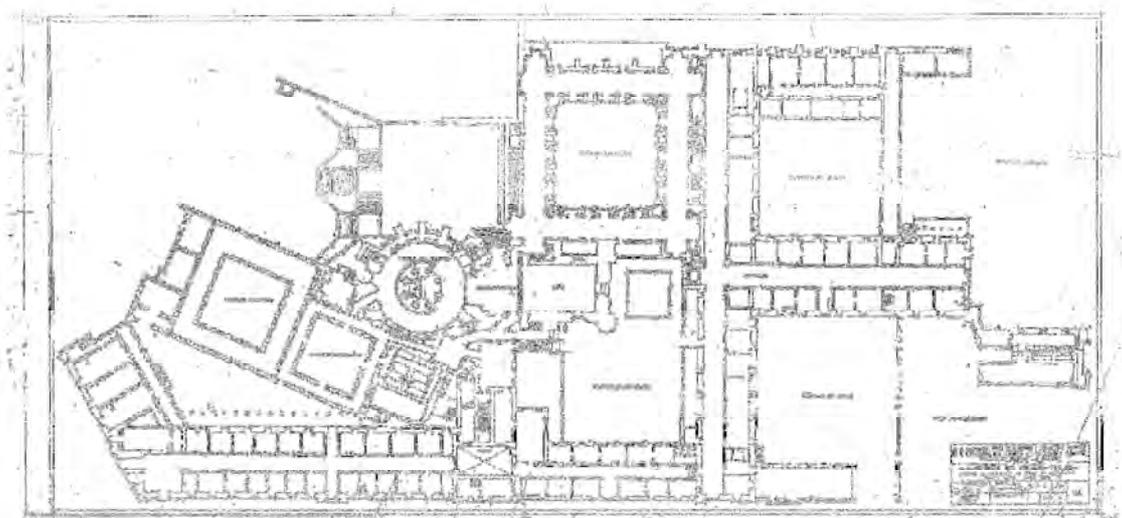


Figura 8-2: Planta do Convento de Cristo de 1961. Fonte: SIPA (www.monumentos.pt)

- Levantamento topográfico de parte dos Paços do Infante (excluindo o bar dos oficiais) em suporte digital vectorial fornecido pelo IGESPAR.

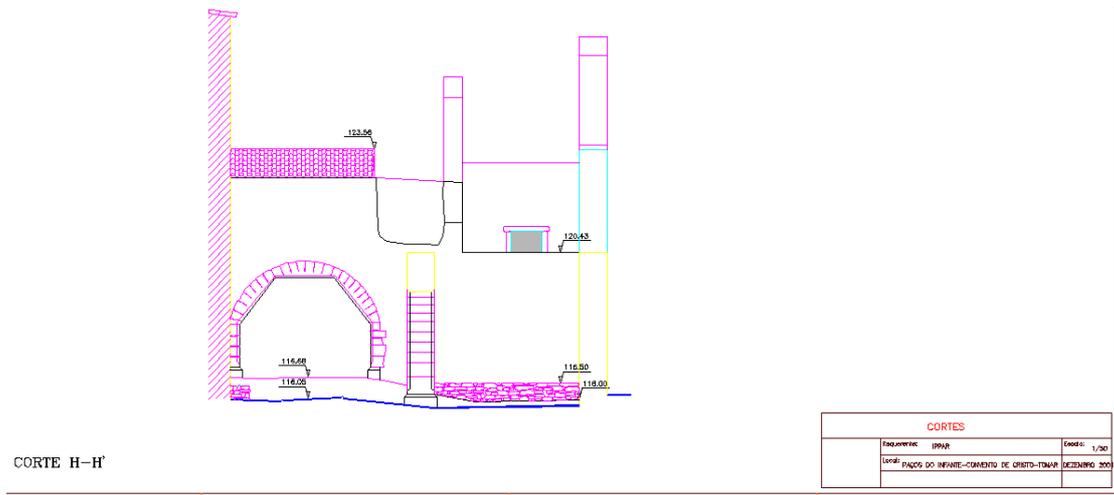


Figura 8-3: Exemplo de desenho do levantamento topográfico existente dos Paços do Infante, realizado em 2001. Corte Oeste/Este passante pelos Paços do Infante.

- Desenhos de levantamento elaborados pela empresa Estereofoto nos anos 90 e fornecidos digitalmente em formato raster pelo IGESPAR.

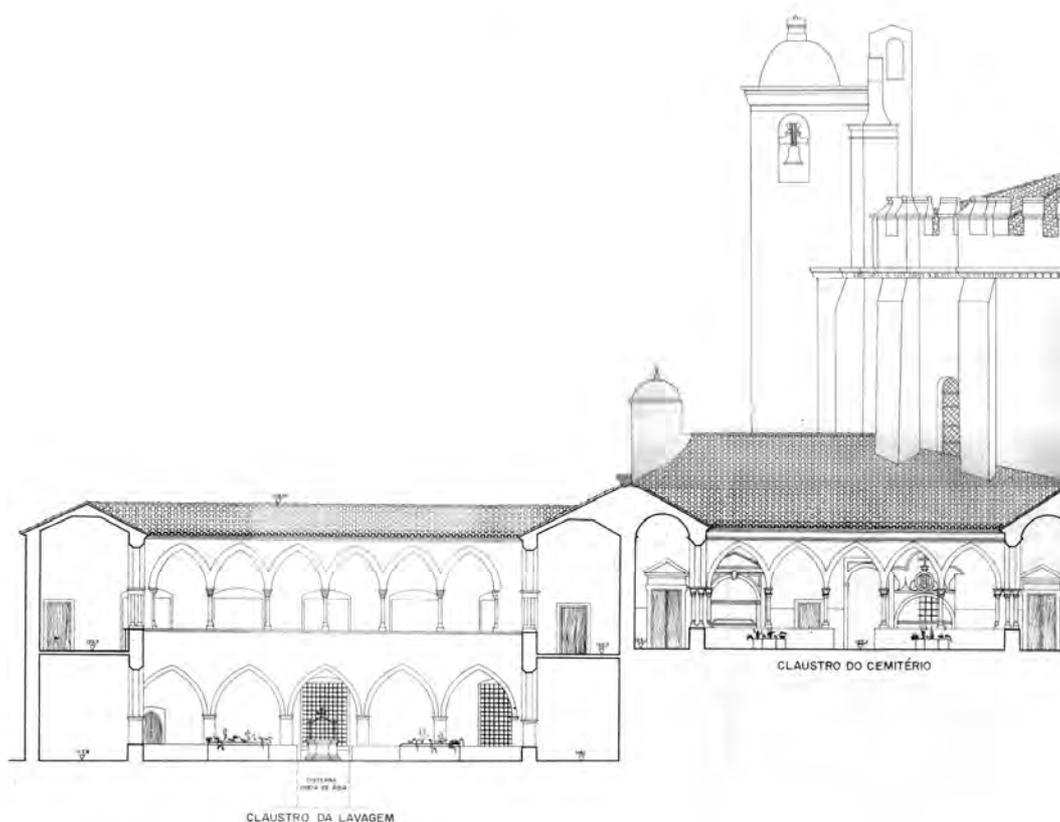


Figura 8-4: Exemplo de desenho do levantamento efectuado pela Estereofoto. Corte Este/Oeste passante pelo Claustro da Lavagem. Note-se que exclui os Paços do Infante.

- Relativamente ao Pátio dos Carrascos não foi fornecida informação gráfica para além das fotos.
- No CD anexo pode ser consultada documentação gráfica prévia fornecida (001_CC_PI_PC.pdf).

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Não relevante.

Data:

- Início do processo: Janeiro de 2009.

<p>A.8.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES</p>

A.8.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A documentação a produzir, sob a forma de plantas, cortes e alçados destina-se a servir de base a elaboração dos projectos da nova recepção do Convento de Cristo a instalar nos Paços do Infante e da nova cafetaria a instalar na casa em ruína no Pátio dos Carrascos.
- A documentação deverá ainda servir para o planeamento de eventuais escavações arqueológicas que venham a ser realizadas.

A.8.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Pretendeu-se a produção de plantas, cortes e alçados, não sendo especificado número nem orientação dos mesmos.
- Foi solicitado que as peças desenhadas apresentassem um nível de detalhe adequado aos projectos a desenvolver, podendo optar-se pelas escalas de representação 1/100 e 1/50.
- Pretendeu-se uma representação sensível às deformações dos elementos construtivos.

Desempenho métrico:

- Não foi imposto nenhum critério de desempenho métrico por parte do IGESPAR.

Apresentação:

- Não foi imposto nenhuma forma de apresentação dos materiais para além de que deveriam ser apresentados em formato CAD.
- Foi solicitado que o IGESPAR acompanhasse a produção das peças desenhadas.

Causas para a rejeição dos materiais:

- Não foram definidos critérios para a rejeição dos materiais.

A.8.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES**Definição de prazos e orçamento:**

- O IGESPAR manifestou o seu interesse em que os desenhos de levantamento dos Paços do Infante estivessem concluídos antes de Agosto de 2009, podendo os desenhos de levantamento do Pátio dos Carrascos ficar para data posterior a definir.

Autorizações de acesso:

- O acesso às zonas em causa no Convento de Cristo foi assegurado pela direcção do convento, na pessoa da directora, a Dra. Iria, que delegou no funcionário Rui Ferreira.

Condições de segurança:

- Dado o facto de a zona dos Paços do Infante e dos Pátio dos Carrascos estar em ruína e algumas partes apresentarem deformações indiciadoras de instabilidade, é necessário ter particular atenção com circulação de pessoas e equipamentos.
- Como parte do levantamento ocorrerá em áreas pelas quais circulam pessoas, como é o caso do Claustro da lavagem, deverão ser tomadas precauções para que estas evitem olhar directamente o feixe de laser emitido pelo equipamento de varrimento laser.

Condições de acessibilidade:

- Não se prevêem dificuldades maiores de acesso no complexo do convento de Cristo.

- Eventualmente poderá ser necessário aceder a alguns pontos mais sensíveis das áreas a documentar de modo a conseguir uma cobertura extensiva da documentação. Entre estes pontos sensíveis consideram-se alguns compartimentos interiores ou delimitados por paramentos instáveis. Por esta razão será necessário avaliar pontualmente as condições de segurança nestes locais.
- É também necessário garantir que as zonas a documentar estejam desimpedidas e limpas sob pena de omissões nos dados.
- Será necessária articulação com os horários de funcionamento do Convento de modo a garantir acesso ao mesmo.
- É necessário reunir os contactos dos elementos que, no convento, garantirão o acesso às várias dependências que não estão abertas ao público.

Retenção dos materiais:

- Não foi exigida nenhuma obrigação específica de retenção de materiais produzidos. Porém estes serão retidos no âmbito do projecto de investigação em que este processo se insere.

Impactos admissíveis no objecto:

- O IGESPAR permitiu a colagem de alvos plásticos por meio de silicone. Estes alvos serão utilizados para a elaboração de um levantamento topográfico de controlo.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Dec. Lei nº 273/2003 de 29 de Outubro (Higiene e Segurança no Trabalho).

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Os elementos gráficos produzidos no âmbito desta operação de documentação são propriedade repartida da FAUTL e do IGESPAR.

A.8.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA
--

Entidades produtoras da documentação gráfica:

- Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa no que respeita à elaboração do levantamento.
- Empresa 3D total como subcontratada pela FAUTL para aquisição de nuvens de pontos.

- O IGESPAR assegurará o levantamento topográfico de apoio através de protocolo com a Direcção Regional de Cultura de Lisboa e Vale do Tejo – DRCLVT para a elaboração do levantamento topográfico de apoio.

Entidades fiscalizadoras:

- IGESPAR.

A.8.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS

Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:

- Para a recolha dos dados topográficos de apoio serão utilizados procedimentos topográficos normalizados. Embora estes dados não sejam necessários para construção do modelo tridimensional base de nuvens de pontos, justifica-se a sua consideração quer para a orientação final do modelo, quer como método paralelo que permitirá aferir da qualidade das operações de processamento do varrimento laser. Será materializada uma poligonal no terreno através da cravagem de cavilhas no solo, a partir da qual se fará a leitura dos alvos topográficos distribuídos pelas zonas a documentar.

- Para o levantamento geral do edifício considera-se o método do varrimento laser 3D terrestre e estático, com a tecnologia de comparação de fase. Adopta-se o método do varrimento laser 3D estático, em que o scanner é colocado sobre um tripé, ou qualquer outra base imóvel, para a aquisição das nuvens de pontos. Para cada estacionamento do scanner será obtida uma nuvem de pontos cujo tempo de aquisição é função da densidade preconizada.

Esta adopção justifica-se pela necessidade de minimizar o tempo em campo por questões de segurança, e pelo facto de se tratar de uma tecnologia que minimiza o contacto directo com o objecto.

- A recolha das nuvens de pontos prevê a sua orientação relativa sem a utilização de alvos adicionais. Por conseguinte prevê-se um planeamento de estações de varrimento laser que assegure grande sobreposição entre nuvens de pontos adjacentes, para permitir uma correcta construção do modelo final. Este planeamento deve ser feito em campo pela razão de que a documentação gráfica prévia existente é escassa. Por outro lado em campo é possível ter uma percepção mais adequada dos obstáculos, como árvores ou mobiliário fixo, e do campo de visão de cada ponto de vista o que permite antecipar com maior eficiência o posicionamento das estações de varrimento laser.

- De um modo geral as estações de varrimento laser serão colocadas a uma altura acessível directamente ao operador sem necessidade de recurso a outro tipo de plataformas para além do tripé.
- O planeamento da recolha de dados deve ser registado em suporte gráfico para apoio das operações de campo do levantamento uma vez que este planeamento permite tornar a componente de campo mais eficiente bem como minimizar o tempo e necessidade de alterações e adaptações, que acontecem sempre. Estes suportes gráficos deverão ser produzidos a partir da documentação gráfica existente ou produzidos de raiz na ausência daquela.
- Deverá ter-se o cuidado de documentar as acções de recolha de dados, em particular através de fotografia.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Para a execução do levantamento topográfico serão utilizados meios da DRCLVT. Estes consistem numa estação total Topcon modelo GTS-3000, bastão e prisma reflector. A estação total permite a leitura directa sem utilização de prisma reflector o que será útil para a leitura dos alvos topográficos.
- Para a execução do levantamento por varrimento laser 3D prevê-se a utilização de um scanner de comparação de fase da marca Z+F modelo Imager 5006 com um feixe laser de 683nm de comprimento de onda. A utilização deste equipamento de varrimento laser permite a optimização do tempo de recolha de dados em campo uma vez que tem uma taxa de captura de pontos bastante elevada. Trata-se de um equipamento laser da classe de segurança 3R, o que implica riscos reduzidos. Este equipamento será operado sobre tripé ou directamente sobre uma superfície horizontal estável.
- A documentação fotográfica de apoio será efectuada com uma câmara fotográfica digital SLR Olympus E-500, com sensor de 17,3mm e resolução de 8 Mpixel. Poderá ser utilizado tripé caso se justifique.
- O levantamento por varrimento laser 3D implica o planeamento de um conjunto de estações espacialmente distribuídas. Para esse efeito procurará tirar-se partido das próprias características do edifício nas imediações das zonas a documentar para aceder a pontos de vista favoráveis, por exemplo acedendo a coberturas.

Planeamento da recolha dos dados:

- O planeamento da recolha de dados ocorreu, de forma interpolada, entre Janeiro e Maio e implicou, entre outros aspectos, a gestão da contratação dos serviços de

varrimento laser que, obedecendo às regras da contratação pública, no âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006, demorou bastante tempo.

- A primeira acção de planeamento consistiu na produção das bases gráficas para a estruturação das acções de campo. No caso dos Paços do Infante foram utilizadas as bases fornecidas pelo IGESPAR conforme se exemplifica na figura 8-5.

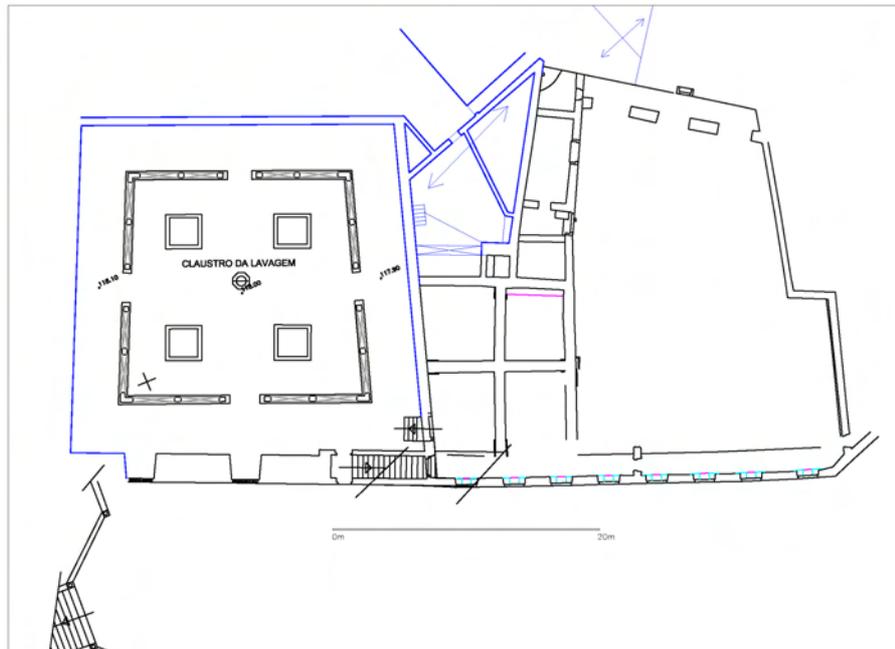


Figura 8-5: Base para planeamento do levantamento – Paços do Infante e Claustro da Lavagem.

No caso do Pátio dos Carrascos foi feito um esquiço (como se ilustra na figura 8-6) de apoio produzido no dia 21 de Abril de 2009, data em que foi efectuada uma visita ao Convento de Cristo para validação dos elementos produzidos e planeamento da colocação de alvos topográficos e estações de varrimento laser como se ilustra na figura 8-6 e 8-7.

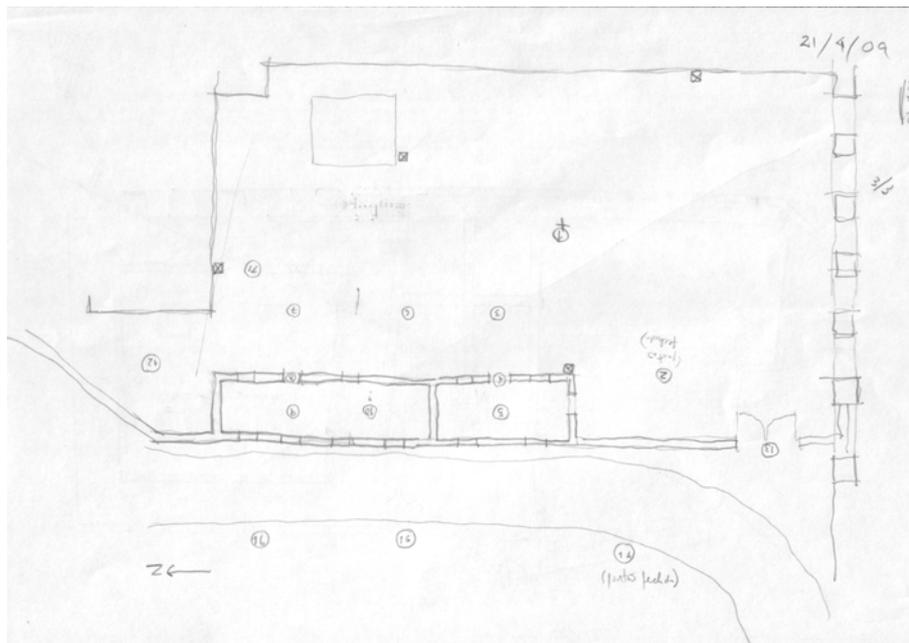


Figura 8-6: Base para planeamento do levantamento – Pátio dos Carrascos.

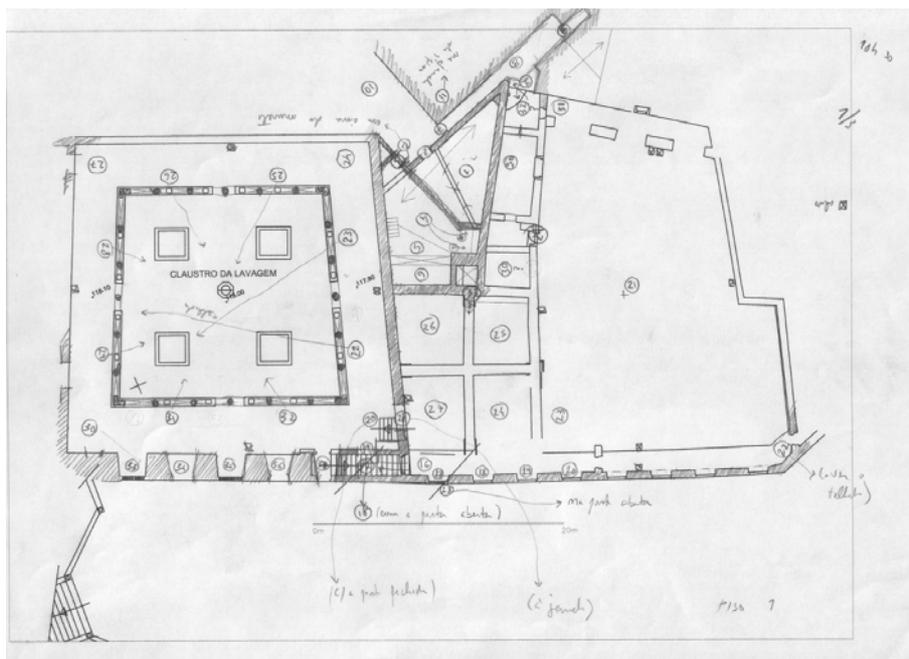


Figura 8-7: Desenho de planeamento efectuado em campo – Paços do Infante.

Consideraram-se 92 estações de varrimento laser, 14 das quais no Pátio dos Carrascos. Consideraram-se 22 alvos topográficos, 4 no Pátio dos Carrascos, 8 no Claustro da Lavagem e 10 nos Paços do Infante. Associou-se à localização de cada estação um conjunto de notas que visam facilitar as operações em campo. Estas notas contêm informação mais detalhada sobre a localização das estações, por exemplo se

deve ser colocado a eixo de vãos, se deve ser efectuado com porta aberta ou porta fechada, se deve ser feito à altura de um capitel ou moldura, entre muitas outras.

O posicionamento das estações relativamente ao objecto e respectiva definição de resolução, para além de considerar a necessidade de sobreposição entre nuvens de pontos decorrentes da metodologia de processamento a utilizar, resulta também da densidade de pontos que se pretende obter para o nível de detalhe a registar. Face ao equipamento de varrimento laser que se pretende utilizar, o scanner ZF 5006i, consideram-se quatro resoluções pré definidas no equipamento: i) Super-High (S), ii) High (H), Middle (M), e Preview (P). A cada uma destas resoluções corresponde um tempo de varrimento e uma densidade de pontos específicas:

- i) S – 6min e 44s de varrimento – resolução de 3.1mm a 10m de distância;
- ii) H – 3min e 22s de varrimento – resolução de 6.3mm a 10m de distância;
- iii) M – 1min e 40s de varrimento – resolução de 12.6mm a 10m de distância;
- iv) P – 25s de varrimento – resolução de 50mm a 10m de distância.

• Em consequência desta visita, foram preparados os elementos finais de planeamento que deverão ser levados a campo como suporte à orientação do trabalho de campo, conforme se ilustra na figura 8-8. Nestes, foram estipuladas as resoluções para cada nuvem de pontos e estimado o tempo para aquisição das nuvens de pontos tendo em conta que não é simplesmente o somatório dos tempos estritos de varrimento laser. Deve incluir o tempo estimado para mudança de estação, substituição de baterias, pausas para descanso. Concluiu-se que um dia seria suficiente para a realização do trabalho de campo de varrimento laser.

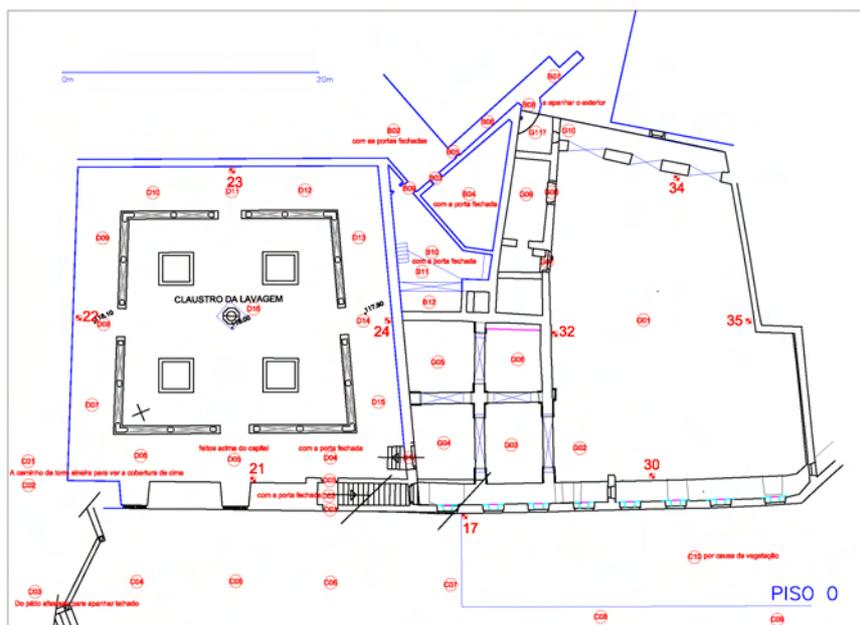


Figura 8-8: Desenho de planeamento final – Paços do Infante.

- Após esta operação foram fabricados os alvos e afixados no dia 27 de Abril de 2009 de acordo com a disposição predefinida. Foram utilizados dois tipos de alvos. Nas zonas abrigadas da intempérie foram utilizados alvos maiores, com a dimensão de 150x150x2mm, e nas zonas sujeitas à intempérie foram utilizados alvos menores, com a dimensão 120x120x1.5mm. Na figura 8-9 ilustra-se este último tipo de alvos.



Figura 8-9: Dois alvos afixados em paramentos nos Paços do Infante.

No essencial, trata-se de alvos com a forma de quatro quadrantes quadrados brancos e cinza.

Todos os elementos de planeamento podem ser consultados no CD anexo (002_CC_PI_PC.pdf).

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Previu-se a entrega dos elementos do levantamento relativos aos Paços do Infante até ao final de Julho de 2009 tal como solicitado pelo IGESPAR. Previu-se a entrega dos elementos relativos ao Pátio dos Carrascos após Agosto de 2009.
- Foi estimado 1 dia para a colagem de alvos, 1 dia para o levantamento topográfico de apoio, 1 dia para o trabalho de campo de varrimento laser 3D, 1 semana para processamento dos dados de varrimento laser 3D relativos aos Paços do Infante incluindo a orientação relativa das nuvens de pontos e orientação, 2 dias para processamento dos dados de varrimento laser 3D relativos ao Pátio dos Carrascos, 2 meses para a restituição gráfica relativa aos Paços do Infante, 3 semanas para a restituição gráfica relativa ao Pátio dos Carrascos.

Consideramos estes valores como tempos de execução em absoluto e não prazos, isto é, o prazo poderá ser maior que o somatório daqueles tempos já que decorrerão outras acções de investigação em paralelo.

- Foi definido o custo de XXXXX€ (+ IVA) apenas para a componente de varrimento laser 3D.
- Quanto a recursos humanos, no que diz respeito exclusivamente à componente de documentação gráfica, foram definidos os seguintes: i) levantamento topográfico de apoio a cargo do IGESPAR, através de colaboração da DRCLVT na pessoa no topógrafo Fernando Leitão, ii) levantamento de campo por varrimento laser 3D através da contratação do serviço à empresa 3D Total com coordenação em campo pelo Arquitecto Luís Mateus, iii) processamento dos dados de varrimento laser 3D pelo Arquitecto Luís Mateus, v) restituição gráfica pelo Arquitecto Luís Mateus.

A.8.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- A metodologia geral de processamento incidirá sobre 4 níveis de acção: i) processamento dos dados topográficos ii) processamento das nuvens de pontos, iii) produção de informação base para restituição gráfica, iv) restituição gráfica 2D.
- A responsabilidade do processamento dos dados topográficos bem como a validação dos resultados obtidos é do IGESPAR, através da DRCLVT. Será utilizado o software MDT 5.5 da Topcon para processamento dos dados topográficos.
- As nuvens de pontos serão processadas com a aplicação JRC3DReconstructor v. 2.5 de acordo com as seguintes etapas: i) importação, ii) limpeza e eliminação de dados espúrios, iii) orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP, iv) avaliação visual da qualidade da orientação relativa, v) extracção das coordenadas dos alvos topográficos nas nuvens de pontos, vi) cálculo e aplicação de uma transformação com base em coordenadas de pontos homólogos topográficos e identificados nas nuvens de pontos, vii) orientação de planos de corte/projecção para a produção de orto-imagens, viii) exportação de orto-imagens relativas a secções e vistas.

Este fluxo de trabalho garante a produção de documentação de base que permite o processo de restituição gráfica.

Não tendo sido condicionado pela entidade contratante, considerou-se que o desempenho métrico geral poderá ser avaliado em função dos resíduos resultantes da operação de orientação do modelo de nuvem de pontos contra o levantamento topográfico de apoio. Espera-se que o erro médio quadrático desta operação não ultrapasse 1cm.

- As orto-imagens de cada nuvem de pontos que incidem sobre cada plano de secção/projecção serão utilizadas directamente como base para a restituição gráfica sendo inseridas como referência em ficheiros de CAD, através da aplicação AutoCAD.
- As várias imagens fotográficas obtidas ao longo do processo poderão ser utilizadas como apoio ao processo de restituição gráfica.
- Deverá produzir-se uma restituição gráfica fiel às deformações do edifício, registando os paramentos pedra a pedra, nos casos em que estas sejam desempenhem papel estruturante como em ombreiras, vergas, soleiras ou cunhais.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O processamento dos dados topográficos será realizado com meios da DRCLVT. Para processamento dos dados topográficos será utilizado o software MDT 5.5 da Topcon. Esta aplicação requer hardware standard.
- Para processamento das nuvens de pontos e restituição gráfica será utilizada um computador portátil Toshiba Satellite A-200, com 4Gb de memória RAM, placa gráfica ATI Mobility Raedon HD2600 com 256Mb de memória, e sistema operativo Windows XP Pro de 32bit, com monitor de 15”.
- O processamento das nuvens de pontos, desde a orientação relativa até à extracção de informação base para a restituição gráfica será feito com a aplicação JRC3DReconstructor v. 2.5.
- A restituição gráfica e produção de desenhos serão feitas com a aplicação AutoCAD 2008.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- O processamento consiste em 4 etapas: i) processamento dos dados topográficos, ii) processamento das nuvens de pontos, iii) produção de informação base para restituição gráfica, iv) produção de materiais 2D de levantamento, isto é, as plantas, cortes e alçados.
- Processamento dos dados topográficos:
Tomar-se-á como boa informação de referência o levantamento topográfico de apoio a realizar pela DRCLVT.
Do processamento dos dados topográficos resultará uma listagem de coordenadas dos vários alvos e das várias estações que constituem a poligonal de apoio a definir. Esta listagem deverá ser entregue em suporte digital no formato *.txt ou outro facilmente editável.

- Processamento das nuvens de pontos com o software JRC3D Reconstructor v 2.5:

1) Importação e limpeza das nuvens de pontos.

2) Orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP.

Tomar-se-á o referencial de uma nuvem central como referência e proceder-se-á à orientação relativa das várias nuvens sobre aquele referencial. Numa primeira etapa as nuvens são orientadas manualmente e numa segunda fase, é feita uma optimização da orientação entre nuvens utilizando o algoritmo ICP (Iterative Closest Point) que é implementado através da função “registration” na aplicação Reconstructor. Este tipo de procedimento requer elevada sobreposição entre nuvens de pontos adjacentes de modo a produzir resultados fiáveis. O histórico das operações de orientação relativa entre nuvens de pontos bem como os resultados produzidos deverão ser registados sob a forma de um ficheiro de formato *.txt ou outro facilmente editável. Este deverá conter a sequência das operações de orientação relativa, os indicadores de qualidade das mesmas, e os resultados obtidos em termos das posições das nuvens de pontos.

4) Avaliação visual da qualidade da orientação relativa:

À medida que o processo de orientação relativa vai evoluindo, paralelamente aos valores indicadores da qualidade de cada orientação relativa, o modelo deverá ir sendo visualmente inspeccionado de modo a validar os resultados obtidos. Esta inspecção visual deverá corresponder a uma navegação pelo modelo, fazendo aproximações a áreas em que se poderá apreciar facilmente erros caso existam, como é o caso de vãos, esquinas, pavimentos. Em alternativa poderá avaliar-se a qualidade da orientação relativa através do seccionamento do modelo e verificação da concordância entre as várias nuvens de pontos em cada secção.

5) Extração das coordenadas dos alvos topográficos nas nuvens de pontos:

Esta extração deverá suficientemente precisa de modo a não comprometer a utilização de dos valores obtidos para uma orientação absoluta do modelo correcta.

6) Cálculo e aplicação de uma transformação com base em coordenadas de pontos homólogos topográficos e identificados nas nuvens de pontos:

Colocando em paralelo as coordenadas homólogas dos alvos determinadas pelos processos topográficos, e sobre o varrimento laser, é possível estimar os parâmetros de uma transformação rígida (rotação + translação) que orienta o modelo da nuvem de pontos tendo por base as coordenadas dos alvos medidas por topografia.

7) Orientação de planos de corte/projecção para a produção de orto-imagens de base:

Previu-se a produção de duas plantas, dois cortes orientados este/oeste, dois cortes orientados norte/sul e um alçado sul.

Para cada peça a produzir, é considerado pelo menos um plano de projecção/secção.

8) Exportação de orto-imagens parciais relativas a secções e projecções

Cada nuvem que contenha informação relevante para a produção de uma peça deve ser projectada no plano definido. Cada uma destas projecções deve ser independente. A cada projecção deverá corresponder uma imagem a ser exportada no formato *.jpg ou equivalente. Após esta operação, a cada peça a produzir deverá corresponder um conjunto de orto-imagens, cada uma correspondente a pelo menos uma nuvem de pontos, embora cada orto-imagem possa incluir mais que uma nuvem de pontos.

- Produção de materiais 2D de levantamento:

A restituição gráfica será levada a cabo com a aplicação AutoCAD 2008.

As imagens extraídas das nuvens de pontos serão inseridas em ficheiros CAD procedendo-se de seguida à sua vectorização. Primeiro serão desenhadas as linhas de corte, sobre as imagens ou cortes em bruto a extrair do modelo de nuvens de pontos. Em princípio privilegiar-se-á o desenho sobre imagens que representem as secções e não sobre as secções vectoriais em bruto já que estas, ao serem produzidas, implicam uma triangulação das nuvens de pontos que por vezes gera dados falsos que resultam da união de pontos que, de facto, não são adjacentes.

Os elementos em vista serão desenhados sobre as imagens. Dada a natureza praticamente contínua das imagens, a restituição gráfica assim produzida poderá ser bastante fiel às deformações do edifício.

Face à complexidade de cotas, que resulta dos facto dos pisos não serem verticalmente modulares, estima-se que será necessário considerar vários planos de corte por cada planta e eventualmente por cada corte.

À representação final não serão associadas orto-imagens.

Os desenhos serão produzidos no formato *.dwg e assim entregues ao IGESPAR que os utilizará posteriormente nos projectos a que estão destinados.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Optou-se por referir este item na descrição da estratégia de recolha dos dados.

A.8.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

A.8.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- 06/05/2009

O levantamento topográfico ficou a cargo da DRCLVT. Foi realizado pelo topógrafo Fernando Leitão (DRCLVT) coordenado pelo Arquitecto Luís Mateus (FAUTL. Foram materializadas 14 estações topográficas definindo uma linha poligonal que une as duas zonas de levantamento. Estas foram materializadas meio de cavilhas metálicas cravadas no pavimento e com a cabeça pintada de cor vermelha, ou simplesmente através de marcas efectuadas com tinta sobre superfícies pétreas conforme se ilustra na figura 8-10.

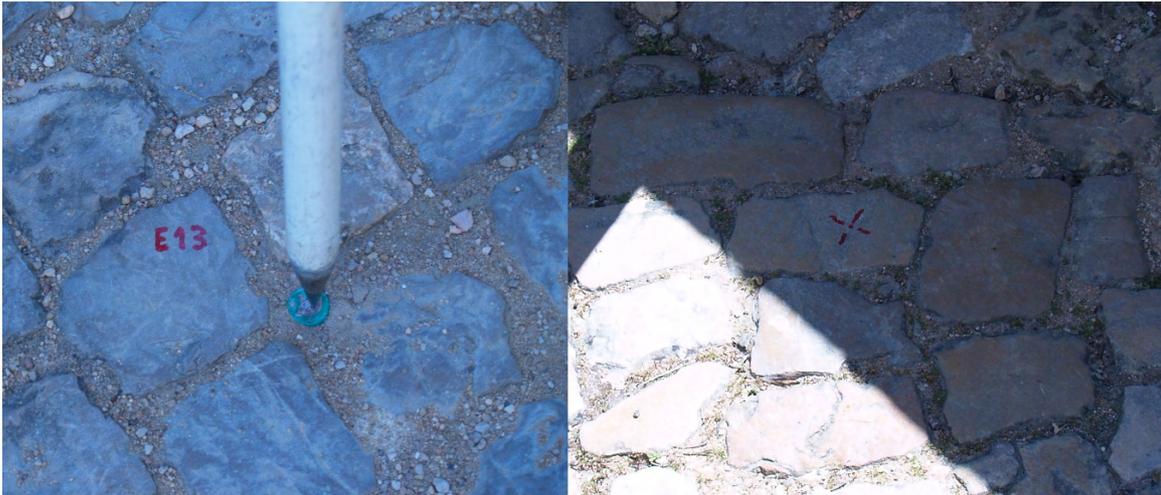


Figura 8-10: Estação topográfica materializada no terreno por meio de cavilha cravada no solo (esquerda) e materializada por marcação com tinta sobre uma pedra de pavimento (direita).

Foi utilizada uma estação total da marca Topcon e modelo GTS-300, com bastão e prisma reflector para posicionamento das estações conforme se ilustra na figura.



Figura 8-11: Posicionamento dos vértices da poligonal por processos topográficos.

Os alvos foram medidos directamente sem prisma reflector. Cada alvo apenas foi medido uma vez.

Esta operação demorou aproximadamente 1 dia.

Fez-se um levantamento fotográfico de monitorização dos alvos e acompanhamento desta operação.

● 23/06/2009

Foi contratada a empresa 3D Total para a aquisição de nuvens de pontos de acordo como o planeamento efectuado.

Participaram nesta sessão o Eng. Gatinho Ramos (3D Total), o Arquitecto Luís Mateus (FAUTL). Foi utilizado o scanner de comparação de fase Z+F 5006i. Trata-se de um scanner com campo de visão esférico.

A recolha das nuvens de pontos ocorreu entre as 8h e as 19h tendo sido recolhidas 94 nuvens de pontos, mais duas que o previsto. Neste período fizeram-se duas paragens para substituição de baterias no scanner e uma paragem de duas horas para almoço. A situação de varrimento típica é a que se pode apreciar na figura 8-12 em que o scanner foi colocado sobre tripé.



Figura 8-12: Scanner colocado sobre tripé.

O decorrer dos trabalhos foi registado sobre as folhas de planeamento como se ilustra nas figuras 8-13 e 8-14.

consequente reordenação dos varrimentos ou alteração de resolução em relação ao previsto. Também se registou o início e o fim das várias sessões de varrimento, a hora a que se trocou de bateria e se fizeram as pausas. Este registo é de elevada importância para ir criando uma sensibilidade em relação à organização de futuros trabalhos. Fica-se com a noção de questões importantes como quantos varrimentos é possível realizar com uma bateria, qual o rácio entre tempos de varrimento e colocação dos equipamentos em posição, entre outros aspectos.

Começou por se proceder ao levantamento do Pátio dos Carrascos, passou-se de seguida aos Paços do Infante e terminou-se no Pátio dos Carrascos novamente.

Na tabela 8-1 resumem-se as operações de VL3D levadas a cabo nos Paços do Infante. Foram recolhidas 80 nuvens de pontos, mais 1 que o previsto. A sessão durou cerca de 9h e 30m.

O rácio entre o tempo de VL3D estrito e o tempo passado em campo foi de 29%. Este rácio explica-se pela necessidade de transportar o equipamento de estação para estação, pela necessidade de efectuar pausas para troca de baterias e para refeições. É de notar que as transições entre pisos, e o transporte do equipamento em zonas apertadas, como é o caso das escadas de acesso à torre junto à Charola, lugar em que se efectuaram alguns varrimentos, é um processo demorado. Acresce que algumas zonas não são de acesso público o que implicou aguardar que os funcionários nos facultassem o acesso, o que nem sempre ocorre com toda a celeridade.

Paços do Infante				
Data:	23 de Junho de 2009			
Início:	9h 15m			
Fim:	18h 45m			
Total (min):	570			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	5			
H	9			
M	60			
P	6			
Total	80	166,47	7.855.529	29%

Tabela 8-1: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos dos Paços do Infante.

Na tabela 8-2 resumem-se as operações de VL3D levadas a cabo no Pátio dos Carrascos. Foram recolhidas 14 nuvens de pontos, mais 1 que o previsto. A sessão durou cerca de 1h e 30m.

O rácio entre o tempo de VL3D estrito e o tempo passado em campo foi de 33%. Embora se trate de uma zona mais contida, este rácio explica-se em parte pelo facto de ter sido necessário decompor a realização das operações em duas partes com o respectivo tempo de transporte de equipamentos que isso implica. Por outro lado, como se tratou da primeira zona a registar, uma parte do tempo também foi consumida em troca de observações com o operador de varrimento laser no sentido de otimizar a realização dos trabalhos.

Pátio dos Carrascos					
Data:	23 de Junho de 2009				
Início:	8h				
Fim:	9h 15m				
Início:	18h 45m				
Fim:	19h				
Total (min):	90				
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total	
S	0				
H	3				
M	12				
P	0				
Total	15	30,10	1.157.751	33%	

Tabela 8-2: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos do Pátio dos Carrascos.

O tempo consumido no total foi de aproximadamente 11h, um pouco mais que um dia normal de trabalho. O que permite apontar para uma taxa de realização, em situações semelhantes, de aproximadamente 70 nuvens de pontos por dia. Verificou-se ainda que, globalmente, apenas um terço do tempo foi realmente consumido em varrimento laser, tendo os restantes dois terços sido consumidos em operações auxiliares, embora fundamentais.

- Verificou-se que, aquando do varrimento laser, três alvos tinham caído (ver figura 8-15).



Figura 8-15: Alvos caídos aquando da campanha de varrimento laser 3D.

- Todas as acções realizadas em campo foram acompanhadas pelo Sr. Rui Ferreira, funcionário do Convento de Cristo, que garantiu os acessos às várias zonas não públicas e nos informou sobre aspectos relevantes relacionados com a segurança dos locais.
- Para além dos dados topográficos e nuvens de pontos, foram ainda recolhidas algumas imagens fotográficas quer para documentação quer para auxílio do processamento dos dados em fase posterior.
- No CD anexo pode ser observado o registo das operações de campo feito sobre os documentos de preparação (003_CC_PI_PC.pdf).

Descrição dos dados recolhidos:

- Os dados resultantes do levantamento topográfico foram-nos apresentados sob a forma de um desenho em formato *.dwg conforme se ilustra na figura 8-16 a partir do qual foi possível proceder a uma listagem das coordenadas dos 22 alvos afixados. Estas coordenadas foram expressas no sistema de coordenadas cartográfico Datum 73.

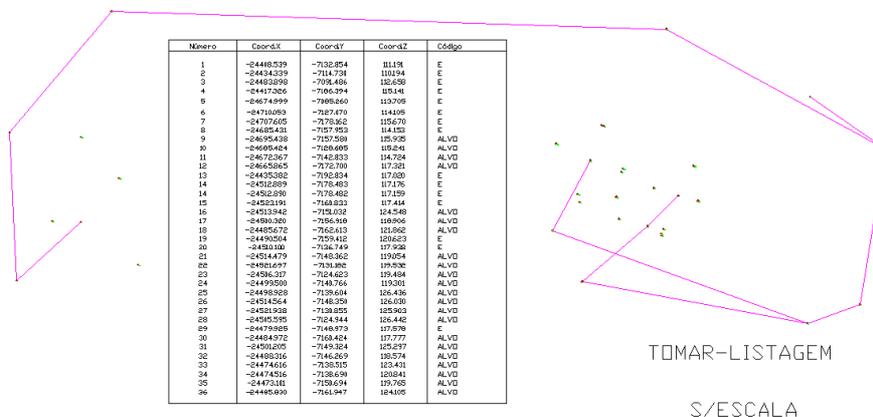


Figura 8-16: Desenho da poligonal topográfica de apoio e alvos topográficos de apoio.

- Foram recolhidas cerca de 94 nuvens de pontos, mais 2 que o previsto, ao que correspondeu aproximadamente 3.5 horas de varrimento efectivo, e aproximadamente 9Gb de dados recolhidos.

As nuvens de pontos foram-nos fornecidas pela 3D Total no formato *.zfs, o formato nativo do equipamento de varrimento laser utilizado, o scanner ZF 5006i. A cada nuvem de pontos corresponde ainda um ficheiro de pré visualização no formato *.jpg que permite, de forma rápida para o utilizador, reconhecer a sua localização.

Desvio em relação às previsões:

- Entre o planeamento da recolha dos dados e a sua recolha efectiva não se verificaram desvios assinaláveis para além dos já referidos.
- Notaram-se apenas algumas omissões da nossa parte ao nível da documentação dos processos, em particular o processo preparatório da colagem dos alvos, e a sessão de varrimento laser, que deveria ter sido mais documentada, por exemplo através de fotografia.

A.8.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- A sequência das operações foi a seguinte: i) Processamento dos dados topográficos, ii) processamento das nuvens de pontos, iii) produção de informação base para restituição gráfica, e iv) restituição gráfica 2D.
- O processamento dos dados topográficos consistiu em efectuar uma translação das coordenadas dos alvos de modo a operar-se com coordenadas mais pequenas e mais simples de ler e manusear, conforme se ilustra na tabela 8-3, nas operações de processamento seguintes.

Na tabela, à esquerda apresentam-se as coordenadas topográficas dos alvos no sistema de referência do Datum 73. À direita apresentam-se as coordenadas dos mesmos alvos após translações. Em cima são tratados os alvos dos Paços do Infante e abaixo são tratados os alvos do Pátio dos Carrascos. Note-se que foram efectuadas translações distintas nas duas situações para facilitar o processamento subsequente de cada uma delas, que foi efectuado de forma independente.

Por uma questão de leitura far-se-á toda a descrição relativa aos Paços do Infante e apenas depois a descrição relativa ao Pátio dos Carrascos.

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO				LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO (translação - m)			
Alvos dos Paços do Infante e Claustro da Lavagem				Alvos dos Paços do Infante e Claustro da Lavagem			
Coordenadas geo-referenciadas (Datum 73)							
Alvos	M	P	H	Alvos	M'	P'	H'
16	-24513,942	-7151,032	124,548	16	-13,942	-1,032	4,548
17	-24500,320	-7156,918	118,906	17	-0,320	-6,918	-1,094
18	-24485,672	-7162,613	121,862	18	14,328	-12,613	1,862
21	-24514,479	-7148,362	119,054	21	-14,479	1,638	-0,946
22	-24521,697	-7131,182	119,532	22	-21,697	18,818	-0,468
23	-24506,317	-7124,623	119,484	23	-6,317	25,377	-0,516
24	-24499,500	-7140,766	119,301	24	0,500	9,234	-0,699
25	-24498,928	-7139,604	126,436	25	1,072	10,396	6,436
26	-24514,564	-7148,350	126,030	26	-14,564	1,650	6,030
27	-24521,938	-7130,855	125,903	27	-21,938	19,145	5,903
28	-24505,595	-7124,944	126,442	28	-5,595	25,056	6,442
30	-24484,972	-7160,424	117,777	30	15,028	-10,424	-2,223
31	-24501,205	-7149,324	125,297	31	-1,205	0,676	5,297
32	-24488,316	-7146,269	118,574	32	11,684	3,731	-1,426
33	-24474,516	-7138,690	120,841	33	25,484	11,310	0,841
34	-24474,616	-7138,515	123,431	34	25,384	11,485	3,431
35	-24473,101	-7150,694	119,765	35	26,899	-0,694	-0,235
36	-24485,830	-7161,947	124,105	36	14,170	-11,947	4,105
Alvos do Pátio dos Carrascos				Alvos do Pátio dos Carrascos			
Coordenadas geo-referenciadas (Datum 73)							
Alvos	M	P	H	Alvos	M'	P'	H'
9	-24695,438	-7157,58	115,935	9	-15,438	-27,58	-0,065
10	-24685,424	-7128,685	115,241	10	-5,424	1,315	-0,759
11	-24672,367	-7142,833	114,724	11	7,633	-12,833	-1,276
12	-24665,865	-7172,7	117,321	12	14,135	-42,7	1,321

Tabela 8-3: Tratamento dos dados topográficos.

- **Processamento das nuvens de pontos dos Paços do Infante:**

O processamento das nuvens de pontos compreendeu as seguintes etapas: a) importação das nuvens de pontos, b) limpeza das nuvens de pontos e pré-processamento, c) orientação relativa, e d) orientação absoluta (georreferenciação).

Todo o processamento foi levado a cabo com o software e hardware previsto.

Nesta etapa ocorreram com alguns desvios em relação ao previsto. A descrição seguinte corresponde ao encadeamento cronológico das operações, e por ela se perceberá a que desvios nos referimos.

A importação, limpeza e pré processamento das nuvens de pontos é um conjunto de operações que visam preparar as nuvens de pontos para o processo de orientação relativa e para a possibilidade de extrair informação das mesmas. O tipo de informação a remover corresponde àqueles elementos, como é o caso das copas das árvores ou de um modo mais geral toda a vegetação, que, sendo informação real, dado o seu carácter não estático introduziria erros. Previamente a esta acção, que é manual, ocorreu um conjunto de operações automáticas em que se filtram das nuvens de pontos dados espúrios, como pontos de fraca qualidade posicional ou pontos com valores de reflectância muito baixa. Na figura 8-17 ilustram-se as fases de processamento de uma nuvem de pontos até que fique pronta para ser orientada.

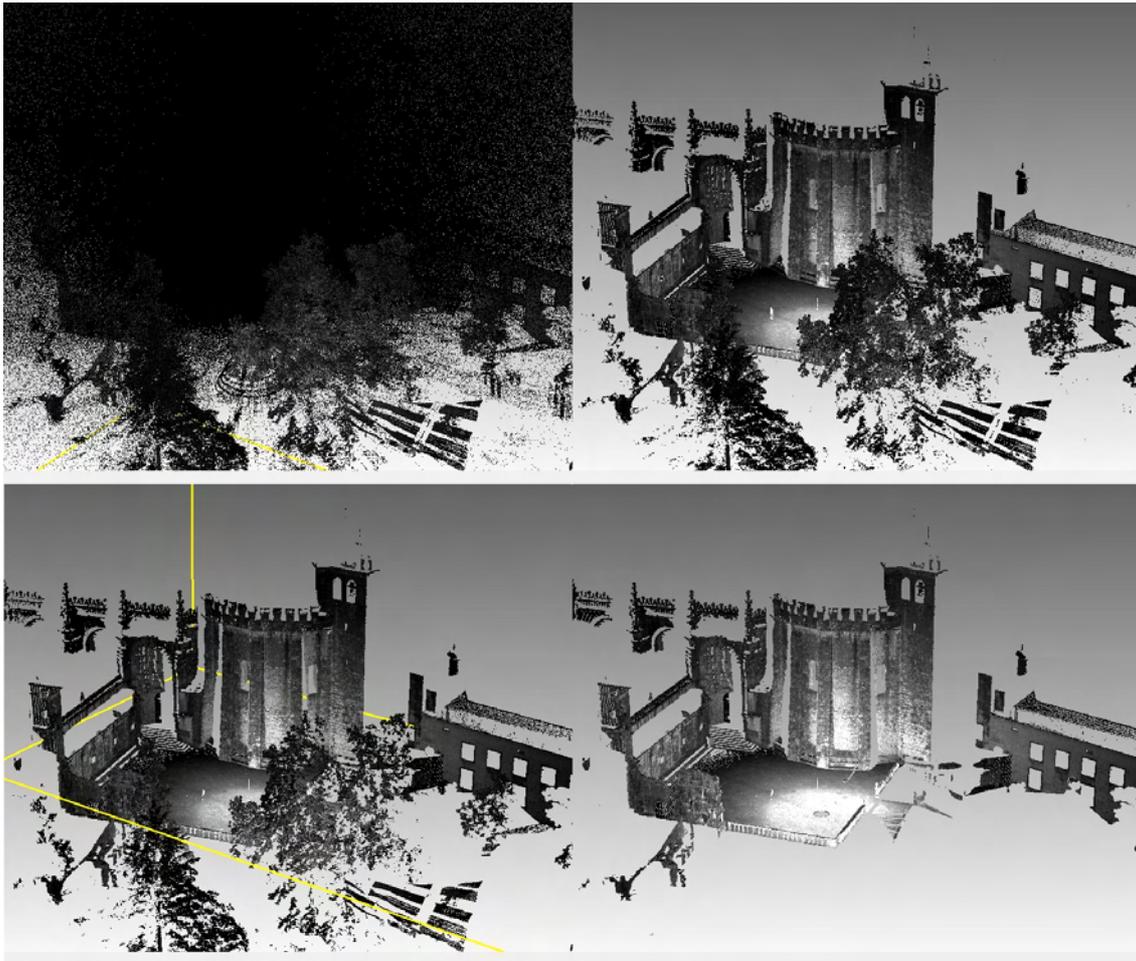


Figura 8-17: Fases do processamento de uma nuvem de pontos até que fique pronta a ser orientada.

Em cima e à esquerda podemos observar a nuvem de pontos em bruto e sem nenhuma espécie de filtragem. A mancha escura corresponde a dados espúrios registados pelo equipamento em zonas em que não existe objecto no campo de visão do scanner. Em cima e à direita aqueles pontos espúrios foram removidos automaticamente através da aplicação de um filtro. Em baixo e à esquerda, foi aplicada uma operação de pré processamento que remove pontos de baixa reflectância, computa uma superfície implícita na nuvem de pontos (grid) que permite associar vectores normais à superfície, e computa um mapeamento dos pontos em função da distância destes à origem, do ângulo com o vector normal à superfície calculada, e da reflectância. Este mapeamento gera uma imagem que no software é designada por “confidence”. A superfície calculada e respectivos vectores normais são informação necessária para proceder à orientação relativa das nuvens através do algoritmo ICP (iterative closest point) efectuada em fase posterior.

Previamente à orientação relativa das nuvens pontos foram extraídas as coordenadas dos alvos topográficos que foi possível identificar. Recordamos que três alvos caíram pelo que não puderam ser considerados. Cada alvo foi identificado na nuvem de pontos em que aparecia melhor representado, isto é, em que se encontrava definido por mais pontos conforme se ilustra na figura 8-18. Para determinar a coordenada de um alvo, este foi visualmente identificado numa nuvem de pontos, sendo feita de seguida uma selecção de pontos na sua vizinhança. Foi ajustado um plano a essa selecção e o centro desse plano foi posicionado visualmente de modo a que se aproximasse o mais possível do centro do alvo. Ao plano assim posicionado correspondem coordenadas que se tomaram como as coordenadas do alvo no sistema de coordenadas na nuvem de pontos em que foi identificado.

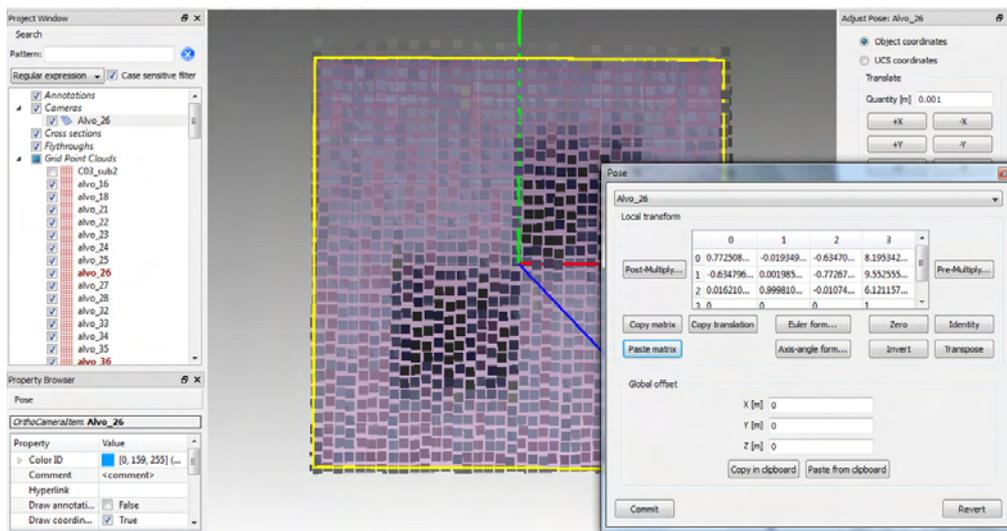


Figura 8-18: Alvo 26 identificado e posicionado na nuvem de pontos D16.

Após a identificação dos alvos procedeu-se à orientação relativa das nuvens de pontos. Note-se no entanto que as coordenadas dos alvos não vão ser ainda necessárias nesta etapa.

De forma sumária, a orientação relativa das nuvens de pontos consiste na colocação de todas as nuvens num referencial comum de modo a gerar um modelo tridimensional fiel ao objecto a documentar. Nesta fase, não é muito importante o referencial que se adopta. Para este efeito adoptámos pelo referencial da nuvem de pontos capturada no centro do Claustro da Lavagem, cuja imagem se apresenta na figura 8-19.

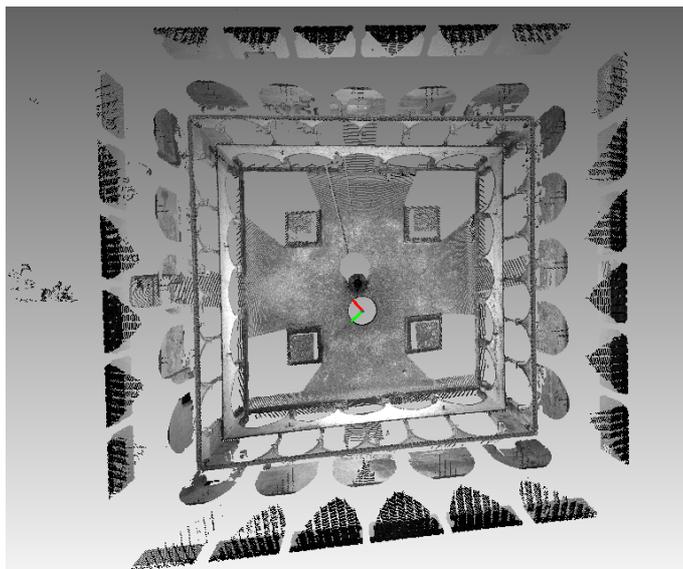


Figura 8-19: Imagem da nuvem de pontos D16 capturada no centro do Claustro da Lavagem.

Foi a partir desta nuvem de pontos que se começou a efectuar a orientação relativa das restantes.

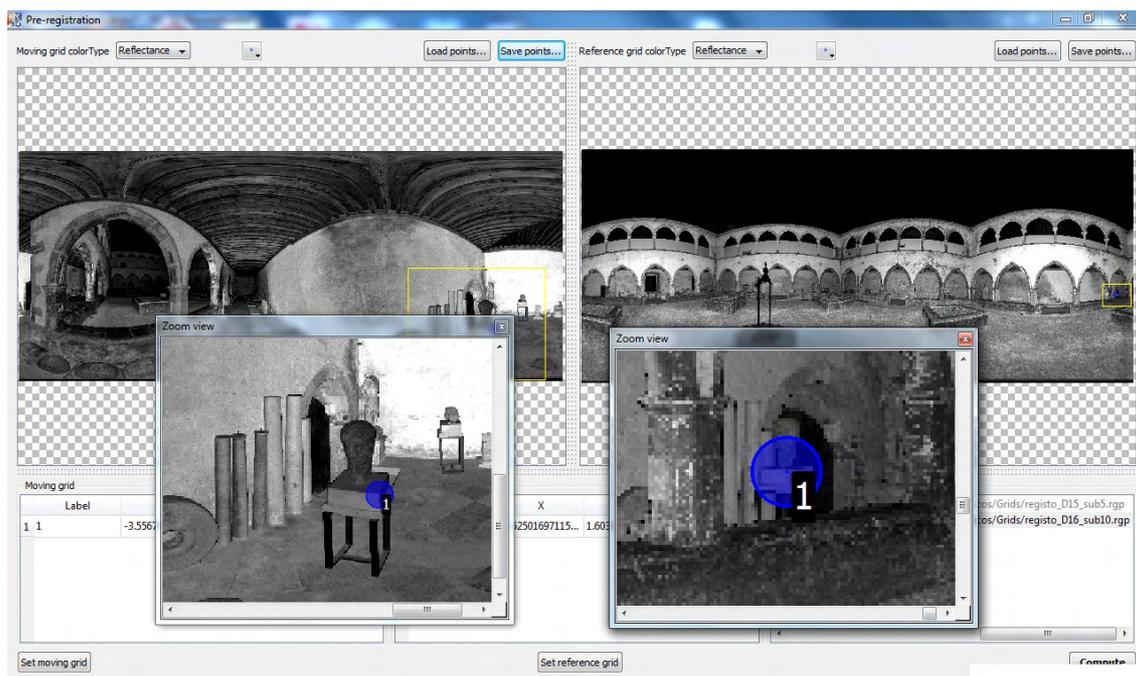


Figura 8-20: Aproximação manual à orientação da nuvem D15 tendo por referência a nuvem D16.

Trata-se de uma operação em que se vão adicionando nuvens de pontos ao modelo tendo por referência as adicionadas anteriormente. A orientação ocorre em dois momentos. Num primeiro momento é feita uma aproximação à posição correcta da nuvem mantendo fixas no espaço as que lhe servem de referência. Esta é feita

manualmente pelo operador e implica a selecção de três pontos homólogos na nuvem que se pretende orientar e nas que lhe servem de referência. Três pontos são a quantidade mínima de informação que permite calcular a operação de rotação e translação que move a nuvem de pontos. Na figura 8-20 ilustra-se a operação de identificação de pontos homólogos entre duas nuvens de pontos.

De seguida esta operação é otimizada através da aplicação do algoritmo ICP acima referido. Para a aplicação deste algoritmo no software que utilizámos, é definido um conjunto de parâmetros que definem o modo como é aplicado e que condicionam a operação. Entre estes temos parâmetros que definem a distância de pesquisa de pontos homólogos, a quantidade máxima e mínima de pontos homólogos admissíveis para a operação, o número máximo e mínimo de iterações a realizar, ângulo de divergência máximo entre pontos homólogos, variação na posição da nuvem de pontos. Na figura 8-21 pode visualizar-se uma impressão de ecrã da aplicação do algoritmo ICP. Como indicador da transformação é indicado o erro quadrático médio (rmse – root mean square error), o número de iterações efectuadas e o número de pontos utilizados na operação.

O resultado da orientação relativa é um modelo tridimensional de nuvens de pontos, de escala exacta.

Note-se que os alvos previamente identificados foram solidários com as orientações das nuvens de pontos nas quais foram identificados. Na figura 8-22 pode visualizar-se a disposição dos alvos sobre o modelo de nuvens de pontos produzido.

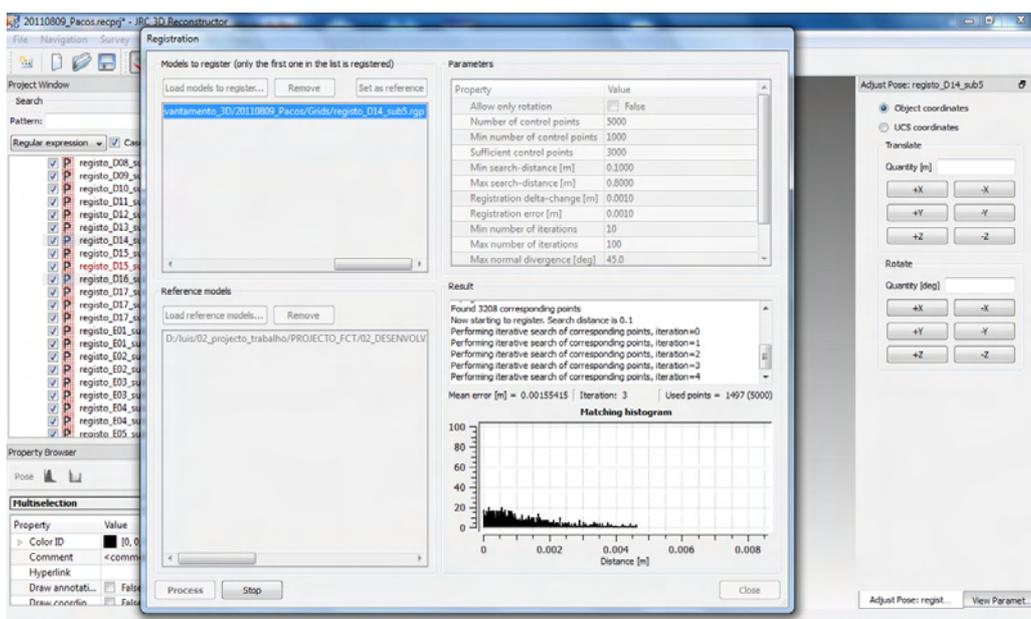


Figura 8-21: Impressão de ecrã durante a optimização da orientação relativa com a aplicação do ICP.

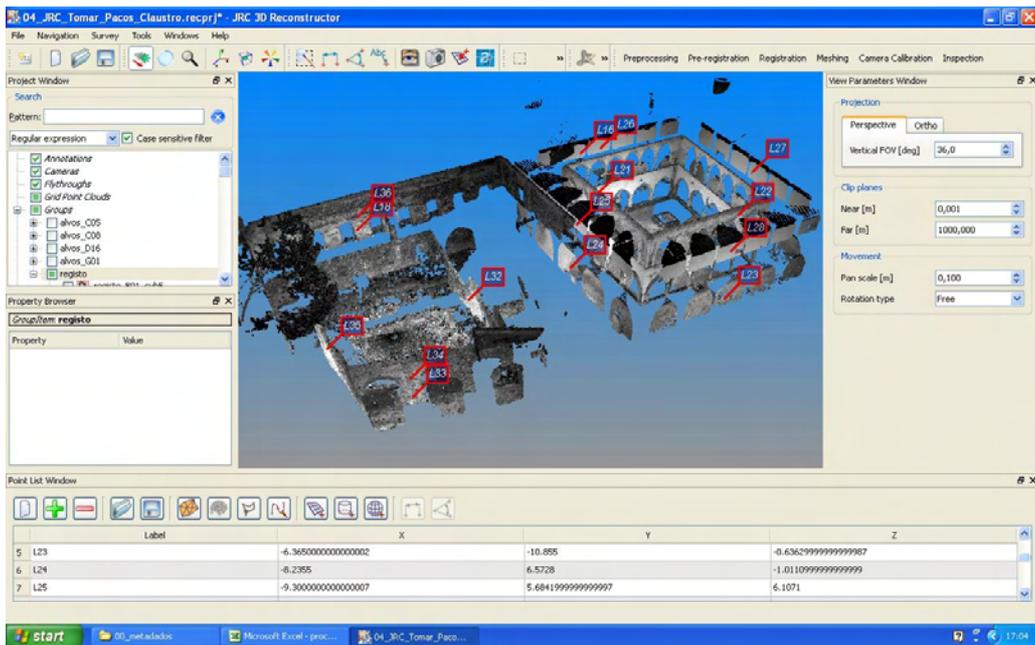


Figura 8-22: Visualização dos alvos no modelo de nuvens de pontos.

Com base nas coordenadas dos alvos dadas pelo levantamento topográfico e nas coordenadas homólogas resultantes da orientação relativa do modelo de nuvens de pontos, calculou-se uma transformação geométrica que orientou o modelo no referencial topográfico considerado, a menos de uma translação. Na tabela 8-4 apresentam-se as coordenadas dos alvos no referencial local, à esquerda, e as coordenadas homólogas após a orientação georreferenciação do modelo.

LEVANTAMENTO VL3D					LEVANTAMENTO VL3D				
Alvos no referencial local da nuvem D16					Alvos georreferenciados				
					Datum 73 (menos uma translação)				
					(Transformação com todos os pontos)				
Nuvem	Alvos	X	Y	Z	Nuvem	Alvos	X	Y	Z
C05	16	8,420	12,299	4,618	C05	16	-13,944	-1,045	4,548
(caíu)	17				(caíu)	17			
C08	18	-15,246	31,506	1,152	C08	18	14,336	-12,627	1,881
D16	21	8,304	9,533	-0,852	D16	21	-14,476	1,633	-0,941
D16	22	10,252	-9,003	-0,176	D16	22	-21,694	18,823	-0,479
D16	23	-6,365	-10,855	-0,636	D16	23	-6,307	25,381	-0,514
D16	24	-8,236	6,573	-1,011	D16	24	0,510	9,230	-0,686
D16	25	-9,300	5,684	6,107	D16	25	1,074	10,393	6,450
D16	26	8,195	9,553	6,121	D16	26	-14,561	1,650	6,033
D16	27	10,223	-9,333	6,202	D16	27	-21,940	19,153	5,894
D16	28	-7,147	-10,278	6,299	D16	28	-5,587	25,058	6,445
(caíu)	30				(caíu)	30			
(caíu)	31				(caíu)	31			
G01	32	-17,322	15,046	-2,079	G01	32	11,676	3,731	-1,437
G01	33	-32,774	11,771	-0,184	G01	33	25,473	11,318	0,840
G01	34	-32,793	11,597	2,410	G01	34	25,369	11,492	3,431
G01	35	-30,653	23,669	-1,314	G01	35	26,899	-0,687	-0,242
G01	36	-15,334	30,827	3,360	G01	36	14,163	-11,950	4,085

Tabela 8-4: Coordenadas dos alvos no referencial da nuvem D16 (à esquerda) e no referencial Datum 73 a menos de uma translação (à direita).

Em condições normais, após esta etapa deveria ter-se passado à extracção de informação base para a restituição gráfica no que seria um processo que deveria ter ocorrido de forma linear. Porém, após a georreferenciação do modelo, verificou-se que tinha havido um erro na orientação relativa das nuvens de pontos (figura 8-23) pelo que esta operação teve de ser parcialmente refeita.



Figura 8-23: Erro verificado na orientação relativa (à esquerda) e a situação corrigida após nova orientação relativa (à direita).

Este erro deveu-se, em nossa opinião, ao facto de não se ter assegurado a sobreposição suficiente das nuvens de pontos entre os Paços do Infante e a zona do jardim que lhe é adjacente, como se ilustra na figura 8-24, e ao facto de se ter confiado excessivamente nos indicadores numéricos de qualidade da orientação relativa, sem ter procedido a uma visualização mais exaustiva do modelo produzido. Uma forma de ter evitado esta falta de sobreposição poderia ter sido considerar estações de varrimento laser pelo menos em alguns dos vãos de modo a ter nuvens de pontos equilibradas entre interior e exterior. A falta de sobreposição gerou um empeno de uma faixa de nuvens de pontos situada ao longo do exterior da parede voltada ao jardim com expressão máxima (figura 8-23) de aproximadamente 4cm de desfasamento.



Figura 8-24: Zona do jardim (à esquerda) e Paços do Infante (à direita). Estas duas zonas adjacentes comunicam por meio de janelas.

Devido a este erro, foi necessário corrigir a orientação relativa. Parte do modelo anterior manteve-se inalterado e, tomando essa parte como referência, foi a partir daí que se corrigiu o modelo. Os alvos que se encontravam sobre as nuvens de pontos sujeitas a correção foram solidários com a correção. Na tabela 8-5 colocam-se em paralelo as coordenadas dos alvos topográficos antes (à esquerda) e depois (à direita) da correção da orientação das nuvens de pontos. Note-se que apenas os alvos a amarelo sofreram deslocação uma vez que as nuvens em que estavam contidos sofreram deslocação.

LEVANTAMENTO VL3D					LEVANTAMENTO VL3D (Inicial - I)				
Alvos georreferenciados					Alvos				
Datum 73 (menos uma translação)					(Após nova orientação relativa das nuvens de pontos)				
(Transformação com todos os pontos)									
Nuvem	Alvos	X	Y	Z	Nuvem	Alvos	X	Y	Z
C05	16	-13,944	-1,045	4,548	C05	16	-13,943	-1,059	4,544
(caiu)	17				(caiu)	17			
C08	18	14,336	-12,627	1,881	C08	18	14,348	-12,625	1,843
D16	21	-14,476	1,633	-0,941	D16	21	-14,476	1,633	-0,941
D16	22	-21,694	18,823	-0,479	D16	22	-21,694	18,823	-0,479
D16	23	-6,307	25,381	-0,514	D16	23	-6,307	25,381	-0,514
D16	24	0,510	9,230	-0,686	D16	24	0,510	9,230	-0,686
D16	25	1,074	10,393	6,450	D16	25	1,074	10,393	6,450
D16	26	-14,561	1,650	6,033	D16	26	-14,561	1,650	6,033
D16	27	-21,940	19,153	5,894	D16	27	-21,940	19,153	5,894
D16	28	-5,587	25,058	6,445	D16	28	-5,587	25,058	6,445
(caiu)	30				(caiu)	30			
(caiu)	31				(caiu)	31			
G01	32	11,676	3,731	-1,437	G01	32	11,677	3,733	-1,420
G01	33	25,473	11,318	0,840	G01	33	25,472	11,324	0,852
G01	34	25,369	11,492	3,431	G01	34	25,368	11,497	3,444
G01	35	26,899	-0,687	-0,242	G01	35	26,901	-0,681	-0,234
G01	36	14,163	-11,950	4,085	G01	36	14,172	-11,950	4,096

Tabela 8-5: Coordenadas dos alvos no modelo de nuvens de pontos após a georreferenciação (à esquerda) e após a correção da orientação relativa (à direita).

Na tabela 8-6 comparam-se as coordenadas dos alvos topográficos, após a nova operação de orientação relativa das nuvens de pontos, com as coordenadas homólogas topográficas. O resultado desta comparação mostra que o erro médio quadrático das diferenças de coordenadas foi de 13mm no plano horizontal e de 10mm na direcção vertical. O erro médio quadrático espacial foi de 17mm.

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO (translação - m)				LEVANTAMENTO VL3D (Inicial - I)					DIFERENÇA (I - m)			VARIÂNCIAS E ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS					
Alvos dos Paços do Infante e Claustro da Lavagem				Alvos (Após nova orientação relativa das nuvens de pontos)					DX	DY	DZ	dxyl	dxyl ^2	dz	dz ^2	dxyz	dxyz ^2
Translação (metros)				Nuvem	Alvos	X	Y	Z									
	24500	7150	-120														
Alvos	M	P	H	C05	16	-13,943	-1,059	4,544	-0,001	-0,027	-0,004	0,027	0,000722	0,004	0,000014	0,027	0,000736
16	-13,942	-1,032	4,548	C08	18	14,348	-12,625	1,843	0,020	-0,012	-0,019	0,023	0,000530	0,019	0,000368	0,030	0,000899
17	-0,320	-6,918	-1,094	D16	21	-14,476	1,633	-0,941	0,003	-0,005	0,005	0,006	0,000033	0,005	0,000023	0,007	0,000056
18	14,328	-12,613	1,862	D16	22	-21,694	18,823	-0,479	0,003	0,005	-0,011	0,006	0,000038	0,011	0,000124	0,013	0,000162
21	-14,479	1,638	-0,946	D16	23	-6,307	25,381	-0,514	0,010	0,004	0,002	0,011	0,000112	0,002	0,000005	0,011	0,000118
22	-21,697	18,818	-0,468	D16	24	0,510	9,230	-0,686	0,010	-0,004	0,013	0,010	0,000109	0,013	0,000174	0,017	0,000284
23	-6,317	25,377	-0,516	D16	25	1,074	10,393	6,450	0,002	-0,003	0,014	0,004	0,000014	0,014	0,000200	0,015	0,000214
24	0,500	9,234	-0,699	D16	26	-14,561	1,650	6,033	0,003	0,000	0,003	0,003	0,000007	0,003	0,000006	0,004	0,000013
25	1,072	10,396	6,436	D16	27	-21,940	19,153	5,894	-0,002	0,008	-0,009	0,008	0,000066	0,009	0,000078	0,012	0,000143
26	-14,564	1,650	6,030	D16	28	-5,587	25,058	6,445	0,008	0,002	0,003	0,009	0,000074	0,003	0,000009	0,009	0,000083
27	-21,938	19,145	5,903	(caiu)	30												
28	-5,595	25,056	6,442	(caiu)	31												
30	15,028	-10,424	-2,223	G01	32	11,677	3,733	-1,420	-0,007	0,002	0,006	0,008	0,000058	0,006	0,000037	0,010	0,000095
31	-1,205	0,676	5,297	G01	33	25,472	11,324	0,852	-0,012	0,014	0,011	0,019	0,000344	0,011	0,000125	0,022	0,000469
32	11,684	3,731	-1,426	G01	34	25,368	11,497	3,444	-0,016	0,012	0,013	0,019	0,000375	0,013	0,000159	0,023	0,000534
33	25,484	11,310	0,841	G01	35	26,901	-0,681	-0,234	0,002	0,013	0,001	0,014	0,000186	0,001	0,000001	0,014	0,000188
34	25,384	11,485	3,431	G01	36	14,172	-11,950	4,096	0,002	-0,003	-0,009	0,003	0,000010	0,009	0,000087	0,010	0,000097
35	26,899	-0,694	-0,235									0,013	0,000179	0,010	0,000094	0,017	0,000273
36	14,170	-11,947	4,105														

Tabela 8-6: Comparação das coordenadas dos alvos topográficos após a nova orientação relativa, com as coordenadas topográficas homólogas.

Após esta correção calculou-se nova operação de georreferenciação. Da comparação entre as coordenadas dos alvos antes (à esquerda) e depois (ao centro) da nova operação de georreferenciação, cujas diferenças estão calculadas (à direita), que se ilustra na tabela 8-7, optou-se por não sujeitar o modelo à nova transformação.

LEVANTAMENTO VL3D (Inicial - I)					LEVANTAMENTO VL3D (Final - F)					COMPARAÇÃO (F - I)		
Alvos (Após nova orientação relativa das nuvens de pontos)					Alvos - nova georreferenciação (Transformação com todos os pontos)					dx	dy	dz
Nuvem	Alvos	X	Y	Z	Nuvem	Alvos	X	Y	Z			
C05	16	-13,943	-1,059	4,544	C05	16	-13,945	-1,056	4,551	-0,002	0,003	0,006
(caiu)	17				(caiu)	17						
C08	18	14,348	-12,625	1,843	C08	18	14,343	-12,628	1,847	-0,005	-0,003	0,004
D16	21	-14,476	1,633	-0,941	D16	21	-14,480	1,634	-0,936	-0,003	0,001	0,005
D16	22	-21,694	18,823	-0,479	D16	22	-21,694	18,826	-0,479	0,000	0,002	0,000
D16	23	-6,307	25,381	-0,514	D16	23	-6,306	25,381	-0,520	0,001	0,000	-0,007
D16	24	0,510	9,230	-0,686	D16	24	0,508	9,228	-0,688	-0,002	-0,002	-0,002
D16	25	1,074	10,393	6,450	D16	25	1,074	10,394	6,448	0,000	0,001	-0,002
D16	26	-14,561	1,650	6,033	D16	26	-14,563	1,654	6,038	-0,002	0,004	0,005
D16	27	-21,940	19,153	5,894	D16	27	-21,939	19,158	5,894	0,001	0,005	0,000
D16	28	-5,587	25,058	6,445	D16	28	-5,584	25,061	6,438	0,003	0,002	-0,007
(caiu)	30				(caiu)	30						
(caiu)	31				(caiu)	31						
G01	32	11,677	3,733	-1,420	G01	32	11,673	3,729	-1,422	-0,003	-0,004	-0,002
G01	33	25,472	11,324	0,852	G01	33	25,470	11,319	0,843	-0,001	-0,005	-0,009
G01	34	25,368	11,497	3,444	G01	34	25,368	11,492	3,435	-0,001	-0,004	-0,009
G01	35	26,901	-0,681	-0,234	G01	35	26,898	-0,686	-0,238	-0,004	-0,006	-0,004
G01	36	14,172	-11,950	4,096	G01	36	14,167	-11,952	4,099	-0,004	-0,002	0,004

Tabela 8-7: Comparação entre coordenadas dos alvos após cálculo da nova georreferenciação.

Com efeito, a análise da matriz desta transformação (tabela 8-8) permite concluir que, embora os resultados melhorassem ligeiramente como se pode constatar pela análise da tabela 8-9, a translação global do modelo não chegaria aos 5mm, o que se pode concluir da leitura da última coluna da matriz, e que praticamente não há rotação do modelo a assinalar, o que se pode concluir da leitura das três primeiras linhas e colunas da matriz.

1,0000	0,0002	0,0003	-0,0034
-0,0002	1,0000	0,0004	-0,0012
-0,0003	-0,0004	1,0000	0,0022
0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

Tabela 8-8: Matriz da transformação da nova georreferenciação (que não foi aplicada).

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO (translação - m)				LEVANTAMENTO VL3D (Final - F)					DIFERENÇA (F - m)			VARIÂNCIAS E ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS					
Alvos dos Paços do Infante e Claustro da Lavagem				Alvos - nova georreferenciação													
Translação (metros)				(Transformação com todos os pontos)													
Alvos	24500	7150	-120	Nuvem	Alvos	X	Y	Z	DX	DY	DZ	ldxyl		ldz		ldxyzl	
M	P	H		C05	16	-13,945	-1,056	4,551	-0,003	-0,024	0,003	0,024	0,000575	0,003	0,000006	0,024	0,000581
16	-13,942	-1,032	4,548	(caiu)	17												
17	-0,320	-6,918	-1,094	C08	18	14,343	-12,628	1,847	0,015	-0,015	-0,015	0,021	0,000432	0,015	0,000235	0,026	0,000667
18	14,328	-12,613	1,862	D16	21	-14,480	1,634	-0,936	-0,001	-0,004	0,010	0,004	0,000017	0,010	0,000100	0,011	0,000117
21	-14,479	1,638	-0,946	D16	22	-21,694	18,826	-0,479	0,003	0,008	-0,011	0,008	0,000066	0,011	0,000126	0,014	0,000193
22	-21,697	18,818	-0,468	D16	23	-6,306	25,381	-0,520	0,011	0,004	-0,004	0,011	0,000126	0,004	0,000020	0,012	0,000146
23	-6,317	25,377	-0,516	D16	24	0,508	9,228	-0,688	0,008	-0,006	0,011	0,010	0,000091	0,011	0,000130	0,015	0,000221
24	0,500	9,234	-0,699	D16	25	1,074	10,394	6,448	0,002	-0,002	0,012	0,003	0,000007	0,012	0,000138	0,012	0,000145
25	1,072	10,396	6,436	D16	26	-14,563	1,654	6,038	0,001	0,004	0,008	0,004	0,000019	0,008	0,000061	0,009	0,000080
26	-14,564	1,650	6,030	D16	27	-21,939	19,158	5,894	-0,001	0,013	-0,009	0,013	0,000165	0,009	0,000081	0,016	0,000246
27	-21,938	19,145	5,903	D16	28	-5,584	25,061	6,438	0,011	0,005	-0,004	0,012	0,000141	0,004	0,000015	0,012	0,000156
28	-5,595	25,056	6,442	(caiu)	30												
30	15,028	-10,424	-2,223	(caiu)	31												
31	-1,205	0,676	5,297	G01	32	11,673	3,729	-1,422	-0,011	-0,002	0,004	0,011	0,000116	0,004	0,000014	0,011	0,000130
32	11,684	3,731	-1,426	G01	33	25,470	11,319	0,843	-0,014	0,009	0,002	0,016	0,000258	0,002	0,000005	0,016	0,000263
33	25,484	11,310	0,841	G01	34	25,368	11,492	3,435	-0,016	0,007	0,004	0,018	0,000314	0,004	0,000012	0,018	0,000327
34	25,384	11,485	3,431	G01	35	26,898	-0,686	-0,238	-0,001	0,008	-0,003	0,008	0,000058	0,003	0,000010	0,008	0,000068
35	26,899	-0,694	-0,235	G01	36	14,167	-11,952	4,099	-0,003	-0,004	-0,006	0,005	0,000028	0,006	0,000033	0,008	0,000061
36	14,170	-11,947	4,105						0,013	0,000161	0,008	0,000066	0,015	0,000227			

Tabela 8-9: Comparação das coordenadas dos alvos topográficos após a nova georreferenciação (não adoptada), com as coordenadas topográficas homólogas.

As operações de orientação relativa das nuvens de pontos e georreferenciação do modelo foram efectuadas em três dias. A correcção da orientação relativa, efectuada já no sistema de coordenadas georreferenciado, e as novas operações de correcção da georreferenciação foram efectuadas em dois dias.

Foram realizadas cerca de 79 operações de orientação relativa de nuvens de pontos e a média dos erros quadráticos médios foi de aproximadamente 3,2mm.

Após estas operações o modelo ficou preparado para a extracção de informação base para a restituição gráfica.

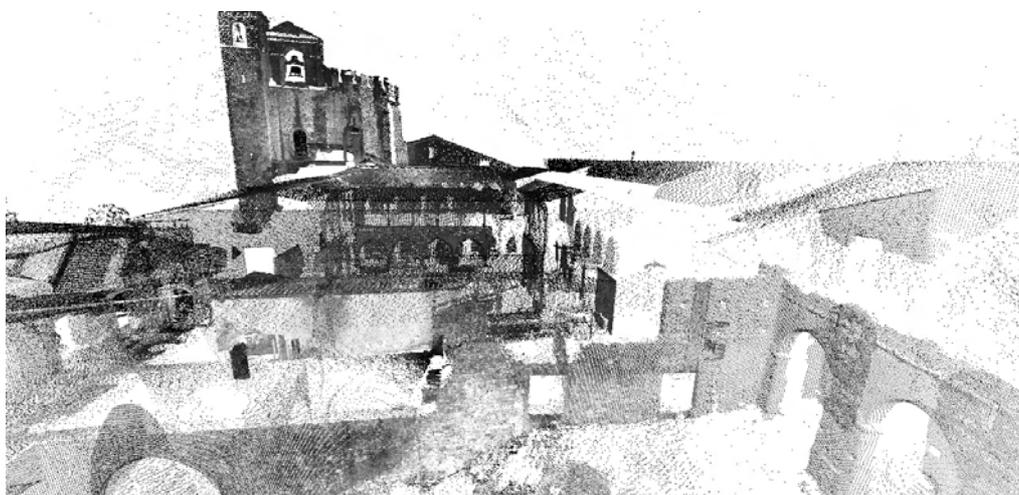


Figura 8-25: Visualização do modelo de nuvens de pontos dos Paços do Infante.

- Os metadados relativos ao processamento das nuvens de pontos, incluindo o histórico da orientação relativa e respectivos indicadores de qualidade, as matrizes de posição dos alvos e das nuvens de pontos, e o processamento das coordenadas topográficas, podem ser consultados no CD anexo (004_CC_PI.pdf).

- Produção de informação base para restituição gráfica relativa aos Paços do Infante: Considerada concluída a operação com a qual se obteve o modelo geral, passou-se à extracção de informação base para a restituição gráfica. Esta foi sob a forma de imagem e vectorial. As imagens foram de dois tipos: i) imagens correspondentes a secções horizontais ou verticais, e ii) imagens correspondentes a vistas.

As imagens correspondentes às secções foram obtidas a partir da orientação de planos de secção sobre os quais se projectaram os pontos das nuvens de pontos que estão a menos de uma distância dada, por exemplo um ou dois centímetros. Dada a densidade das nuvens de pontos, o conjunto desses pontos permite perceber de forma quase contínua as linhas de corte. O procedimento alternativo que consiste em obter directamente a secção em formato vectorial, o que implica a criação implícita de um modelo triangulado sobre a nuvem de pontos. Este procedimento por vezes gera linhas enganosas correspondentes à triangulação de pontos afastados entre si, pelo que o seu uso implica maiores cautelas. Na figura 8-26 comparam-se as qualidades de informação base obtida por estes dois processos. Na imagem da esquerda é claramente visível o efeito referido. E o problema deste tipo de efeito é que pode levar a uma restituição gráfica com erros de interpretação.

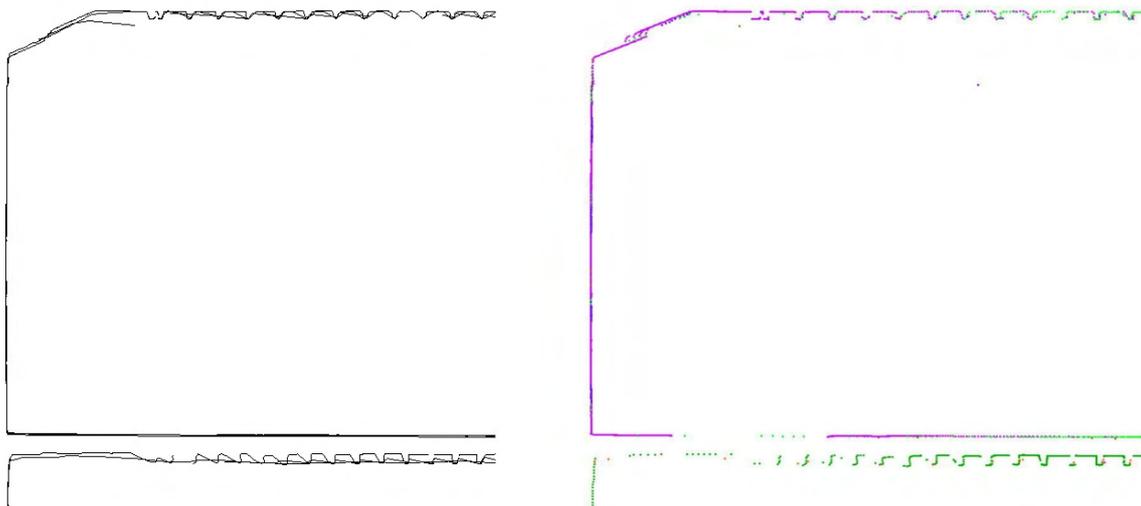


Figura 8-26: Comparação entre dados base do tipo vectorial (à esquerda) e do tipo raster (à direita).

Relativamente às imagens correspondentes às vistas há a considerar que face às limitações do hardware utilizado, o processo de orientação relativa foi levado a cabo utilizando nuvens de pontos dizimadas. Por esta razão, por vezes a qualidade das imagens obtidas a partir delas não apresentava a qualidade suficiente. Este facto levou a que fosse necessário importar novamente troços de nuvens de pontos com a maior resolução possível e obter a partir deles as melhores imagens possíveis. Nota-se ainda que as imagens podem ser visualizadas segundo vários tipos de mapeamento. No software que utilizámos, o JRC 3D Reconstructor, temos disponível o mapeamento com os valores de reflectância, com os valores de inclinação dos vectores normais (“inclination”), e com os valores de confiança (“confidence”) computados em função de vários indicadores de qualidade dos pontos das nuvens. Estes tipos de imagem estão ilustrados na figura 8-27. A reflectância pode dar indicações importantes acerca das diferenças de materiais, a inclinação permite perceber as diferenças de orientações entre superfícies, o que pode ser um bom indicador para definir arestas, e a confiança torna mais evidente as irregularidades das superfícies.

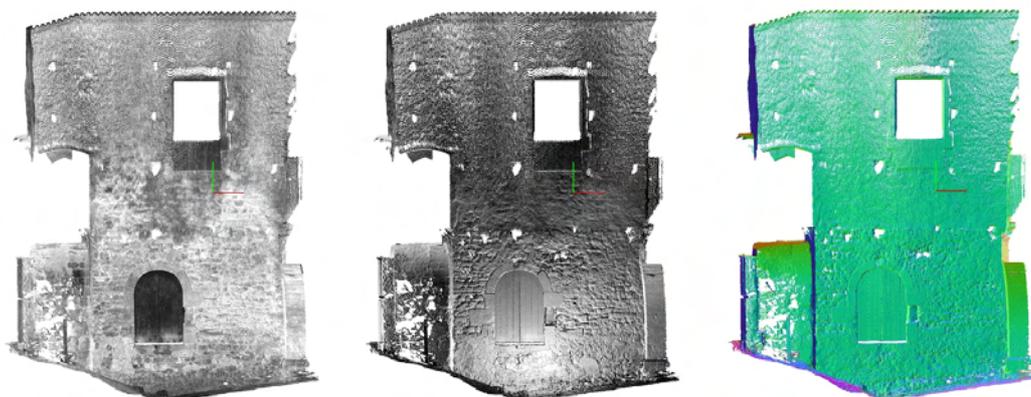


Figura 8-27: Comparação entre os mapeamentos de reflectância (à esquerda), confiança (ao centro), e inclinação (à direita) da nuvem G04, projectados num plano de corte.

Em função das necessidades, exportaram-se vários tipos de imagem, dado que algumas características dos elementos a registar podem ficar mais perceptíveis numa ou noutra imagem. Como o objectivo da utilização destas imagens foi apenas o de servir como auxiliar para a restituição gráfica e não para apresentação final, não foram produzidos orto-imagens gerais. Consoante o nível de detalhe desejado assim as orto-imagens foram produzidas com maior ou menor resolução. Por exemplo, na figura 8-28 apresentam-se duas imagens da mesma zona. Na imagem da direita são

perceptíveis cada uma das telhas e rincões do telhado enquanto que na imagem da esquerda essa leitura já não foi possível. A diferença entre as duas imagens reside na resolução. Na imagem da esquerda cada pixel corresponde a uma área de 0,5x0,5cm e na imagem da direita cada pixel corresponde a uma área de 0,25x0,25cm, o que permite maior diferenciação.

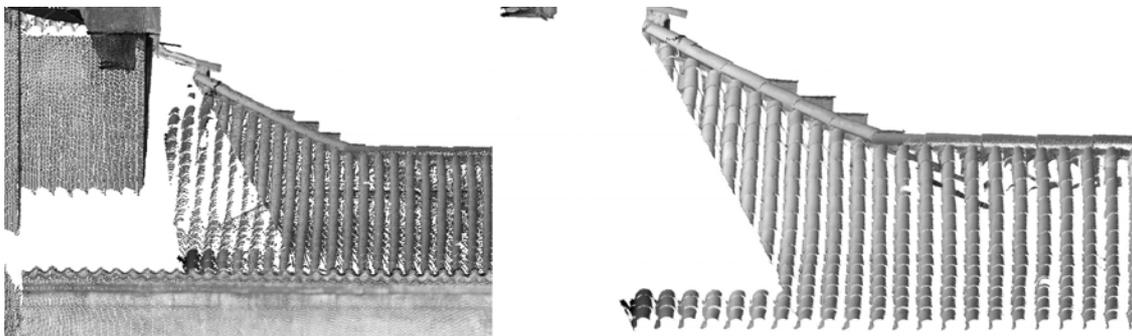


Figura 8-28: Diferenças nas qualidades das imagens em função da sua resolução espacial.

Por outro lado note-se o aspecto inacabado de ambas as imagens. Esta questão não é relevante uma vez que, como já se disse, estas imagens são apenas auxiliares do processo de restituição gráfica e não são para apresentação final.

Foram exportadas cerca de 50 secções no formato vectorial *.DXF.

Foram exportadas cerca de 166 imagens no formato *.bmp, 95 das quais relativas a vistas, correspondendo a um total de 1.9Gb.

- Restituição gráfica 2D relativa aos Paços do Infante:

As imagens produzidas na etapa anterior foram inseridas num ficheiro na aplicação AutoCAD e utilizadas como base para a restituição gráfica. De modo a facilitar a transposição de medidas de uns desenhos para outros, optou-se por colocar estes elementos na sua posição espacial relativa em vez de os colocar num único plano. Esta opção correspondeu a um ensaio no sentido de verificar se daí resultam maiores facilidades no processo de desenho. O resultado da restituição gráfica foi o apresentado na figura 8-29. Na figura também se incluiu a informação base em formato vectorial.

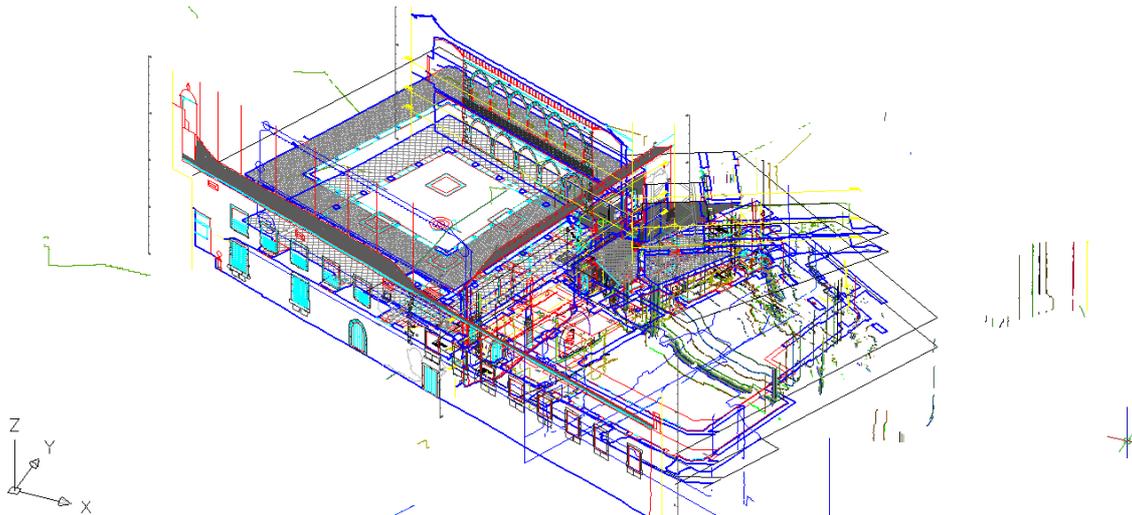


Figura 8-29: As várias peças desenhadas colocadas espacialmente.

A cada peça desenhada correspondem linhas colocadas em layers próprias que permitem distingui-las. Foi definido um sistema de coordenadas específico para cada peça desenhada (UCS do AutoCAD). E a aparente complexidade que se apresenta na figura 8-29 é facilmente gerida através da visualização em layouts de impressão como os que se apresentam na figura 8-32.

Foram produzidas 3 plantas, 2 cortes e 1 alçado com o nível de detalhe da escala 1/50.

Todo o processo desde a extracção da informação base para restituição gráfica até ao final da sua produção consumiu 163 horas de trabalho e ficou concluído no dia 14 de Agosto de 2009, no que concerne aos Paços do Infante. Esta etapa foi conduzida pelo arquitecto Luís Mateus.

- **Processamento das nuvens de pontos do Pátio dos Carrascos:**

Relativamente ao Pátio dos Carrascos os procedimentos foram próximos do que foi realizado para os Paços do Infante. Porém foi conduzida pela arquitecta Rita Santos, bolseira do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006 “Contributos para a Conservação do Património: Metodologia Documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres”. Tratou-se de uma componente de formação e transmissão de conhecimento que é própria dos processos de investigação. Todo o trabalho foi acompanhado e orientado pelo arquitecto Luís Mateus.

O processamento das nuvens de pontos compreendeu as seguintes etapas: a) importação das nuvens de pontos, b) limpeza das nuvens de pontos e pré-processamento, c) orientação relativa, e d) orientação absoluta (georreferenciação).

Todo o processamento foi levado a cabo com o software previsto e com um PC com 2Gb de RAM, sistema operativo de 32bit e placa gráfica de 512Mb, um pouco mais

limitado que o utilizado para o processamento dos dados dos Paços do Infante. Porém a zona em análise também é menor.

Na descrição que a seguir faremos, incidiremos sobretudo nas diferenças em relação àquele caso.

O processo de orientação relativa das nuvens de pontos não foi linear, em parte por ter sido realizado por um agente em formação, o que é normal. Assim foi um processo que consumiu mais tempo e implicou bastante a abordagem tentativa e erro.

Contaram-se 26 operações de orientação relativa, sendo a média dos erros médios quadráticos obtidos de aproximadamente 5,3mm. As nuvens foram orientadas no referencial da nuvem A07.

Após a orientação relativa das nuvens de pontos foram extraídas as coordenadas dos alvos topográficos no modelo de nuvens de pontos que se apresentam na tabela 8-10 à esquerda. Com base nestas coordenadas e nas coordenadas homólogas obtidas pela topografia calculou-se uma transformação geométrica que georreferenciou o modelo de nuvens de pontos, a menos de uma translação.

LEVANTAMENTO VL3D					LEVANTAMENTO VL3D (g)				
Alvos no referencial local da nuvem A07					Alvos georreferenciados				
					Datum 73 (menos uma translação)				
					(Transformação com todos os pontos)				
Nuvem	Alvos	X	Y	Z	Nuvem	Alvos	X	Y	Z
A07	9	-17,183	-1,237	0,432	A07	9	-15,441	-27,581	-0,065
A07	10	-11,366	28,798	0,015	A07	10	-5,425	1,320	-0,760
A07	11	3,546	16,645	-0,970	A07	11	7,633	-12,832	-1,276
A07	12	14,258	-12,038	1,026	A07	12	14,139	-42,705	1,321

Tabela 8-10: Coordenadas dos alvos no referencial da nuvem A07 (à esquerda) e no referencial Datum 73 a menos de uma translação (à direita).

O erro médio quadrático desta operação foi de aproximadamente 4mm. Na tabela 8-10 à direita apresentam-se as coordenadas dos alvos topográficos no referencial topográfico, a menos de uma translação.

Na tabela 8-11 comparam-se as coordenadas dos alvos topográficos do modelo georreferenciado com as coordenadas topográficas homólogas.

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO (m)				LEVANTAMENTO VL3D (g)				DIFERENÇA (g - m)			VARIÂNCIAS E ERROS MÉDIOS QUADRÁTICOS					
Alvos dos Paços do Infante e Claustro da				Alvos georreferenciados												
Translação (metros)				Datum 73 (menos uma translação)												
				(Transformação com todos os pontos)												
Alvos	M'	P'	H'	Nuvem	Alvos	X	Y	Z	DX	DY	DZ	idxyl	idz	idxyzl		
9	-15,438	-27,580	-0,065	A07	9	-15,441	-27,581	-0,065	-0,003	-0,001	0,000	0,003	0,000010	0,000	0,000000	0,003
10	-5,424	1,315	-0,759	A07	10	-5,425	1,320	-0,760	-0,001	0,005	-0,001	0,005	0,000028	0,001	0,000000	0,005
11	7,633	-12,833	-1,276	A07	11	7,633	-12,832	-1,276	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000002	0,000	0,000000	0,001
12	14,135	-42,700	1,321	A07	12	14,139	-42,705	1,321	0,004	-0,005	0,000	0,006	0,000040	0,000	0,000000	0,006
												0,004	0,000020	0,000	0,000000	0,004

Tabela 8-11: Comparação das coordenadas dos alvos topográficos, após a georreferenciação, com as coordenadas homólogas do modelo de varrimento laser 3D.

Os erros médios quadráticos das diferenças no plano horizontal, na vertical e espacialmente são de aproximadamente 4mm, 0mm e 4mm aproximadamente, respectivamente.

Após a realização destas operações o modelo (ver figura 8-30) ficou preparado para a extracção de informação base para a restituição gráfica.



Figura 8-30: Vista do modelo de nuvem de pontos da ruína do Pátio dos Carrascos.

Esta operação foi realizada durante os meses de Agosto e Setembro de 2009.

- A operação de produção de informação base para restituição gráfica relativa ao Pátio dos Carrascos decorreu de modo similar ao que foi descrito relativamente aos Paços do Infante.

Foram exportadas cerca de 32 imagens no formato *.bmp, num total de 261Mb. Estas imagens correspondem todas a vistas.

Em relação aos cortes optou-se pelo formato vectorial. Foram exportadas 14 secções no formato *.dxf.

- A restituição gráfica 2D relativa aos Paços do Infante foi conduzida de modo similar ao realizado para os Paços do Infante. Quer as imagens, quer as secções auxiliares, foram introduzidas como referência num ficheiro de AutoCAD e sobre elas procedeu-se à restituição gráfica. Neste caso apenas se pretendia o nível de detalhe da escala 1/100 o que implicou um menor nível de diferenciação das características do objecto. Foi produzida uma planta geral, 4 alçados e 1 corte.

O tempo consumido com as operações de extracção de informação do modelo de nuvens de pontos e com a restituição gráfica foi de aproximadamente 132 horas, tendo o trabalho ficado concluído em meados do mês de Dezembro de 2009.

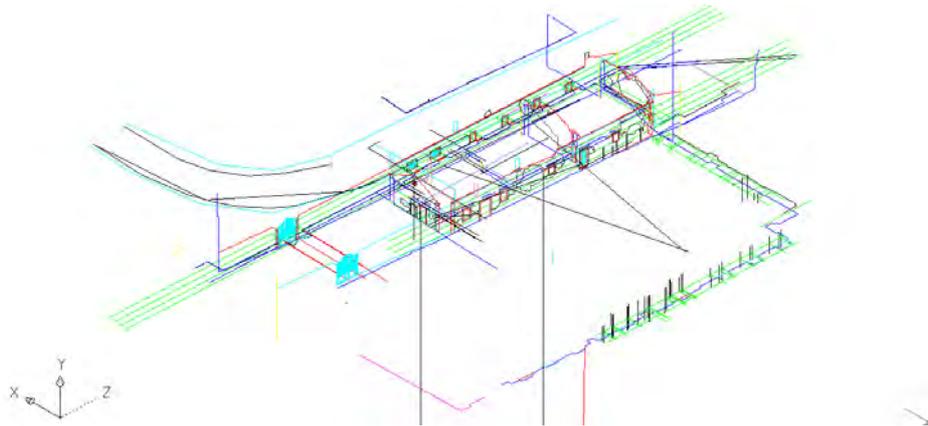


Figura 8-31: Visualização das várias peças desenhadas colocadas espacialmente.

A.8.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- A forma da documentação final entregue consistiu na apresentação dos desenhos sob a forma de layouts, como o que se pode observar na figura 8-32, preparados para impressão na escala 1/50, no caso dos Paços do Infante, e na escala 1/100, no caso do Pátio dos Carrascos, acompanhados do respectivo ficheiro de configuração de impressão.

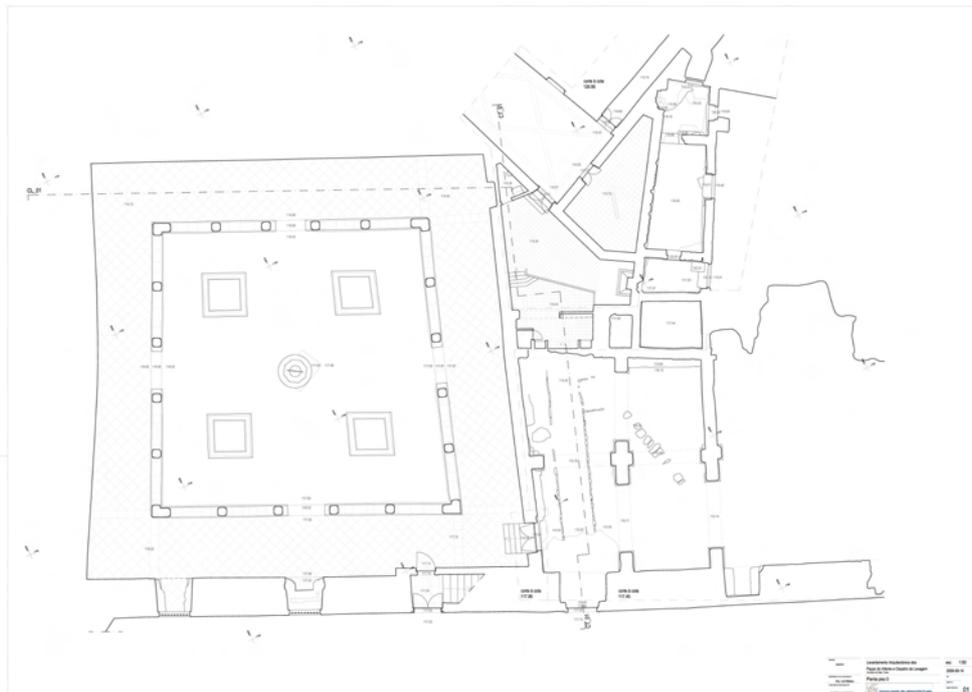


Figura 8-32: Exemplo de layout de impressão.

- Os desenhos resultantes desta etapa podem ser consultados no CD anexo (005_CC_PI_CC.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- Os principais desvios em relação ao previsto prenderam-se com a não linearidade dos procedimentos no caso dos Paços do Infante, situação em que foi necessário corrigir a orientação relativa das nuvens de pontos após já se ter operado a georreferenciação. Tal facto provocou ligeiro atraso do processo.

No caso do Pátio dos Carrascos, o facto de as operações terem sido conduzidas por um agente ainda sem experiência no processamento de nuvens de pontos e de interpretação e extracção de dados deste tipo de modelo, levou a que a duração do processo fosse superior ao que seria de esperar.

A.8.3. ANÁLISE CRÍTICA

Neste ponto faremos uma análise crítica das várias etapas dos dois processos descritos, tendo em conta a apropriação dos elementos produzidos nos processos a que foram destinados sempre que esta informação é disponível.

- Sobre o planeamento:

Embora o varrimento laser 3D produza uma enorme quantidade de dados que podem ser utilizados das mais variadas formas, mesmo aquelas que não foram previstas à partida, não deixa de ser necessário que se compreenda bem quais os objectivos e os fins a que se destina a informação a produzir. Este é um aspecto relevante que entenderemos melhor mais adiante quando discutirmos a forma como os materiais relativos à ruína do Pátio dos Carrascos foram utilizados.

No que diz respeito à preparação específica dos trabalhos, etapa que designamos globalmente por planeamento, é preciso considerar vários aspectos relevantes:

a) Quando o objectivo é a representação de espaços contidos noutros mais amplos, por vezes comete-se o erro de não recolher suficiente informação nos limites dos espaços a documentar. A falta dessa informação pode implicar, por exemplo, a impossibilidade de desenhar espessuras de paredes limítrofes ou de desvãos de coberturas. Neste caso cometeu-se essa falha, por exemplo na transição entre o claustro da Lavagem e o Claustro do Cemitério, tendo ficado a espessura dessa parede por registar. Naturalmente esta informação em falta poderia ter sido facilmente colmatada com uma medição directa. Porém parece-nos pertinente fazer esta referência, pois pode haver casos em que a omissão pode ter consequências mais sérias se, por exemplo, não for possível voltar ao lugar.

b) Da nossa experiência com este processo ocorre-nos efectuar uma síntese de aspectos que devem ser considerados no processo de planeamento. Estes aspectos, mais uma vez, assumem relevância com a experiência. Podem ser divididos por várias categorias:

- Atenção aos horários de funcionamento, telefones de contacto, acompanhamento no local por pessoas ligadas à instituição que podem garantir acessos (o problema das chaves).

- Atenção à limpeza do local, desobstrução, facilidades de acesso. Note-se que no caso do varrimento laser, tudo quanto se encontrar no campo de visão do equipamento fica registado. Por outro lado o equipamento é de transporte e manuseamento difícil, devido ao peso, e sensível, pelo que obstáculos presentes no seu caminho podem introduzir dificuldades físicas e danos no equipamento e nos seus operadores.

- Um aspecto geral em todos os trabalhos de campo, e este tipo de trabalho não é excepção, é a utilização de equipamento e vestuário adequado como botas, capacete, chapéu é de grande importância. Por outro lado, ter água disponível ou protector solar quando se trabalha ao ar livre são aspectos a considerar.

- Devem utilizar-se equipamentos auxiliares de registo e inspecção expeditos e fáceis de transportar como bloco de notas, câmara fotográfica, gravador, câmara de vídeo, ou binóculos.

- Devem ter-se cuidados especiais a ter com o transporte e posicionamento dos equipamentos dado o seu elevado valor e sensibilidade, tal como arrumar sempre o equipamento em caixa apropriada para transporte. Note-se que é no momento em que deixa de se cumprir uma regra de bom senso que o acidente pode acontecer.

- Já durante o trabalho de campo devem ter-se cuidados a circulação de pessoas na envolvente, em particular com os turistas nos casos de edifícios históricos abertos ao público. Os equipamentos de varrimento laser emitem um nível de radiação que, em princípio, não é nociva em condições normais de operabilidade. Porém a exposição continuada, por exemplo no caso de um turista mais curioso, pode ser nociva. Por isso deve evitar-se que as pessoas olhem directa e deliberadamente para o feixe laser na proximidade do equipamento.

- É importante, na fase de planeamento verificar sempre se é necessário dispor de plataformas alternativas como mastros ou plataformas elevatórias e em que condições é que podem e devem ser utilizadas.

- No caso de edifícios com valor histórico deve sempre respeitar-se a materialidade dos mesmos e solicitar autorização específica caso se pretenda afixar alvos ou outros elementos necessários ao levantamento.

c) Na fase de planeamento pode parecer importante a numeração e respectiva ordenação pela qual se prevê que ocorra o varrimento laser. Porém uma excessiva definição pode eventualmente tornar-se um pouco contraproducente em campo. Digamos que por vezes a lógica que preside ao ordenamento das acções de campo tem apenas a ver com o esforço físico que é necessário fazer para deslocar o equipamento. Por isso pode ser conveniente fazer toda uma série de varrimentos em que se utiliza o tripé e apenas depois fazer outros varrimentos, ainda que espacialmente próximos daqueles, em que o scanner é colocado directamente sobre o pavimento, ao invés de estar constantemente a montar e desmontar o scanner do tripé, o que corresponde a esforço físico e tempo gasto. Quando há diferenças de cotas acentuadas no edifício ou terreno é conveniente começar de um ponto mais elevado e ir descendo à medida que se vai processando o trabalho. Naturalmente estes aspectos tornam-se mais evidentes com a experiência. Em síntese, teria sido mais eficiente não ter definido desde logo uma numeração, definindo-a ao longo do trabalho. Também assim a sequência de trabalho se tornaria mais robusta a esquecimentos.

- Sobre a execução:

a) Por mais que se planeiem as acções de campo, há sempre um factor de surpresa nestas que deve ser aproveitado. Por vezes, é em campo que se fazem ajustes finais em relação ao posicionamento do equipamento que visam tirar maior partido do mesmo de modo a obter informação de maior qualidade. Identificámos algumas configurações espaciais tipo que implicam disposições de estações de varrimento adequadas:

- A colocação das estações a eixo de vãos de compartimentos. Nesta configuração deve-se fazer pelo menos um varrimento com portas e janelas fechadas para captar o desenho destes elementos, sem prejuízo de que se façam outros com as portas e janelas abertas.

- A realização de uma estação de varrimento laser sempre nas transições entre espaços, em vãos de portas e janelas. Esta estação, a efectuar com as portas ou janelas abertas, permite registar pormenores das aduelas e molduras dos vãos.

- A realização de estações de varrimento em posições complementares para eliminar as sombras derivadas de elementos salientes de paredes.

É sempre preferível pecar por excesso do que por defeito, quer na quantidade de varrimentos, quer na densidade das capturas, embora com bom senso. Poderíamos dizer que em caso de dúvida acerca da validade de uma estação, o melhor é fazer a captura e decidir depois em gabinete se é usada ou não.

- Deve ter-se especial atenção à distância do equipamento de varrimento laser às superfícies pois este factor é determinante no tipo de detalhe que se consegue extrair das nuvens de pontos. Não se consegue o mesmo detalhe duplicando a distância e a resolução de modo a ter a mesma densidade de pontos numa superfície. Por outro lado é necessário um compromisso entre a distância do equipamento às superfícies e o número de estações a preconizar. Níveis de obliquidade muito elevados entre o feixe e as superfícies, geram dados de fraca qualidade que acabam por ser de pouca utilidade, isto se pensarmos do ponto de vista da diferenciação das características arquitectónicas do edifício.

b) Verificou-se que o processo foi pouco documentado através de fotografia, em particular as sessões de varrimento laser, e a sessão de colagem de alvos, o que acabou por constituir uma falha no nosso trabalho. É desejável que estas acções sejam fortemente documentadas quer para memória futura, quer como meio de se constituírem em si como documentação para suportar acções de planeamento futuras.

c) O desempenho do hardware utilizado foi bastante limitador da capacidade de processamento bem como da eficácia do processo de trabalho. Exporemos de seguida alguns aspectos relacionados:

- Não foi possível importar as nuvens de pontos com a dimensão máxima.

- Nuvens excessivamente dizimadas introduzem maiores dificuldades nas operações de orientação relativa entre nuvens, o que pode levar a erros.

- Neste tipo de situação uma estratégia possível poderia corresponder a proceder à orientação externa das nuvens de pontos directamente contra dados topográficos.

- No nosso caso, a estratégia adoptada consistiu em, nalguns casos, importar porções singulares de nuvens de pontos com uma resolução mais elevada e proceder à orientação relativa com base nessas nuvens, o que acabou por produzir resultados satisfatórios.

- A optimização da orientação relativa entre nuvens de pontos é uma operação sensível à qualidade da primeira aproximação à orientação. Se esta for de má qualidade aquela pode convergir para um resultado errado, embora com indicadores numéricos aparentemente aceitáveis.

- Nunca foi possível visualizar a totalidade do modelo de nuvens de pontos uma vez que, por limitações de memória do hardware, não era possível carregar todas as nuvens de pontos.

d) Ao nível da produção de dados base para restituição, verificamos que juntar mais que uma nuvem de pontos na produção de orto-imagens gera resultados visualmente pouco satisfatórios. Em todo o caso este pode ser um procedimento que gera imagens com qualidade plástica suficiente para apoiar o processo de restituição gráfica, mas

não deve ser o processo a seguir caso se pretendam imagens para apresentar em conjunto com os desenhos.

e) Uma das vantagens de se dispor de dados sobre a forma tridimensional consiste na liberdade de orientação dos planos de secção para produzir a informação base para a restituição gráfica e na versatilidade que há na possibilidade de produzir diferenciados elementos a pedido, enquanto que nos métodos tradicionais mais um elemento desenhado em geral implica mais uma sessão de recolha de medidas em campo.

f) Como já referido, o processamento dos dados do Pátio dos Carrascos foi levado a cabo por um agente em formação. Tal facto motivou uma demora maior que seria de esperar. Tal facto gerou no agente responsável pelos trabalhos a sensação de que seria mais rápido proceder ao levantamento daquele contexto arquitectónico através de métodos clássicos directos de levantamento. O facto de se ter procedido à restituição gráfica colocando os planos das várias peças desenhadas na sua posição espacial também foi tido mais como gerador de dificuldade que de benefício para o processo. De facto, os layouts estritamente bidimensionais parecem merecer maior aceitação por parte dos agentes que têm de lidar com a documentação por permitirem, pelo menos em primeira impressão, uma manipulação mais simples. Relativamente a este aspecto em particular, recordamos as impressões da equipa de arquitectos do IGESPAR que teve de lidar com os desenhos. Tendo reconhecido as qualidades gráficas e a fidelidade dos elementos apresentados, foram da opinião que o facto de as peças desenhadas se encontrarem espacialmente posicionadas lhes complicou o seu uso. Esta situação atesta a maior dificuldade em relação a informação tridimensional que têm alguns agentes que lidam com a documentação gráfica, e que ajuda a explicar a persistência da solicitação da documentação bidimensional.

- Sobre a utilização posterior dos materiais produzidos (na ruína do Pátio dos Carrascos):

Os materiais produzidos foram utilizados de variadas formas.

No caso do Pátio dos Carrascos, a documentação 2D entregue foi utilizada do modo tradicional como suporte da concepção do projecto da nova cafeteria, no que parece ser um uso adequado do tipo de documentação entregue. Porém, foi com surpresa que constatámos que os desenhos 2D foram utilizados para a produção de um modelo BIM do projecto da cafeteria no ambiente da aplicação de software ArchiCAD. Neste caso parece-nos que o potencial de se dispor de informação 3D à partida foi sub aproveitado. Isto é houve um fluxo de informação do tipo 3D > 2D > 3D. Se fosse conhecido à partida que este iria ser um dos usos da informação, poderia ter-se pensado em fluxos de informação mais apropriados. Nas figuras 8-33 e 8-34 visualiza-se o modo como os desenhos foram utilizados na produção do modelo BIM.

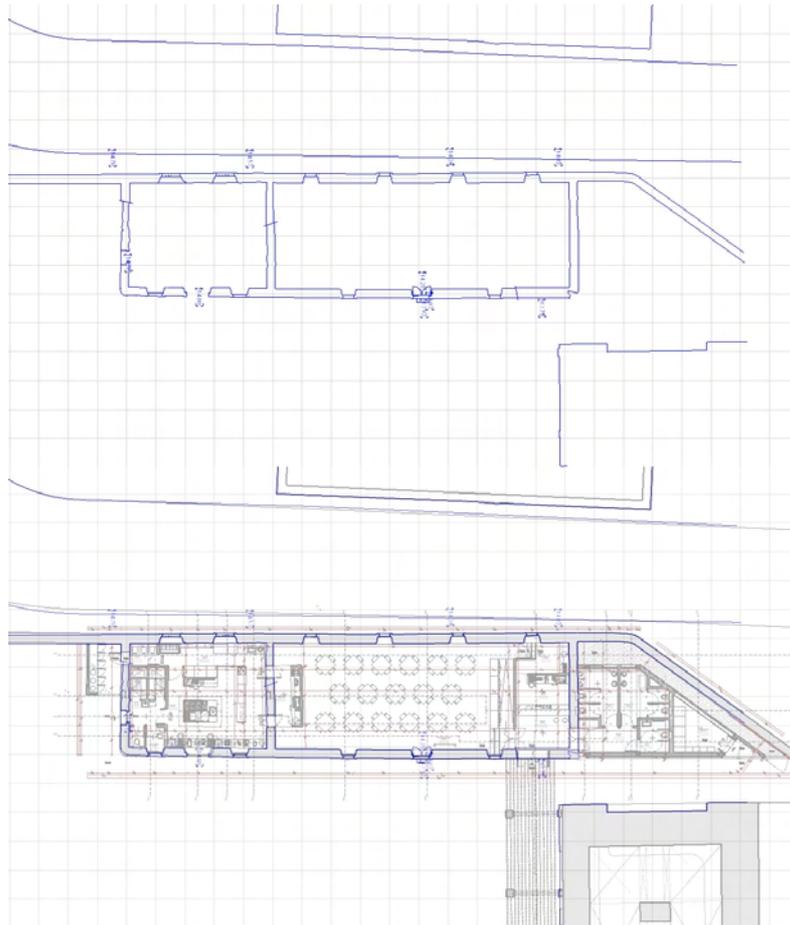


Figura 8-33: A utilização dos desenhos bidimensionais do levantamento do Pátio dos Carrascos para a produção de um modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).

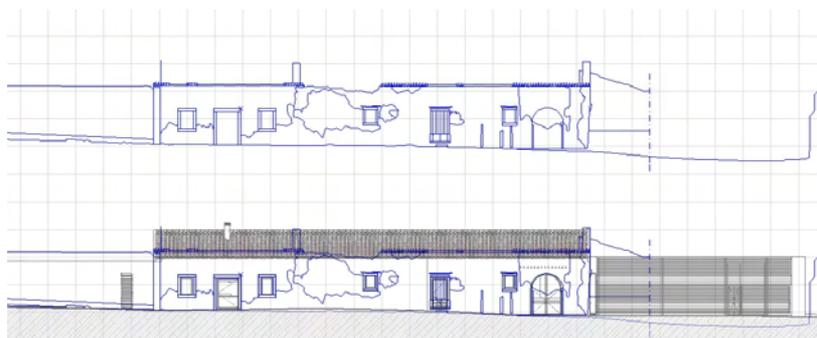


Figura 8-34: A utilização dos desenhos bidimensionais do levantamento do Pátio dos Carrascos para a produção de um modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).

O ficheiro do levantamento foi decomposto e inserido como referência externa no ficheiro do modelo BIM. A partir da planta procedeu-se a uma extrusão de paredes e o controlo das alturas foi feito através de um alçado. Com efeito trata-se de um

procedimento expedito, mas o que se pode constatar é que para se utilizar este tipo de elementos não tinha sido necessário proceder à restituição gráfica. Os dados em bruto resultantes de secções produzidas no modelo de nuvem de pontos poderiam ter sido empregues com igual eficácia. E para “riscar”, provavelmente as imagens de reflectância extraídas do mesmo modelo poderiam ter sido suficientes. Nas figuras 8-35 e 8-36 pode visualizar-se o modelo BIM produzido.



Figura 8-35: Visualização do modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).

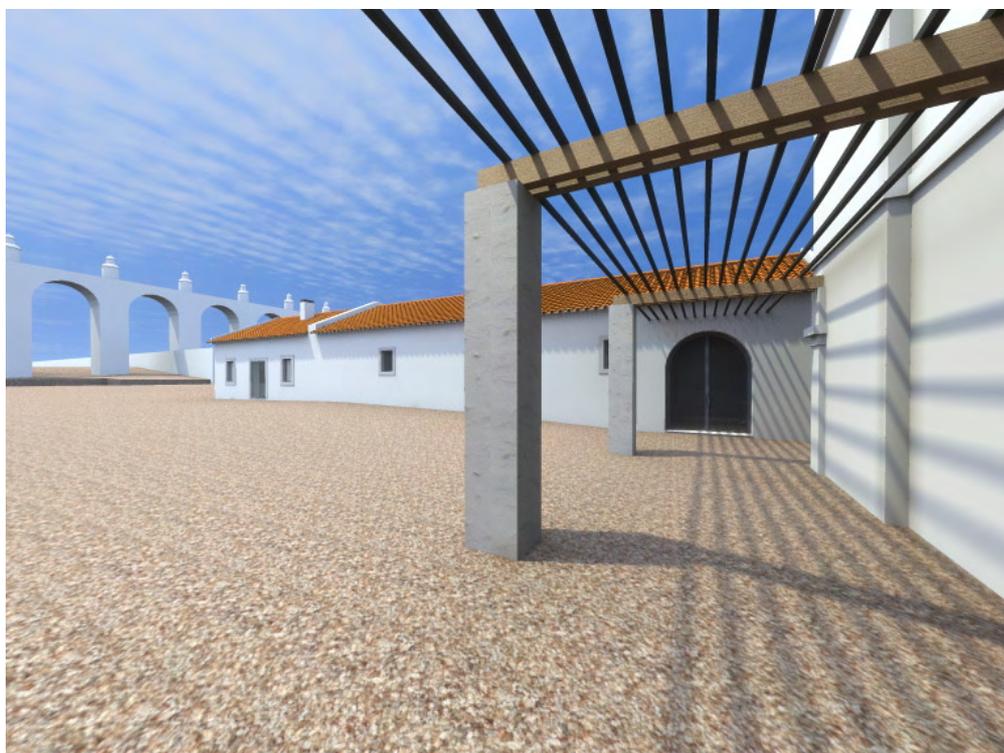


Figura 8-36: Visualização do modelo BIM (imagem da autoria do arquitecto Gustavo Dionísio do IGESPAR).

- Sobre a utilização posterior dos materiais produzidos (nos Paços do Infante):

a) Ainda dentro do tema das vantagens de se dispor de informação tridimensional relacionada entre si desde uma fase muito inicial do processo de levantamento, podemos referir alguns aspectos interessantes como é a possibilidade de entender relações espaciais que, em virtude das nossas limitações físicas e da materialidade dos edifícios, não é possível perceber ao efectuar uma visita real ao edifício. Entre outras coisas é possível: i) perceber desníveis entre espaços adjacentes que não comunicam entre si, ii) ler variações de espessuras de paramentos, iii) ler deformações de paramentos, conforme se ilustra na figura 8-37.

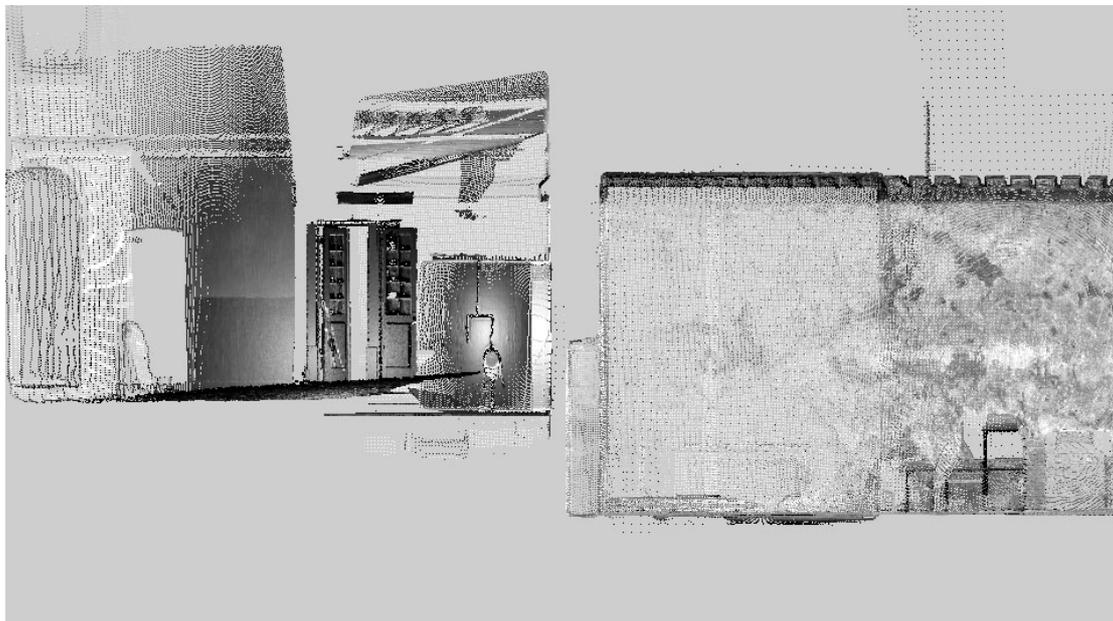


Figura 8-37: Visualização de desnível entre dois espaços adjacentes não comunicantes.

Estas informações podem ser extraídas com facilidade do modelo de nuvens de pontos e ser transmitidas aos agentes responsáveis pela uma intervenção no sentido de lhes reduzir incertezas nos processos de decisão que tem pela frente em fases embrionárias dos mesmos. Em suma, pode extrair-se informação que informa, passe a redundância, o processo conceptual.

Um uso inicial dos elementos que produzimos foi o planeamento das acções de escavação e desmantelamento do bar dos oficiais que ocupou parte da zona dos Paços do Infante durante o século XX. Esta utilização foi feita por parte da arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias e enquadra-se nas acções preparatórias do projecto da nova recepção do Convento de Cristo. Este processo ainda decorre em 2011.

b) Por motivação académica procedemos também a uma análise comparativa entre as qualidades dos elementos gráficos que produzimos e aqueles que nos foram

fornecidos como documentação prévia resultante de dois levantamentos topográficos. Fizemo-lo através da observação de um conjunto de imagens que resultam da sobreposição dos vários levantamentos no mesmo referencial.

Um aspecto que se torna evidente numa primeira análise consiste no desfaseamento posicional, tanto na planimetria como na altimetria, entre os vários levantamentos, como se verifica na figura 8-38.

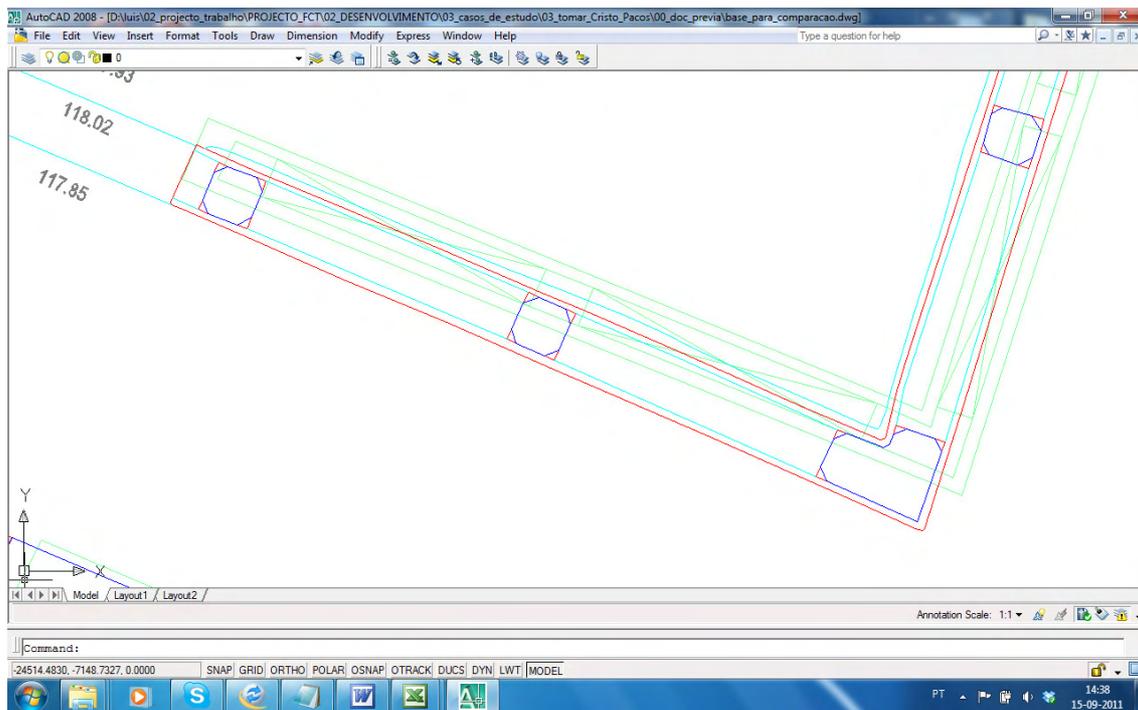


Figura 8-38: Desfasamento posicional entre o nosso levantamento e os levantamentos fornecidos.

Este tipo de desfaseamento é natural quando se procura reunir numa mesma base levantamentos que foram produzidos com base em informação de controlo independente, por agentes distintos e com equipamentos com desempenhos diversos. À partida esta observação não traduz, só por si, falta de qualidade de nenhum dos levantamentos. De um modo geral, todos os levantamentos aparentam um bom nível de coerência interna. Este facto resulta antes da falta de existência de pontos de controlo institucionais materializados ao redor e no interior do Convento, de coordenadas conhecidas, que deveriam servir como base de controlo para todos os levantamentos. Deste modo evitar-se-iam este tipo de desfaseamentos. O que se passa na prática é a multiplicação de pontos marcados ao redor do Convento de forma completamente independente pelos vários topógrafos que, em vários momentos, têm de realizar levantamentos na envolvente ou no interior do Convento.

Porém já é possível perceber na figura 8-38 um aspecto que ainda é mais evidente na figura 8-39. Trata-se de um maior nível de esquematização da representação no levantamento topográfico relativamente ao levantamento por varrimento laser 3D. Este facto é uma consequência lógica do carácter directo do levantamento topográfico em contraponto ao carácter indirecto do levantamento por varrimento laser 3D. Assim, este último é mais sensível às deformações que caracterizam o objecto. Note-se que ambos os levantamentos sob comparação pressupõem o nível de detalhe da escala 1/50.

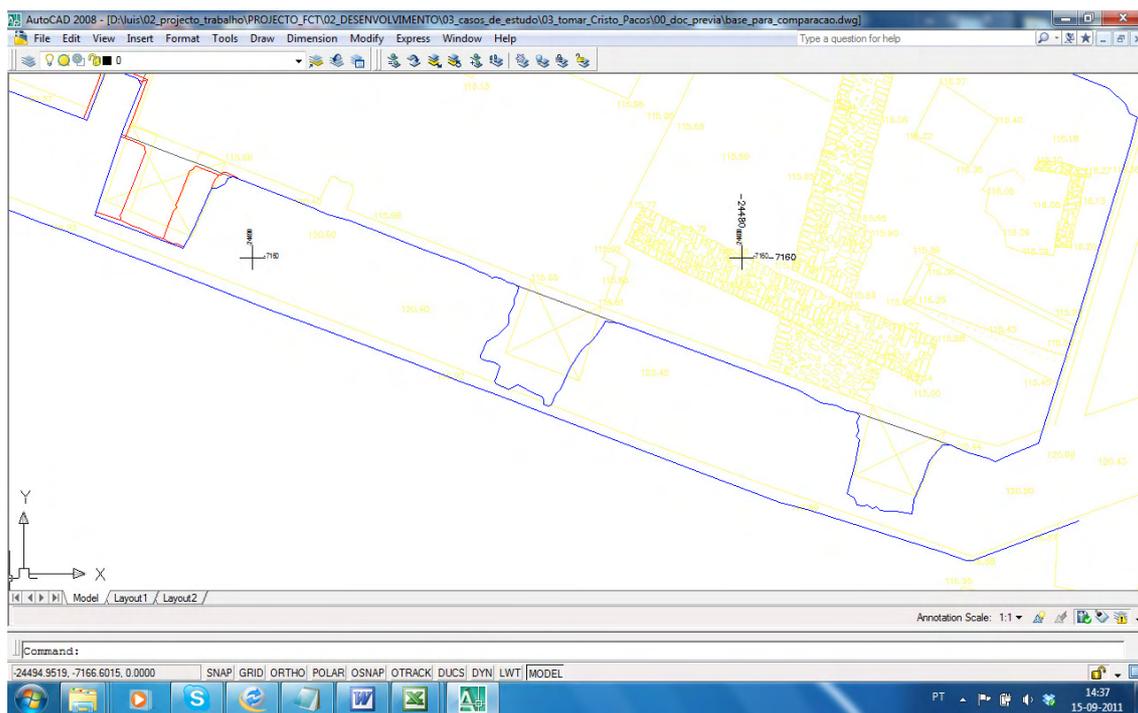


Figura 8-39: Maior nível de discretização do levantamento topográfico relativamente ao levantamento por varrimento laser.

A consequência mais directa da maior discretização do levantamento topográfico traduz-se na omissão de pequenos detalhes da representação como por exemplo os chanfros de colunas prismáticas, o nivelamento de irregularidades, e a representação de elementos complexos de aparência repetitiva recorrendo a padrões que não são fiéis ao objecto sob representação.

Outro aspecto relacionado com a tendência de nivelamento e simplificação do levantamento topográfico pode ser observada na figura 8-40 na zona das portas à esquerda. É senso comum que é relativamente pequena a probabilidade de encontrar um ângulo recto num edifício histórico. Porém uma das tendências de simplificação da representação pode consistir exactamente na introdução de ângulos rectos onde não existem. Por exemplo, na figura 8-41 os canteiros do Claustro da Lavagem estão

excessivamente ortogonais e o levantamento topográfico omite a curvatura da parede a oeste.

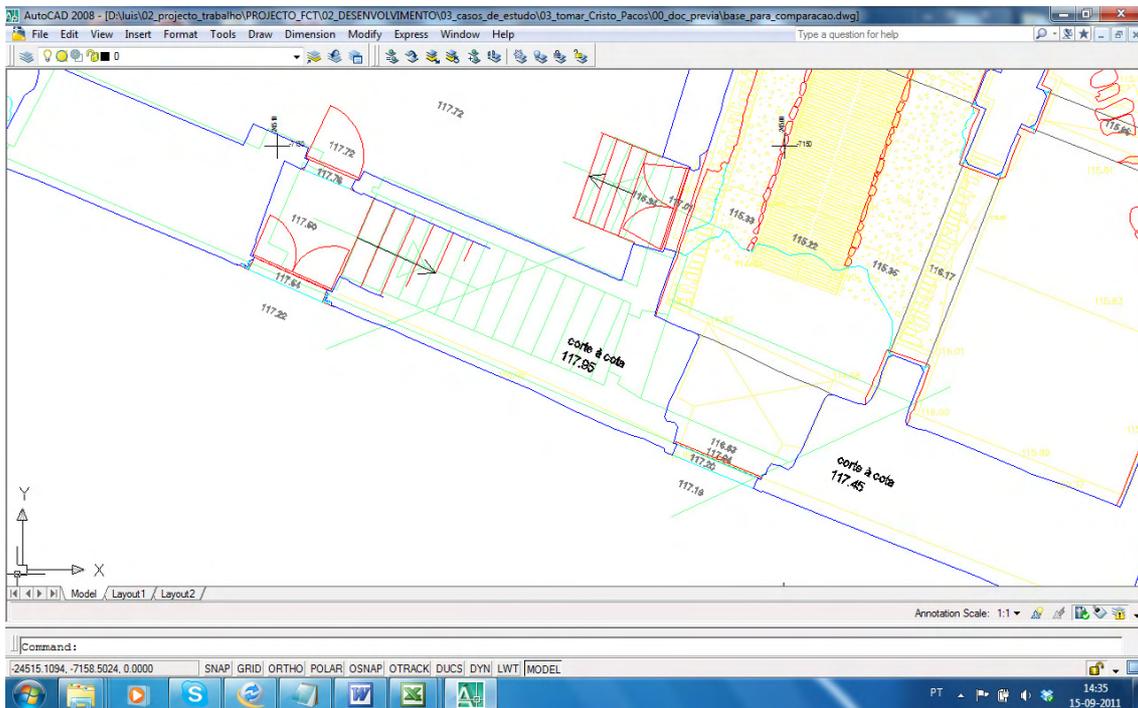


Figura 8-40: A simplificação dos ângulos e a incorrecta representação de detalhes.

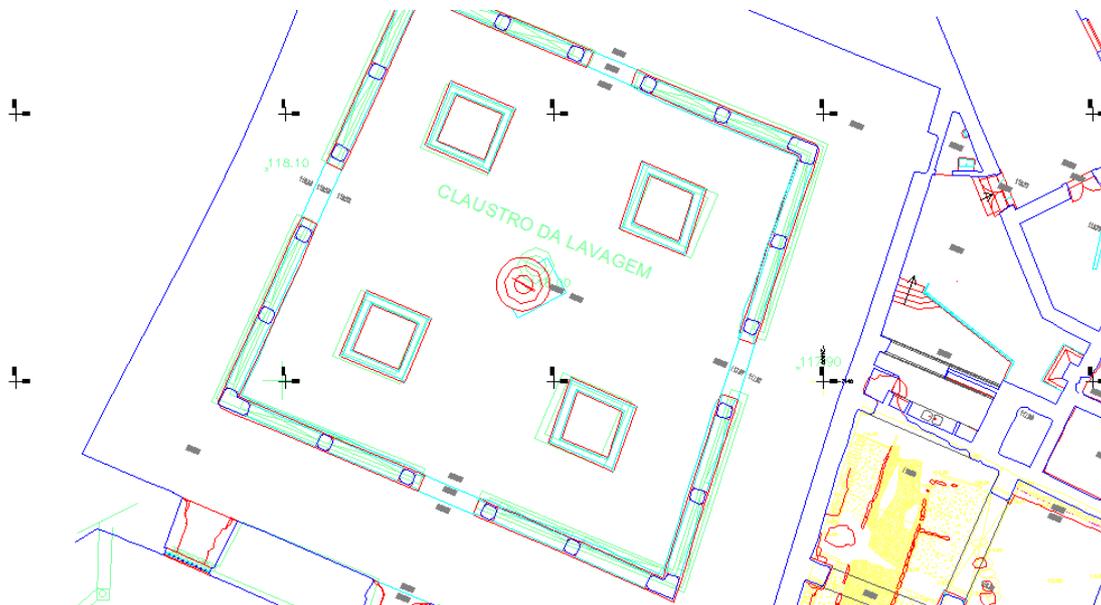


Figura 8-41: A simplificação dos ângulos e a incorrecta representação de detalhes.

O facto da captura de informação no varrimento laser se traduzir numa cobertura quase contínua das superfícies permite que as estereotomias sejam correctamente desenhadas, que as várias inflexões dos paramentos sejam registadas, e não se

cometa simplificação excessiva que pode descaracterizar a representação. Estas qualidades ficam atestadas pela observação da figura 8-42.

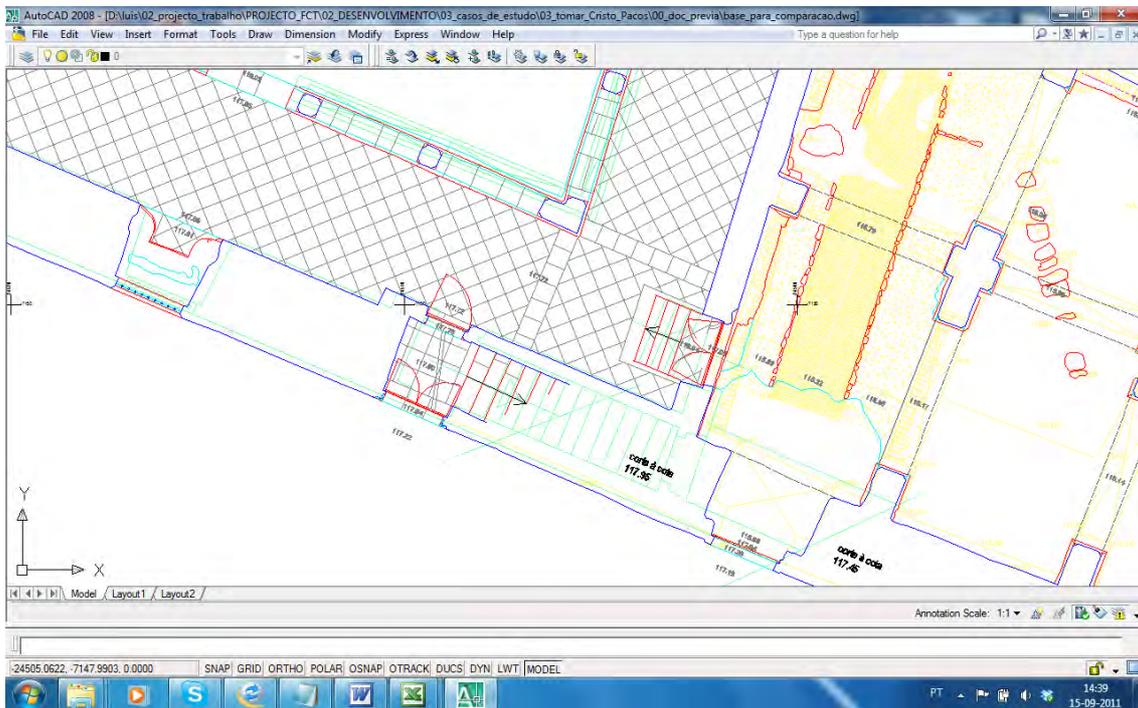


Figura 8-42: A correcta representação das estereotomias.

Com efeito, parece poder-se concluir que o nível de detalhe que um levantamento por varrimento laser permite, é praticamente impraticável apenas por processos topográficos clássicos.

Outro aspecto relevante resulta da comparação entre as figuras 8-43 e 8-44. Ambas representam a mesma realidade, porém as qualidades são bastante diferentes. No levantamento topográfico mantém-se a tendência de uma representação simplificada, em que os paramentos são verticais e em que a captura de pormenor não consegue ser tão exhaustiva. Uma das diferenças reside no seguinte aspecto. No varrimento laser pode-se dizer que são recolhidas medidas que permitem representar com igual exatidão as plantas, os cortes e os alçados. No levantamento topográfico os alçados e cortes tendem a ser produzidos a partir das plantas com alguma informação adicional acerca da altimetria, o que resulta num tipo de representação mais esquematizada.

Em suma, parece correcto afirmar que, mesmo que o output final seja sob a forma das tradicionais plantas, cortes e alçados, há vantagem em produzi-los com recurso a um processo que é eminentemente tridimensional como é o caso do varrimento laser 3D.

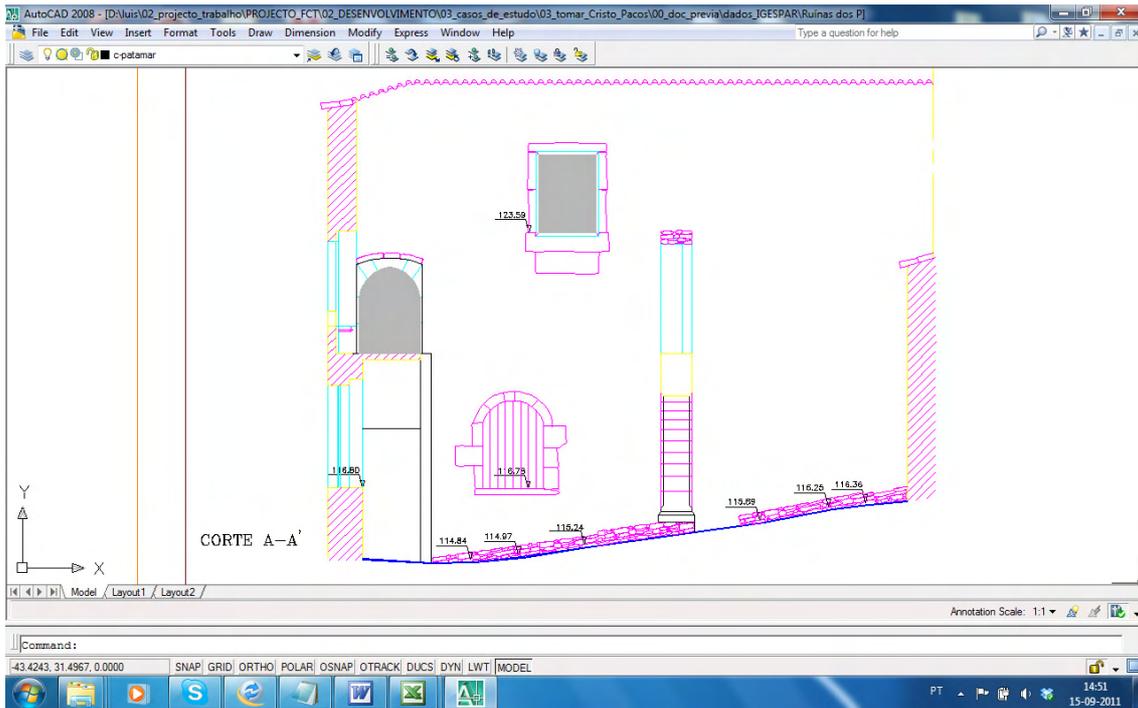


Figura 8-43: Corte/Alçado do paramento dos Paços do Infante orientado a nascente – levantamento topográfico de 2001.

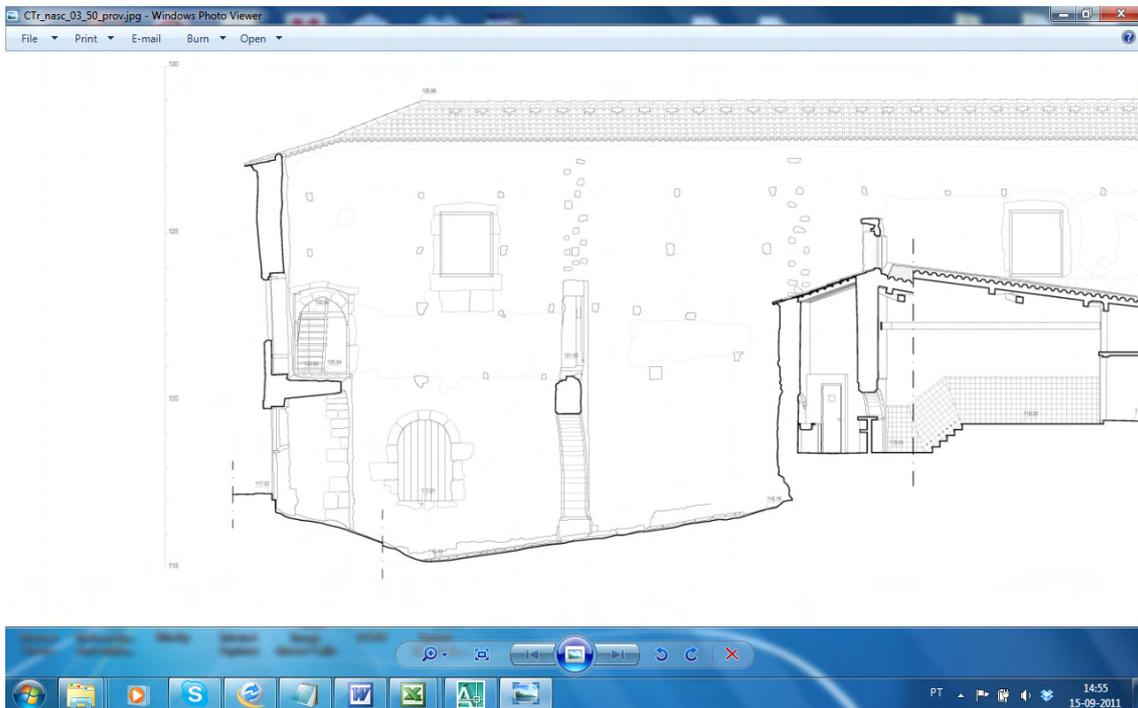


Figura 8-44: Corte/Alçado do paramento dos Paços do Infante orientado a nascente – levantamento por varrimento laser de 2009.

A.8.4. CONCLUSÕES

- Reforçou-se a noção de que é fundamental entender, desde o início, os fins a que se destina a documentação a produzir, como meio de garantir a correcta adopção de fluxos de trabalho adequados.
- Reforçou-se a noção de que o planeamento do levantamento por VL3DT deve ser uma operação realizada em campo no sentido de incorporar na equação os constrangimentos reais do local.
- Reforçou-se a noção de que o planeamento é uma garantia do controlo das acções em campo.
- Verificou-se que o nível de definição a que deve chegar o planeamento não necessita incluir a sequência pela qual as estações são percorridas. Esta decisão pode ser tomada em campo de modo a minimizar o esforço. Nem sempre é conveniente fazer em sequência duas estações adjacentes.
- Concluiu-se que o levantamento em campo está sempre sujeito a pequenas reflexões que podem alterar o inicialmente previsto. Deve haver flexibilidade para conseguir incorporá-las se verificarmos que melhoram os resultados. No final o que importa é a qualidade final do trabalho produzido. As alterações ao planeamento devem ser registadas.
- Identificou-se um conjunto de situações tipo na relação posicional entre scanner e objecto que, em função das características deste, maximizam a eficiência do levantamento.
- Demonstrou-se que o VL3DT, como técnica de não contacto, é especialmente adequado a situações em que, por limitações de segurança, ou de valor histórico ou artístico, não é aconselhável contacto próximo com o objecto.
- Verificou-se que a necessidade de deslocar, montar e desmontar equipamentos, percorrer grandes distâncias, e vencer desníveis, contribui decisivamente para piorar (diminuir) o rácio entre tempo de varrimento e tempo consumido em campo.
- Distinguímos diferentes qualidades nos tipos de imagens que podem ser gerados a partir do VL3DT (reflectância, confiança e inclinação) como tendo potenciais distintos para diferenciar várias características do objecto (geométricas, materiais, construtivas).
- Verificámos que face à quantidade de informação a manipular, o desempenho do software é uma questão muito sensível.
- Demonstrou-se que o processo de orientação relativa de nuvens de pontos sem recurso à topografia como parte do processo é viável, porém especial cuidado deve ser dado à verificação dos resultados.

- Procedemos a uma restituição gráfica em que cada peça desenhada foi produzida na sua posição espacial relativamente ao objecto. Isto é, tratou-se de uma restituição gráfica 2D colocada em 3D, em que a articulação entre peças desenhadas é directa, e ocorre nas linhas de intersecção entre os planos de projecção de cada peça, evitando-se traçados auxiliares. Embora esta disposição facilite o processo de restituição gráfica, na prática verificámos algumas reservas na manipulação da informação assim disposta por parte dos agentes que a receberam.
- Verificámos que a manipulação de dados tridimensionais exige uma elevada cultura geométrica por parte de todos os agentes envolvidos.
- Não foi utilizado o potencial de se dispor de dados tridimensionais para produzir o modelo BIM. Identificou-se esta como uma questão a tratar no futuro.
- Demonstrou-se que o levantamento tridimensional é uma garantia de coerência posicional relativa entre os vários elementos constituintes do objecto.
- Demonstrou-se, por comparação com a documentação gráfica disponível, que o VL3D permite uma grande diferenciação e detalhe na representação das características do objecto que não é acessível ao levantamento topográfico clássico.
- Constatou-se, mais uma vez, que a etapa de restituição gráfica é a que consome mais tempo no processo de documentação.
- Demonstrou-se que o levantamento tridimensional de VL3DT é um instrumento eficaz para a inquirição sobre as qualidades posicionais e relacionais das componentes do edifício, permitindo colocar em evidência articulações de espaços e de formas não perceptíveis no local.

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

LISTA DE FIGURAS

Figura 9-1: A Nave Manuelina do Convento de Cristo em Tomar. Da esquerda para a direita: alçado norte, alçado poente e alçado sul.....	336
Figura 9-2: A Nave Manuelina do Convento de Cristo em Tomar assinalada com o número 3.....	336
Figura 9-3: O tramo 1 da nave manuelina, voltado a norte.....	338
Figura 9-4: Os espaços envolventes da Nave Manuelina. Na imagem à esquerda vê-se o terraço do Claustro Principal, e em cima e à direita vêem-se as janelas e varandas do Claustro de Santa Bárbara e do Claustro da Hospedaria.....	343
Figura 9-5: O scanner Optech Ilris 3D sob operação.....	348
Figura 9-6: Exemplo de imagem *.bmp correspondente ao campo de visão do scanner relativo à nuvem de pontos tomar4.	351
Figura 9-7: Orientação relativa entre duas nuvens de pontos. À esquerda: as nuvens de pontos antes da orientação relativa. À direita: as nuvens de pontos depois da orientação relativa.	352
Figura 9-8: Modelo de nuvem de pontos do exterior da Nave Manuelina. À esquerda: as nuvens de pontos distinguidas por cor. À direita: as nuvens de pontos com o mapeamento de reflectância.	353
Figura 9-9: Sobreposição das nuvens de pontos tomar24_1, tomar25_1, tomar26_1, tomar27_1, tomar28_1 e C03.	354
Figura 9-10: Conjunto de 15 imagens correspondentes à nuvem de pontos tomar1.....	355
Figura 9-11: Panorama correspondente à nuvem de pontos tomar1.....	355
Figura 9-12: Identificação de pontos homólogos entre a imagem panorâmica, a cores, e a nuvem de pontos, a cinza.....	356
Figura 9-13: Projecção da textura do panorama_a sobre a nuvem de pontos tomar1.	357
Figura 9-14: Exemplo do tipo de mapeamentos da nuvem de pontos tomar7. Da esquerda para direita: reflectância, inclinação, confiança, RGB.....	357
Figura 9-15: Modelo de nuvens de pontos com a textura RGB mapeada.	358
Figura 9-16: Orto-imagens base para suporte à restituição gráfica.	359
Figura 9-17: Orto-imagens base para suporte à restituição gráfica.	359
Figura 9-18: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP rectificador.lsp..	360
Figura 9-19: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP rectificador.lsp..	361

Figura 9-20: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP <i>rectificador.lsp</i>	361
Figura 9-21: Desenhos finais.....	362
Figura 9-22: Desenhos finais com imagem associada.....	362
Figura 9-23: Bitola para controlo de rectificação de imagem.....	363
Figura 9-24: Imagem rectificada correspondente ao primeiro tramo da Nave Manuelina.....	364
Figura 9-25: Montagem de andaimes para acesso ao primeiro tramo da Nave Manuelina.....	367
Figura 9-26: Mapeamento das anomalias (desenho da Insitu).....	369
Figura 9-27: Mapeamento dos tratamentos (desenho da Insitu).....	369
Figura 9-28: Mapeamento das marcas de canteiro (desenho da Insitu).....	369
Figura 9-29: Comparação da orto-imagem cores (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).....	371
Figura 9-30: Comparação da orto-imagem de reflectância do varrimento laser – 1500nm - (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).....	372
Figura 9-31: Comparação da orto-imagem de inclinação (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).....	373
Figura 9-32: Zona de análise das imagens de reflectância.....	375
Figura 9-33: Comparação da orto-imagem de inclinação (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).....	375
Figura 9-34: À esquerda: imagem de reflectância de infra-vermelho próximo (1500nm) correspondente às nuvens <i>tomar25</i> e <i>tomar27</i> . À direita: imagem de reflectância de vermelho (683nm) correspondente à nuvem <i>C03</i>	376
Figura 9-35: Análise visual da imagem de reflectância de infra-vermelho feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.....	377
Figura 9-36: Análise visual da imagem de reflectância de vermelho (à direita) feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.....	378
Figura 9-37: Esquema explicativo do cálculo do NDVI.....	379
Figura 9-38: NDVI reclassificado em quatro classes.....	380
Figura 9-39: À esquerda: imagem da primeira componente. À direita: imagem da segunda componente.....	382
Figura 9-40: A Janela Manuelina do Convento de Cristo ao centro na imagem.....	384
Figura 9-41: Extracção de pontos característicos da imagem.....	385
Figura 9-42: Matriz de correspondências entre imagens. O código de cor corresponde ao nível de correspondência.....	386
Figura 9-43: Orientação relativa das imagens e reconstrução de um modelo tridimensional de baixa densidade.....	386

Figura 9-44: Imagem do modelo de elevada densidade, visualizado dom o software MeshLab, com um total de 6238451 pontos.	387
Figura 9-45: Selecção de um conjunto de 21 pontos homólogos entre o modelo fotográfico (à esquerda) e o modelo de varrimento laser 3D (à direita).....	388
Figura 9-46: Resumo dos indicadores de qualidade da operação de orientação do modelo fotográfico realizada com o software JRC 3D Reconstructor.....	389
Figura 9-47: Os dois modelos sobrepostos.	389
Figura 9-48: Comparação ente secções produzidas nos dois modelos.....	390
Figura 9-49: Exemplos de imagens aéreas do Convento de Cristo capturadas com balão (em cima) e com avião teleguiado (em baixo).	391
Figura 9-50:Imagens dos VANT de baixa altitude utilizados. À esquerda: balão a hélio equipado com câmara fotográfica e emissor vídeo (propriedade FAUTL). À direita: avião teleguiado equipado com câmara fotográfica (propriedade Aeroperspectiva).	392
Figura 9-50: À esquerda: modelo de nuvens de pontos de VL3DT. À direita: modelo de nuvens de pontos fotogramétrico (12269339 pontos).	393

LISTA DE TABELAS

Tabela 9-1: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos recolhidos no dia 26 de Maio de 2009.	348
Tabela 9-2: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos recolhidos no dia 27 de Maio de 2009.	349

ÍNDICE

A.9 LEVANTAMENTO DO EXTERIOR DA NAVE MANUELINA, CONVENTO DE CRISTO, TOMAR 335

A.9.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	336
A.9.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	336
A.9.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	338
A.9.1.2.1.	OBJECTIVOS	338
A.9.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER.....	339
A.9.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES.....	339
A.9.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	341
A.9.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	341
A.9.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	344
A.9.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	347
A.9.2.1.	RECOLHA DE DADOS.....	347
A.9.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	350
A.9.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	364
A.9.3.	ANÁLISE CRÍTICA	365
A.9.3.1.	CONCLUSÕES.....	370
A.9.4.	A UTILIZAÇÃO DE IMAGENS NOS PROCESSOS DE ANÁLISE.....	371
A.9.4.1.	INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS	371
A.9.4.2.	A ANÁLISE COMPARADA DE IMAGENS DE REFLECTÂNCIA DE VARRIMENTO LASER 3D.	374
A.9.4.3.	CÁLCULO DE UM ÍNDICE DE VEGETAÇÃO	379
A.9.4.4.	ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS	381
A.9.4.5.	CONCLUSÕES.....	383
A.9.5.	RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL FOTOGRAMÉTRICA AUTOMÁTICA.....	384
A.9.5.1.	VALIDAÇÃO DE RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL FOTOGRAMÉTRICA AUTOMÁTICA	384
A.9.5.2.	PLATAFORMAS AÉREAS E A COMPLEMENTARIDADE ENTRE A FOTOGRAETRIA E O VARRIMENTO LASER.....	391
A.9.5.3.	CONCLUSÕES.....	394

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

No contexto do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006 o IGESPAR solicitou que se procedesse à documentação desta zona. Dado tratar-se de acções no âmbito de um projecto de investigação de que ambas as entidades envolvidas, a FAUTL e o IGESPAR, são parceiras, todos os custos relacionados foram integrados no mesmo.

O levantamento do exterior da Nave Manuelina do Convento de Cristo, em Tomar, acabou por se constituir como um laboratório de experiências variadas. A pretexto da produção da documentação gráfica de base às acções de conservação a levar a cabo numa secção deste corpo do Convento de Cristo, os dados recolhidos foram analisados e processados sob vários prismas.

No âmbito de visita ao Convento de Cristo em Fevereiro de 2009, conduzida pelo arquitecto José Canas pela conservadora Antónia Tinturé, ambos do IGESPAR, foi solicitado a produção de levantamento do exterior da Nave Manuelina do convento. Nesta reunião sugeriu-se a utilização do varrimento laser como tecnologia mais adequada a utilizar face ao carácter das áreas a documentar. Sugeriu-se ainda que fosse envolvido o LFA da ETSA-UVA.

A Nave Manuelina, a nível de estado de conservação, apresenta um elevado nível de colonização biológica. No final de 2009, o IGESPAR realizou uma acção de conservação de um tramo do alçado norte com vista a planear o modo de intervenção para o resto do volume da Nave Manuelina. Esta acção foi levada a cabo pela empresa de conservação Insitu e prolongou-se pelo início do mês de Janeiro de 2010. A nossa acção de documentação visou produzir materiais base para o registo das acções de conservação.

Para além deste objectivo específico, desenvolvemos outras acções, mais dilatadas no tempo que visaram explorar as potencialidades das tecnologias utilizadas, em particular o varrimento laser 3D, e compará-las com outras que em situações similares podem ser igualmente válidas para o registo, em particular os métodos fotogramétricos automáticos recentemente desenvolvidos. Referimo-nos ao VSFM (visual structure from motion) e CMVS (clustering-viewa for multi-view stereo) que já referimos no primeiro volume da nossa tese.

Futuramente poderá ainda ser produzida documentação base para a intervenção no resto da nave manuelina acaso se venha a fazer a intervenção no seu conjunto.

O desenvolvimento desta acção, embora mais dilatada no tempo, teve desenvolvimento praticamente paralelo às acções desenvolvidas nos Paços do Infante e no Pátio dos Carrascos, assinaladas com os números 1 e 2, respectivamente, na figura 9-2, e que já descrevemos atrás neste volume.

A.9.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.9.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA

Identificação e localização do sítio:

- A Nave Manuelina é o corpo que se desenvolve a poente da Charola do Convento de Cristo e em cujo topo se encontra a célebre Janela Manuelina, conforme ilustram as figuras 9-1 e 9-2.



Figura 9-1: A Nave Manuelina do Convento de Cristo em Tomar. Da esquerda para a direita: alçado norte, alçado poente e alçado sul.

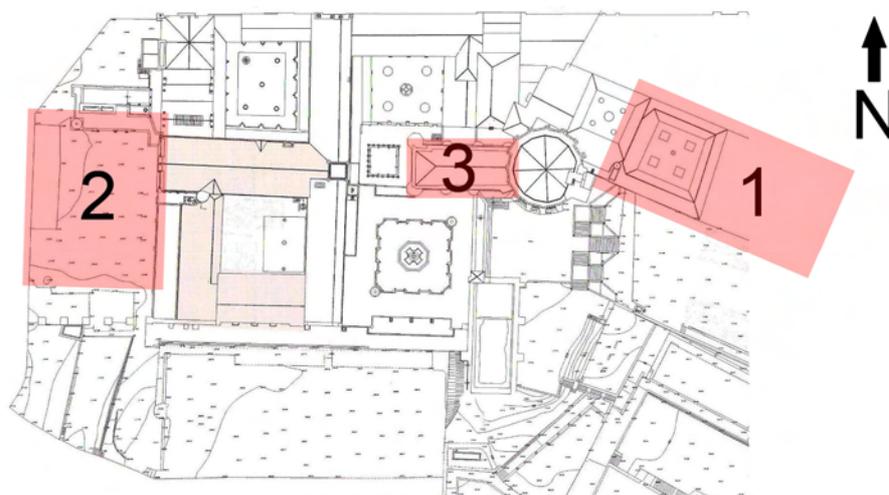


Figura 9-2: A Nave Manuelina do Convento de Cristo em Tomar assinalada com o número 3.

Entidade contratante:

- IGESPAR, como entidade parceira, no contexto do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006 “Contributos para a Conservação do Património: Metodologia Documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres”.

Entidade contratada:

- FAUTL, como entidade parceira, no contexto do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006. Neste contexto foi também envolvido o Laboratório de Fotogrametria Arquitectónica (LFA) da Escuela Técnica Superior de Arquitectura da Universidad de Vaaladolid (ETSA-UVA).

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- A documentação é necessária para suportar as acções de conservação experimentais a levar cabo no tramo da nave mais próximo da charola no alçado norte pela empresa de conservação Insitu.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Foi solicitada a produção de alçados das superfícies a intervir com o nível de detalhe do desenho pedra a pedra incluindo as juntas. Entendeu-se que a escala 1/20 seria a mais adequada ao nível de detalhe pretendido, a ser entregue à empresa Insitu em suporte digital no formato CAD *.dwg.

Delimitação da área a documentar:

- A área a delimitar corresponde ao primeiro tramo da nave manuelina, no alçado norte, compreendido entre a charola e o segundo contraforte, excluindo-o, conforme se ilustra na figura 9-3.



Figura 9-3: O tramo 1 da nave manuelina, voltado a norte.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Não foi fornecida qualquer documentação gráfica relativa à zona a intervir.

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Não relevante.

Data:

- Início do processo: Fevereiro de 2009.

<p>A.9.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES</p>

A.9.1.2.1. OBJECTIVOS

Fins projectuais a que se destina a documentação:

- A documentação a produzir, sob a forma de desenhos de alçado destina-se a servir de base à cartografia do estado de conservação, e cartografia das intervenções a realizar pela empresa Insitu no âmbito de acção conservativa experimental a realizar no primeiro tramo da nave manuelina voltado a norte.

A.9.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER

Conteúdos:

- Pretendeu-se uma documentação com nível de detalhe que permita diferenciar a estereotomia e as juntas da pedra, bem como as grandes manchas como as intervenções em argamassa de cimento.

Desempenho métrico:

- Não foi imposto nenhum critério de desempenho métrico por parte do IGESPAR.

Apresentação:

- Não foi imposta nenhuma forma de apresentação para além de que os desenhos deveriam ser apresentados em formato CAD, com estruturação do tipo de elementos arquitectónicos separados por layers. Foi também solicitado que cada elemento fosse delimitado por uma polilinha fechada de modo a facilitar a sua selecção e preenchimento aquando da sua caracterização por parte da equipa de conservadores-restauradores.

Causas para a rejeição dos materiais:

- Não foram definidos critérios para rejeição dos materiais. Foi no entanto definido que a empresa Insitu, a futura utilizadora da documentação, acompanhasse a produção da mesma e fosse fazendo as sugestões que entendesse pertinentes.

A.9.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- O IGESPAR não definiu um prazo rígido para a produção da documentação. Porém pretendeu-se que estivesse disponível antes da realização dos trabalhos, isto é, até ao mês de Novembro, altura em que se estimava o seu início.

Autorizações de acesso:

- O acesso às zonas em causa no Convento de Cristo foi assegurado pela direcção do convento, na pessoa da directora, a Dra. Iria, que delegou no funcionário Rui Ferreira.

- Foi possibilitada a hospedagem no convento para a realização dos trabalhos de levantamento.
- Foi dada autorização para parquear viaturas durante a noite no Pátio dos Carrascos.
- Foi dada autorização de acesso fora das horas de visita do público, com retenção de chaves.
- Nesta zona do convento não foi possibilitado o acesso a coberturas devido às dificuldades e questões de segurança envolvidas.

Condições de segurança:

- Nas zonas em que se pretende circular para efectuar o levantamento não se antevêem questões sensíveis relacionadas com a segurança.
- Como parte do levantamento ocorrerá em áreas pelas quais circulam pessoas, deverão ser tomadas precauções para que estas evitem olhar directamente o feixe de laser emitido pelo equipamento de varrimento laser.

Condições de acessibilidade:

- A zona em que se pretende circular não apresenta dificuldades de acessibilidades ao nível do pavimento. Porém só é possível ter acesso à totalidade de algumas superfícies através de acessos a coberturas, o que nos foi comunicado que é viável antes da montagem de andaimes para as intervenções. Por essa razão, numa primeira fase a captura de informação deverá ser feita sem aceder a coberturas procedendo-se ao seu complemento em fase posterior.
- É necessário assegurar o acesso a rede eléctrica para operação do equipamento de varrimento laser.

Retenção dos materiais:

- Não foi exigida nenhuma obrigação específica de retenção de materiais produzidos. Porém estes serão retidos no âmbito do projecto de investigação em que este processo se insere.

Impactos admissíveis no objecto:

- Nesta zona o levantamento far-se-á exclusivamente à distância, sem contacto, não havendo necessidade de colar qualquer espécie de alvos nas superfícies.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Dec. Lei nº 273/2003 de 29 de Outubro (Higiene e Segurança no Trabalho).

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Os elementos gráficos produzidos no âmbito desta operação de documentação são propriedade repartida da FAUTL e do IGESPAR.

A.9.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA
--

Entidades produtoras da documentação gráfica:

- Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa no que respeita à elaboração do levantamento.
- O LFA da ETSA-UVA fará o trabalho de campo de varrimento laser 3D e a recolha fotográfica associada. Esta recolha fotográfica tem como primeiro objectivo o mapeamento da cor sobre a nuvem de pontos.

Entidades fiscalizadoras:

- IGESPAR e Insitu.

A.9.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- Para recolha dos dados utilizar-se-á a tecnologia de varrimento laser 3D de tempo de voo. O varrimento laser justifica-se na medida em que é impossível aceder directamente às superfícies para um registo directo das mesmas, bem como seria moroso um levantamento fotogramétrico clássico. A tecnologia de comparação de fase seria porventura a mais adequada a esta situação mas, a que podemos ter disponível face ao enquadramento global é a que referimos.
- Ao contrário dos Paços do Infante e Pátio dos Carrascos, no caso da Nave Manuelina não se montou uma estratégia tão exaustiva de planeamento de recolha dos dados. Com efeito, não foi feito um planeamento prévio do posicionamento das estações de varrimento laser, deixando-se esta acção para realização no local no momento da realização dos trabalhos. No entanto, aquando da visita prévia ao local, foi possível constatar a existência de uma série de sítios que poderão funcionar bem para o estacionamento do equipamento de varrimento laser, em particular os vãos de janelas dos Claustros da Hospedaria e de Santa Bárbara, e o terraço do Claustro Principal. Porém também se verificou que, face às restrições de acesso, não será possível documentar todas as superfícies.

- Faz-se esta experiência para poder fazer-se a confrontação com outras experiências em que este tipo de planeamento foi realizado. Por outro lado, a equipa do LFA da ETSA-UVA detém uma larga experiência na documentação com varrimento laser que se conta capitalizar para o presente caso.
- Após cada varrimento laser, deverá ser feita uma recolha fotográfica, com o mesmo ponto de vista do equipamento de varrimento, com o objectivo de fazer o mapeamento da cor sobre as nuvens de pontos. O facto de a recolha fotográfica e o varrimento laser se fazerem com os mesmos pontos de vista, otimiza o processo de mapeamento da cor uma vez que evita os erros de paralaxe.
- Os vários varrimentos laser deverão ser feitos tendo em conta a metodologia de processamento das nuvens de pontos que preconizamos, isto é, através da aplicação do algoritmo ICP (iterative closest point). Assim deverá ser assegurada a sobreposição suficiente para garantir que é possível aplicar aquele procedimento.
- Não se fará levantamento topográfico de apoio específico, porém procurará georreferenciar-se este levantamento ligando-o ao levantamento realizado nos Paços do Infante. Para o efeito deverá garantir-se que existem nuvens de pontos de ambos os levantamentos com sobreposição suficiente. Esta sobreposição deverá ocorrer na zona da Charola.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O LFA da ETSA-UVA dispõe de um scanner de varrimento laser 3D de tempo de voo marca Optech e modelo Ilris 3d com feixe laser com comprimento de onda de 1500nm. Trata-se de um equipamento com uma taxa de captura de pontos inferior à dos de comparação de fase pelo que se estima que será necessário mais tempo em campo para fazer recolha de dados que a que seria necessária para efectuar o mesmo trabalho com um equipamento desse tipo.
- Para além deste equipamento o LFA dispõe ainda de uma câmara fotográfica digital Olympus E-300 com sensor de 8Mp que será utilizada para a recolha fotográfica.
- A direcção do Convento de Cristo disponibilizará cabos para ligação eléctrica do scanner.

Planeamento da recolha dos dados:

- Em visita prévia ao local verificou-se a possibilidade de estacionar o equipamento de varrimento laser nas janelas e varandas dos Claustros da Hospedaria e de Santa Bárbara, no terraço do Claustro principal, e no terraço em frente da janela Manuelina, zonas que se podem observar na figura 9-4.



Figura 9-4: Os espaços envolventes da Nave Manuelina. Na imagem à esquerda vê-se o terraço do Claustro Principal, e em cima e à direita vêem-se as janelas e varandas do Claustro de Santa Bárbara e do Claustro da Hospedaria.

- Em geral o scanner deverá ser operado a partir do seu estacionamento sobre tripé garantindo sempre que, em cada espaço, haja acesso à rede eléctrica.
- Embora seja indiferente a hora do dia para a realização do varrimento laser, como há sempre um levantamento fotográfico associado, deverá ter-se o cuidado, sempre que possível, da escolha da melhor hora do dia para garantir as melhores condições de iluminação da cena.
- Para otimizar a resolução das imagens fotográficas, a zona coberta por cada nuvem de pontos, deverá ser coberta por um conjunto de imagens fotográficas de grande detalhe pelo que se considera a montagem de imagens panorâmicas de alta resolução correspondentes a cada nuvem de pontos.
- A escolha da densidade das nuvens de pontos a recolher será feita em campo em função das áreas específicas a registar e em função da utilização da nuvem de pontos no processamento. Note-se que algumas nuvens de pontos podem ter uma função maior de ligação entre partes do modelo, por exemplo aquelas que são capturadas em diagonal nas esquinas dos edifícios, enquanto que outras, mais frontais às superfícies poderão ter uma função primordial de documentação.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Previu-se a necessidade de três dias para proceder ao levantamento de campo.
- Como recursos humanos prevê-se a coordenação dos trabalhos pelo arquitecto Luís Mateus, a realização dos trabalhos de varrimento pelo Professor Juan José Fernández

Martín e pelo assistente José Martínez Rúbio do LFA da ETSA-UVA, e o acompanhamento dos trabalhos pela arquitecta Rita Santos, bolsreira do projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

- Os custos relacionados com esta acção estão suportados pelo projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

A.9.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- A metodologia de processamento dos dados consistirá em: i) processamento das nuvens de pontos, ii) processamento das imagens fotográficas, iii) mapeamento das nuvens de pontos, iv) produção de informação base para restituição gráfica, v) restituição gráfica 2D.

- Todo o modelo de nuvens de pontos será construído num referencial local. Após este processamento proceder-se-á à georreferenciação e de seguida ao mapeamento de imagens sobre as nuvens de pontos.

A construção do modelo começará por fazer-se adoptando o referencial local de uma nuvem de pontos qualquer e só no final será feita a georreferenciação em bloco.

- Para processamento das nuvens de pontos será utilizado o software JRC 3D Reconstructor v.2.5. O processamento das nuvens de pontos inclui, numa primeira fase: i) importação, ii) limpeza e eliminação de dados espúrios, iii) orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP, iv) avaliação visual da qualidade da orientação relativa, v) georreferenciação.

Do ponto de vista da avaliação da qualidade do modelo, esta será feita visualmente já que não haverá dados topográficos para controlo.

- Paralelamente, as imagens fotográficas serão processadas com software específico de edição de imagem para a montagem de imagens panorâmicas correspondentes aos pontos de vista de cada estacionamento do scanner.

- Numa segunda fase, estas imagens serão mapeadas sobre o modelo de nuvens de pontos, dando origem a um modelo de nuvens de pontos texturado.

- De seguida será exportada informação base para restituição gráfica. Esta consistirá em orto-imagens, e secções em bruto, a inserir em ficheiros de CAD, sobre os quais se desenhará.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Para processamento das nuvens de pontos e restituição gráfica será utilizada um computador portátil Toshiba Satellite A-200, com 4Gb de memória RAM, placa gráfica ATI Mobility Raedon HD2600 com 256Mb de memória, e sistema operativo Windows XP Pro de 32bit, com monitor de 15”.
- O processamento das nuvens de pontos, desde a orientação relativa até à extracção de informação base para a restituição gráfica será feito com a aplicação JRC3DReconstructor v. 2.5.
- Para a montagem das imagens panorâmicas será utilizado o software Hugin ou o PTGui.
- A restituição gráfica e produção de desenhos serão feitas com a aplicação AutoCAD 2008.
- A principal razão pela qual se opta pelos meios descritos é porque são os disponíveis. Idealmente deveria ser utilizado software de 64bit e maior capacidade de processamento.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- O processamento consistirá em 5 etapas: i) processamento das nuvens de pontos, ii) processamento das imagens fotográficas, iii) mapeamento das nuvens de pontos, iv) produção de informação base para restituição gráfica, v) restituição gráfica 2D.

- Processamento das nuvens de pontos com o software JRC3D Reconstructor v 2.5:

1) Importação e limpeza das nuvens de pontos.

2) Orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP.

Tomar-se-á o referencial de uma nuvem central como referência e proceder-se-á à orientação relativa das várias nuvens sobre aquele referencial. Numa primeira etapa as nuvens são orientadas manualmente e numa segunda fase, é feita uma optimização da orientação entre nuvens utilizando o algoritmo ICP (Iterative Closest Point) que é implementado através da função “registration” na aplicação Reconstructor. Este tipo de procedimento requer elevada sobreposição entre nuvens de pontos adjacentes de modo a produzir resultados fiáveis. O histórico das operações de orientação relativa entre nuvens de pontos bem como os resultados produzidos deverão ser registados sob a forma de um ficheiro de formato *.txt ou outro facilmente editável. Este deverá conter a sequência das operações de orientação relativa, os

indicadores de qualidade das mesmas, e os resultados obtidos em termos das posições das nuvens de pontos.

4) Avaliação visual da qualidade da orientação relativa:

À medida que o processo de orientação relativa vai evoluindo, paralelamente aos valores indicadores da qualidade de cada orientação relativa, o modelo deverá ir sendo visualmente inspeccionado de modo a validar os resultados obtidos. Esta inspecção visual deverá corresponder a uma navegação pelo modelo, fazendo aproximações a áreas em que se poderá apreciar facilmente erros caso existam, como é o caso de vãos, esquinas, pavimentos. Em alternativa poderá avaliar-se a qualidade da orientação relativa através do seccionamento do modelo e verificação da concordância entre as várias nuvens de pontos em cada secção.

5) Cálculo e aplicação de uma transformação geométrica rígida para orientação do modelo em função do datum a utilizar. Esta transformação será calculada em função do modelo de nuvens de pontos a produzir para a zona dos Paços do Infante, relativamente ao qual haverá informação topográfica de controlo.

- Processamento das imagens fotográficas com o software Hugin ou PTGui:

Estas aplicações permitem produzir imagens panorâmicas a partir de múltiplas imagens fotográficas com ponto de vista idêntico. No processo corrigem a variação tonal entre as imagens de modo a não se notarem as costuras entre imagens.

- Numa segunda fase do processamento das nuvens pontos será feito o mapeamento das imagens sobre o modelo de nuvem de pontos. A qualidade do mapeamento da imagem também deverá ser avaliada visualmente. Uma forma de fazer esta avaliação é observar a qualidade do mapeamento em zonas de transição entre elementos com qualidades visuais distintas, por exemplo na transição entre paredes e janelas, paredes e pavimentos, entre outros.

- Após aquela operação pode-se passar à etapa de extracção de informação base para restituição gráfica. Isto consiste na:

- 1) Orientação de planos de corte/projecção para a produção de orto-imagens de base e linhas de secção.

- 2) Exportação de orto-imagens relativas às vistas a produzir.

- Produção de materiais 2D de levantamento:

A restituição gráfica será levada a cabo com a aplicação AutoCAD 2008.

As imagens e secções extraídas das nuvens de pontos serão inseridas em ficheiros CAD procedendo-se de seguida à sua vectorização. Primeiro serão desenhadas as linhas de corte, sobre as imagens ou cortes em bruto a extrair do modelo de nuvens de pontos.

Os elementos em vista serão desenhados sobre as orto-imagens. Dada a natureza praticamente contínua das imagens, a restituição gráfica assim produzida deverá ser bastante fiel às deformações do edifício. Prevê-se que a consulta das fotografias seja um elemento importante de auxílio à restituição gráfica.

Pretende-se associar orto-imagens aos desenhos finais.

Os desenhos serão produzidos no formato *.dwg e assim entregues à empresa Insitu que os utilizará para os fins previstos.

- Durante o processamento dos dados, em particular na etapa de restituição gráfica será importante o acompanhamento do processo por parte de quem vai utilizar a informação uma vez que estamos convencidos que essa interacção é benéfica para a adequabilidade dos materiais a produzir aos fins a que se destinam.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- A produção da documentação gráfica será feita pelo arquitecto Luís Mateus e pela Arquitecta Rita Santos. Relativamente ao tempo de execução não se estimou nenhuma duração específica. Procurará ter-se em conta o calendário de acções previsto pelo IGESPAR.

- Os custos associados a esta acção serão comportados pelo projecto de investigação FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

A.9.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)
--

A.9.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- A recolha de dados do levantamento ocorreu nos dias 26 e 27 de Maio de 2009. Estes dados consistiram em nuvens de pontos e imagens fotográficas. Para a recolha das nuvens de pontos foi utilizado um scanner de tempo de voo da marca Optech e modelo Iiris 3D montado sobre tripé. Trata-se de um scanner com campo de visão piramidal o que o tornaria limitado para a documentação de espaços interiores, o que não é o caso. Parte do facto de a recolha de dados ter demorado tanto tempo deriva do tipo de tecnologia do equipamento, a tecnologia de tempo de voo em que a taxa de captura de pontos é consideravelmente menor que a de equipamentos de comparação de fase. Foram recolhidas cerca de 28 nuvens de pontos. A imagem da figura 9-5

ilustra o equipamento de varrimento laser sob funcionamento. O equipamento foi operado pelo assistente José Martínez Rubio do LFA da ETSA_UVA.



Figura 9-5: O scanner Optech Illris 3D sob operação.

Este equipamento permite pré visualizar o campo de visão scanner num ecrã no dispositivo. Com base nessa informação é possível seleccionar apenas uma região do campo de visão ou múltiplas regiões do campo de visão e definir níveis de resolução distintos para cada uma delas. A resolução define-se em espaçamento de pontos, expresso em milímetros, num plano frontal ao equipamento a dada distância deste. Nas tabelas 9-1 e 9-2 resumem-se os dados recolhidos bem como o tempo levado nos dois dias de trabalho de campo.

1ª Sessão				
Data:	26 de Maio de 2009			
Início:	15h			
Fim:	21h			
Total (min):	360			
Resolução (mm)	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
10	8	181	177055	
17	2	23	23349	
Total	10	204,21	200.405	57%

Tabela 9-1: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos recolhidos no dia 26 de Maio de 2009.

2ª Sessão				
Data:	27 de Maio de 2009			
Início:	7h 45m			
Fim:	21h			
Total (min):	795			
Resolução (mm)	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
4	1	47,35	45569	
6	1	7,76	8033	
10	15	263,89	260377	
14	1	17,70	17463	
Total	18	336,70	331.441	42%

Tabela 9-2: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos recolhidos no dia 27 de Maio de 2009.

Os rácios entre o tempo que demoraram as sessões varrimento laser 3D foram de 57% no primeiro dia e 42% no segundo dia. O valor inferior do segundo dia explica-se pela paragem para almoço e descanso que durou aproximadamente 3 horas. É também de assinalar que, em termos médios, metade do tempo em campo não foi utilizado para varrimento laser. Terá sido usado para o levantamento fotográfico e em grande parte foi utilizado com a deslocação e montagem do equipamento nas várias posições, o que obrigou a andar entre compartimentos, mudar de pisos, conduzir os cabos eléctricos, e todas as operações auxiliares do varrimento laser propriamente dito.

- Após cada varrimento laser foi feita uma recolha de imagens fotográficas da cena digitalizada com vista ao mapeamento da nuvem de pontos. O levantamento fotográfico foi realizado pelo mesmo operador do varrimento laser, utilizando uma câmara fotográfica da marca Olympus E-300 com sensor de 8Mp. As imagens foram registadas no formato *.jpg.
- Uma vez que a equipa ficou alojada no Convento de Cristo durante a realização dos trabalhos, pode fazer-se uma gestão otimizada do tempo embora o varrimento tivesse de ser realizado com luz por causa do levantamento fotográfico associado.
- Já durante a execução dos trabalhos de conservação foi feita uma recolha de dados complementar, numa altura em que se dispunha de uma estrutura de andaimes que permitiu uma observação próxima da zona alvo da documentação desenhada. Esta teve lugar em 19-01-2010 e consistiu em medições directas executadas com fita

métrica e registadas sobre as bases já efectuadas e numa recolha fotográfica. A recolha fotográfica foi realizada com uma câmara da marca Olympus E-500 com sensor de 8Mp. Esta foi conduzida pelo arquitecto Luís Mateus.

Descrição dos dados recolhidos:

- Foram recolhidas cerca de 28 nuvens de pontos, num total de 519Mb, ao que correspondeu aproximadamente a 18 horas de varrimento efectivo.

As nuvens de pontos foram-nos fornecidas no formato *.i3d, o formato nativo do equipamento de varrimento laser utilizado, o scanner Optech Iiris 3D.

- Foram recolhidas cerca de 328 imagens, no formato *.jpg, num total aproximado de 1.4Gb.

- Já após terem sido iniciados os trabalhos de conservação, a empresa Insitu forneceu-nos um conjunto de imagens fotográficas resultantes de visitas ao local.

- Na recolha de dados complementar, que ocorreu em Janeiro de 2010, foram recolhidas cerca de 59 imagens fotográficas, no formato *.jpg, num total aproximado de 235Mb.

- No CD anexo pode ser observada uma listagem dos dados recolhidos (001_CC_NM.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- Nada a assinalar. No essencial, as acções decorreram de acordo com o previsto, tendo sido possível fazer o levantamento de todas as superfícies da Nave Manuelina no tempo disponível.

A.9.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- A sequência do processamento dos dados teve dois momentos. Num primeiro momento procedeu-se de acordo com inicialmente previsto. Num segundo momento foi necessário considerar algumas alterações e adaptações dos processos.

As etapas de: i) processamento das nuvens de pontos, ii) processamento das imagens fotográficas, iii) mapeamento das nuvens de pontos, correram no essencial como previsto. As etapas de: iv) extracção de informação base para restituição, e v) restituição gráfica 2D, decorreram de forma menos linear mas bastante participada pelos futuros utilizadores, em particular, a empresa Insitu.

- Processamento das nuvens de pontos compreendeu as seguintes etapas: a) conversão das nuvens de pontos, b) pré-processamento das nuvens de pontos, c) orientação relativa das nuvens de pontos, d) e orientação absoluta (georreferenciação).

A conversão das nuvens de pontos foi uma operação que visou a passagem do formato *.i3d, o formato nativo do scanner, para o formato *.ptx, formato esse passível de importação pelo software JRC 3D Reconstructor. Essa operação foi feita com um software proprietário fornecido pelo fabricante do equipamento, com a designação genérica de Parser. Nessa operação, por cada ficheiro *.i3d são gerados três ficheiros: i) um ficheiro *.bmp correspondente ao campo de visão do scanner (figura 9-6), ii) um ficheiro *.txt com metadados relativos à nuvem de pontos, e iii) um ficheiro *.ptx que corresponde à nuvem de pontos propriamente dita e que contém as coordenadas dos pontos e o valor de intensidade, ou reflectância, associado a cada ponto.

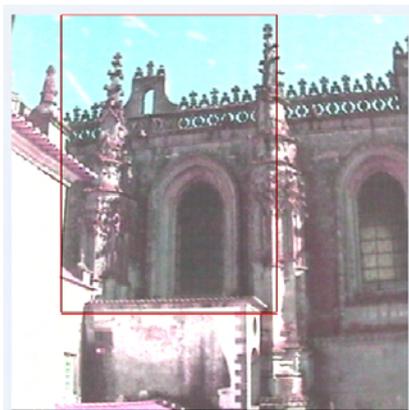


Figura 9-6: Exemplo de imagem *.bmp correspondente ao campo de visão do scanner relativo à nuvem de pontos tomar4.

Após importação das nuvens de pontos no software JRC 3D Reconstructor 2.5, estas são guardadas num formato próprio da aplicação, o formato *.rgp. A primeira acção a realizar é o que se designa por pré-processamento com filtragem automática de pontos que apresentam menor qualidade. Neste caso não houve lugar a limpeza manual das nuvens de pontos uma vez que estas são à partida mais limpas que as obtidas por scanners de comparação de fase. Por outro lado, dadas as características do objecto a documentar e sua localização, também não se registaram dados espúrios como pessoas ou vegetação. O pré-processamento produz uma superfície (grid) implícita na nuvem de pontos, calcula as normais a essa superfície, e produz uma série de mapeamentos na nuvem de pontos em função dos parâmetros de distância, inclinação do feixe em relação às normais, e reflectância.

Após o pré-processamento passou-se à orientação relativa. Para referencial local desta operação foi considerado o referencial associado a uma das nuvens de pontos. Na imagem da figura 9-7 pode observar-se o antes e o depois de uma operação de orientação relativa.

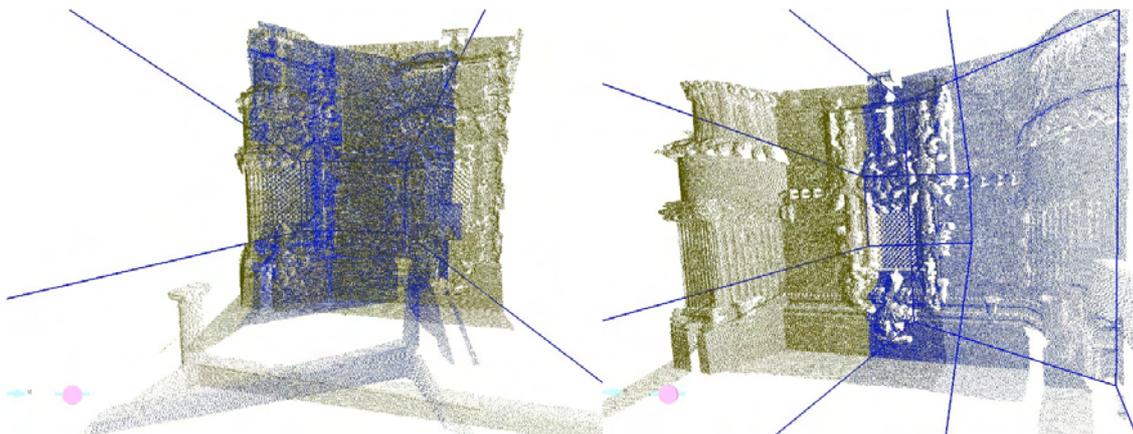


Figura 9-7: Orientação relativa entre duas nuvens de pontos. À esquerda: as nuvens de pontos antes da orientação relativa. À direita: as nuvens de pontos depois da orientação relativa.

Primeiro é feito um ajuste manual do posicionamento de uma nuvem de pontos em relação à outra que é considerada fixa, a nuvem tomar1_1. A seguir através do algoritmo ICP (iterative closest point) é feita uma optimização do ajuste entre as duas, ou mais, nuvens de pontos.

O resultado da orientação relativa de todas as nuvens de pontos é um modelo tridimensional de pontos que pode ser visualizado segundo os vários mapeamentos resultantes do pré-processamento atrás referido. Na figura 9-8 podemos visualizar o modelo de nuvem de pontos resultante. A orientação relativa das nuvens de pontos foi conduzida pelo arquitecto Luís Mateus e durou cerca de um dia. A média dos erros médios quadráticos (RMSE – root mean square error) foi de aproximadamente 4.1mm. Para despistar erros resultantes de orientações relativas de menor qualidade, foi feita uma inspecção visual do modelo. Não foram encontrados erros visualmente perceptíveis. Note-se que este modelo foi produzido num referencial local arbitrado.

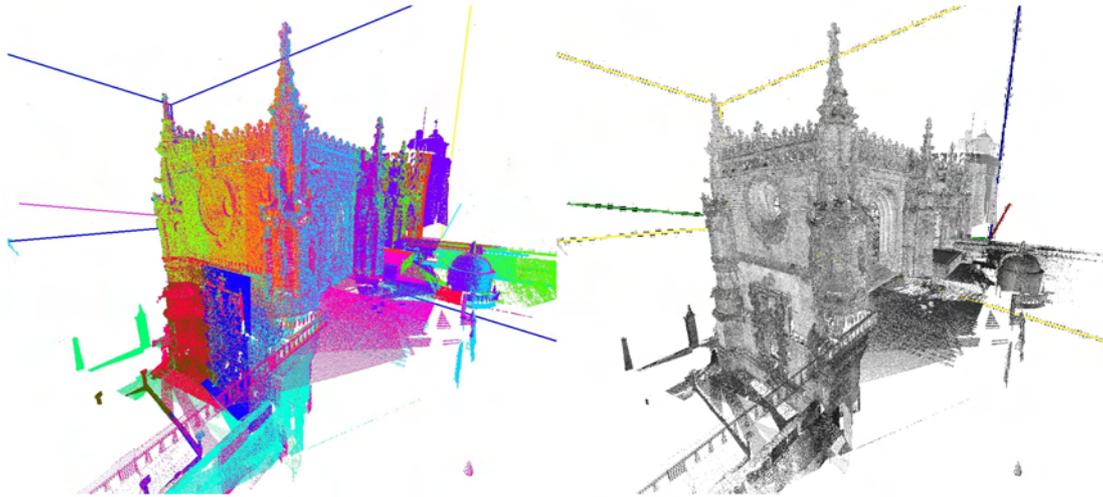


Figura 9-8: Modelo de nuvem de pontos do exterior da Nave Manuelina. À esquerda: as nuvens de pontos distinguidas por cor. À direita: as nuvens de pontos com o mapeamento de reflectância.

Para efectuar a georreferenciação do modelo, é necessário dispor de algum tipo de informação de controlo. Neste caso dispúnhamos de uma zona de adjacência entre este levantamento e o levantamento dos Paços do Infante que também efectuámos também utilizando o varrimento laser 3D. Dispondo dessa zona de sobreposição, foi possível encontrar pontos homólogos e calcular uma transformação de georreferenciação com base nas coordenadas desses pontos.

Previamente foi calculada uma transformação que colocou a nuvem tomar25_1 com a matriz identidade. Com efeito isto consegue-se muito facilmente multiplicando todas as matrizes de posição das nuvens de pontos, obtidas após a orientação relativa, pela matriz inversa da nuvem tomar25_1. Como se sabe, o produto de uma matriz pela sua inversa é a matriz identidade.

Como o modelo de nuvens de pontos já se encontrava construído e coerente entre si, e como o software JRC 3D apenas permite orientar uma nuvem de pontos de cada vez, isto é, não permite agrupar um conjunto de nuvens e tratá-las como se de uma nuvem se tratasse, e como a zona de sobreposição entre este levantamento e o levantamento dos paços do Infante corresponde a mais que uma nuvem de pontos neste e a apenas uma nuvem de pontos naquele, a forma de manter a coerência do modelo da Nave Manuelina foi orientar, no referencial deste modelo, a nuvem proveniente do modelo dos Paços do Infante, isto é a nuvem C03. Naturalmente, isto implica que a nuvem C03, com esta operação, perdeu a georreferenciação. Para a recuperar, e com isso georreferenciar o modelo da Nave Manuelina, foi necessário considerar a transformação inversa desta operação de orientação relativa. Este

conjunto de operações pode ser mais facilmente percebido se o expressarmos através da notação matricial. Seja M_{C03} a matriz da nuvem C03 georreferenciada e seja M_{C03}^{-1} a sua matriz inversa. Seja M_{LC03} a matriz de posição da nuvem C03 que resulta da sua orientação no referencial local do modelo da Nave Manuelina. Então a matriz que georreferencia o modelo da Nave Manuelina é a matriz $M_{Geo} = (M_{LC03} \cdot M_{C03}^{-1})^{-1} = M_{C03} \cdot M_{LC03}^{-1}$.

Para a orientação da nuvem C03 no referencial local da nave manuelina consideraram-se como referência as nuvens tomar24_1, tomar25_1, tomar26_1, tomar27_1 e tomar28_1. Esta operação teve um erro quadrático médio de aproximadamente 5.6mm. Na figura 9-47 podemos observar a vermelho a nuvem de pontos C03 e a azul as restantes nuvens.

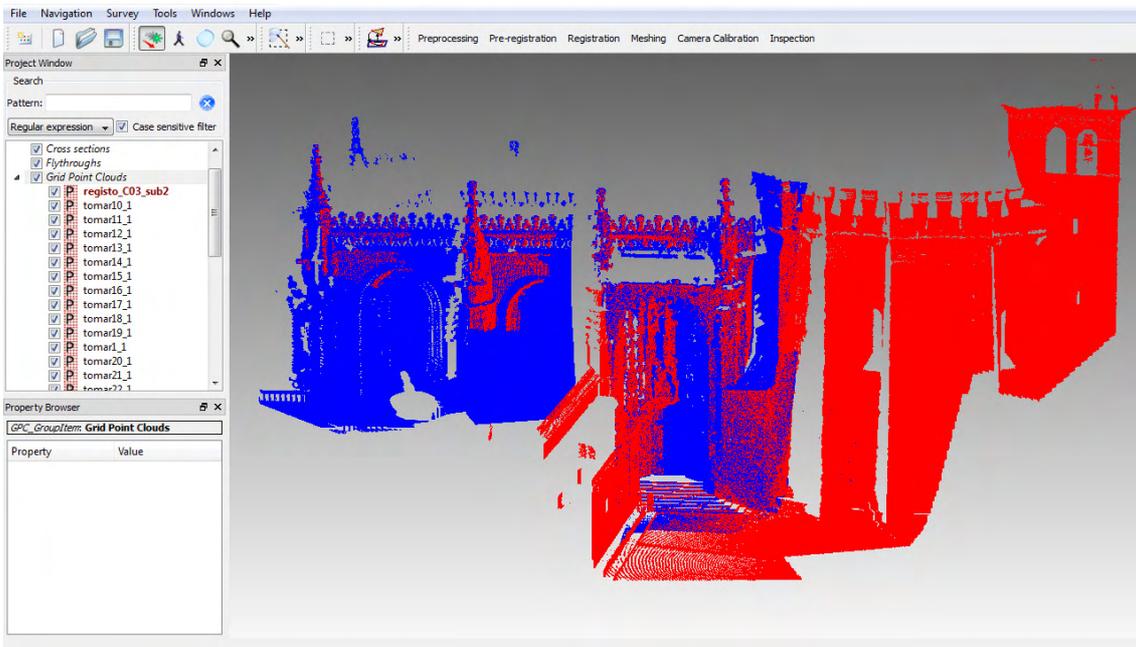


Figura 9-9: Sobreposição das nuvens de pontos tomar24_1, tomar25_1, tomar26_1, tomar27_1, tomar28_1 e C03.

Paralelamente a este processo, procedemos ao processamento das imagens que foram recolhidas aquando do varrimento laser. Por cada nuvem de pontos foi recolhido um conjunto de imagens de modo a gerar uma panorâmica de alta definição. Na figura 9-10 podemos visualizar um destes conjuntos.

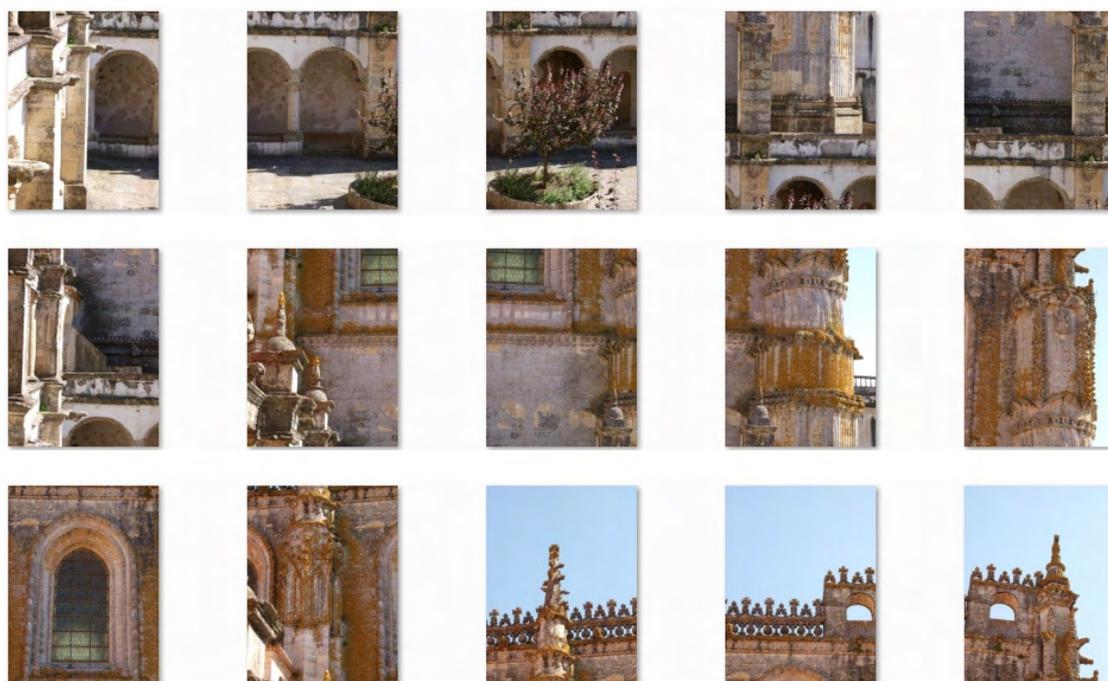


Figura 9-10: Conjunto de 15 imagens correspondentes à nuvem de pontos tomar1.

As imagens foram processadas com o software PTgui para gerar panoramas de alta definição conforme se ilustra na figura 9-11.



Figura 9-11: Panorama correspondente à nuvem de pontos tomar1.

No total foram produzidos 17 panoramas em formato *.jpg correspondentes a aproximadamente 2,2Gb. Note-se que o número de panoramas (17) não iguala o número de nuvens de pontos (28) uma vez que em alguns casos um panorama pode

corresponder a mais que uma nuvem de pontos. São os casos em que o scanner apenas foi rodado, sem perda de posição, para cobrir uma determinada área.

Após termos as imagens todas processadas e os panoramas criados, passou-se ao mapeamento dos valores de RGB destas imagens sobre as nuvens de pontos. A operação de mapeamento corresponde à orientação do plano de cada imagem no referencial do modelo de nuvem de pontos. Esta orientação inclui o posicionamento do centro de projecção da imagem, a orientação da imagem e o cálculo dos parâmetros de distorção da imagem. Em termos práticos, é necessário identificar um número mínimo de 11 pontos entre a imagem e a nuvem de pontos conforme se ilustra na figura9-12.

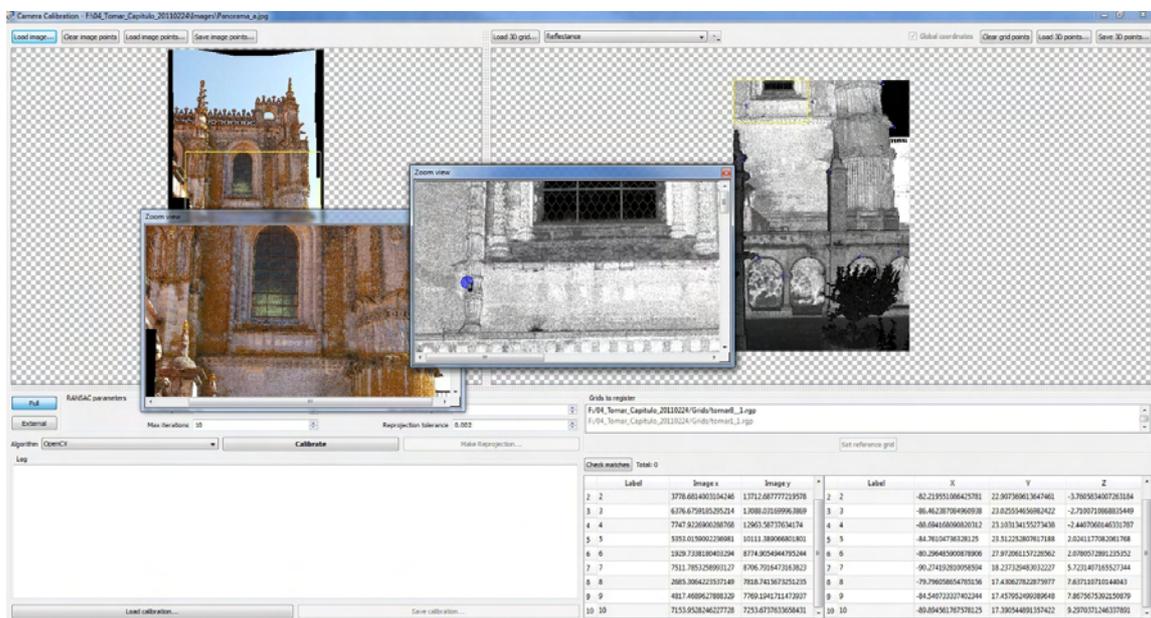


Figura 9-12: Identificação de pontos homólogos entre a imagem panorâmica, a cores, e a nuvem de pontos, a cinza.

Após a identificação dos pontos homólogos são calculados os parâmetros de posição, orientação e distorção da imagem. Estes são guardados num ficheiro de texto com a extensão *.cal. Estes parâmetros permitem então ao software produzir uma nova imagem com a distorção removida que serve para efectuar a projecção da textura sobre a nuvem de pontos conforme se ilustra na figura 9-13. De seguida é feita uma operação de varrimento virtual a partir do ponto de vista correspondente à imagem de modo a adicionar uma nova nuvem de pontos ao modelo com os valores de RGB mapeados.

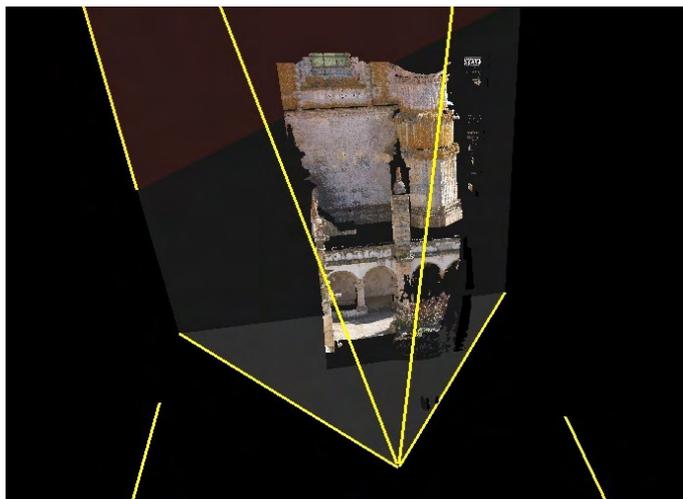


Figura 9-13: Projecção da textura do panorama_a sobre a nuvem de pontos tomar1.

Considerando também o mapeamento de RGB, na figura 9-14 seguinte podemos ver os vários tipos de mapeamento da nuvem de pontos que ficam disponíveis no final do processamento.

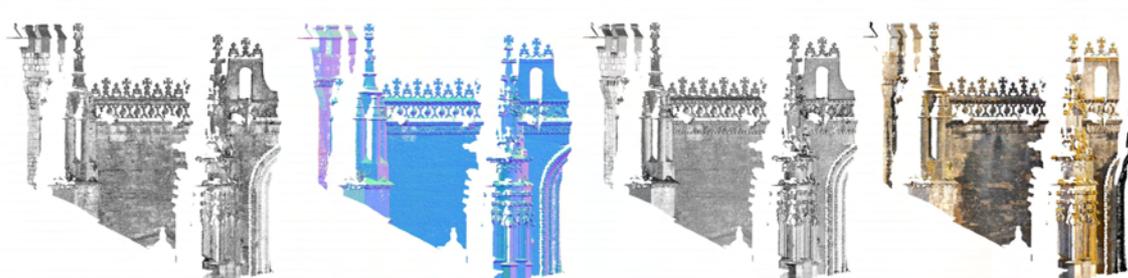


Figura 9-14: Exemplo do tipo de mapeamentos da nuvem de pontos tomar7. Da esquerda para direita: reflectância, inclinação, confiança, RGB.

Note-se que a imagem apresenta vazios. Estes vazios correspondem a zonas cegas para o scanner, isto é, zonas que, em virtude da geometria da relação entre scanner e objecto, ficaram fora do campo de visão do mesmo.

O resultado final é um modelo de nuvens de pontos com a textura mapeada, conforme se ilustra na figura 9-15.

Foi a partir deste modelo que se extraiu a informação base para a restituição gráfica.

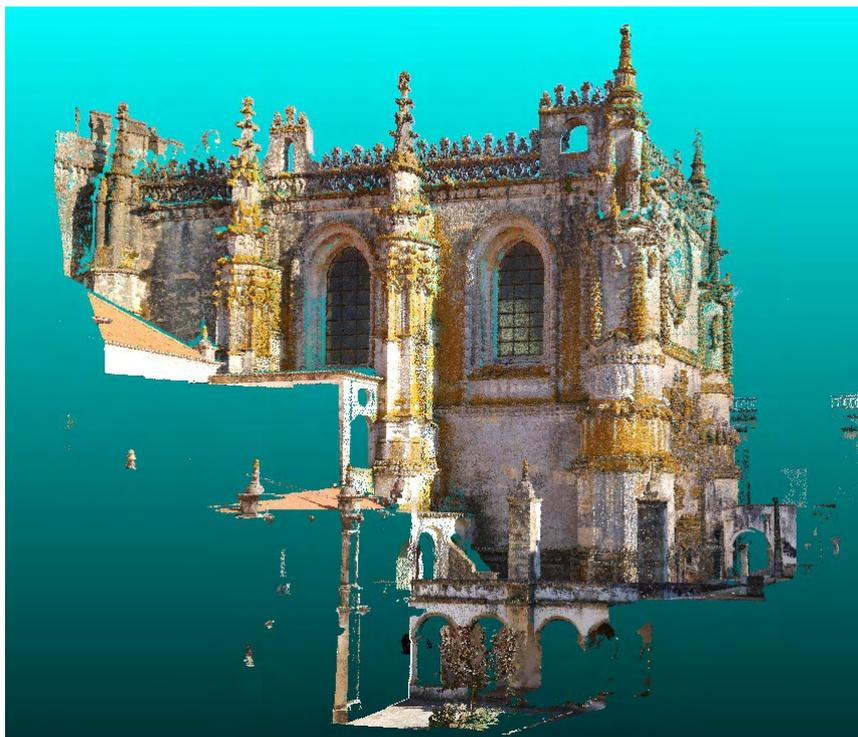


Figura 9-15: Modelo de nuvens de pontos com a textura RGB mapeada.

- No CD anexo pode ser observada uma listagem dos elementos relativos ao processamento das imagens fotográficas e nuvens de pontos, incluindo os mapeamentos de textura (002_CC_NM.pdf).
- A zona sobre a qual incidiu a necessidade de produzir documentação gráfica sob a forma de desenhos, correspondeu ao primeiro tramo da nave manuelina voltado a norte, junto à charola. Esta zona está ilustrada no canto superior esquerdo da imagem da figura 9-15 e corresponde-lhe em toda a extensão a nuvem tomar7 de que se produziram as imagens da figura 9-14.

A primeira acção da extracção de informação base é a condução de planos de projecção e de secção. Estes planos são, respectivamente, os panos em que se faz a projecção do modelo para gerar imagens, e os planos que seccionam o modelo para gerar linhas de corte.

Foram conduzidos dois planos de projecção, um paralelo ao plano principal do tramo em causa, e outro perpendicular ao primeiro. Com base nestes planos foram produzidas as imagens que se ilustram na figura 9-16. Para otimizar a informação das imagens panorâmicas, cuja resolução é superior à das nuvens de pontos, foi produzida uma malha triangulada (mesh) sobre a qual se projectou a textura da imagem. Assim, em vez de se ficar apenas com pontos com RGB, fica-se com superfícies, o que dá uma leitura mais contínua de informação. Mas, mais uma vez se nota o carácter incompleto daquela informação, pelas razões que já foram referidas

atrás. Para a produção destas imagens considerou-se a resolução de 0.5cmx0.5cm por pixel.



Figura 9-16: Orto-imagens base para suporte à restituição gráfica.

Estas imagens, a par de um conjunto de secções, foram introduzidas num ficheiro de CAD e sobre elas procedeu-se à restituição gráfica. Num primeiro momento foi produzida a restituição que se pode apreciar na figura 9-17.

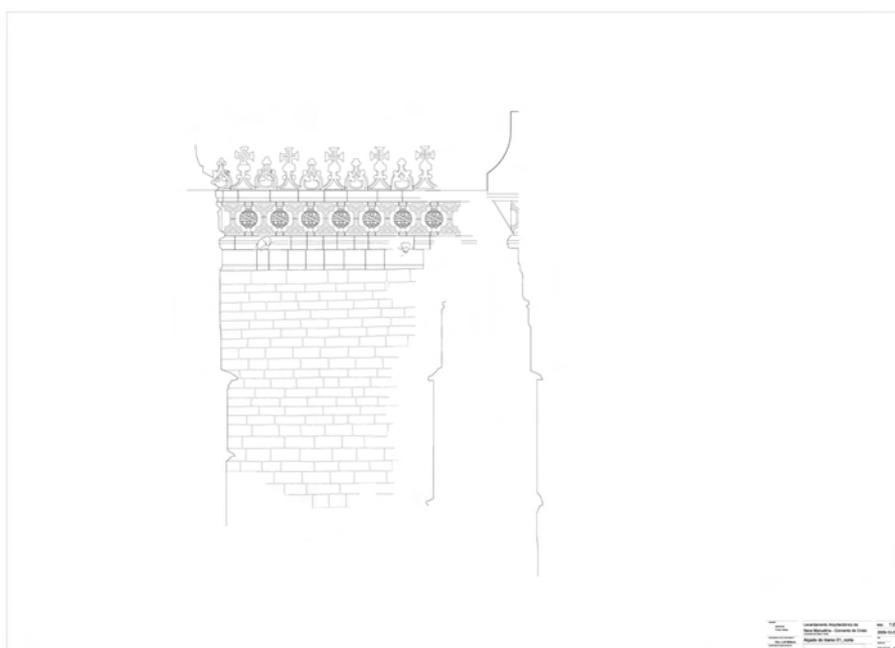


Figura 9-17: Orto-imagens base para suporte à restituição gráfica.

Esta corresponde exclusivamente ao que aparece visível nas imagens e nuvem de pontos. Este primeiro momento da restituição gráfica ficou concluído em meados de Dezembro de 2009.

Num segundo momento, já após ter-se começado a intervenção de conservação, e já após ter sido montada uma estrutura de andaimes, foi possível recolher informação complementar que possibilitou proceder ao completamento do levantamento. Este segundo momento foi por sua vez subdividido em várias partes.

Em primeiro lugar, procedeu-se a um primeiro completamento a partir de fotografias mais próximas tiradas no andaime. Estas foram directamente inseridas no ficheiro CAD, desenhou-se sobre elas e, aplicando a uma transformação projectiva com a nossa rotina LISP `rectificador.lsp` (ver capítulo 4 do volume 1), procedeu-se à correcção da perspectiva, como se ilustra na figura 9-18.

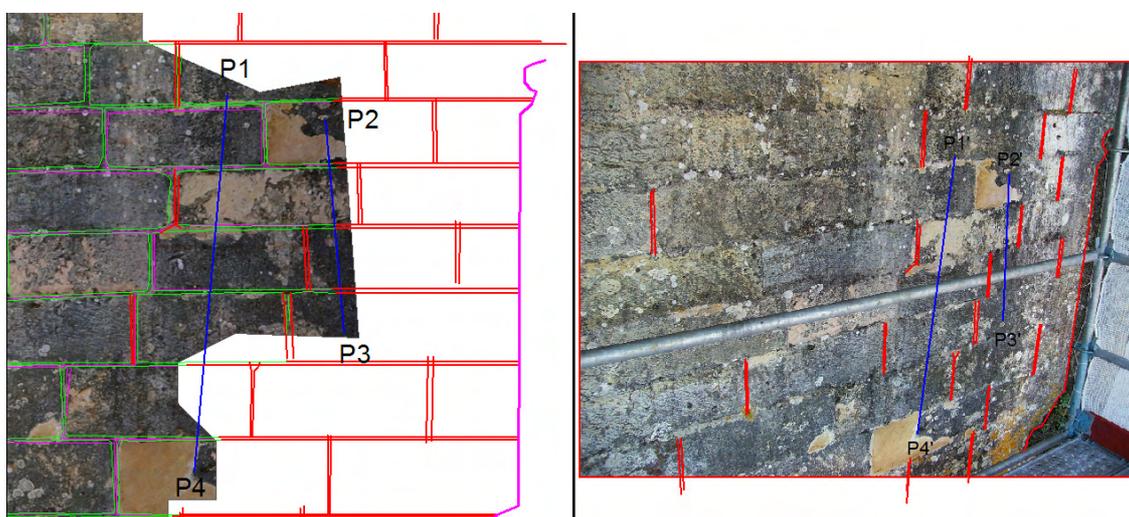


Figura 9-18: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP `rectificador.lsp`.

O resultado deste processo pode ser observado na figura 9-19.

Com base neste primeiro completamento fez-se uma visita ao local, já em Janeiro de 2010, para validar o resultado e proceder a nova recolha de dados para complementar o levantamento. Essa recolha de dados consistiu em fotografia e em medições directas com fita métrica, como ilustra a figura 9-20, uma vez que nesta fase não se dispunha de scanner.

Quanto à validação, uma componente importante foi a de verificar se a interpretação das imagens estava correcta no que diz respeito à estereotomia. De facto, verificou-se que algumas juntas tinham sido omitidas e que, pontualmente, algumas juntas desenhadas corresponderam a uma incorrecta interpretação da imagem.

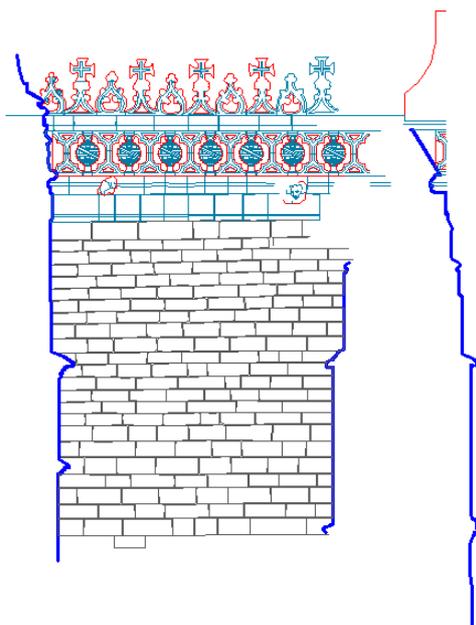


Figura 9-19: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP *rectificador.lsp*..

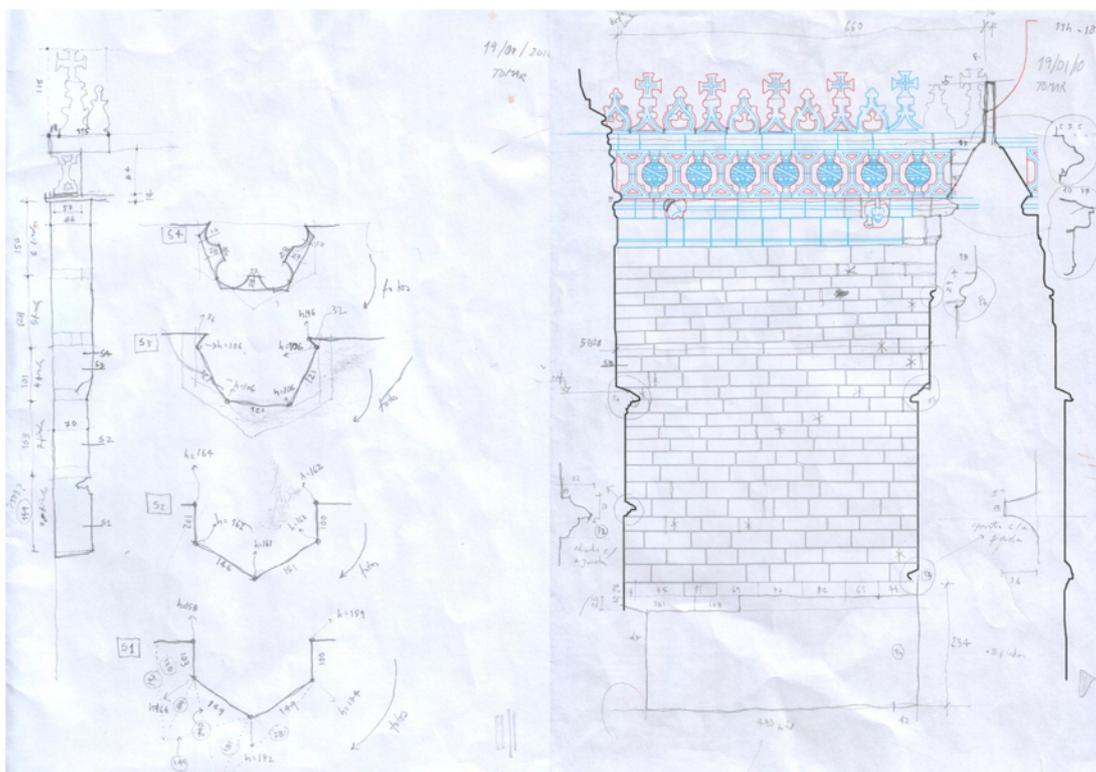


Figura 9-20: Completamento da restituição gráfica através do desenho sobre fotografia corrigido com a rotina LISP *rectificador.lsp*..

A informação recolhida serviu para corrigir e complementar os desenhos de levantamento. As medições recolhidas serviram para completar troços dos desenhos e

como informação de controlo para aplicar correcções de perspectiva a desenhos efectuados sobre imagens fotográficas, nos termos descritos e ilustrados com a figura 9-18.

No final deste processo produziram-se os desenhos que se ilustram na figura 9-21.

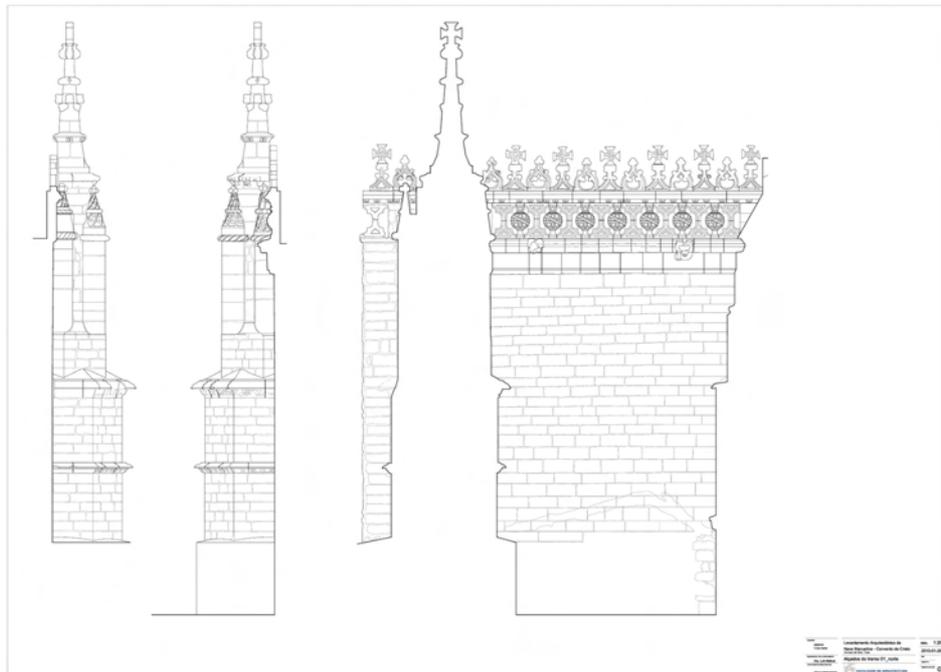


Figura 9-21: Desenhos finais.

Também foi produzida uma versão do desenho da figura 9-21 com parte da ortofotografia colocada como fundo, conforme se ilustra na figura 9-22.

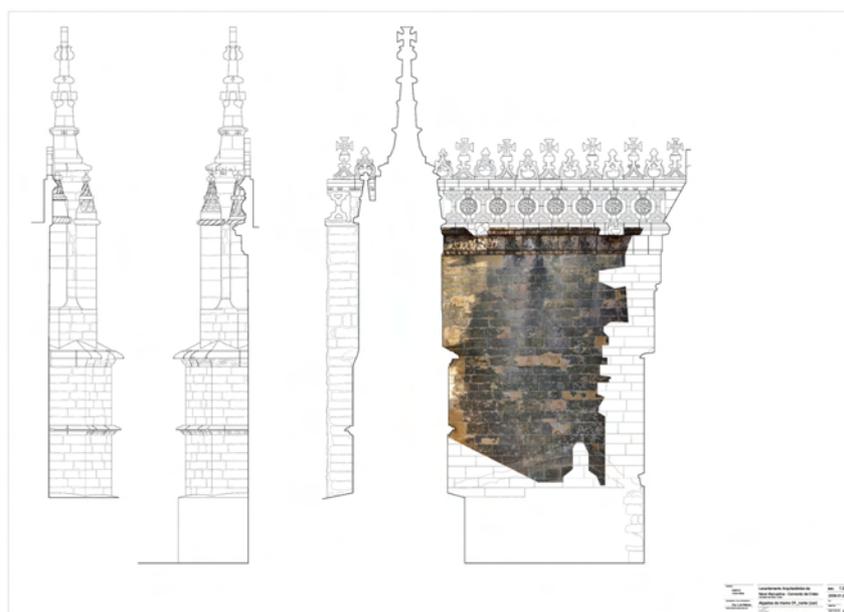


Figura 9-22: Desenhos finais com imagem associada.

Optou-se por não colocar a orto-imagem em toda a sua extensão devido a leitura incompleta que apresentava. Note-se que ela derivou da associação de uma imagem a uma nuvem de pontos que foi recolhida de um ângulo desfavorável.

Paralelamente, foi também produzida uma rectificação da imagem panorâmica. A informação de controlo para a produção da imagem panorâmica derivou dos dados métricos do varrimento laser 3D. Produziu-se uma bitola (figura 9-23) que permitiu, no software de edição de imagem Adobe Photoshop 6, a aplicação controlada de uma distorção projectiva da imagem de modo a corrigir a perspectiva no plano principal da imagem.

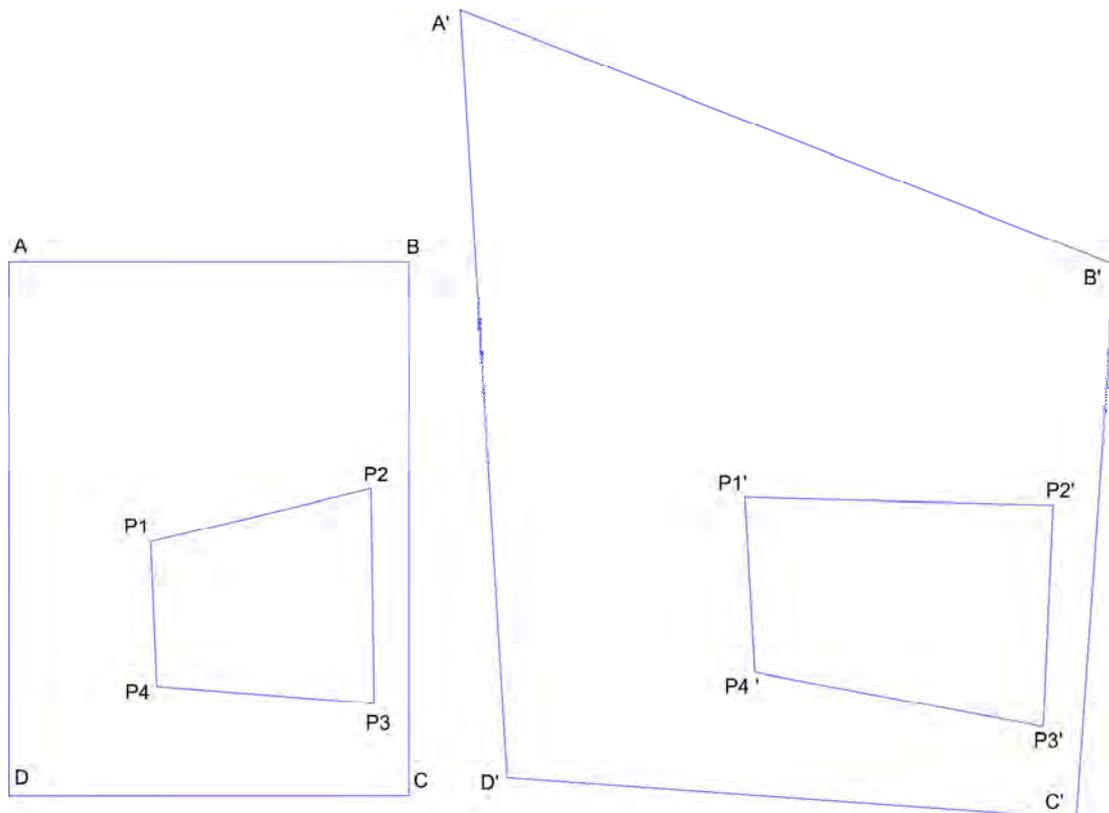


Figura 9-23: Bitola para controlo de rectificação de imagem.

Os pontos A, B, C e D correspondem ao limite da imagem a corrigir. Os pontos P1, P2, P3 e P4 correspondem a pontos da imagem a corrigir cujas coordenadas se conhecem. Estas correspondem aos pontos P1', P2', P3' e P4'. A correspondência entre estes pontos permite calcular uma transformação projectiva que aplica os pontos A, B, C e D nos pontos A', B', C' e D'. Esta transformação foi calculada no software AutoCAD 2008 aplicando a rotina LISP `rectificador.lsp`. Estes últimos pontos são utilizados como bitola no software de edição de imagem para proceder à distorção da mesma. O resultado ilustra-se na figura 9-24.



Figura 9-24: Imagem rectificada correspondente ao primeiro tramo da Nave Manuelina.

Em todo o processo de desenho foi utilizado o software AutoCAD 2008. A restituição gráfica foi conduzida pelo arquitecto Luís Mateus e pela arquitecta Rita Santos. O tempo estrito de edição CAD foi de 72 horas.

Este processo ficou concluído no final de Janeiro de 2010.

- A etapa de restituição gráfica foi realizada em articulação com a empresa Insitu, representada pela geóloga Madalena Rodrigues. Foram discutidos aspectos como o nível de simplificação e esquematização aceitável, a forma de estruturar a representação no que diz respeito à organização de layers do ficheiro CAD, e o próprio tipo de entidades mais favoráveis para o desenho, que facilitassem, em fase posterior, a edição do desenho.

A.9.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- Os materiais finais foram entregues à empresa Insitu e ao IGESPAR em formato digital por e-mail.
- Foi entregue um ficheiro CAD de formato *.dwg com três alçados, uma orto-imagem inserida e uma imagem rectificada. Todos os elementos foram organizados em layouts

para impressão na escala 1/20 (figuras 9-21 e 9-22) com o respectivo ficheiro de configuração de impressão.

- A estrutura de layers do desenho ficou bastante simplificada, e a entidade base utilizada no desenho foi a poli-linha fechada na medida em que fica facilitada a edição futura do desenho, em particular para o preenchimento com padrões de tramas.
- No CD anexo podem ser consultados os materiais finais produzidos (003_CC_NM.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- No que diz respeito aos materiais a entregar, não estava prevista a entrega de uma imagem rectificada. Foi um elemento adicional. Por outro lado, o carácter incompleto da orto-imagem gerada a partir dos dados de varrimento laser 3D, tornou-a pouco adequada para utilização completa. Assim, esta foi recortada pela zona em que apresentava maior qualidade e apenas este troço foi associado aos desenhos.
- No que diz respeito a tempos de execução, o facto de parte da informação só ter podido ser recolhida já durante o decurso das acções de conservação, bem como a própria validação dos resultados, implicou que os materiais finais só tivessem ficado concluídos após o início dos trabalhos e não antes como seria desejável. Porém, para minimizar este aspecto, à medida que os elementos do levantamento foram ganhando forma, foram entregues versões provisórias que permitiram que o registo das operações de conservação fosse sendo executado.

A.9.3. ANÁLISE CRÍTICA

Neste ponto começaremos por fazer uma análise crítica das várias etapas do processo descrito, nas suas componentes de planeamento e execução, articulada com aquilo que nos foi possível compreender acerca da utilização posterior dos elementos entregues pela empresa de conservação InSittu.

De seguida discutiremos um conjunto de acções ulteriores que realizámos já fora da relação com a Insitu mas em parte motivada por aquela. Estas acções posteriores correspondem a processamento adicional dos dados sob vários prismas no sentido de compreender e testar mais em profundidade o seu potencial, nalguns casos, ou ao estudo e validação de formas complementares do método principal de documentação utilizado, o varrimento laser 3D. Sobre cada uma dessas acções é feita uma descrição dos procedimentos, seguida de uma discussão e conclusões.

- Sobre o planeamento:

Neste processo, o planeamento das acções de levantamento por varrimento laser não assumiu a forma de registo gráfico. Reduziu-se a uma visita ao local, na qual foi

possível perceber as condições e limitações de que se dispunha para a realização do levantamento. Desde logo ficou registada a impossibilidade de aceder a coberturas o que implicou à partida a impossibilidade de recolher informação sobre certas áreas. Por outro lado também ficou clara a facilidade de circular pela envolvente da Nave Manuelina, e a existência de pontos de vista em quantidade suficiente para estacionamento do equipamento de varrimento laser.

Um aspecto importante desde o início foi assegurar a logística, em particular no que disse respeito ao acesso à rede eléctrica e aos acessos às várias dependências do convento após o horário de acesso público, por forma a poder-se tirar mais partido do tempo disponível. Para o efeito, foi sempre garantido um canal de comunicação com um funcionário do Convento que se encarregou de acompanhar os trabalhos.

Isto significa que em situações relativamente contidas, com facilidade de circulação e estacionamento dos equipamentos, pode-se pensar num planeamento que vai ocorrendo à medida que o trabalho se vai desenvolvendo, embora consideremos que nem sempre possa ser o caso, sob pena de resultarem omissões involuntárias de recolha de dados.

- Sobre a execução:

O levantamento por varrimento laser, embora relativamente rápido, implica algum esforço em campo. O equipamento pesa cerca de 15Kg e o seu transporte tem de ser efectuado com bastante cautela quer pela integridade do mesmo ou das pessoas que o manuseiam. Estas dificuldades ficam acrescidas quando é necessário subir ou descer escadas ou passar por espaços estreitos. A necessidade de energia eléctrica para o seu funcionamento pode ser feita por meio de baterias, gerador, ou por meio de ligação directa à rede eléctrica, o que é desejável. Neste caso as baterias tornavam-se pouco operativas devido à sua fraca autonomia. Isso implicou ter acesso à rede eléctrica em todos os sítios em se estacionou o equipamento. Para o garantir foi necessário transportar dezenas de metros de cabo eléctrico por vezes com a necessidade de vencer desníveis de dois ou três pisos. Daqui se deduz que, mesmo sendo relativamente rápidas, as operações de varrimento laser, pelo menos em condições semelhantes às deste caso, carecem de mais que um operador em campo. Dois será o mínimo e pelo menos três o desejável.

Podemos desde já fazer um apontamento sobre a diferença de tempos de varrimento entre os equipamentos de tempo de voo e de comparação de fase, com desvantagem para os primeiros.

O facto de as acções se terem desenrolado ao longo de intervalos de tempo que vão desde a manhã até ao final da tarde, implicou a impossibilidade de uma cobertura fotográfica homogénea em termos de iluminação. Esta situação foi minimizada

procurando concentrar as acções de cada lado da nave manuelina em períodos do dia em que as condições de iluminação fossem mais favoráveis, isto é, em que não houvesse luz directa nas superfícies. Esta é a situação preferencial dado que evita as sombras e contrastes acentuados.

Durante o processamento dos dados, em particular no processo de mapeamento da textura sobre as nuvens de pontos, sentiu-se uma grande limitação no hardware utilizado, o que impossibilitou, por exemplo, carregar em simultâneo todas as nuvens mapeadas com a cor. Tinha sido desejável dispor de sistema operativo de 64bits com pelo menos 8Gb a 12Gb memória RAM, e placa gráfica com pelo menos 512Mb. Esta foi uma forte limitação.

A zona sobre a qual se pretendeu a documentação gráfica desenhada, tratava-se precisamente da zona mais desfavorável relativamente ao levantamento, dado que os contrafortes ocultavam parte da área a registar. Essa não pode ser registada, face à logística disponível na altura, e a implicação lógica foi, numa primeira fase, a produção de uma documentação com omissões. Por outro lado pretendia-se um desenho que permitisse diferenciar a estereotomia o que, face aos dados disponíveis, era relativamente difícil uma vez que as superfícies apresentavam elevado nível de colonização biológica e sujidade. Por outro lado, somos de firme opinião que as limitações de um dado método ou sistema de documentação não devem ser invocadas como desculpa para produzir materiais com lacunas, pelo menos não a menos de um certo nível considerado como aceitável, o que não era o caso. Assim, para complementar a documentação gráfica foi necessário aguardar até que estivessem reunidas as condições de acesso necessárias. Tal só veio a ocorrer após o início dos trabalhos de conservação, altura em que foram montados andaimes para aceder às superfícies, como se ilustra na figura 9-25.



Figura 9-25: Montagem de andaimes para acesso ao primeiro tramo da Nave Manuelina.

Neste sentido, consideramos que é importante referir que, embora um determinado método possa ocupar um lugar central no processo de documentação e registo, é na adequada complementaridade de métodos e sistemas de registo que reside a possibilidade de produzir uma documentação completa e adequada. Todos os métodos e técnicas apresentam as suas limitações e o varrimento laser não é excepção. Os métodos complementares que utilizámos consistiram em medições directas e na rectificação de desenho vectorial, o que demonstra que a alta tecnologia pode articular-se perfeitamente com procedimentos mais expeditos no sentido da produção de uma documentação eficiente.

Do ponto de vista da produção da documentação gráfica, verificou-se a impossibilidade de produzir uma orto-imagem sem lacunas uma vez que aquela zona foi registada em apenas uma nuvem de pontos, o que implicou a existência de lacunas de informação que tornaram pouco apropriado o uso extensivo da orto-imagem no produto final.

Regista-se como facto muito positivo a interlocução com a empresa Insitu durante a produção dos materiais de levantamento. Foram explicitadas as suas necessidades e expectativas, e exposto o seu modo de utilização da documentação. Tudo isto conduziu à produção de uma documentação gráfica adequada aos fins a que se destinava, e contribuiu, em nossa opinião, para ajudar a aproximar os agentes que produzem a documentação daqueles que depois a vão utilizar. E também ajudou a compreender e confirmar a dependência, que em geral existe, relativamente aos suportes de representação tradicionais como os desenhos de plantas, cortes e alçados.

Por fim, registamos a necessidade de efectuar uma validação, em campo, dos resultados do desenho. Esta mostrou-se fundamental uma vez que, por mais fiáveis que sejam os dados, se há lugar a interpretação também há lugar ao engano ou há omissão. Só com a validação em campo se pode dar como bom o resultado obtido.

- Sobre a utilização posterior dos materiais produzidos:

Os materiais produzidos foram utilizados pela Insitu com três objectivos: i) mapeamento das anomalias (figura 9-26), ii) mapeamento dos tratamentos aplicados (figura 9-27), e iii) mapeamento das marcas de canteiro (figura 9-28). Os desenhos encontram-se aqui reproduzidos com a autorização da Insitu.

Regista-se que não foi utilizado ou considerado o uso da orto-imagem (embora incompleta) que fornecemos nem da imagem rectificada. Isto denotou uma maior simpatia pelo desenho que pelas imagens, embora o primeiro seja resultado de interpretação, enquanto que as imagens não são interpretadas.

Notámos que o desenho serviu para o registo de informação que foi adquirida exclusivamente através de observações directas. Isto é, nunca foi dispensada a observação e o desenho foi sempre mais suporte de registo que fonte de informação.

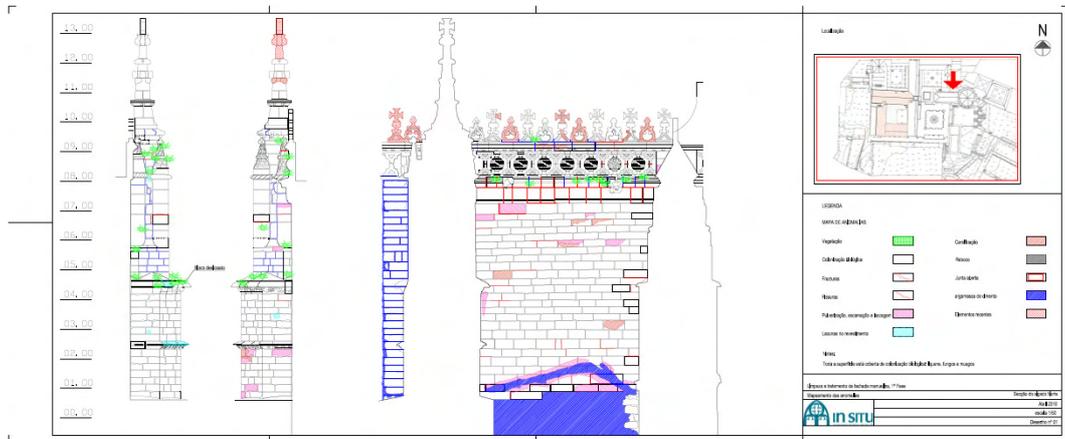


Figura 9-26: Mapeamento das anomalias (desenho da Insitu).

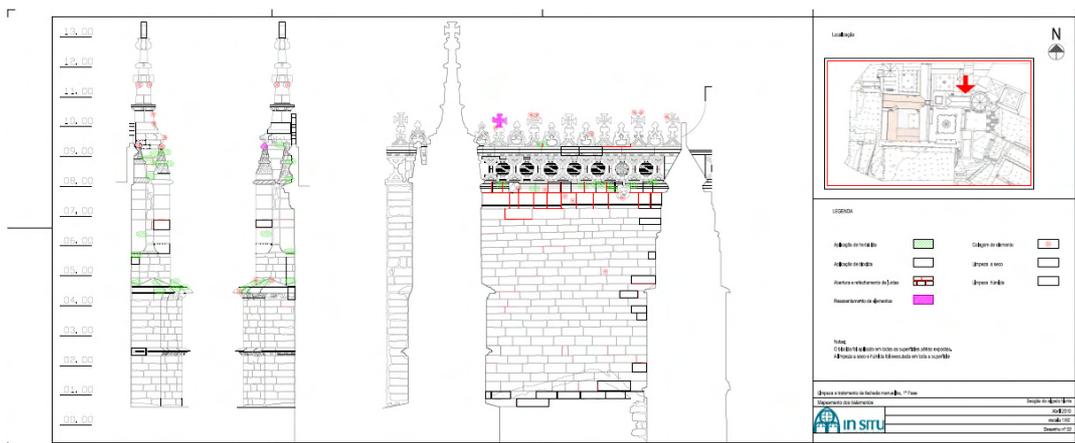


Figura 9-27: Mapeamento dos tratamentos (desenho da Insitu).

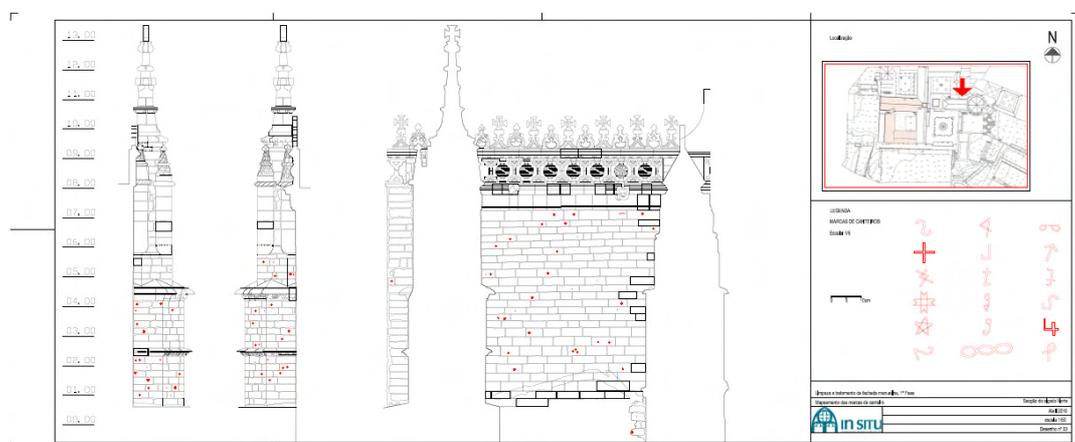


Figura 9-28: Mapeamento das marcas de canteiro (desenho da Insitu).

Também é um facto que alguma da informação registada não podia ser deduzida dos desenhos como é o caso das marcas de canteiro.

A.9.3.1. CONCLUSÕES

- Demonstrámos que, havendo experiência prévia na execução de levantamentos por VL3DT, e estando-se perante uma situação relativamente controlada e contida, é possível fazer um planeamento em acção. No entanto parece-nos que esta não deverá ser a regra a generalizar.
- Perante as condições iniciais de trabalho, verificou-se que a documentação resultante do processo de levantamento inicial seria incompleta, pelo que haveria necessidade de a complementar quando se reunissem condições de acesso adequadas. Este facto atesta um princípio e permite uma conclusão. O princípio é o que a limitação de uma técnica ou o constrangimento de uma situação não deve justificar que a documentação seja incompleta, e a conclusão é de que se devem procurar reunir as condições e mobilizar os meios adequados para se poder completar o mais possível a documentação.
- Verificámos a extrema importância de, perante a execução dos trabalhos, manter um contacto próximo com um funcionário que nos ia resolvendo os problemas logísticos e garantindo acessos.
- Verificámos que há vantagem no registo fotográfico simultâneo com o processo de captura das nuvens de pontos, isto é, proceder ao registo fotográfico a partir dos mesmos pontos de vista do equipamento de varrimento laser para evitar o efeito de paralaxe.
- Mais uma vez, pudemos experimentar a limitação do hardware disponível, em particular naquelas operações que requerem visualização. Consideramos que sistemas de 64bits com elevada memória e desempenho gráfico serão mais adequados.
- Concluímos que o complemento entre métodos e técnicas de levantamento, embora uma delas possa ser prevalente, é a abordagem que garante os melhores resultados.
- Reforçou-se a noção de que é fundamental validar em campo os resultados do levantamento.
- Reforçou-se a noção de que os agentes da conservação têm uma preferência por suportes desenhados relativamente às imagens. Estas são pouco usadas como suporte de análise, preferindo-se a análise no local.
- Reforçou-se a noção de que é importante documentar antes, durante e depois de uma intervenção de Conservação.

- Reforçou-se a noção e a convicção da importância do envolvimento dos utilizadores da informação (os conservadores) no processo produtivo da mesma. Este envolvimento é o meio pelo qual se pode garantir maior proximidade entre as duas categorias de agentes e com isso levar a melhores práticas.

A.9.4. A UTILIZAÇÃO DE IMAGENS NOS PROCESSOS DE ANÁLISE

A.9.4.1. INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS

Porém, ao nível do registo das anomalias pensamos que poderia ter-se tirado maior partido das imagens, como nos parece que podemos demonstrar de seguida, dado que encontramos padrões nas imagens, que pensamos serem significativos, que não encontram correspondência em relação ao que foi registado no mapeamento das anomalias, como se pode verificar através da leitura das imagens da figura 9-29.

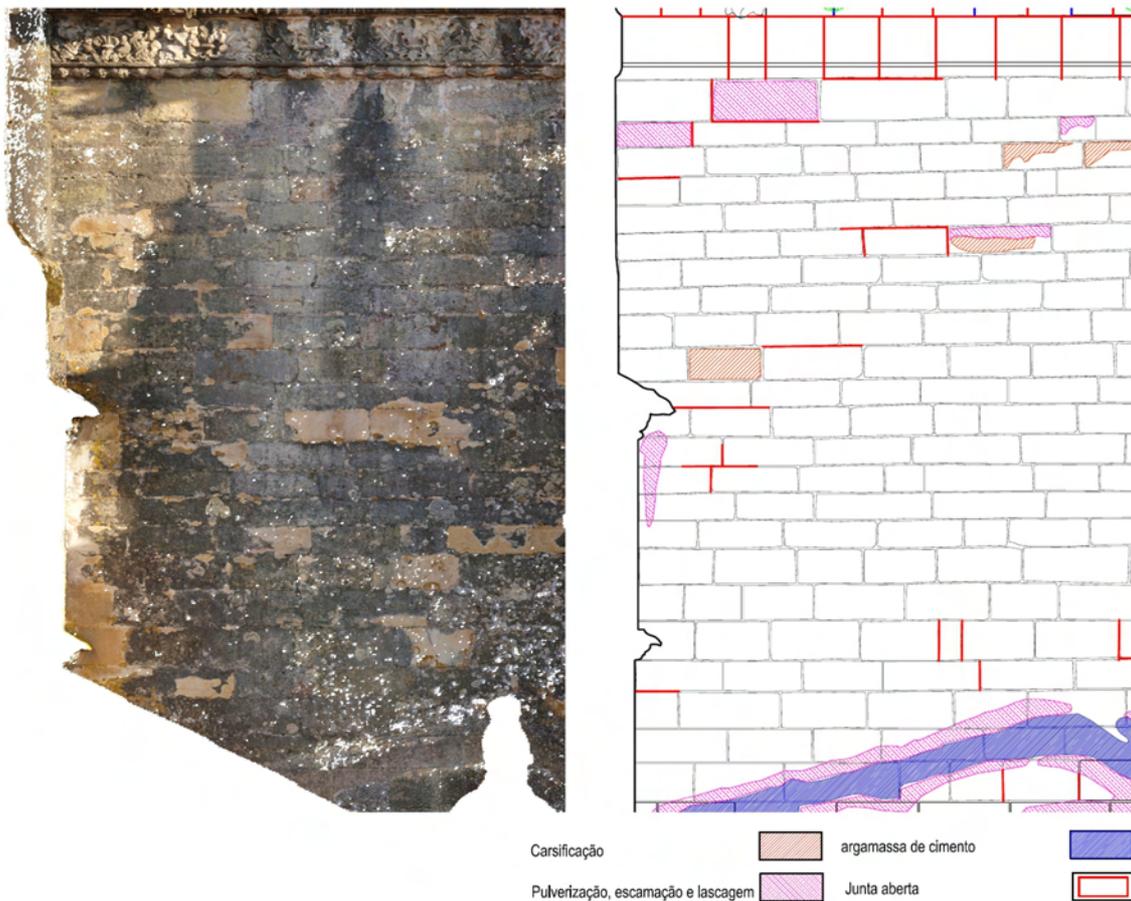


Figura 9-29: Comparação da orto-imagem cores (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).

Por exemplo, na representação da argamassa de cimento, há total correspondência entre a imagem (na porção disponível) e o mapeamento efectuado. Porém as áreas de pulverização, escamação e lascagem parecem ser superiores às registadas.

Outra comparação interessante a realizar é entre as anomalias registadas e a imagem de reflectância do varrimento laser, efectuado com um laser de 1500nm de comprimento de onda (infra-vermelho) que se pode apreciar nas imagens da figura 9-30.

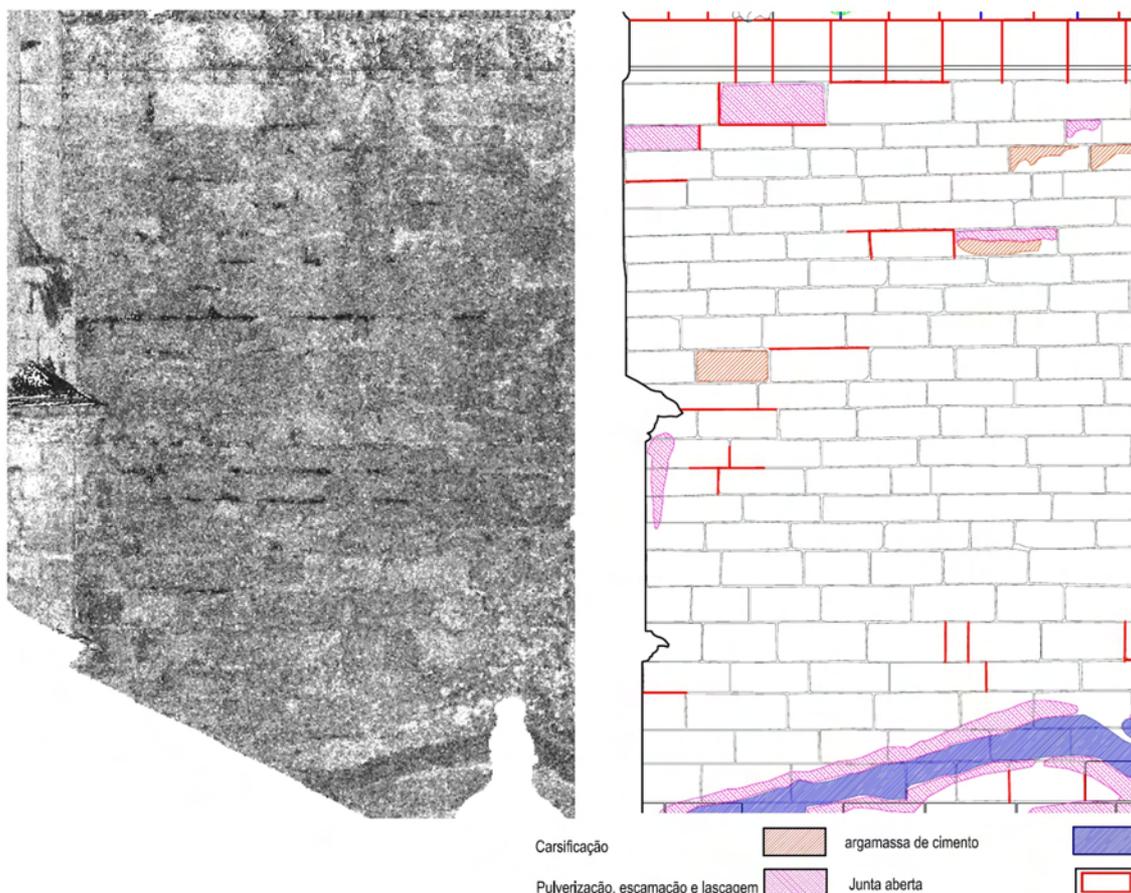


Figura 9-30: Comparação da orto-imagem de reflectância do varrimento laser – 1500nm - (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).

As zonas assinaladas como sendo argamassa de cimento, pulverização, escamação e lascagem, encontram plena correspondência na parte inferior.

As zonas de carsificação não foram identificadas na imagem.

As zonas de pulverização, escamação e lascagem, para além da já referida, parecem ter alguma correspondência entre o mapeamento e a imagem.

A marcação de juntas abertas não encontra nenhuma correspondência entre o mapeamento e a imagem, o que significará que o varrimento laser, nestas condições específicas não foi sensível àquela anomalia.

Encontra-se, na imagem de reflectância, um padrão de escurecimento coincidente com juntas que não tem nenhuma correspondência no mapeamento efectuado. A hipótese que colocamos é tratarem-se de juntas reparadas com cimento que não foram registadas neste desenho. Colocamos esta hipótese com base numa outra experiência que relataremos adiante.

Há outros padrões de clareamento na imagem de reflectância que encontram alguma correspondência na imagem a cores e que não encontram correspondência no mapeamento efectuado. Levantamos a hipótese de se tratar de alterações da pedra sem importância do ponto de vista da conservação e que, por isso, não tenham sido mapeadas.

Também fizemos a comparação entre o mapeamento e a orto-imagem de inclinação resultante do varrimento laser, conforme se ilustra na figura 9-31.

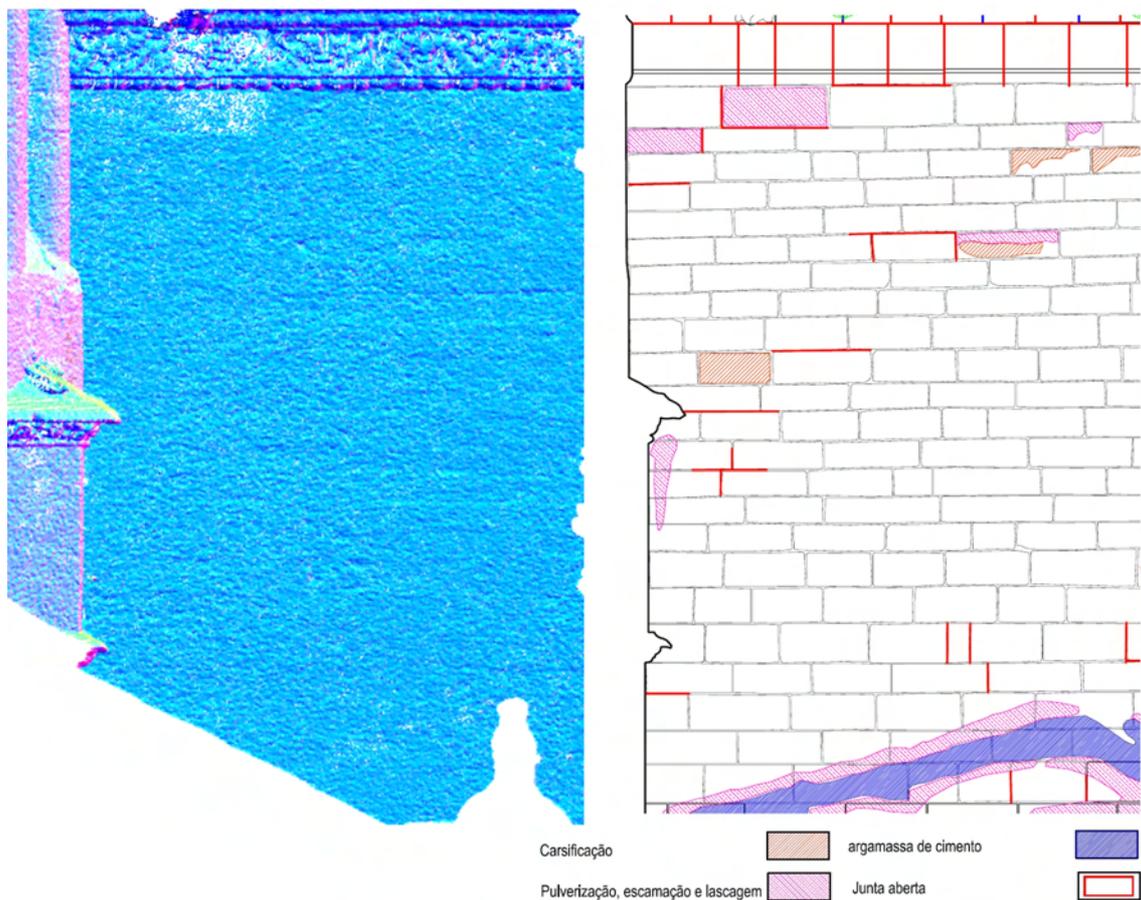


Figura 9-31: Comparação da orto-imagem de inclinação (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).

A imagem de inclinação corresponde a um mapa em que o valor da cor corresponde a uma orientação de vectores. Assim, zonas aproximadamente planas e paralelas entre si aparecem representadas com a mesma cor. Este tipo de imagem é por isso uma

representação daquelas características que se manifestam pela alteração da geometria. Se a densidade do varrimento laser for superior a um acidente da superfície, então este deverá ficar registado nesta imagem através de uma alteração de cor. A nuvem de pontos que deu origem a esta imagem foi feita com um espaçamento de 10mm entre pontos. Este parâmetro é definido para um plano frontal ao equipamento. Como o equipamento se encontrava com o seu eixo óptico inclinado em relação à superfície, o espaçamento na superfície resultou um pouco superior. Digamos que acidentes na superfície com expressão inferior a 1 a 2cm dificilmente aparecerão registados na imagem, e acidentes com expressão superior deverão ser notados. Assim, analisando a imagem de inclinação, é aparente, com um tom mais escuro a que se pode associar uma orientação de vector dirigida para baixo, uma linha que poderá corresponder, em nossa opinião, a uma junta aberta. Porém essa não aparece representada no mapeamento efectuado pela Insitu.

Duas das zonas mapeadas como pulverização, escamação e lascagem têm correspondente na imagem de inclinação. Trata-se de manifestações desta anomalia com expressão geométrica.

Embora fosse desejável, não foi possível até ao presente momento obter confirmação ou infirmação das hipóteses que colocámos acerca do tipo de informação que pode ser extraída das imagens.

Porém parece-nos promissor o caminho apontado, em que as imagens, não só as fotografias, podem consubstanciar-se como um auxiliar poderoso no processo de análise e diagnóstico em Conservação.

A.9.4.2. A ANÁLISE COMPARADA DE IMAGENS DE REFLECTÂNCIA DE VARRIMENTO LASER 3D.

Tal como referimos atrás, a possibilidade de georreferenciar o nosso modelo de nuvens de pontos resultou do facto de haver uma zona de sobreposição entre este modelo e o modelo dos Paços do Infante que também efectuámos, que se ilustrou na figura 9-47.

Desta zona destacámos uma área sobre a qual procedemos à análise comparada das imagens de reflectância de varrimento laser dos dois levantamentos. Esta zona corresponde a um paramento vertical situado entre a Charola e a Nave Manuelina na fachada voltada a sul. Na figura 9-32 essa zona aparece envolvida por um rectângulo vermelho.

Releva-se agora o seguinte dado.

O levantamento dos Paços do Infante foi feito com um scanner de comparação de fase que emite um feixe laser na banda dos 683nm, isto é, trata-se de um laser visível na área espectral do vermelho.

O levantamento do exterior da Nave Manuelina foi feito com um laser pulsado de tempo de voo que emite pulsos de laser na banda dos 1500nm, isto é, trata-se de um laser invisível no limite superior da área espectral do infra-vermelho próximo.

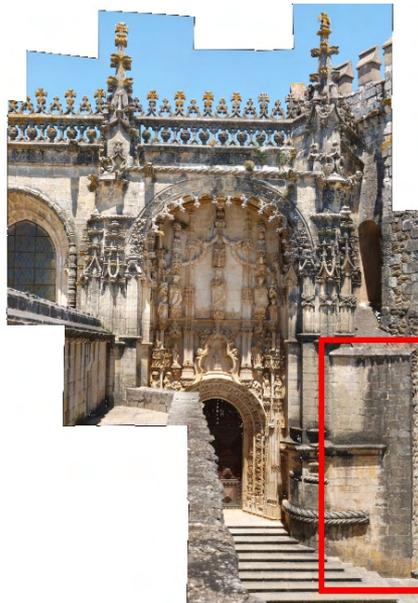


Figura 9-32: Zona de análise das imagens de reflectância.

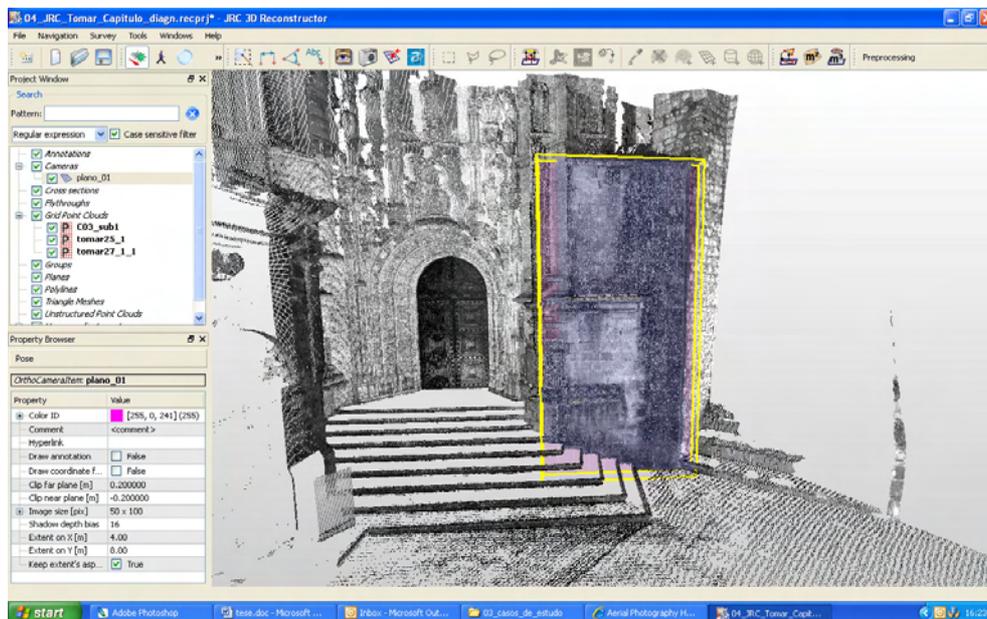


Figura 9-33: Comparação da orto-imagem de inclinação (à esquerda) com o mapeamento das anomalias efectuado pela Insitu (à direita).

Definimos um plano vertical com 4 metros de largura e 8 metros de altura (figura 9-33) e sobre esse plano efectuamos uma projecção de duas nuvens nuvem do modelo da Nave Manuelina, as nuvens tomar25 e tomar27, e uma nuvem do modelo dos Paços do Infante, a nuvem C03. Foi considerada uma resolução de 8mm por pixel. As imagens resultantes constam da figura 9-34.

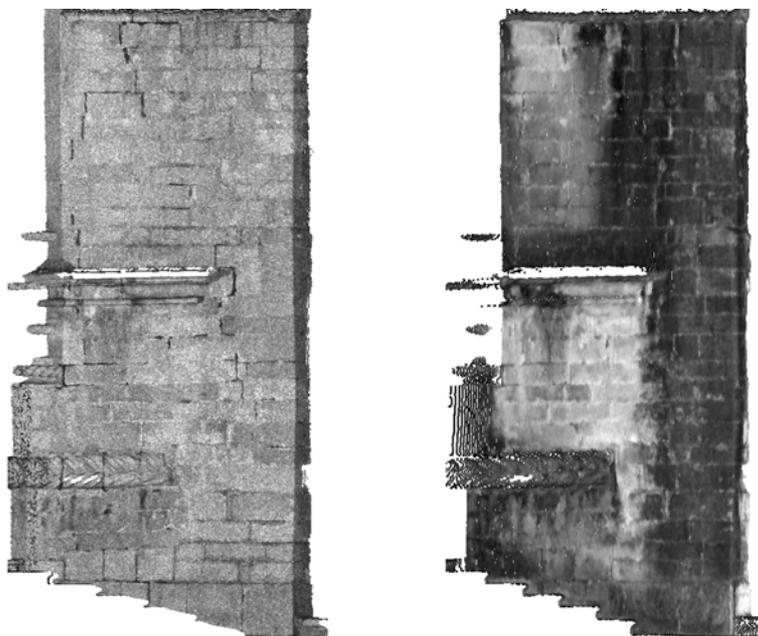


Figura 9-34: À esquerda: imagem de reflectância de infra-vermelho próximo (1500nm) correspondente às nuvens tomar25 e tomar27. À direita: imagem de reflectância de vermelho (683nm) correspondente à nuvem C03.

A primeira observação que constatámos corresponde às diferenças qualitativas da resposta dos diferentes materiais a estes dois comprimentos de onda. De um modo geral, podemos dizer que a imagem da direita é mais próxima do que é a experiência visual directa da superfície em causa, enquanto que o aspecto da imagem da esquerda difere bastante daquela experiência. Este facto pode ser facilmente compreendido uma vez que a imagem da direita resulta da utilização de um comprimento de onda visível do espectro electromagnético.

Uma análise das imagens, efectuada no local, e com o apoio de uma especialista, a arqueóloga do IGESPAR, e actual directora do Convento de Cristo, Ana Carvalho Dias, revelou alguns aspectos interessantes acerca do que pode ser reconhecido pela leitura das imagens.

A imagem da figura 9-35 sintetiza a análise visual da imagem de reflectância de infra-vermelho efectuada no local.

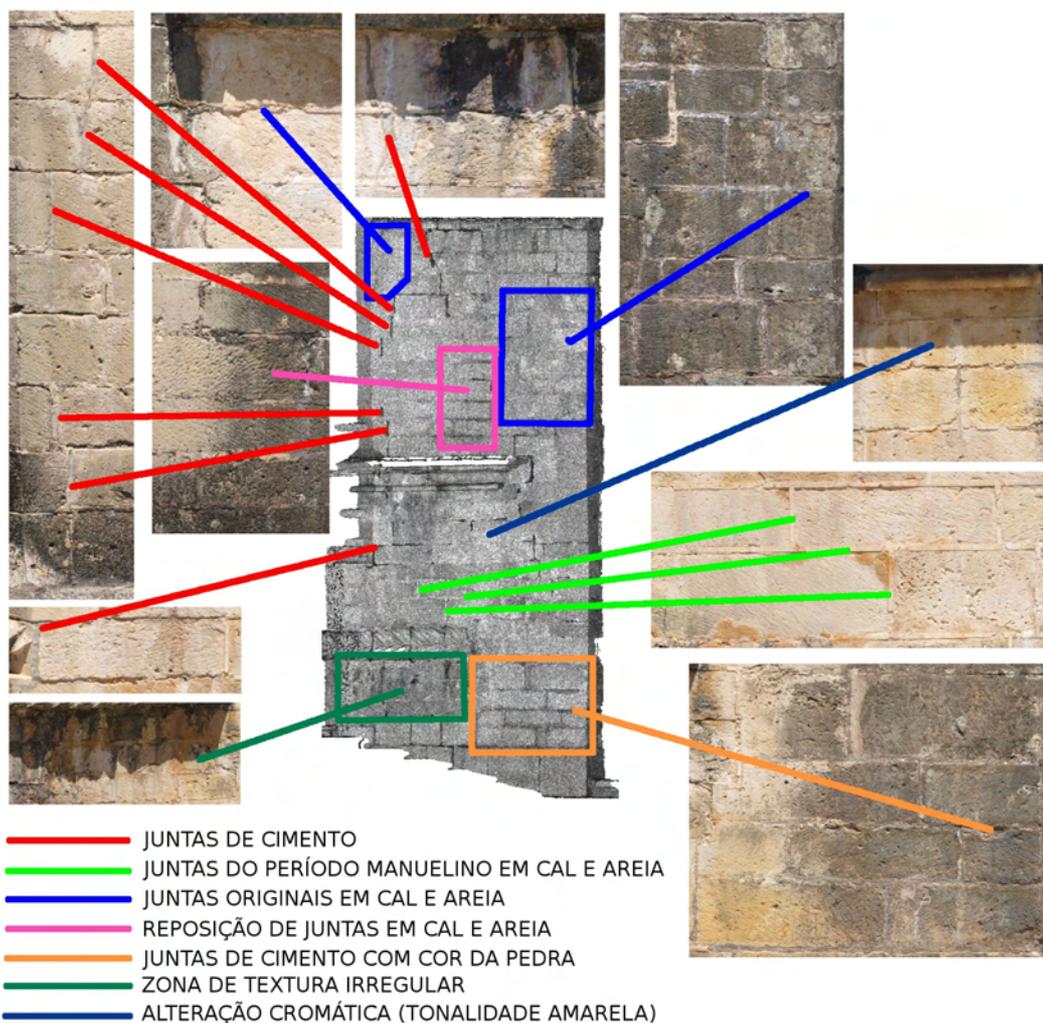


Figura 9-35: Análise visual da imagem de reflectância de infra-vermelho feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.

Dos aspectos mais interessantes a notar na resposta da superfície à radiação infra-vermelha foi a possibilidade de distinguir vários tipos de juntas, algumas das quais são visualmente parecidas.

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.

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.

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 também possível perceber algumas variações de reflectância correspondentes a alterações da textura e do cromatismo da pedra.

De seguida submetemos ao mesmo tipo de análise a imagem de reflectância de vermelho, conforme se ilustra na figura 9-36.

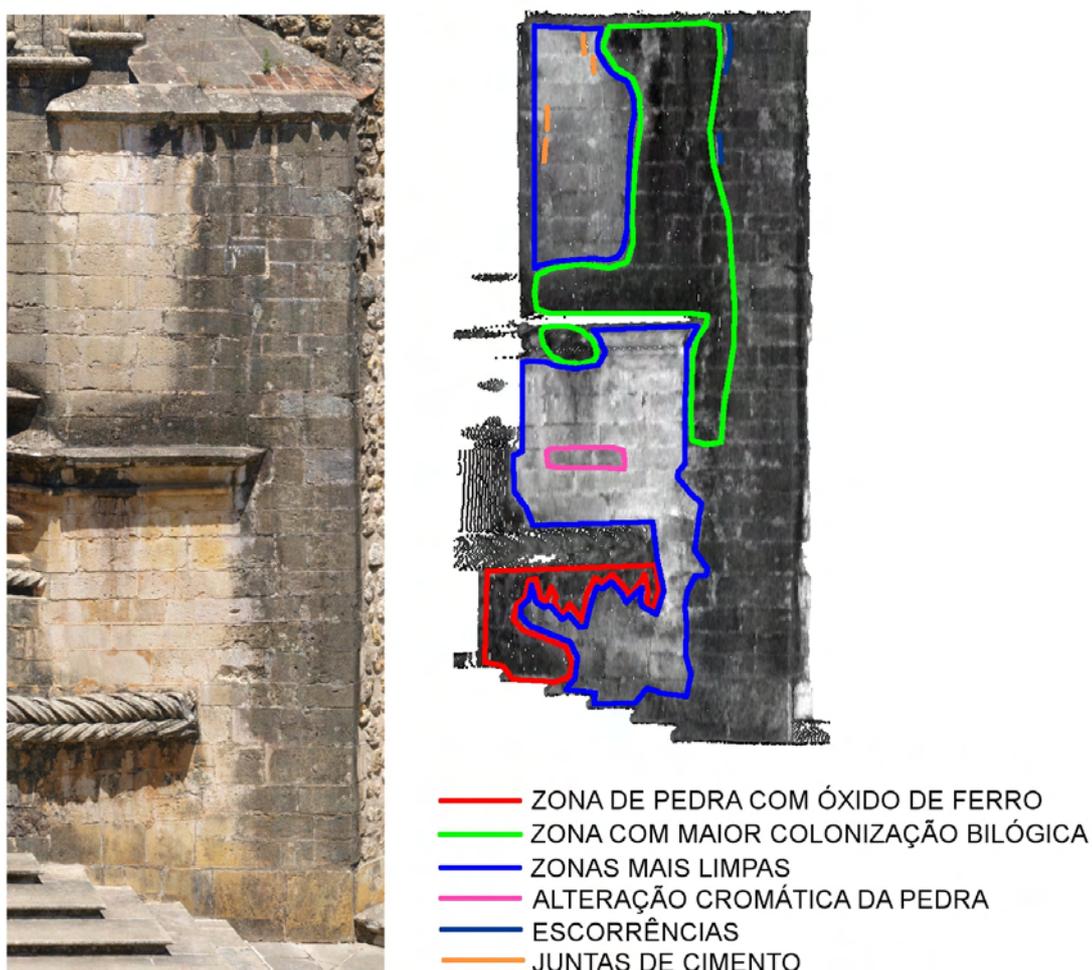


Figura 9-36: Análise visual da imagem de reflectância de vermelho (à direita) feita no local com a arqueóloga do IGESPAR, Ana Carvalho Dias.

Da leitura desta imagem concluímos que diferencia menos os materiais mas diferencia mais a colonização biológica. 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.

É importante que este tipo de análise seja levado a cabo com especialistas, pois só eles detêm o conhecimento que permite atribuir significado aos padrões que se podem encontrar nas imagens.

A análise destas duas imagens vem reforçar a ideia que as imagens espectrais podem ser um importante auxiliar no processo de interpretação e análise em Conservação.

A.9.4.3. CÁLCULO DE UM ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Cada uma das imagens da figura 9-34 é uma imagem de 8bits a que corresponde uma escala discreta de cinza que vai desde o 0 (ausência de reflectância) aos 255 (reflectância máxima).

Dado o significado espectral de cada uma das imagens, é possível com elas calcular um índice de vegetação, designado por NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). No nosso caso, o aspecto original do cálculo deste índice é o facto de ser efectuado com imagens de reflectância VL3DT.

O cálculo do NDVI pode entender-se facilmente através fórmula ilustrada no esquema da figura 9-37.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IV} - \text{V}}{\text{IV} + \text{V}}$$

Figura 9-37: Esquema explicativo do cálculo do NDVI.

O NDVI é calculado pixel por pixel e é expresso numa escala que vai de -1, limite em que não há actividade clorofilina, a 1, limite máximo da actividade clorofilina.

Para efectuarmos este cálculo tivemos o apoio do Professor José António Tenedório do Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional da Universidade Nova de Lisboa.

O processamento das imagens para o cálculo do NDVI consistiu nos seguintes passos:

- a) Leitura da imagem com o software ENVI e conversão da mesma para o formato GEOTIFF.
- b) Importação das imagens com o formato GEOTIFF no software IDRISI.
- c) Cada um dos ficheiros estava expresso em RGB pelo que, para despistar incongruências eventuais nos dados foi realizada a comparação de algumas medidas estatísticas para os vários planos de cor. Entre estas encontram-se a média, o desvio padrão, a moda, a mediana. Estas foram exactamente as mesmas para os três planos de cor de cada ficheiro pelo que cada ficheiro pode ser utilizado independentemente de qualquer dos planos espectrais.
- d) Foi calculado um índice de vegetação que foi reclassificado em quatro intervalos de valores, conforme se ilustra na figura 9-38.

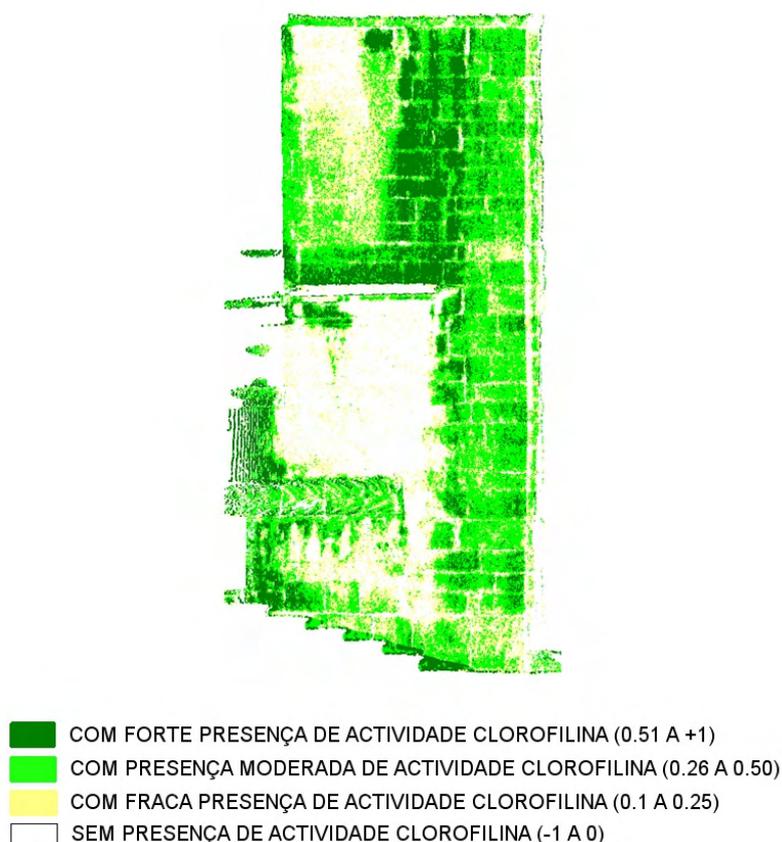


Figura 9-38: NDVI reclassificado em quatro classes.

Uma vez que as imagens originais correspondem a nuvens de pontos feitas com equipamento colocado em posições distintas, a informação dos bordos de cada imagem não têm correspondência, pelo que a interpretação do NDVI deve ter em conta essa informação enganosa dos bordos. É por exemplo o que se pode verificar na parte inferior da imagem da figura 9-38 numa zona junto a degraus. A aparente presença de actividade clorofilina é na verdade resultado de uma oclusão na imagem de infravermelho que foi confundida com reflectância máxima porque os pixels nessa zona eram brancos.

No entanto, analisando a zona central da imagem da figura 9-38 verificamos que há uma forte correspondência com a análise visual expressa na imagem da figura 9-36 no que diz respeito à zona de maior incidência da colonização biológica.

Porém também verificamos que em algumas áreas parece haver classificação como presença de actividade clorofilina em zonas que, na análise visual foram identificadas como tendo outro tipo de anomalias, como é o caso da área identificada na figura 9-36 como correspondendo a pedra com presença de óxido de ferro.

Maior profundidade na interpretação deste tipo de imagens implicará no futuro um estudo acerca do comportamento da reflectância dos materiais nos comprimentos de onda mais comumente utilizados nos equipamentos de varrimento laser 3D.

Em todo o caso parece ser já seguro afirmar que as imagens de reflectância podem indicar padrões que devem ser analisados, sempre por especialistas em conservação, no sentido de verificar se correspondem a formas de degradação dos materiais e das superfícies com significado para o processo de Conservação.

A.9.4.4. ANÁLISE EM COMPONENTES PRINCIPAIS

Para além do cálculo do NDVI foi ainda feita uma análise em componentes principais (ACP) da qual se consideraram as imagens da primeira componente e da segunda componente, obtidas como a seguir se descreve:

a) Seja M_V a matriz original da imagem de vermelho, em que todo o elemento X_{ijV} da matriz corresponde a um valor inteiro entre 0 e 255.

Seja M_{IV} a matriz original da imagem de infra-vermelho, em que todo o elemento X_{ijIV} da matriz corresponde a um valor inteiro entre 0 e 255.

b) Seja MV_V a matriz de variância da imagem de vermelho, em que o elemento $X_{ijMV_V} = (X_{ijV} - \overline{X_V})^2 = VarX_{ijV}$, onde $\overline{X_V}$ representa a média dos valores de todos os elementos da matriz M_V .

Seja MV_{IV} a matriz de variância da imagem de infra-vermelho, em que o elemento $X_{ijMV_{IV}} = (X_{ijIV} - \overline{X_{IV}})^2 = VarX_{ijIV}$, onde $\overline{X_{IV}}$ representa a média dos valores de todos os elementos da matriz M_{IV} .

c) De seguida calcula-se a matriz de co-variância, $M_{cov_{V,IV}}$ das variâncias das duas imagens, sendo o elemento $X_{ijMCov} = VarX_{ijV} \cdot VarX_{ijIV} = CovX_{ij}$, onde $CovX_{ij}$ representa a co-variância do elemento X_{ijMCov} da matriz $M_{cov_{V,IV}}$.

d) Da matriz de co-variância e das matrizes de variância extraem-se as matrizes componentes principais, C_1 e C_2 .

O elemento X_{ij} da matriz C_1 , notado por X_{ijC_1} , foi calculado fazendo X_{ijMCov} / X_{ijMV_V} .

De modo similar, elemento X_{ij} da matriz C_2 , notado por X_{ijC_2} , foi calculado fazendo

$$X_{ijMCov} / X_{ijMV_{IV}}.$$

Estas matrizes, expostas sob a forma de imagem, não têm significado espectral. Porém, pela sua leitura verifica-se que, de alguma forma, conseguem compactar e relevar um conjunto de características presentes nas imagens originais, conforme se pode constatar pela leitura das imagens da figura 9-39.

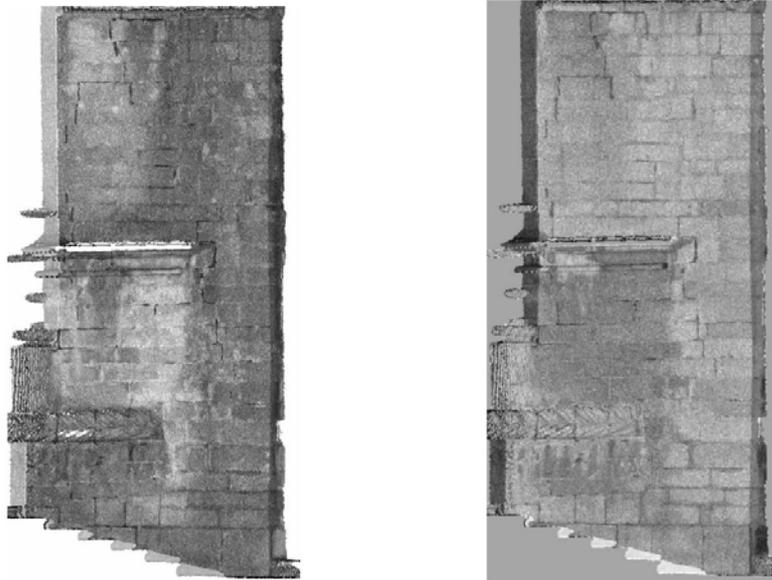


Figura 9-39: À esquerda: imagem da primeira componente. À direita: imagem da segunda componente.

Uma leitura visual das imagens, tendo em conta as várias análises atrás descritas, permite verificar que a imagem da primeira componente consegue colocar em evidência as zonas mais limpas da pedra bem como as que apresentam sujidade.

A imagem da segunda componente destaca claramente a estereotomia (nas zonas de colonização biológica) e as zonas limpas do paramento e parece ter a capacidade de fazer a distinção entre o que é orgânico (colonização biológica) e o que é inorgânico como se verifica pela não distinção entre juntas e pedra nas zonas limpas do paramento.

Com esta experiência demonstrámos o potencial do varrimento laser para além da simples captura da geometria do edifício. A percepção das diferentes qualidades das imagens de reflectância em função do comprimento de onda do laser utilizado pode vir a ser um instrumento significativo no processo de análise, inspecção e diagnóstico em Conservação da Arquitectura.

A.9.4.5. CONCLUSÕES

- Demonstrámos que os vários tipos de imagens que podem ser geradas a partir do VL3DT, quer as que têm significado espectral como aquelas que não o têm, podem constituir-se como suporte de diversificadas análises. No entanto, não queremos com isto afirmar que se deva dispensar a inspecção e análise em campo.
- Verificámos que se podem identificar padrões nas imagens com significado em relação às formas de degradação das superfícies, alguns dos quais são pouco perceptíveis a olho nu. Distinguimos quatro tipos de características das superfícies que podem ser analisadas através das imagens: i) geométricas / formais, ii) materiais, iii) construtivas, iv) estado de conservação.
- Distinguimos diferentes qualidades em imagens espectrais relativamente a comprimentos de onda distintos dos equipamentos utilizados. Verificámos comprimentos de onda distintos colocam em evidência características distintas.
- Mostrámos que as imagens de reflectância, em particular as que correspondem a comprimentos de onda não visíveis, colocam em destaque um conjunto de características que são pouco evidentes através da observação directa e que por isso devem ser encaradas como um precioso auxílio do processo de análise e diagnóstico.
- Verificámos algumas incongruências entre os padrões que identificámos na análise das imagens e as várias cartografias elaboradas no local. Não questionamos o juízo feito em campo pelos agentes da conservação relativamente à significância atribuída às formas de degradação, porém encontramos nas imagens uma riqueza e diversidade que não tem paralelo nas cartografias produzidas.

- Demonstrámos que a análise espectral das imagens de reflectância, através das técnicas de informação geográfica, permite gerar informação com significado do ponto de vista da descrição e análise das formas de degradação. Identificámos esta área como merecedora de estudos mais aprofundados no futuro.
- Mostrámos ainda que a análise em componentes principais (ACP) permite concatenar em imagens de síntese um conjunto de aspectos relevantes que se encontram distribuídos pelas imagens base. Estes resumem características construtivas e visuais das imagens de reflectância.

A.9.5. RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL FOTOGRAMÉTRICA AUTOMÁTICA

Neste ponto discutimos o potencial da reconstrução fotogramétrica automática como geradora de documentação base com as qualidades adequadas aos processos de análise e registo em Conservação e Restauro. Discute-se ainda a possibilidade real de complemento entre a reconstrução fotogramétrica automática e o VL3DT.

A.9.5.1. VALIDAÇÃO DE RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL FOTOGRAMÉTRICA AUTOMÁTICA

Aquando do levantamento por varrimento laser 3D, em Maio de 2009, recolheram-se também imagens fotográficas. Dessas imagens, 105 incidiam sobre a conhecida Janela Manuelina, que se ilustra na figura 9-40.



Figura 9-40: A Janela Manuelina do Convento de Cristo ao centro na imagem.

Com base nessas imagens fizemos, já em Setembro de 2011, uma experiência de reconstrução tridimensional conduzida de forma absolutamente automática. A nossa

intenção é verificar se o resultado obtido apresenta qualidade equiparável ao varrimento laser. Caso a qualidade se considere equiparável, o procedimento pode ser considerado válido para a produção de documentação em conservação.

A reconstrução automática ocorre em dois grandes momentos: i) orientação relativa das imagens e produção de um modelo tridimensional de baixa densidade, e ii) reconstrução de um modelo tridimensional de elevada densidade com base na informação anteriormente gerada.

O primeiro momento é concretizado através da metodologia SFM (structure from motion) implementada através do recentíssimo software VSFM (visual structure from motion). Este processo ocorre em várias etapas podendo resumir-se do seguinte modo: a) identificação de pontos característicos nas várias imagens, b) correlação entre as várias imagens com base na análise dos pontos característicos, c) orientação relativa das imagens com base nas correlações entre imagens.

Na imagem da figura 9-41 ilustra-se, para uma fotografia, o resultado da primeira etapa.

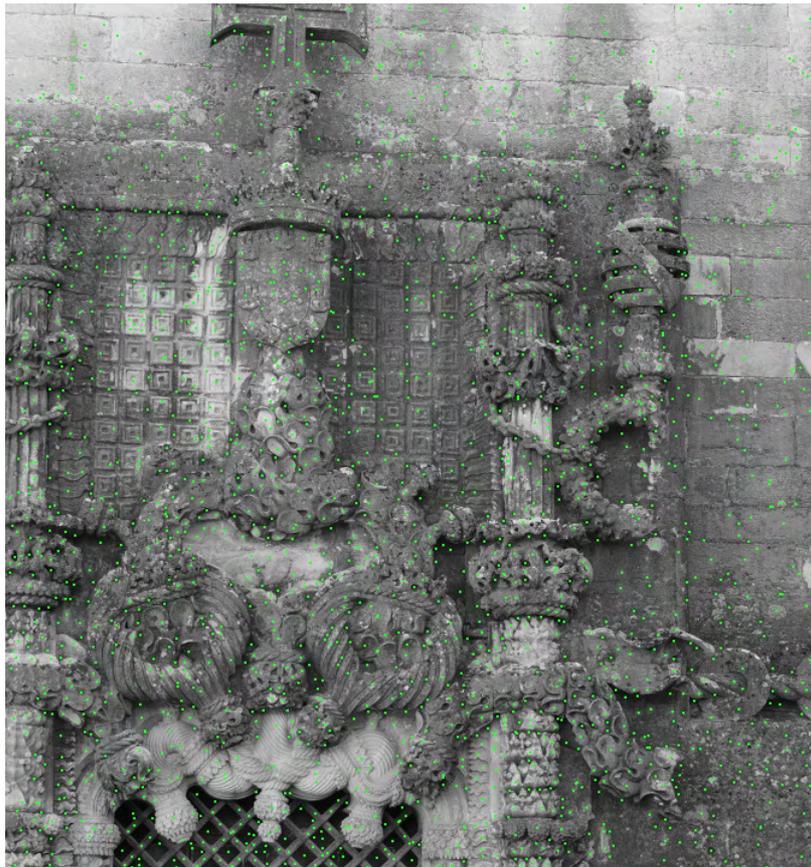


Figura 9-41: Extração de pontos característicos da imagem.

Na imagem da figura 9-42 pode visualizar-se a matriz de correspondência entre imagens. O elemento X_{ij} da matriz corresponde à correspondência entre a imagem i e j .

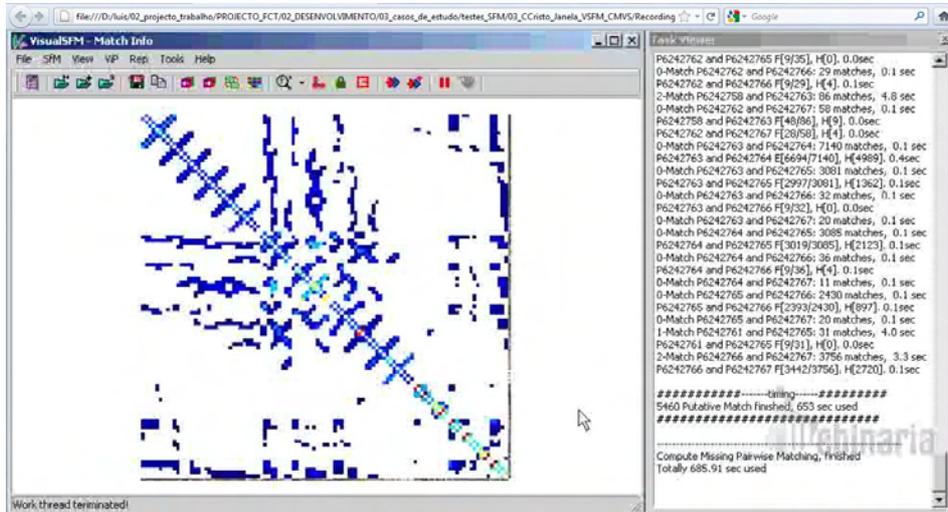


Figura 9-42: Matriz de correspondências entre imagens. O código de cor corresponde ao nível de correspondência.

Note-se que se trata de uma matriz quadrada em que os índices das colunas correspondem aos índices das linhas transpostos, isto é, referem-se às mesmas imagens. Daí que esta matriz seja sempre simétrica em relação à sua diagonal.

Na figura 9-43 podemos visualizar o resultado final da reconstrução de baixa densidade bem como a posição relativa de cada imagem. Para esta reconstrução foram usadas cerca de 93 imagens das 105 iniciais.

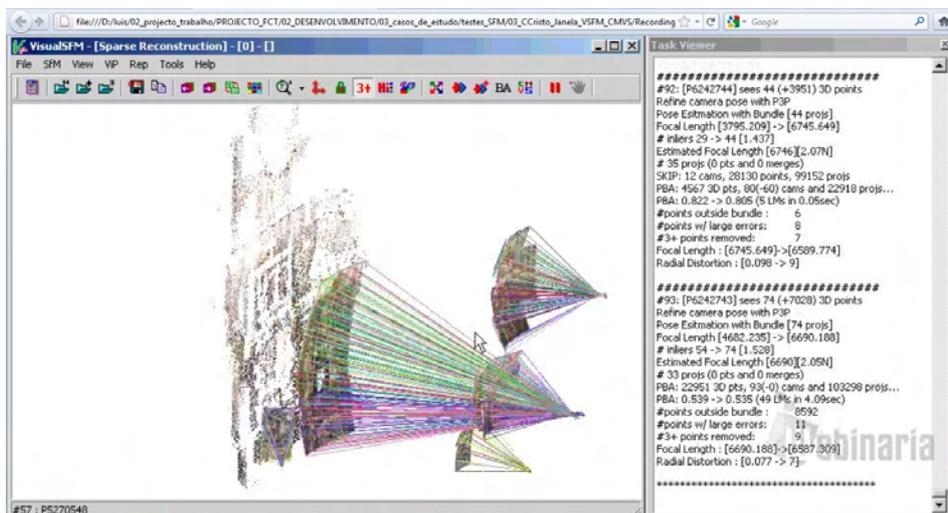


Figura 9-43: Orientação relativa das imagens e reconstrução de um modelo tridimensional de baixa densidade.

No segundo momento passa-se então à reconstrução tridimensional de elevada densidade. Para o efeito, o ponto de partida foi o resultado gerado anteriormente. O software CMVS/PMVS (clustering-views for multi-view stereo/patch-based views for multi-view stereo) começa por agrupar as imagens em conjuntos que vão ser processados separadamente. O resultado do processamento de cada conjunto dá origem a uma nuvem de pontos no formato *.ply, em que cada ponto tem associado, para além das coordenadas espaciais, a informação de RGB, e as normais à superfície implícita pelos pontos. No caso da janela, foram produzidos dois ficheiros *.ply correspondendo a um total aproximado de 6.24 milhões de pontos. O modelo correspondente a estas duas nuvens de pontos pode ser visualizado através da imagem da figura 9-44. O aspecto mais ou menos recortado que o modelo apresenta resulta do facto de apenas termos utilizado as imagens que recolhemos em 2009, isto é, não foram recolhidas imagens adicionais para complementar eventuais lacunas. Foram utilizados os parâmetros por omissão do software CMVS+PMVS (treshold=0.7, level=0, csize=2). Estes parâmetros condicionam a qualidade da reconstrução, o nível de detalhe e a densidade. E têm implicação no tempo de processamento. O tempo total de reconstrução do modelo foi de aproximadamente 2 horas e 45 minutos, tendo a componente de reconstrução densa demorado cerca de 2 horas e meia. Mais uma vez se nota que todo este procedimento foi realizado de forma absolutamente automática. Nota-se também que o processamento foi feito com uma workstation com sistema operativo de 64bits, 48Gb de RAM e placa gráfica de 1Gb.



Figura 9-44: Imagem do modelo de elevada densidade, visualizado dom o software MeshLab, com um total de 6238451 pontos.

O modelo assim gerado, embora aparente proporções correctas, não tem dimensões correctas. Para isso é necessário atribuir-lhe um factor de escala que o deverá dimensionar. Para calcular um factor de escala seleccionámos, manualmente, um conjunto de 21 pontos homólogos neste modelo e no modelo de varrimento laser 3D que tínhamos produzido em 2009.

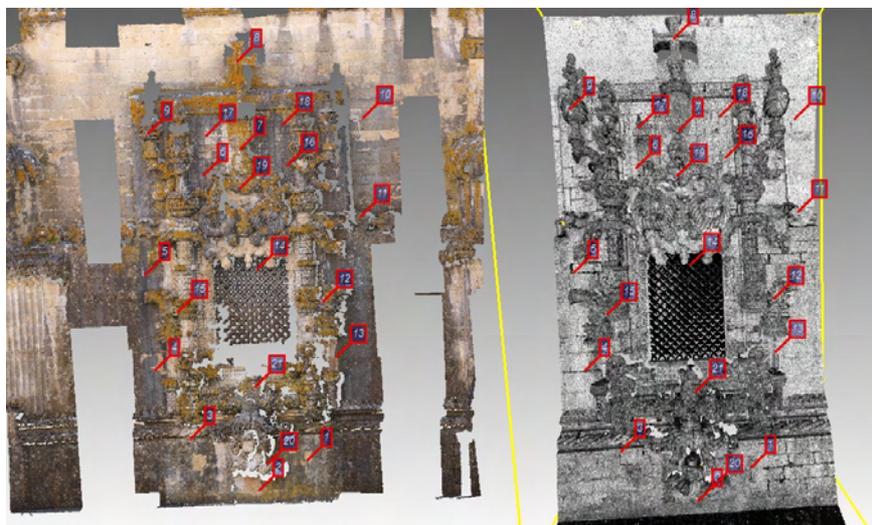


Figura 9-45: Selecção de um conjunto de 21 pontos homólogos entre o modelo fotográfico (à esquerda) e o modelo de varrimento laser 3D (à direita).

De seguida, com base nas coordenadas dos pontos de cada modelo, computámos um conjunto de $420=21 \times (20-1)$ distâncias homólogas. A média dos rácios entre as distâncias do modelo de varrimento laser e do modelo fotográfico foi de aproximadamente 1.501. Este valor foi utilizado como factor de escala para ampliar o modelo fotográfico. O conjunto das diferenças entre as distâncias homólogas entre os dois modelos, após aplicação do factor de escala, apresenta uma distribuição normal e um desvio padrão de 8mm.

Após a escala do modelo, este foi orientado considerando os mesmos pontos homólogos atrás referidos, após aplicação do factor de escala ao modelo fotográfico. A orientação do modelo fotográfico foi efectuada com o software JRC 3D Reconstructor v.2.6. tendo-se obtido o erro médio quadrático de 9.3mm, conforme se ilustra na figura 9-46, o que se considera um excelente resultado uma vez que todos pontos foram identificados manualmente em ambos os modelos e eram simplesmente pontos naturais do objecto.

Registration Report

Mean error: 0.0093146748668841567 [m]

	Match	Error [m]
1:	(-2.7749999999999999, 1.4419999999999999, 6.6210000000000004) - 1: (2.3090000000000002, -4.6420000000000003, -16.068999999999999)	0.012251727532869124
2:	(-3.911, 2.194, 6.2460000000000004) - 2: (1.0740000000000001, -5.3200000000000003, -16.001999999999999)	0.011847823406695838
3:	(-5.2400000000000002, 1.4399999999999999, 5.0700000000000003) - 3: (-0.6009999999999998, -4.3579999999999997, -16.004000000000001)	0.0061882248544676403
4:	(-5.8700000000000001, -0.47299999999999998, 4.1769999999999996) - 4: (-1.431, -2.3580000000000001, -16.356000000000002)	0.012268310861095411
5:	(-5.7370000000000001, -2.6230000000000002, 3.3039999999999998) - 5: (-1.5760000000000001, -0.031, -16.436)	0.0041066274406957246
6:	(-4.1589999999999998, -4.9779999999999998, 3.2629999999999999) - 6: (-0.03300000000000002, 2.3490000000000002, -16.585999999999999)	0.0062833073815200072
7:	(-3.0369999999999999, -5.5250000000000004, 3.2970000000000002) - 7: (1.002, 2.972, -16.286999999999999)	0.0080463269118547361
8:	(-2.9279999999999999, -7.4800000000000004, 2.6459999999999999) - 8: (0.9130000000000003, 5.0330000000000004, -16.475999999999999)	0.022762624910635729
9:	(-4.8600000000000003, -5.6929999999999996, 1.9139999999999999) - 9: (-1.238, 3.4239999999999999, -16.119)	0.010232461303734522
10:	(-0.82899999999999996, -6.5880000000000001, 5.0620000000000003) - 10: (3.8580000000000001, 3.5710000000000002, -17.059000000000001)	0.0025756167952583372
11:	(-1.073, -4.2789999999999999, 5.649) - 11: (3.758, 1.2030000000000001, -16.738)	0.0047573906618057683
12:	(-1.7649999999999999, -2.141, 5.4569999999999999) - 12: (2.8999999999999999, -0.7730000000000002, -16.079999999999998)	0.0067933278351123526
13:	(-1.9930000000000001, -1.038, 6.351) - 13: (3.0379999999999998, -2.1480000000000001, -16.456)	0.0087599307930130814
14:	(-3.5779999999999998, -3.0099999999999998, 4.8860000000000001) - 14: (1.109, 0.00899999999999993, -16.821999999999999)	0.009321672927699743
15:	(-5.0019999999999998, -1.8100000000000001, 3.645) - 15: (-0.8309999999999996, -0.8129999999999994, -16.036000000000001)	0.009629821764262061
16:	(-2.3690000000000002, -5.3179999999999996, 4.2590000000000003) - 16: (2.0409999999999999, 2.5139999999999998, -16.652999999999999)	0.010130627135468485
17:	(-3.9820000000000002, -5.8639999999999999, 2.9810000000000001) - 17: (0.05899999999999997, 3.2759999999999998, -16.632000000000001)	0.0093728658012489074
18:	(-2.3260000000000001, -6.2350000000000003, 3.8769999999999998) - 18: (1.9530000000000001, 3.4980000000000002, -16.707000000000001)	0.015053615196629519
19:	(-3.0499999999999998, -4.6349999999999998, 3.758) - 19: (1.137, 1.9710000000000001, -16.312999999999999)	0.016748002046473736
20:	(-3.3900000000000001, 1.675, 5.9100000000000001) - 20: (1.401, -4.6529999999999996, -15.702)	0.0057088085245292837
21:	(-3.544, 0.5620000000000006, 5.3819999999999997) - 21: (1.0980000000000001, -3.4540000000000002, -15.792)	0.0047796102689901113

Remove row Apply Cancel

Figura 9-46: Resumo dos indicadores de qualidade da operação de orientação do modelo fotográfico realizada com o software JRC 3D Reconstructor.

Na imagem da figura 9-47 podemos observar os dois modelos sobrepostos. Com efeito, apenas considerámos uma nuvem de pontos do modelo de varrimento laser 3D capturada com um espaçamento de 4mm entre pontos.

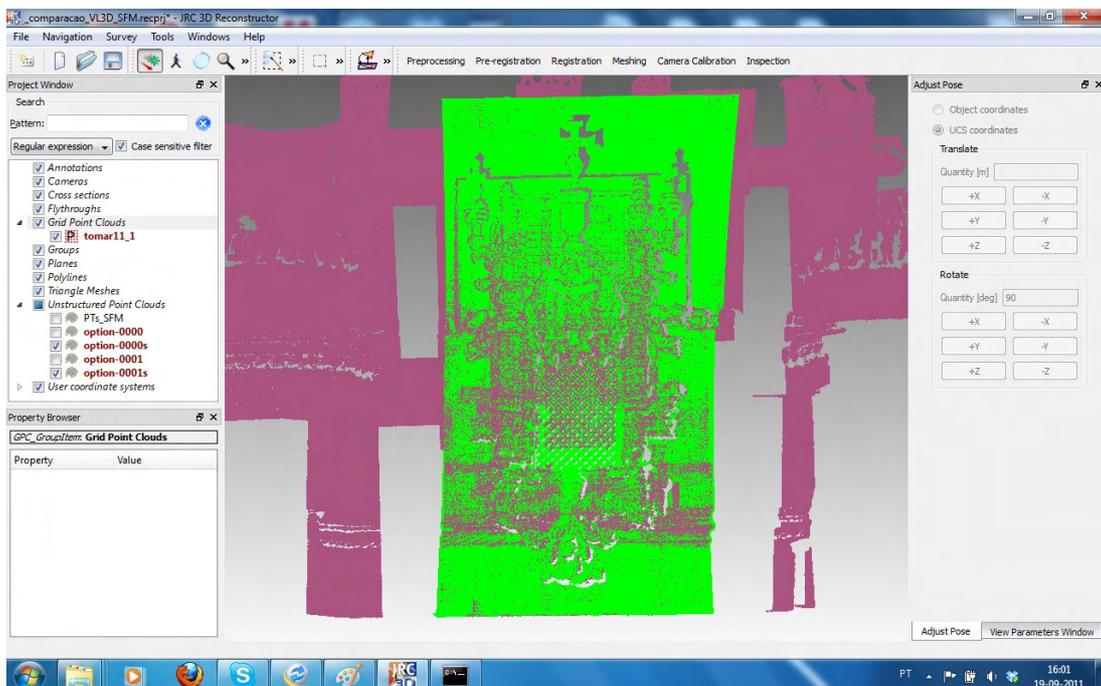


Figura 9-47: Os dois modelos sobrepostos.

Para compararmos a densidade de pontos das duas nuvens recortámo-las pelo mesmo limite. Após essa operação verificámos que a nuvem de pontos do varrimento laser continha aproximadamente 4 milhões de pontos, e as duas nuvens do modelo fotográfico continham aproximadamente 4.2 milhões de pontos. Isto permite-nos concluir que a reconstrução tridimensional automática a partir de múltiplas imagens permite gerar nuvens de pontos com densidade comparável à do varrimento laser 3D. Na verdade poderá gerar até nuvens de pontos com maior densidade dependendo da distância entre câmara e objecto.

De seguida procurámos validar a qualidade das nuvens de pontos do modelo fotográfico tendo por referência a nuvem de pontos de varrimento laser 3D.

O procedimento que seguimos consistiu em efectuar um conjunto de secções em ambos os modelos pelos mesmos planos. Na imagem da figura 9-48 temos três secções de ambos os modelos. A análise visual comparativa das secções homólogas revelou uma elevadíssima conformidade entre os dois modelos, o que nos leva a concluir acerca da validade da reconstrução tridimensional automática como forma de gerar dados com elevada qualidade para utilização em processos de conservação arquitectónica.

Na secção (a) indicada na figura parece haver uma discrepância entre os dois modelos. Com efeito trata-se de uma limitação da reconstrução a partir de imagens em que não se conseguiu reconstruir pontos situados num segundo plano após um gradeamento.

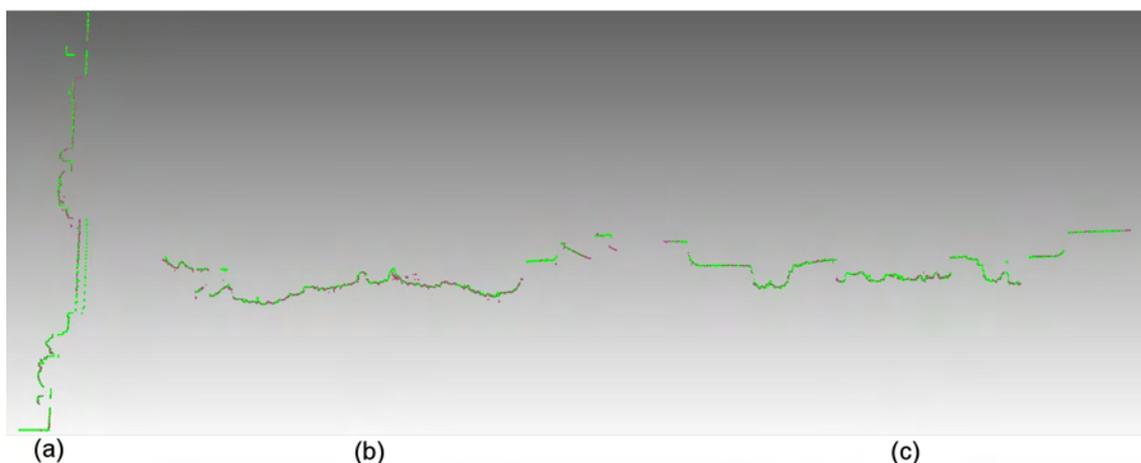


Figura 9-48: Comparação ente secções produzidas nos dois modelos.

Demonstrámos que é possível colocar no mesmo referencial nuvens de pontos geradas por diferentes processos, em particular, através de levantamentos por varrimento laser 3D e através de reconstruções automáticas efectuadas através de software SFM e MVS, o que aponta para a possibilidade de utilização das duas

tecnologias em simultâneo. Com efeito, trata-se de metodologias complementares, uma menos portátil mas baseada na medição de distâncias, e que pode dar o esqueleto da representação, e outra mais portátil que pode permitir preencher vazios ou zonas de maior dificuldade de acesso com o scanner.

Demonstrámos igualmente que o processamento automático de imagens pode gerar quantidades de informação equivalente ou até superior ao que se pode obter com varrimento laser e com qualidade perfeitamente comparável.

A reconstrução tridimensional automática a partir de imagens apresenta a vantagem de a textura de cada ponto ser atribuída no processo de reconstrução, não havendo por isso erros de paralaxe como há sempre, por menores que sejam, com o mapeamento de cor sobre nuvens de pontos de varrimento laser.

A.9.5.2. PLATAFORMAS AÉREAS E A COMPLEMENTARIDADE ENTRE A FOTOGRAETRIA E O VARRIMENTO LASER

No âmbito do projecto FCT:PTDC/AUR/66476/2006, durante o mês de Março de 2011 procedeu-se a um conjunto de voos com veículos aéreos não tripulados (VANT) de baixa altitude (balão e avião teleguiado) no Convento de Cristo e no centro histórico de Tomar. Desses voos resultaram mais de 3000 imagens fotográficas (figura 9-49).



Figura 9-49: Exemplos de imagens aéreas do Convento de Cristo capturadas com balão (em cima) e com avião teleguiado (em baixo).

Na imagem da figura 9-50 podemos observar os VANT de baixa altitude utilizados. À esquerda temos o Combo Twin Star em poliestireno expandido, com uma envergadura aproximada de 1.3m. Este avião teleguiado está equipado com uma câmara

fotográfica Canon G10 comandada remotamente. À direita temos um balão a hélio com 9m^3 e uma capacidade de carga de 1.5Kg .

Este está equipado com um suporte de câmara fotográfica, preparado para câmaras Canon e para a câmara Nikon D100. e emissor vídeo. O dispositivo é controlado remotamente fazendo-se o controlo da imagem através de um receptor vídeo.



Figura 9-50:Imagens dos VANT 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).

À semelhança do processamento fotogramétrico automático que descrevemos para a janela manuelina, procedemos a uma modelação automática da cobertura da nave manuelina efectuada a partir de 100 imagens. Neste caso alterámos os parâmetros do CMVS+PMVS para obtermos uma reconstrução mais densa (treshold=0.8, level=1, csize=1). O modelo resultante consistiu em 4 nuvens de pontos com um total aproximado de 12,3 milhões de pontos e aproximadamente 767Mb de dados. A componente de reconstrução densa demorou cerca de 5h e 30m. O tempo total de reconstrução (esparsa + densa) demorou aproximadamente 7h utilizando uma workstation com 48Gb de RAM e placa gráfica de 1Gb, com sistema operativo de 64bit.

Na figura 9-51 coloca-se em paralelo o modelo de nuvens de pontos de VL3DT da nave manuelina com um modelo da cobertura obtido através do processamento automático descrito. O processamento automático resolve simultaneamente o problema da calibração e orientação relativa das imagens para depois proceder à reconstrução tridimensional do objecto gerando nuvens de pontos texturadas de elevada densidade.



Figura 9-51: À esquerda: modelo de nuvens de pontos de VL3DT. À direita: modelo de nuvens de pontos fotogramétrico (12269339 pontos).

Facilmente se percebe o potencial de complementaridade destas duas abordagens no sentido de gerar uma documentação mais completa. O varrimento laser terrestre é, em geral, efectuado com o scanner sobre tripé. A sua pouca portabilidade, quando comparado com a fotografia, torna o seu uso mais difícil para a documentação de zonas elevadas dos edifícios. Este problema pode ser parcialmente resolvido se for possível, nas imediações, aceder a pontos de vista elevados em relação às coberturas que se pretende registar. Porém isso nem sempre é possível. Nesses casos, parece-nos que a abordagem que seguimos pode constituir-se como a solução para este tipo de problemas. Isto é, a fotografia aérea de baixa altitude pode ser utilizada como complementar do varrimento laser 3D, sobretudo com a possibilidade que hoje existe de derivar das imagens um tipo de produto que era típico do varrimento laser 3D, as nuvens de pontos.

A nossa investigação mostrou que é possível obter níveis de qualidade equivalentes com os dois tipos de abordagem, e que é possível colocar os vários tipos de levantamento no mesmo sistema de coordenadas (ver caso da janela manuelina) porém no caso concreto da cobertura não foi feita a análise métrica do modelo obtido. A utilização deste tipo de plataformas é muito dependente das condições climatéricas, por um lado, e das condições de acessibilidade, por outro. O avião é a plataforma mais versátil, no entanto o sistema do balão permite um maior controlo das imagens. O balão é um meio mais lento, mais dispendioso, e implica a disponibilidade de um lugar relativamente limpo e abrigado para a montagem do sistema, que é um processo que pode ocupar um par de horas, e para o seu armazenamento. Por outro lado o sistema do balão é mais fácil de operar embora precise de dois operadores no mínimo. Já o avião pode ser operado apenas por uma pessoa.

Em ambos os casos, e para este tipo de uso, as condições de iluminação são um aspecto relevante. Imagens com iluminação variável introduzem incongruências na reconstrução da cor dos modelos de nuvens de pontos. Também nesse aspecto o avião tem vantagem dado que a campanha fotográfica tende a ser mais curta. O deslocamento do balão em campo é um processo lento o que, só por si, implica logo variação de iluminação das cenas.

Em situações de pouco vento, o balão permite a captura de imagens para a produção de panorâmicas o que é impossível com o balão.

A.9.5.3. CONCLUSÕES

- Descrevemos a metodologia para a reconstrução tridimensional de superfícies recorrendo a procedimentos fotogramétricos automáticos, e que consiste em: i) registo fotográfico, ii) reconstrução tridimensional esparsa incorporando no mesmo processo a calibração e a orientação das imagens, iii) reconstrução densa.
- Demonstrámos que é possível gerar informação com o mesmo nível de detalhe e rigor que o VL3DT.
- Demonstrámos que é possível colocar no mesmo sistema de referência modelos de VL3DT e modelos fotogramétricos automáticos. Propusemos a metodologia para o realizar: i) escalar o modelo com base em distâncias homólogas redundantes, ii) orientar o modelo.
- Demonstrámos que fotografia aérea de baixa altitude em conjunto com o processamento fotogramétrico automático permite gerar informação complementar relativamente ao VL3DT. Esta abordagem é particularmente eficaz para documentar as partes superiores dos edifícios, como coberturas e terraços.

A.10 Levantamento do Arco da Rua Augusta, Lisboa

LISTA DE FIGURAS

Figura 10-1: Exemplo de alvo a utilizar para controlo topográfico.	407
Figura 10-2: Exemplo de imagem sobre a qual se pode proceder à restituição gráfica.....	409
Figura 10-3: Exemplo de desenho com o nível de detalhe da escala 1/50.....	410
Figura 10-4: Arco da Rua Augusta.....	412
Figura 10-5: Foto-mosaico rectificado do alçado sul do Arco da Rua Augusta.....	414
Figura 10-6: Restituição gráfica efectuada sobre o foto-mosaico rectificado do alçado sul do Arco da Rua Augusta.	414
Figura 10-7: Planta do Arco da Rua Augusta existente e produzida pela DRCLVT.	415
Figura 10-8: Alçado do Arco da Rua Augusta existente no SIPA/IHRU. Layout produzido pela DRCLVT.	415
Figura 10-9: Exemplo de desenho com o nível de detalhe da escala 1/50.....	423
Figura 10-10: Desenho de observação visual de perfis de molduras.	423
Figura 10-11: Exemplo de desenho de planeamento.	424
Figura 10-12: Exemplo de desenho de planeamento.	425
Figura 10-13: Indicação em alçado das peças desenhadas a produzir.	431
Figura 10-14: Indicação em alçado das peças desenhadas a produzir.	431
Figura 10-15: Ensaio de colagem de alvo.....	433
Figura 10-16: Fabricação dos alvos.....	434
Figura 10-17: Aspecto da superfície de pedra após a remoção do alvo teste.	434
Figura 10-18: alvo nº 11 colado sob o Arco.	435
Figura 10-19: À esquerda: Estação na Praça do Comércio. À direita: Estação na Rua Augusta	436
Figura 10-20: Estação total posicionada na Rua Augusta (à esquerda) e bastão com alvo reflector posicionado na Praça do Comércio (à direita).	436
Figura 10-21: Scanner colocado sobre tripé (à esquerda), Scanner colocado directamente sobre superfície plana rígida (ao centro), Scanner colocado em posição invertida em dispositivo próprio (à direita).....	437
Figura 10-22: Folha de planeamento utilizada em campo para registar o decorrer das acções de levantamento.	438
Figura 10-23: Folha de planeamento utilizada em campo para registar o decorrer das acções de levantamento.	440

Figura 10-24: Imagem de pré visualização de nuvem de pontos. Pode observar-se o ruído introduzido pela circulação de pessoas.	440
Figura 10-25: Sequência das operações de descarga e estacionamento da plataforma.....	442
Figura 10-26: Imagem de pré visualização de nuvem de pontos. Pode observar-se a presença de dados espúrios correspondentes à plataforma elevatória. Note-se que esta nuvem de pontos foi recolhida com o scanner em posição invertida.	443
Figura 10-27: À esquerda: vista da Rua Augusta a partir da plataforma elevatória. À direita: solução de fixação do scanner de VL3D, em posição invertida, ao cesto da plataforma elevatória.	443
Figura 10-28: À esquerda: vista de porta emparedada de acesso a um espaço do Arco situado de forma presumivelmente simétrica relativamente à actual entrada. À direita: vão indiciador de espaço situado no pilar nordeste em nível intermédio.	445
Figura 10-29: Pré visualização de nuvem de pontos recolhida no espaço do Arco utilizado pelos serviços do Ministério da Justiça.	446
Figura 10-30: Pormenor da clarabóia da sala do Relógio. Este tipo de pormenor não ficou bem caracterizado nas nuvens de pontos.	447
Figura 10-31: Importação de uma nuvem de pontos a partir de uma selecção feita na janela de pré-visualização.	452
Figura 10-32: Eliminação de pontos relativos a pessoas que ficaram registadas na nuvem de pontos.	453
Figura 10-33: Pré orientação de uma nuvem de pontos através da identificação de pontos homólogos.	453
Figura 10-34: Optimização do processo de orientação de uma nuvem de pontos através da aplicação do algoritmo ICP.	454
Figura 10-35: Nuvem de pontos com aspecto ondulado resultante do movimento da plataforma motivado pelo vento.	455
Figura 10-36: Mau resultado de uma operação de orientação relativa. As linhas (sequências de pontos) correspondentes não estão alinhadas.	456
Figura 10-37: Modelo tridimensional final (parcial). À esquerda com textura de reflectância. À direita as nuvens de pontos são diferenciadas através da cor.	457
Figura 10-38: Posicionamento de um plano ajustado a um alvo – Medição 1.	459
Figura 10-39: Identificação directa do centro do alvo – Medição 2.	460
Figura 10-40: Visualização dos vários planos principais de corte.....	465
Figura 10-41: Visualização do plano de corte da planta 03.	466
Figura 10-42: Fragmento de uma imagem da secção de relativa a um corte horizontal no modelo de nuvens de pontos.....	467
Figura 10-43: Decomposição do alçado sul do Arco da Rua Augusta em seis áreas.....	468

Figura 10-44: Conjunto das orto-imagens parciais relativas a uma das áreas do alçado sul do Arco da Rua Augusta.	468
Figura 10-45: Orto-imagem de síntese relativa a uma das áreas do alçado sul do Arco da Rua Augusta.....	469
Figura 10-46: Visualização das 6 orto-imagens de síntese correspondentes ao alçado sul do Arco da Rua Augusta.	470
Figura 10-47: Imagem de “confidence” de nuvem de pontos sob o Arco.....	472
Figura 10-48: Utilização da rotina Rectificador.Isp para rectificação vectorial de desenho efectuado sobre imagem panorâmica.	472
Figura 10-49: Detalhe da restituição gráfica do grupo escultório da Glória, Génio e Valor, no Alçado Sul.....	473
Figura 10-50: Restituição gráfica do Alçado Sul do Arco da Rua Augusta.	474
Figura 10-51: Restituição gráfica do Corte Longitudinal CL 2 do Arco da Rua Augusta, com imagem associada.....	475
Figura 10-52: Associação de uma régua com o sistema do palmo craveiro ao desenho de restituição gráfica (rodado 90º no sentido horário).	476
Figura 10-53: Sobreposição de várias nuvens de pontos, diferenciadas através de cores, e visualizadas em planta.....	477
Figura 10-54: Imagem de reflectância como base para o registo de anomalias e análise do estado de conservação.....	477
Figura 10-55: Leitura dos elementos bidimensionais do levantamento e a formulação de hipóteses quanto à natureza geométrica das superfícies da abóbada.	478
Figura 10-56: Épura do estudo das superfícies da abóbada.	479
Figura 10-57: Comparação das geratrizes das superfícies geométricas com as secções produzidas no modelo de varrimento laser 3D, em cor amarela na figura. As diferenças entre ambas, medidas na vertical, nunca ultrapassaram 1 cm.	480
Figura 10-58: Designação das superfícies geométricas. Identificação das geratrizes g e g' ao longo das quais de dá a concordância entre as superfícies de conóide 2 e a superfície de conóide 1.....	481
Figura 10-59: Verificação de que as superfícies 1 e 2 são de facto superfícies de conóide.....	481
Figura 10-60: Modelação tridimensional da abóbada.	482
Figura 10-61: Pormenor de capitéis e molduras.	483
Figura 10-62: Exemplo de desenho entregue ao Atelier 15.....	485

LISTA DE TABELAS

Tabela 10-1: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 1ª sessão de VL3D.....	439
Tabela 10-2: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 2ª sessão de VL3D.....	441
Tabela 10-3: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 3ª sessão de VL3D.....	444
Tabela 10-4: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 4ª sessão de VL3D.....	446
Tabela 10-5: Coordenadas dos alvos resultantes do levantamento topográfico. São apresentados os resultados de cinco séries de medições.	448
Tabela 10-6: Resumo descritivo das nuvens de pontos recolhidas.	449
Tabela 10-7: Resumo descritivo das imagens recolhidas.....	449
Tabela 10-8: Resumo descritivo dos vídeos recolhidos.....	449
Tabela 10-9: Tabela resumo dos valores dos RMSE resultantes do processo de optimização da orientação relativa.....	455
Tabela 10-10: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes do levantamento topográfico de apoio. Estes valores foram obtidos após uma translação dos valores iniciais.	458
Tabela 10-11: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 1 sobre as nuvens de pontos através do ajuste de planos.	460
Tabela 10-12: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 2 sobre as nuvens de pontos.....	461
Tabela 10-13: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 3 correspondente à média das coordenadas obtidas nas medições 1 e 2.	462
Tabela 10-14: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 3 correspondente à média das coordenadas obtidas nas medições 1 e 2.	462
Tabela 10-15: Tabela de resumo do erro médio quadrático da transformação T1.	463
Tabela 10-16: Tabela de resumo dos erros médios quadráticos das várias transformações ensaiadas e analisadas.	464
Tabela 10-17: Tabela de resumo das orto-imagens exportadas e produzidas.	471

ÍNDICE

A.10	LEVANTAMENTO DO ARCO DA RUA AUGUSTA, LISBOA	405
A.10.1.	PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO).....	411
A.10.1.1.	IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA	411
A.10.1.2.	DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	416
A.10.1.2.1.	OBJECTIVOS	416
A.10.1.2.2.	IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER	416
A.10.1.2.3.	OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES	417
A.10.1.3.	DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA.....	419
A.10.1.3.1.	ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS.....	419
A.10.1.3.2.	ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS	426
A.10.2.	PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO).....	433
A.10.2.1.	RECOLHA DE DADOS	433
A.10.2.2.	PROCESSAMENTO DE DADOS	451
A.10.2.3.	APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS.....	484
A.10.3.	ANÁLISE CRÍTICA	485
A.10.4.	CONCLUSÕES.....	489

A.10 Levantamento do Arco da Rua Augusta, Lisboa

O Arco da Rua Augusta é um monumento classificado que está hoje afecto à gestão da Direcção Regional da Cultura de Lisboa e Vale do Tejo (DRC-LVT) pela Portaria nº 829/2009, DR, 2ª. Série, nº 163 de 24 de Agosto de 2009.

A acção de documentação que aqui se vai documentar considera-se o epílogo de um conjunto de três acções, tendo a primeira começado em Outubro de 2008.

Em 22 de Outubro de 2008 teve lugar uma reunião na Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa (FAUTL) em que estiveram presentes a Dra. Paula Alves (a directora da DRC-LVT em Outubro de 2008), o Professor João Cabral (presidente do conselho Científico da FAUTL em Outubro de 2008), o Professor José Aguiar e o Assistente Luís Mateus. O objectivo dessa reunião era o de procurar encontrar plataformas de colaboração entre a FAUTL e a DRC-LVT. Essas plataformas de entendimento deveriam passar, entre outras coisas, pela prossecução de acções de levantamento de imóveis afectos à gestão daquela entidade por parte da FAUTL. Na sequência dessa reunião formalizou-se uma proposta para efectuar o levantamento do Arco da Rua Augusta, que se antecipava que viria a estar afecto àquela entidade. Essa proposta continha três alternativas de abordagem ao levantamento: i) levantamento do terraço por varrimento laser 3D e dos dois alçados principais por fotografia rectificada, ii) levantamento do terraço e dos dois alçados principais por varrimento laser 3D, e iii) levantamento da totalidade do interior e exterior por varrimento laser 3D. Todas as alternativas incluíam a restituição gráfica correspondente ao nível de incidência do levantamento. Para a preparação da referida proposta fez-se uma visita de reconhecimento ao Arco da Rua Augusta no dia 28 de Outubro de 2008 de que resultou uma recolha fotográfica que serviu de base à preparação da Proposta. Nessa visita de reconhecimento estiveram presentes a Dra. Paula Alves, o Professor José Aguiar e o Assistente Luís Mateus. Desta incursão não resultaram desenvolvimentos.

Entre Setembro e Novembro de 2009 a FAUTL participou, como entidade consultora, no projecto de recuperação das fachadas dos edifícios do Terreiro do Paço dirigido pelo Atelier 15 coordenado pelos Arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández. A entidade contratante deste projecto foi a Frente Tejo / Parque Expo. No âmbito desta participação foi feito o levantamento da fachada principal do Arco da Rua Augusta por fotografia rectificada e posteriormente procedeu-se à sua restituição gráfica. As imagens fotográficas para este efeito foram recolhidas na segunda quinzena de Novembro de 2009. Estes documentos consideram-se no preenchimento

da ficha descritiva do actual processo de levantamento no campo “Existência de documentação gráfica prévia”. A equipa coordenada pela FAUTL foi composta por vários elementos internos e externos com várias especialidades: Professor José Aguiar (FAUTL – Arquitecto, coordenador), Dr. Delgado Rodrigues (Geólogo), Luís Mateus (FAUTL – Arquitecto), João Pernão (FAUTL – Arquitecto), Milene Gil (Conservadora), Rita Santos (bolseira FAUTL – Arquitecta), André Picaró (FAUTL – estudante), Inês Barcelos (FAUTL – estudante), Corina (FAUTL – estudante) e Catarina (FAUTL – estudante).

Na sequência deste processo, foi solicitado à equipa projectista, o atelier 15, que procedesse a uma estimativa de áreas de incidência de anomalias sobre as superfícies pétreas do conjunto monumental do Arco da Rua Augusta. Esta acção foi levada a cabo pela equipa da FAUTL. Participaram nela o Professor José Aguiar, o Dr. Delgado Rodrigues, o Arquitecto Luís Mateus e a Arquitecta Rita Santos. Para o efeito começou por se estimar as áreas das várias superfícies em pedra do arco. As áreas foram estimadas com base na documentação existente e assumindo um critério específico de segmentação do arco. E com base numa visita a campo estimaram-se percentagens de incidência de anomalias. Esta estimativa teve por base a escolha dos valores menos favoráveis resultantes de duas inspecções visuais independentes levadas a cabo pelo Arquitecto Luís Mateus e pela Arquitecta Rita Santos. A partir desta estimativa foi possível estimar um valor aproximado para o custo das acções relacionadas com a conservação do conjunto monumental do Arco da Rua Augusta. Foi com base nestes materiais que a Frente Tejo / Parque Expo em articulação com a DRC-LVT e com o apoio do Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico (IGESPAR) deram início ao processo que abaixo descrevemos.

Na sequência da elaboração do projecto de recuperação das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço, elaborado em 2009 pelo Atelier 15 para a Frente Tejo, esta entidade manifestou a intenção de, em articulação com a Direcção Regional da Cultura de Lisboa e Vale do Tejo (DRCLVT), promover a elaboração do projecto de conservação e restauro do Arco da Rua Augusta com a mesma equipa projectista.

Para o efeito, a FAUTL, na pessoa do Professor José Aguiar foi consultada no sentido de vir a integrar a equipa projectista como entidade consultora nas componentes de levantamento e conservação.

Na sequência dessa consulta, o Professor José Aguiar e o Assistente Luís Mateus elaboraram uma proposta de participação da FAUTL no âmbito daquele projecto. Dessa proposta consta a descrição da metodologia para a produção da documentação gráfica de base, através de levantamento por varrimento laser 3d (VL3D), os prazos para essa realização, a definição de conteúdos para a informação base a produzir, a

estimação de prazos, a chamada de atenção para factores de restrição à execução dos trabalhos (como seja a necessidade de autorizações especiais de acesso), e a definição do número e tipo de peças desenhadas a produzir e respectivo nível de detalhe da informação a recolher. Em suma, foi produzida uma proposta base para o levantamento que se descreve sumariamente de seguida:

i) Apoio topográfico, ii) Levantamento por varrimento laser 3D, iii) Levantamento fotográfico de apoio, iv) Processamento dos dados de varrimento laser 3D e v) Execução das peças desenhadas.

1) Apoio topográfico

Esta operação corresponde a registar, sob a forma de uma listagem de coordenadas, um conjunto mínimo de pontos de apoio que servirão para orientação e georeferenciação do modelo tridimensional a produzir por varrimento laser 3D.

Para materializar os pontos de apoio utilizar-se-ão alvos rectangulares com a dimensão de 12cmx12cm idênticos aos da figura 10-1. Trata-se de alvos de plástico a serem fixados provisoriamente durante o período de levantamento e a serem removidos após a conclusão dos trabalhos. Os alvos serão fixados com 5 pontos de silicone procurando minimizar quaisquer efeitos para a pedra do arco.



Figura 10-1: Exemplo de alvo a utilizar para controlo topográfico.

Estima-se que um total de 12 destes alvos (4 na fachada principal, 4 na fachada posterior e 4 sob o arco) seja suficiente. Note-se que estes pontos apenas participarão da orientação do modelo e não da sua construção.

Poderá prescindir-se do apoio topográfico se o dono de obra entender que é suficiente a utilização de um referencial local.

2) Levantamento de campo por varrimento laser 3D:

O levantamento por varrimento laser 3D permitirá a aquisição de informação espacial e radiométrica (em escala de cinzento), quase contínua, sobre o objecto de estudo sob a forma de nuvens de pontos 3D. Com estas nuvens de pontos construir-se-á um

modelo tridimensional do arco a partir do qual se produzirão as peças desenhadas acima referidas. Preconiza-se que a densidade média de pontos a registar, para a escala considerada, corresponda a uma resolução espacial de 0,5cm.

Para aceder às zonas mais elevadas do arco utilizar-se-á uma plataforma elevatória telescópica.

Estima-se, dada a dimensão e natureza do objecto que serão necessárias cerca de 80 a 100 nuvens de pontos para fazer uma cobertura extensiva do objecto. Para o efeito será utilizado um scanner do tipo comparação de fase que permite elevadas taxas de captura de pontos. Para as resoluções típicas pretendidas neste caso a taxa de captura de pontos ronda os 500 000 pontos por segundo, o tempo de aquisição de uma nuvem de pontos ronda os 3 minutos e 22 segundos, e a distância média de cada estação ao objecto deverá rondar os 10m. Pontualmente poderão adoptar-se outras definições.

3) Levantamento fotográfico de apoio:

O levantamento fotográfico de apoio servirá para adjuvar a etapa de restituição gráfica, isto é, a fase de produção de plantas, cortes e alçados. Será realizado em simultâneo com o levantamento por varrimento laser 3D. Como hipótese de trabalho, num cenário em que se dispusesse de mais tempo poderiam considerar-se estas imagens como fonte de informação que permitiria a texturização do modelo 3D de varrimento laser. Dado o prazo reduzido de que se dispõe, não é considerada esta hipótese na presente proposta.

4) Processamento dos dados de varrimento laser 3D:

O processamento dos dados de varrimento laser corresponde a: i) orientação relativa das nuvens de pontos, ii) orientação absoluta do modelo 3D resultante, iii) extracção da informação base para restituição gráfica 2D.

a) A orientação relativa das nuvens de pontos é processo pelo qual as várias nuvens de pontos assumem a posição relativa entre elas num referencial local arbitrário único. Desta operação resulta um modelo 3D de nuvens de pontos completo, do interior e exterior do arco. A construção deste modelo far-se-á através da utilização de algoritmos de correspondência de superfícies aplicando o princípio do ICP (iterative closest point). A elevada densidade de pontos das nuvens a obter bem como a natureza geométrica do objecto são a garantia de rigor para a construção do modelo por este processo.

b) A orientação absoluta corresponde à colocação do modelo 3D previamente construído num Datum predefinido (por exemplo o Datum 73 ou outro mais actualizado). Para o efeito os pontos de apoio topográfico são identificados no modelo 3D. As coordenadas determinadas no modelo 3D e as coordenadas topográficas

homólogas possibilitam o cálculo da transformação geométrica que permite orientar o modelo.

c) A extracção de informação base para restituição gráfica consiste na produção de imagens de síntese, em tons de cinza, correspondentes à projecção do objecto nos planos de projecção definidos e pretendidos. É sobre estas imagens, com o auxílio visual complementar do levantamento fotográfico, que se procederá à execução das peças desenhadas. A figura 10-2 corresponde a uma imagem deste tipo.

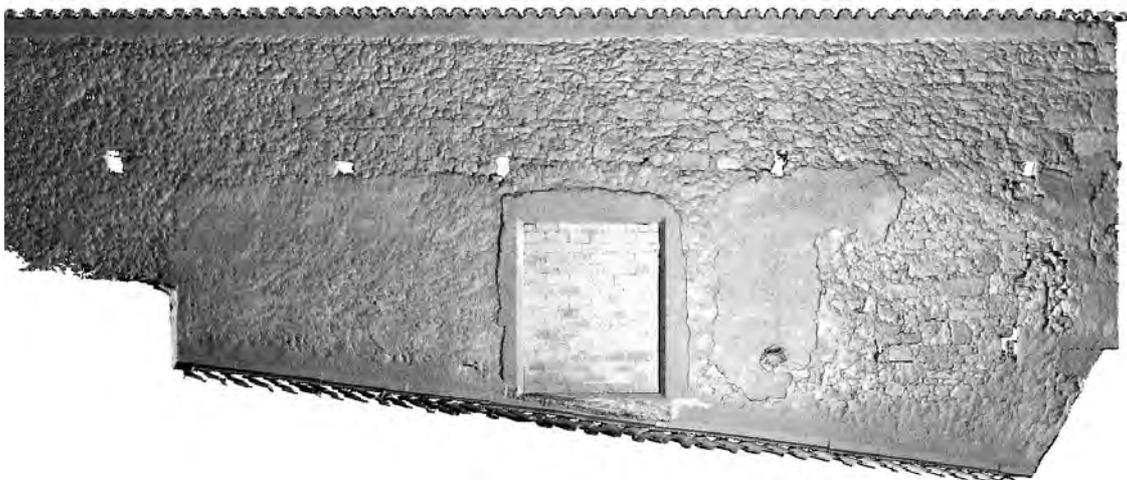


Figura 10-2: Exemplo de imagem sobre a qual se pode proceder à restituição gráfica.

5) Execução das peças desenhadas:

As peças desenhadas serão executadas em formato CAD sobre as bases extraídas do modelo 3D de nuvens de pontos e com base na visualização do levantamento fotográfico.

O resultado desta etapa são as peças desenhadas acima identificadas produzidas com o nível de detalhe da escala 1/50. Este inclui o desenho de todas molduras, esculturas e estereotomias. A figura 10-3 ilustra uma restituição gráfica típica da escala 1/50.

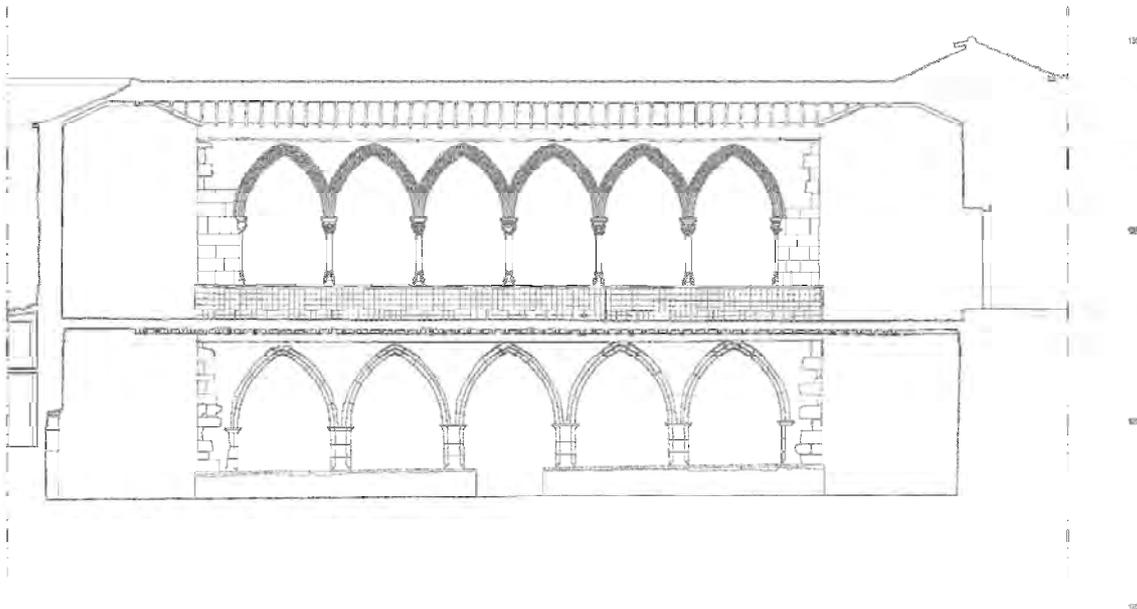


Figura 10-3: Exemplo de desenho com o nível de detalhe da escala 1/50.

Esta acção teve lugar em Maio de 2010 e visou sensibilizar as várias partes responsáveis pela gestão do Arco da Rua Augusta para a necessidade da adopção de metodologias adequadas ao valor do objecto em causa e ao tipo de acções a desenvolver que permitam proceder com uma razoável dose de certeza métrica. No CD anexo a esta tese pode ser consultado o documento que descreve a metodologia (001_ARA.pdf).

A consulta da Frente Tejo ao Atelier 15 para a elaboração do projecto de conservação e restauro do Arco da Rua Augusta formal ocorreu em Janeiro de 2011. A acompanhar esta consulta foi entregue um caderno de encargos em que se definiram os termos sob os quais o projecto devia ser apresentado. A resposta formal, bem como a assinatura de contrato entre o Atelier 15 e a Frente Tejo ocorreu no final de Fevereiro de 2011. Foi definido o prazo de 60 dias úteis para a realização do levantamento e projecto de conservação, tendo ficado definida data de 13 de Maio para entrega de toda a documentação resultante deste processo.

Esta acção de documentação gráfica integrou-se no projecto de investigação “Contributos para o Projecto de Conservação do Património: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres”, referência FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

Com este processo de documentação visámos alguns objectivos específicos para além dos decorrentes das necessidades imediatas devidas ao projecto de conservação do arco, embora em relação com estes:

a) Pretendemos verificar se o facto de se dispor de informação sobre a forma tridimensional resulta em vantagem para o processo de compreensão e documentação do objecto, e se durante o processo de projecto essa informação é de facto utilizada e de que forma o é.

b) Por outro lado, pretendemos apurar até onde é possível e faz sentido ir na modelação tridimensional como factor de eficiência no projecto, conciliando esta operação com os prazos impostos para a produção da documentação e elaboração do projecto.

c) Em termos metodológicos, no que concerne ao varrimento laser 3D pretendemos consolidar procedimentos, e explorar as possibilidades de articulação com o projecto de conservação.

d) Pretendemos ainda comparar os valores obtidos no âmbito desta acção com os disponíveis resultantes de acções anteriores.

Foi assegurado que a FAUTL participa neste processo com a contrapartida de poder utilizar a informação produzida no âmbito de investigação académica.

Faz-se uma descrição da componente do processo do projecto que incluiu a FAUTL, no que diz respeito à produção da documentação gráfica de base, isto é, levantamento. No final procede-se a reflexão sobre a utilização do levantamento, e materiais associados, no processo de análise do estado de conservação e no processo de projecto.

A.10.1. PROJECTO DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (PLANEAMENTO)

A.10.1.1. IDENTIFICAÇÃO E CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA DA PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA

Identificação e localização do sítio:

- Arco da Rua Augusta, Terreiro do Paço, Lisboa (figura 10-4).



Figura 10-4: Arco da Rua Augusta.

Entidade contratante:

- Parque Expo / Frente Tejo é a entidade contratante do Projecto de Conservação do Arco da Rua Augusta. Esta contratação é feita em parceria com a Direcção Regional de Cultura de Lisboa e Vale do Tejo.

Entidade contratada:

- Atelier 15, coordenado pelos arquitectos Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández.
- A FAUTL foi subcontratada pelo Atelier 15.

Razões para a necessidade de produção da documentação gráfica:

- Necessidade de documentação base para a elaboração do Projecto de Conservação do Arco pela equipa projectista do Atelier 15, coordenada pelo Arquitecto Alexandre Alves Costa e Sérgio Fernández.
- Esta necessidade deriva da aparente não existência de documentação gráfica adequada ao projecto, quer em qualidade quer em extensão.

Indicação do tipo de documentação gráfica a produzir:

- Face aos prazos impostos e natureza do objecto a representar, foi exigida a produção de levantamento através de varrimento laser 3D e foi desde logo considerada a FAUTL como instituição a considerar para executar aquela acção.
- No que respeita à produção da documentação base, é necessária a produção de plantas, cortes e alçados, com nível de detalhe adequado ao suporte de acções de mapeamento das formas de degradação dos materiais e ao posterior mapeamento das acções de conservação a implementar.

Delimitação da área a documentar:

- A área a documentar incide sobre toda a estrutura do Arco da Rua Augusta, tanto interior como exterior, e considerando todos os corpos escultóricos.

Existência de documentação gráfica prévia:

- Levantamentos fotográficos diversos elaborados em visitas ao arco (realizadas dos dias 28 de Outubro de 2008 no âmbito de visita com a DRCLVT, 20 de Novembro de 2009 no âmbito do projecto de Recuperação das Fachadas do Terreiro do Paço, 21 de Maio de 2010 no âmbito de visita com a DRCLVT).
- Desenhos de alçados e cortes e alguma iconografia existente nos arquivos do IHRU e disponíveis para consulta no Forte de Sacavém e/ou no Sistema de Informação do Património Arquitectónico (SIPA) (www.monumentos.pt).
- Foto-mosaico rectificado da fachada principal do arco (figura 10-5), elaborado no âmbito do projecto de recuperação das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço elaborado em Novembro de 2009.



Figura 10-5: Foto-mosaico rectificado do alçado sul do Arco da Rua Augusta.

- Restituição gráfica do alçado principal do Arco efectuada sobre o foto-mosaico rectificado (figura 10-6). Esta peça foi produzida pelo Atelier 15.

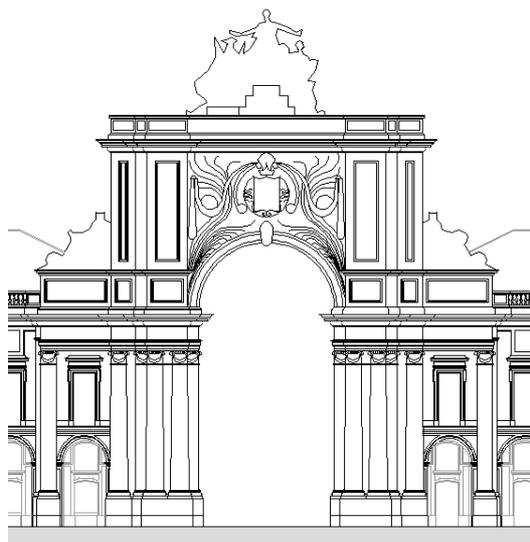


Figura 10-6: Restituição gráfica efectuada sobre o foto-mosaico rectificado do alçado sul do Arco da Rua Augusta.

- Desenhos esquemáticos de levantamento topográfico fornecidos pela DRCLVT. Alguma desta documentação inclui elementos constantes no SIPA/IHRU. Esta documentação pode ser consultado no CD anexo (002_ARA.pdf). Nas figuras 10-7 e 10-8 apresentam-se dois desses elementos existentes.

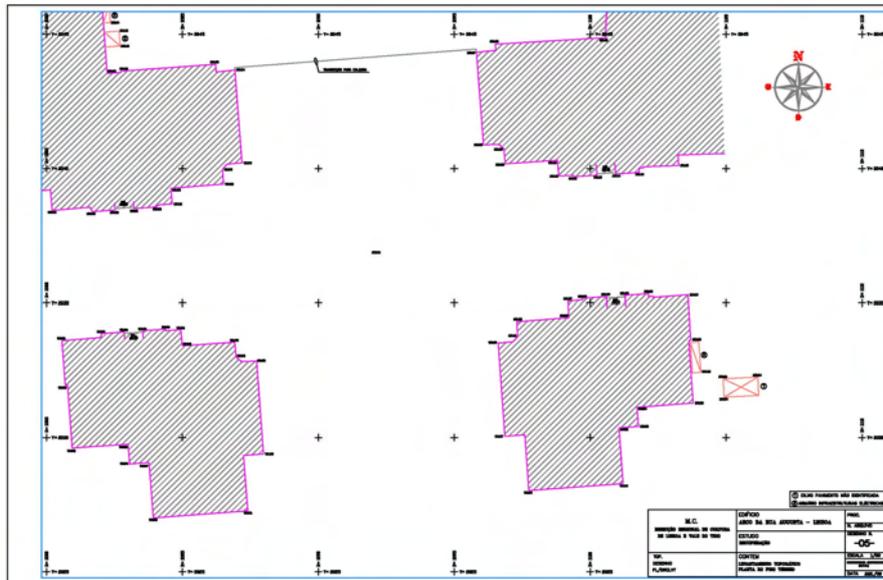


Figura 10-7: Planta do Arco da Rua Augusta existente e produzida pela DRCLVT.

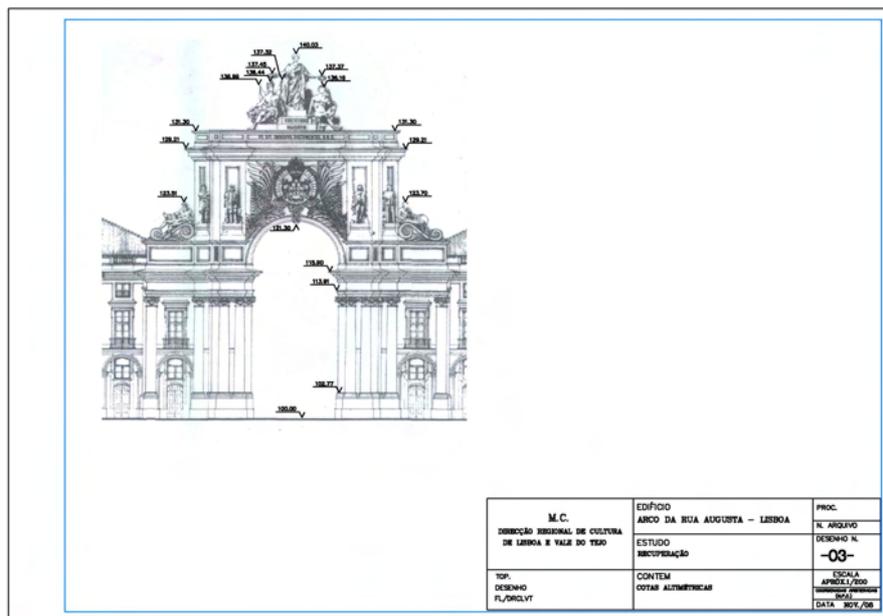


Figura 10-8: Alçado do Arco da Rua Augusta existente no SIPA/IHRU. Layout produzido pela DRCLVT.

- Já durante o decurso dos trabalhos foram ainda conseguidas plantas das instalações do Ministério da justiça.

Existência de documentação não gráfica prévia:

- Ficha de inventário do SIPA (Sistema de Informação do Património Arquitectónico) – IHRU (Instituto da Habitação e Reabilitação Urbana). Trata-se de uma informação muito pouco desenvolvida.
- Estimativa de áreas das superfícies do Arco da Rua Augusta, elaborada no âmbito do projecto de recuperação das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço elaborado em Novembro de 2009.
- Estimativa de percentagens de incidência de anomalias, elaborada no âmbito do mesmo projecto.

Data:

- Início do processo: Maio de 2010.

A.10.1.2. DEFINIÇÃO DE OBJECTIVOS, IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER, E OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES**A.10.1.2.1. OBJECTIVOS****Fins projectuais a que se destina a documentação:**

- A documentação a produzir, sob a forma de plantas, cortes e alçados destina-se a servir de base a elaboração do projecto de conservação do Arco da Rua Augusta. Deverá servir para suportar o registo: i) das intenções de projecto, nas suas diversas especialidades, e ii) da cartografia do estado de conservação.
- A documentação a produzir também deverá servir como suporte das acções de medição de áreas que quantifiquem a incidência das anomalias no edifício e esculturas.

A.10.1.2.2. IMPOSIÇÃO DE CRITÉRIOS DE DESEMPENHO PARA A INFORMAÇÃO A RECOLHER**Conteúdos:**

- Pretendeu-se a produção de plantas, cortes e alçados.
- Foi solicitado que as peças desenhadas apresentassem um nível de detalhe adequado à escala 1/50.
- Representação detalhada das estereotomia e peças escultórias.

- Representação do maior número possível de superfícies nas peças desenhadas de modo a facilitar o registo das anomalias.

Desempenho métrico:

- Não foi imposto nenhum critério de desempenho métrico por parte da entidade adjudicante.

Apresentação:

- Os desenhos de projecto deverão ser apresentados em pranchas desenhadas e legendadas com os rótulos definidos pela Frente Tejo e mencionando a DRCLVT. Esta obrigação concerne à apresentação da documentação pelo Atelier 15 à Frente Tejo / Parque Expo.

Causas para a rejeição dos materiais:

- A Frente Tejo / Parque Expo reserva-se o direito de acompanhar o desenvolvimento das acções de levantamento e projecto bem como solicitar reuniões aos vários agentes para monitorização da evolução dos trabalhos.
- O não cumprimento dos critérios relativos aos conteúdos da documentação a produzir. O direito de rejeição cabe à Frente Tejo após análise da documentação entregue ou durante o processo de produção da mesma se aquela entidade assim manifestar intenção.

A.10.1.2.3. OBSERVAÇÃO PRÉVIA DE ASPECTOS CONDICIONANTES

Definição de prazos e orçamento:

- A entidade adjudicante definiu um montante máximo admissível para a proposta global do projecto a apresentar pelo Atelier 15. Nesse valor global deverá inscrever-se a componente específica relativa à participação da FAUTL. Esse valor deriva de restrições legais que se prendem com os mecanismos da adjudicação directa.
- A entidade adjudicante definiu o prazo máximo de 3 meses para a execução do projecto, devendo este prazo incluir a realização do levantamento.

Autorizações de acesso:

- Previu-se a necessidade de obtenção de várias autorizações de acesso: i) autorização para circulação de plataforma elevatória sob o Arco e na sua vizinhança, ii) autorização de acesso às coberturas dos edifícios vizinhos do Arco da Rua Augusta em se estão instalados o Ministério da Justiça e o Supremo Tribunal de Justiça, iii)

autorização de acesso ao interior do Arco da rua Augusta, e iv) autorização de acesso às janelas dos edifícios adjacentes ao Arco pelo seu tardo.

Condições de segurança:

- Previu-se como questão sensível relativamente à segurança, o facto da vizinhança do arco se tratar de um lugar de passagem diária de milhares de pessoas pelo que especial cuidado deveria ser considerado com a circulação de equipamentos, em particular da plataforma elevatória. Nesse sentido, previu-se que a utilização de plataforma elevatória fosse feita durante o período nocturno o que também permite a sua circulação no espaço fronteiro ao Arco sem interferência com transportes públicos.
- A grande circulação de pessoas nas imediações da utilização de um equipamento laser também implica alguns cuidados a ter com a protecção das mesmas. Em particular deve assegurar-se que as pessoas não olham fixamente para o feixe laser.

Condições de acessibilidade:

- Previu-se a necessidade de assegurar um corredor de circulação ao Arco para o transporte da plataforma elevatória que implica a sua passagem por vias apenas de transportes públicos.
- O acesso ao interior do Arco é garantido pela DRCLVT e faz-se por uma escada em caracol com apenas 70cm de largura o que implica alguma dificuldade do transporte e manobra dos equipamentos de varrimento laser.
- Também se previu a necessidade de assegurar lugar de estacionamento na proximidade do arco para facilitar a carga e descarga dos equipamentos de varrimento laser que têm alguma robustez e peso (aproximadamente 16Kg).
- É necessário assegurar as condições climatéricas adequadas. Tem de ser evitada a chuva e o vento quando se operar no exterior. O vento é uma questão sensível no que diz respeito à utilização da plataforma elevatória.

Retenção dos materiais:

- Não foi exigida nenhuma obrigação específica de retenção de materiais produzidos.

Impactos admissíveis no objecto:

- Foi admitida, por parte da DRCLVT e do IGESPAR, a colagem de alvos plásticos nas superfícies do arco por meio de silicone.

Legislação e regulamentos aplicáveis:

- Dec. Lei nº 140/2009 de 15 de Junho que respeita à informação com relevância para o processo.
- Dec. Lei nº 273/2003 de 29 de Outubro (Higiene e Segurança no Trabalho).
- Código dos Contratos Públicos, aprovado pelo Decreto-Lei nº1812008, de 29 de Janeiro;
- Lei n.º 3 1/2009, de 3 de Julho
- Portaria n.º 701 — H/2008, de 29 de Janeiro;
- Decreto-lei n.º 163/2006, de 8 de Agosto;

Direitos de autor e de reprodução dos materiais:

- Os elementos gráficos produzidos no âmbito desta operação são propriedade da Frente Tejo, podendo ser utilizados pela FAUTL para fins de investigação académica.
- Os elementos gráficos resultantes do projecto são da autoria do Atelier 15.

A.10.1.3. DEFINIÇÃO DA ESTRATÉGIA DE DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA**Entidades produtoras da documentação gráfica:**

- Atelier 15, no que diz respeito ao Projecto de Conservação do Arco.
- Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa no que respeita à elaboração do levantamento, cartografia do estado de conservação e medições.
- Empresa 3D total como sub-contratada pela FAUTL para aquisição de nuvens de pontos e logística associada.
- A DRCLVT para a recolha dos dados topográficos de apoio.

Entidades fiscalizadoras:

- Parque Expo / Frente Tejo e DRCLVT.

A.10.1.3.1. ESTRATÉGIA DE RECOLHA DOS DADOS**Escolha e justificação da metodologia de recolha de dados:**

- Para a recolha dos dados topográficos de apoio serão utilizados procedimentos topográficos normalizados. Embora estes dados não sejam necessários para construção do modelo, justifica-se a sua consideração quer para a orientação final do modelo, quer como método paralelo que permitirá aferir da qualidade das operações de processamento do varrimento laser. Como forma de verificar a precisão desta

operação, as coordenadas de cada alvo serão medidas 5 vezes, tomando-se a dispersão dos valores determinados como indicador da precisão da operação.

- Para o levantamento geral do edifício considera-se o método do varrimento laser 3D terrestre e estático, com a tecnologia de comparação de fase. Adopta-se o método do varrimento laser 3D estático, em que o scanner é colocado sobre um tripé, ou qualquer outra base imóvel, para a aquisição das nuvens de pontos. Para cada estacionamento do scanner será obtida uma nuvem de pontos cujo tempo de aquisição é função da densidade preconizada.

Esta adopção justifica-se pela necessidade de rapidez em campo e pela necessidade de recolher dados com elevada densidade. Face ao tipo de tecnologia utilizada (comparação de fase por oposição ao tempo de voo) conseguem-se excelentes relações entre tempo de quantidade de dados recolhidos. A título de exemplo, e face à nossa experiência passada, pode ser possível a aquisição de 100 nuvens de pontos num único dia de trabalho.

- A recolha das nuvens de pontos prevê a sua orientação relativa sem a utilização de alvos adicionais. Por conseguinte prevê-se um planeamento de estações de varrimento laser que assegure grande sobreposição entre nuvens de pontos adjacentes, para permitir uma correcta construção do modelo final. Este planeamento deve ser feito em campo.

- Para garantir o acesso a zonas elevadas deve utilizada uma plataforma elevatória que deve garantir elevado grau de imobilidade, o que passará obrigatoriamente pela aquisição das nuvens de pontos com os motores da plataforma desligados.

- O planeamento da recolha de dados deve ser registado em suporte gráfico para apoio das operações de campo do levantamento uma vez que este planeamento permite tornar a componente de campo mais eficiente bem como minimizar o tempo e necessidade de alterações e adaptações, que acontecem sempre. Para além deste aspecto, o planeamento prévio permite ir apurando a metodologia de levantamento, embora se reconheça que cada caso apresenta as suas especificidades.

- As operações de recolha de dados, devem ser documentadas através de fotografia, vídeo, ou através de notas escritas ou desenhadas nas bases gráficas de apoio, ou através de outros registos que se verifiquem pertinentes. Esta documentação, ou meta dados, é de fundamental importância para o registo do processo e para memória futura.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- Para a execução do levantamento topográfico serão utilizados meios da DRCLVT. Estes consistem numa estação total Topcon modelo GTS-3000, bastão e prisma reflector. A estação total permite a leitura directa sem utilização de prisma reflector.
- Para a execução do levantamento por varrimento laser 3D prevê-se a utilização de um scanner de comparação de fase da marca Z+F modelo Imager 5006. A utilização deste equipamento de varrimento laser permite a optimização do tempo de recolha de dados em campo uma vez que tem uma taxa de captura de pontos bastante elevada. Trata-se de um equipamento laser da classe de segurança 3R, o que implica riscos reduzidos. Este equipamento pode ser operado sobre um tripé, directamente sobre uma superfície horizontal estável ou associado a qualquer engenho que permita posicionamentos estáticos específicos, como por exemplo na posição invertida.
- Para a execução do levantamento fotográfico de apoio considera-se a utilização de uma câmara fotográfica digital SLR Olympus E-500, com sensor de 17,3mm e resolução de 8 Mpixel. Poderá ser utilizado tripé caso se justifique.
- Para acesso às partes mais elevadas do Arco prevê-se a utilização de uma plataforma elevatória telescópica com alcance de 38m. Considera-se a utilização da plataforma Genie S-125 pelo seu alcance e estabilidade. A estabilidade é um factor importante devido ao facto de um varrimento laser não ser uma operação instantânea.

Planeamento da recolha dos dados:

- O planeamento específico da recolha dos dados incidiu sobre vários momentos que abaixo se descrevem. Embora o início formal dos trabalhos apenas tenha acontecido a partir de Fevereiro de 2011, as diligências que abaixo se descrevem tiveram início em Setembro de 2010. Esta razão prendeu-se com a articulação desta acção com o Projecto de Investigação “Contributos para a Conservação do Património: Metodologia Documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres” e a respectiva necessidade de assegurar prazos de realização no âmbito daquela investigação. O planeamento visa garantir que não há aspectos fundamentais às operações a realizar que fiquem por considerar, o que poderia implicar custos de vária ordem, desde financeiros a perdas de tempo ou de segurança para os vários agentes envolvidos. É por isso uma operação fundamental.
- A primeira etapa do planeamento consistiu na análise da documentação gráfica existente e na sua adaptação para poder ser utilizada como suporte do registo das acções a realizar em campo, isto é, como suporte do planeamento do levantamento. Com esta operação foi também possível verificar que lacunas se identificam na

documentação gráfica existente e estimar que elementos adicionais de suporte é necessário produzir em campo. Fez também parte desta etapa a passagem em revista de um conjunto de acções a realizar e aspectos a focar, nomeadamente:

a) Definir a posição dos alvos topográficos de apoio e estimar a sua localização; estimar a localização das estações topográficas minimizando o seu número; efectuar um ensaio de adesão de um alvo tipo e verificar o impacto desta adesão nas superfícies pétreas; documentar estas operações com fotografia.

b) Estimação do número e posição das estações de varrimento laser incluindo as estações elevadas a conseguir com a utilização de plataforma elevatória e nas coberturas dos edifícios vizinhos documentando esta operação com notas instrutórias, por exemplo identificando situações em que se deva utilizar o scanner em posição invertida; verificação da necessidade e possibilidade de abertura de vãos para efectuar ligações entre interior e exterior; estimação da resolução do varrimento laser para cada uma das estações definidas e respectivo tempo de execução do varrimento.

c) Verificação no local de constrangimentos adicionais relativamente aos já previstos inicialmente, nomeadamente a localização de catenárias; verificar da necessidade de restringir a circulação de pessoas; verificação das condições de limpeza e desobstrução dos espaços a documentar, em particular no interior do Arco; mapear a localização das tomadas eléctricas de modo a prever locais de carregamento de baterias caso seja necessário; tirar fotos que documentem as situações encontradas.

● Tendo em conta os aspectos referidos e a documentação gráfica de apoio existente passou-se ao planeamento em campo. Esse planeamento consistiu em produzir elementos gráficos de apoio em falta, documentar as observações com fotografia, registar e justificar a localização presumível das estações de varrimento laser necessárias como se ilustra na figura 10-9. Todos estes elementos podem ser consultados no CD anexo (003_ARA.pdf).

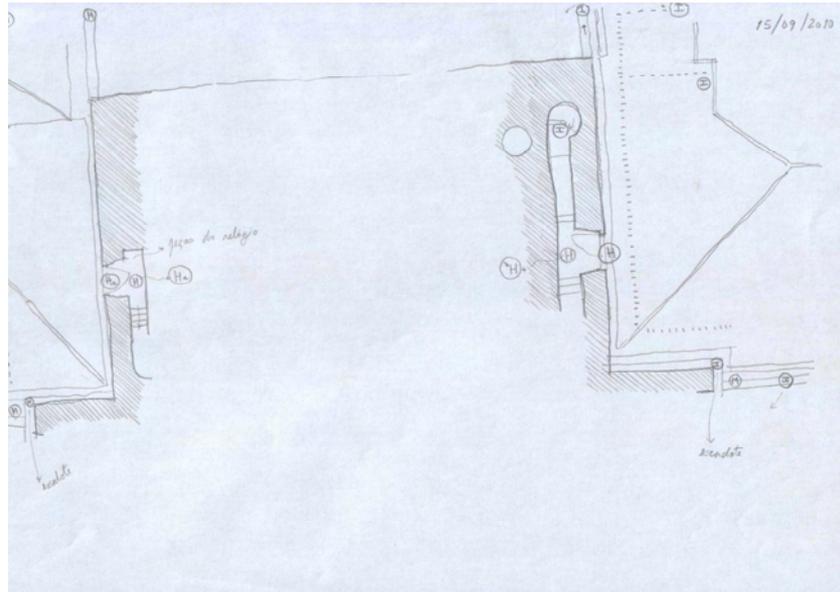


Figura 10-9: Exemplo de desenho com o nível de detalhe da escala 1/50.

- Simultaneamente fez-se o registo dos vários tipos de perfil de molduras através de desenho de observação visual como se ilustra na figura 10-10. Todos estes elementos podem ser consultados no CD anexo (004_ARA.pdf). A razão que nos levou a efectuar estes desenhos de observação prende-se com a nossa experiência passada em que se verificou por vezes difícil discernir detalhes finos no varrimento laser 3D analisando apenas as nuvens de pontos. Assim, estes elementos servir-nos-ão de complemento a par dos levantamentos fotográficos. Em boa verdade, embora se inclua a sua produção em fase de planeamento, trata-se já da primeira acção de levantamento.

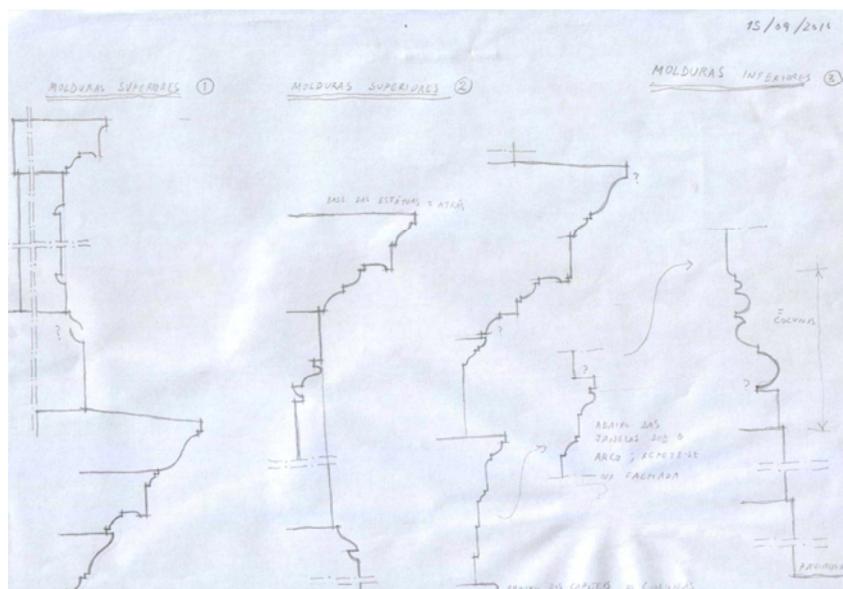


Figura 10-10: Desenho de observação visual de perfis de molduras.

• Na fase seguinte de planeamento, foi feito um tratamento em gabinete da informação recolhida em campo de modo a produzir a documentação a levar para acompanhamento e orientação das operações de recolha de dados. A figura 10-11 apresenta o resultado do planeamento da colocação dos alvos bem como os aspectos a considerar na sua afixação. Foi considerada a afixação de 23 alvos no exterior do Arco (10 no alçado sul, 4 sob o arco, e 9 no alçado norte). Foi também considerado que seriam necessárias apenas duas estações topográficas para observação dos alvos.

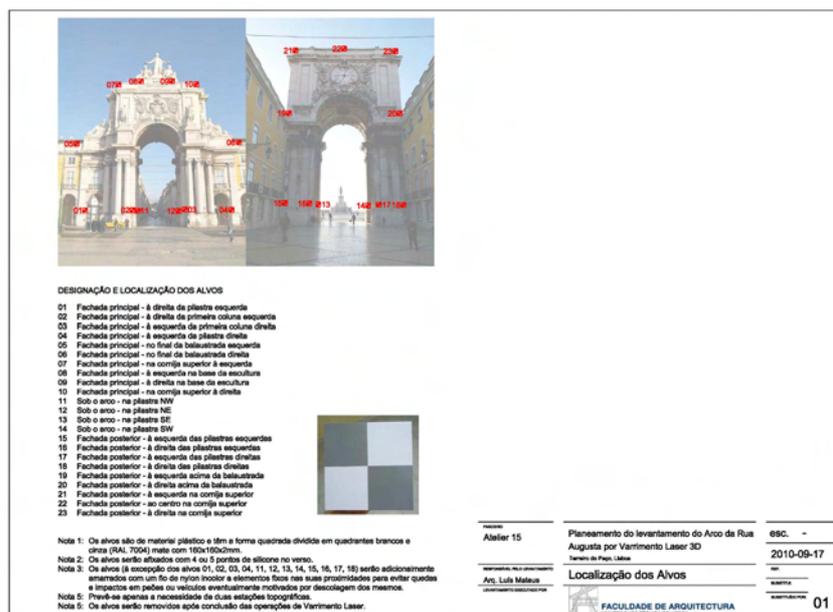


Figura 10-11: Exemplo de desenho de planeamento.

Na figura 10-12 apresenta-se um desenho de planeamento do posicionamento das estações de varimento laser. Neste tipo de desenhos consta a localização das várias estações de varimento, a densidade de pontos a recolher em cada estação, um conjunto de notas acerca do posicionamento das estações de modo a potencializar a recolha de informação, e o tempo estimado de varimento laser. Foram consideradas 147 estações de varimento laser, perfazendo um total estimado de 17h de trabalho de campo a distribuir por dois dias, um dos quais com utilização da plataforma elevatória. O posicionamento das estações relativamente ao objecto e respectiva definição de resolução, para além de considerar a necessidade de sobreposição entre nuvens de pontos decorrentes da metodologia de processamento a utilizar, resulta também da densidade de pontos que se pretende obter para o nível de detalhe a registar. Face ao equipamento de varimento laser que se pretende utilizar, o scanner ZF 5006i, consideram-se quatro resoluções pré definidas: i) Super-High (S), ii) High (H), Middle

(M), e Preview (P). A cada uma destas resoluções corresponde um tempo de varrimento e uma densidade de pontos específicas:

- i) S – 6min e 44s de varrimento – resolução de 3.1mm a 10m de distância;
- ii) H – 3min e 22s de varrimento – resolução de 6.3mm a 10m de distância;
- iii) M – 1min e 40s de varrimento – resolução de 12.6mm a 10m de distância;
- iv) P – 25s de varrimentos – resolução de 50mm a 10m de distância.

O conjunto destes elementos de planeamento pode ser consultado no CD anexo (005_ARA.pdf).

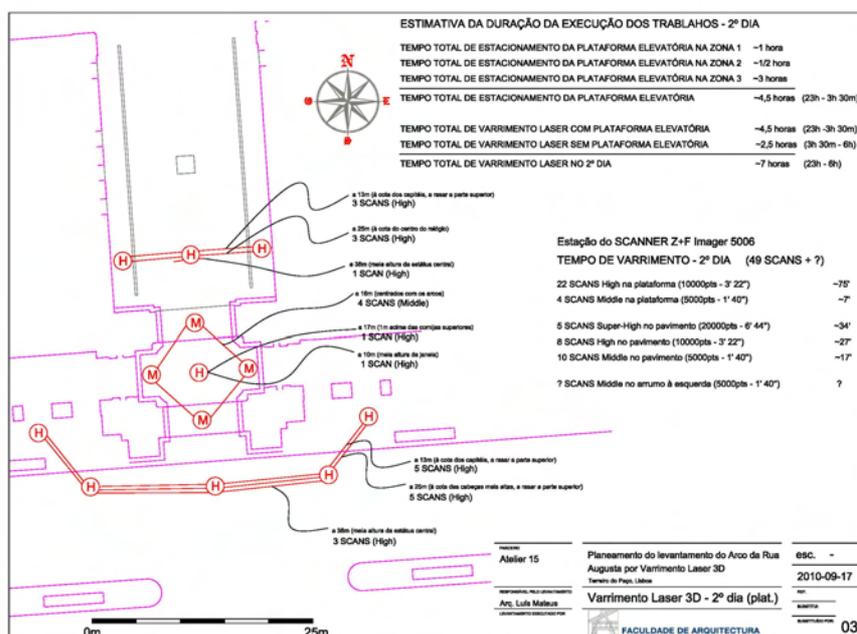


Figura 10-12: Exemplo de desenho de planeamento.

Em paralelo procedeu-se ao fabrico dos alvos ilustrados na figura 10-11.

● Nesta fase de planeamento verificou-se um atribulado processo relativo à obtenção de autorizações, em particular no que diz respeito à autorização de ocupação da via pública com a plataforma elevatória Genie S-125. Este processo prendeu-se com a incompatibilidade entre três ordens de factores: i) a Divisão de Ambiente e Espaços Públicos da CML requeria uma antecedência de 15 dias úteis para a instrução do processo de solicitação de autorização, ii) não é possível efectuar previsões meteorológicas fiáveis a 15 dias, iii) a taxa de ocupação da via pública não estava contemplada nas propostas apresentadas e ascendia a aproximadamente 2000€ por dia dada as áreas previstas de circulação com a plataforma. Embora tenha demorado algum tempo a resolver estes aspectos, o diálogo e a concertação entre as várias partes, nomeadamente, a Frente Tejo, a DRCLVT, a CML, e a FAUTL permitiu, face ao carácter e interesse excepcional dos trabalhos a desenvolver, ultrapassar os

constrangimentos iniciais e facilitar a execução dos trabalhos, permitindo alguma flexibilidade no sentido de agir quando se reunissem as condições mínimas. Regista-se no entanto que este problema motivou algum atraso no desenrolar dos trabalhos.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Foi definido o prazo de 46 dias úteis para a execução do levantamento distribuídos da seguinte forma: i) 1 dia para a execução de levantamento topográfico de apoio, ii) 2 dias para levantamento por varrimento laser 3D e levantamento fotográfico de apoio, iii) 8 dias para processamento do varrimento laser 3D; e iv) 35 dias para restituição gráfica.
- Foi excluído o mês de Agosto de qualquer contabilização de prazos e foi declarado que os prazos apenas poderiam ser considerados a partir do momento em que as autorizações estivessem dadas.
- Foi definido o custo global de XXXXX€ que compreende os seguintes valores parciais: i) XXXXX€ (c/IVA) para levantamento de campo por varrimento laser incluindo aluguer e manobra de plataforma elevatória, ii) XXXXX€ para a coordenação geral e componente de conservação e restauro, iii) XXXXX€ para levantamento fotográfico de apoio, iv) XXXXX€ para processamento do varrimento laser 3D, v) XXXXX€ para restituição gráfica, mapeamento de anomalias, e medições.
- Quanto a recursos humanos, no que diz respeito exclusivamente à componente de documentação gráfica, foram definidos os seguintes: i) levantamento topográfico de apoio a cargo da DRCLVT, ii) levantamento de campo por varrimento laser 3D através da contratação do serviço – coordenação em campo pelo Arquitecto Luís Mateus com o apoio de mais um colaborador, iii) levantamento fotográfico de apoio – Arquitecto Luís Mateus, iv) processamento dos dados de varrimento laser 3D – Arquitecto Luís Mateus, v) restituição gráfica, cartografia do estado de conservação e medições – coordenação pelo Arquitecto Luís Mateus com o apoio de quatro colaboradores.

A.10.1.3.2. ESTRATÉGIA DE PROCESSAMENTO DOS DADOS E APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Escolha e justificação da metodologia de processamento e validação:

- A metodologia geral de processamento incidirá sobre 5 níveis de acção: i) processamento dos dados topográficos, ii) processamento das nuvens de pontos, iii) produção de informação base para restituição gráfica, iv) produção de materiais 2D de levantamento, e v) produção em paralelo de informação variada, conforme solicitado,

para acompanhar os processos de caracterização do estado de conservação e projecto.

Esta metodologia garante simultaneamente a produção de um levantamento e o acompanhamento de outros processos que decorrem em paralelo no tempo.

- A responsabilidade do processamento dos dados topográficos bem como a validação dos resultados obtidos é da DRCLVT. Será utilizado o software MDT 5.5 da Topcon para processamento dos dados topográficos.
- As nuvens de pontos serão processadas com a aplicação JRC3DReconstructor v. 2.6 de acordo com as seguintes etapas: i) importação, ii) limpeza e eliminação de dados espúrios, iii) orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP, iv) avaliação visual da qualidade da orientação relativa, v) extracção das coordenadas dos alvos topográficos nas nuvens de pontos, vi) cálculo e aplicação de uma transformação com base em coordenadas de pontos homólogos topográficos e identificados nas nuvens de pontos, vii) orientação de planos de corte/projecção para a produção de orto-imagens parciais base, viii) exportação de orto-imagens parciais relativas a secções e projecções.

Este fluxo de trabalho garante a produção de documentação de base que permite o processo de restituição gráfica.

Não tendo sido condicionado pela entidade contratante, considerou-se que o desempenho métrico geral poderá ser avaliado em função dos resíduos resultantes da operação de orientação do modelo de nuvem de pontos contra o levantamento topográfico de apoio. Espera-se que o erro médio quadrático desta operação não ultrapasse 1cm.

- As imagens parciais de cada nuvem de pontos que incidem sobre cada plano de secção/projecção serão agrupadas e compostas de modo a produzir cada orto-imagem de síntese. Este processamento será efectuado através das aplicações Gimp ou Photoshop.

As orto-imagens de síntese produzidas deverão apresentar aspecto uniforme devendo minimizar-se costuras entre imagens.

- Após a obtenção de orto-imagens com aspecto uniforme, resultantes da operação anterior, estas serão inseridas como referência em ficheiros de CAD, através da aplicação AutoCAD, e sobre elas proceder-se-á à restituição gráfica. Esta operação deverá ser coadjuvada pela observação de fotografias que permitem esclarecer dúvidas de interpretação bem como com qualquer outro tipo de imagem que se verifique adequada, como por exemplo as próprias imagens panorâmicas associadas às nuvens de pontos.

Considera-se como aceitável uma restituição gráfica em que se represente de forma adequada a geometria dos perfis das molduras não sendo aceitáveis simplificações resultantes da limitação dos meios de levantamento empregues.

O desenho de restituição gráfica deverá ser concordante com as imagens sobre as quais é produzido porém não se considera necessária a restituição gráfica, pelo desenho, de lacunas ou de infra-estruturas, embora estas fiquem registadas nas imagens resultantes do varrimento laser e colocadas como fundo das peças desenhadas. Isto é, opta-se por uma representação geométrica idealizada de elementos como cornijas e capitéis deixando a caracterização do seu estado actual de conservação para outra etapa.

Os desenhos deverão respeitar as exigências de desempenho no que diz respeito à diferenciação do tipo de informação a recolher (estereotomia, detalhes das esculturas, proporção de perfis de molduras e cornijas).

- Deve garantir-se, durante todo o processo, espaço para a produção de elementos vários que se considerem necessários para as várias acções que decorrerem no âmbito do projecto. Entre estas considera-se a produção de elementos para apoio à caracterização do estado de conservação e para apoio à tomada de decisão no projecto.

Escolha, descrição e justificação dos meios técnicos:

- O processamento dos dados topográficos será realizado com meios da DRCLVT. Para processamento dos dados topográficos será utilizado o software MDT 5.5 da Topcon. Esta aplicação requer hardware standard.
- Para processamento das nuvens de pontos será utilizada uma workstation HPZ600, com 12Gb de memória RAM, placa gráfica Nvidia Quadro FX3800 com 1Gb de memória, e sistema operativo Windows 7 de 64bit. Como os dados de varrimento laser são bastante pesados e em grande quantidade, é conveniente o seu processamento em ambientes de 64 bit com elevada capacidade, como é o sistema descrito. De modo a facilitar a interacção gráfica serão utilizados dois monitores de 22” em simultâneo.
- Para a manipulação de imagens e restituição gráfica não se impõe o mesmo tipo de condicionante, podendo qualquer sistema standard de 32bit considerar-se adequado.
- O processamento das nuvens de pontos, desde a orientação relativa até à extracção de informação base para a restituição gráfica será feito com a aplicação JRC3DReconstructor v. 2.6.
- O processamento de imagens para a produção de orto-imagens de base para a restituição gráfica será feito com a aplicação Gimp v.2 ou com a aplicação Adobe Photoshop CS3.

- A restituição gráfica e produção de desenhos serão feitas com a aplicação AutoCAD 2008.

Planeamento do processamento dos dados incluindo as formas de organização e apresentação (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento) dos materiais finais:

- A metodologia geral de processamento incidirá sobre 5 níveis de acção: i) processamento dos dados topográficos, ii) processamento das nuvens de pontos, iii) produção de informação base para restituição gráfica, iv) produção de materiais 2D de levantamento, e v) produção em paralelo de informação variada, conforme solicitado pelos vários agentes do projecto, para acompanhar os processos de caracterização do estado de conservação e tomada de decisão do projecto.

- Processamento dos dados topográficos:

Tomar-se-á como boa informação de referência o levantamento topográfico de apoio a realizar pela DRCLVT.

Do processamento dos dados topográficos resultará uma listagem de coordenadas dos vários alvos. Esta listagem deverá ser entregue em suporte digital no formato *.txt ou outro facilmente editável.

- Processamento das nuvens de pontos com o software JRC3D Reconstructor v 2.6:

1) Importação das nuvens de pontos.

Procurar-se-á importar as nuvens de pontos na sua densidade máxima sempre que o hardware e software o permitir. É desejável que nesta operação seja desde logo eliminada alguma informação espúria. Esta eliminação é feita de modo manual através da selecção de áreas de interesse.

2) Limpeza e eliminação de dados espúrios:

Parte desta operação pode ser logo realizada com a importação das nuvens. Trata-se de uma operação necessária para eliminar todo um conjunto de dados que poderiam afectar a correcção das operações seguintes, em particular a orientação relativa das nuvens. Prevê-se que a limpeza a fazer corresponda à remoção de pessoas e veículos.

3) Orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP:

Tomar-se-á o referencial de uma nuvem central como referência e proceder-se-á à orientação relativa das várias nuvens sobre aquele referencial. Esta operação tem, para cada nuvem, duas etapas. Na primeira etapa é feita uma aproximação manual à orientação através da selecção de pontos homólogos. Numa segunda fase, é feita uma optimização da orientação entre nuvens utilizando o algoritmo ICP (Iterative Closest Point). Trata-se de um procedimento iterativo que é terminado quando são

atingidos os parâmetros de corte predefinidos. Para uma aplicação correcta deste procedimento, as nuvens de pontos a orientar entre si devem apresentar elevada sobreposição. Esta operação deverá ainda ser realizada de modo a minimizar o número de orientações relativas que permitam fechar um esqueleto do modelo final, e apenas a seguir orientar as restantes nuvens. Esta é uma boa prática porque minimiza a acumulação de erros que ocorrem após a orientação de cada nuvem. Trata-se de um procedimento perfeitamente aplicável à escala de um edifício. Espera-se que a orientação relativa de cada nuvem de pontos não produza erros médios quadráticos superiores ao que é definido como sendo a precisão do instrumento para o alcance (distância à origem) de pontos de cada nuvem sujeita à operação de orientação. Os elementos definidores da nuvem orientada, expressos sob uma forma matricial, devem ser guardados num ficheiro *.txt independente. Esta informação permitirá recuperar trabalho caso o ficheiro base se danifique.

4) Avaliação visual da qualidade da orientação relativa:

Esta operação deverá ir sendo efectuada à medida que a orientação relativa das nuvens de pontos vai avançando. Consiste em inspeccionar visualmente o modelo que vai sendo gerado para despistar erros que possam ter ocorrido. Esta operação é necessária como complemento da análise dos erros médios quadráticos da operação de orientação. Nem sempre valores dentro do esperado correspondem a boas operações de orientação, o que pode ser motivado por uma má pré orientação manual. Esta operação pode ser levada a cabo de vários modos. O que pretendemos implementar consiste na definição de três planos ortogonais entre si e na visualização dinâmica da translação de cada um destes planos sobre o modelo e respectiva observação das secções produzidas. Se ao observar estas secções se verificarem duplicações de elementos que deveriam ser o mesmo elemento, e por isso não deviam aparecer em duplicado, deve concluir-se que a orientação não foi bem conseguida e por isso deve ser repetida. Esta operação deve ser realizada várias vezes para impedir que a orientação possa progredir acumulando erros de orientações eventualmente erradas.

5) Extracção das coordenadas dos alvos topográficos nas nuvens de pontos:

Esta extracção deverá suficientemente precisa de modo a não comprometer a utilização de dos valores obtidos para uma orientação absoluta do modelo correcta. Se possível, cada alvo deve ser medido mais que uma vez, por processos independentes, devendo ser adoptado o valor médio das várias medições como o valor da coordenada. Ao proceder-se deste modo pode ficar-se com uma noção da precisão da operação de medição das coordenadas dos alvos. As coordenadas estimadas dos vários alvos deverão ser guardadas num ficheiro *.txt independente.

6) Cálculo e aplicação de uma transformação com base em coordenadas de pontos homólogos topográficos e identificados nas nuvens de pontos:

Colocando em paralelo as coordenadas homólogas dos alvos determinadas pelos processos topográficos, e sobre o varrimento laser, é possível estimar os parâmetros de uma transformação rígida (rotação + translação) que orienta o modelo da nuvem de pontos tendo por base as coordenadas dos alvos medidas por topografia. Normalmente esperar-se-ia um valor pequeno do erro médio quadrático (abaixo de 1cm) resultante desta operação. Porém, pelo facto de algumas nuvens serem obtidas com o scanner montado sobre uma plataforma elevatória e por isso nunca completamente estável, este erro poderá aumentar.

7) Orientação de planos de corte/projecção para a produção de orto-imagens parciais base:

Prevê-se a produção de 4 alçados (A1, A2, A3 e A4), 6 cortes transversais (CT1, CT2, CT3, CT4, CT5 e CT6) , 2 cortes longitudinais (CL1 e CL2), 3 plantas correntes (P1, P2 e P3) e 2 plantas de tecto (PT1 e PT2), conforme se indica nas figuras 10-13 e 10-14.

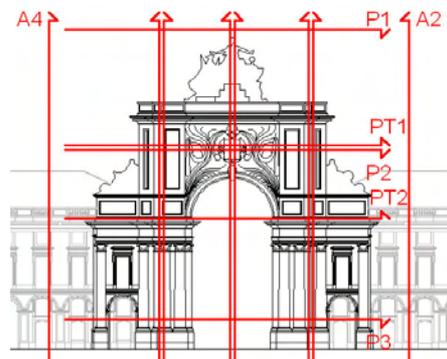


Figura 10-13: Indicação em alçado das peças desenhadas a produzir.

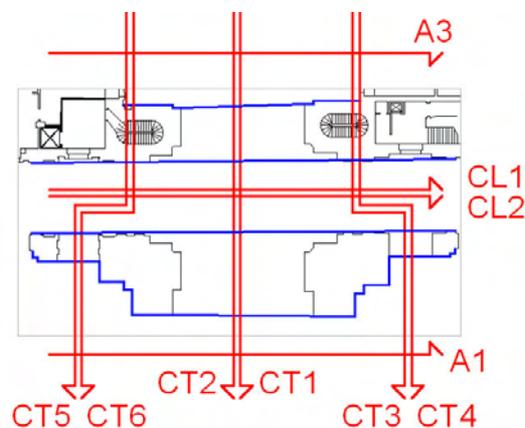


Figura 10-14: Indicação em alçado das peças desenhadas a produzir.

Para cada peça a produzir, é considerado pelo menos um plano de projecção/secção.

8) Exportação de orto-imagens parciais relativas a secções e projecções

Cada nuvem que contenha informação relevante para a produção daquela peça deve ser projectada no modelo. Cada uma destas projecções deve ser independente. A cada projecção deverá corresponder uma imagem a ser exportada no formato *.jpg ou equivalente. Após esta operação, a cada peça a produzir deverá corresponder um conjunto de orto-imagens parciais.

- Produção de informação base para restituição gráfica:

Esta operação corresponde à edição das orto-imagens parciais de modo a produzir uma orto-imagem de síntese. Esta operação será executada com o software Gimp v2 ou Adobe Photoshop CS3. A vantagem do primeiro é ser open-source e gratuito. As várias orto-imagens parciais são inseridas como layers num ficheiro de imagem que deverá dar origem a uma imagem final de aspecto uniforme. A produção da orto-imagem final é feita através: i) da gestão das várias camadas de informação, ii) da aplicação de filtros de blinding, iii) da eliminação de troços de imagem irrelevantes, iv) ajuste e controlo de parâmetros de contraste, luminosidade, histogramas, etc.

- Produção de materiais 2D de levantamento:

Esta é uma operação bastante sensível e requer que haja coerência entre as várias peças desenhadas. Para o efeito têm de definir-se critérios rígidos de diferenciação e segmentação da informação e tem de se garantir uma efectiva coordenação entre os vários agentes. Esta questão é ainda mais premente quando se verifica que há repetição de elementos na estrutura do Arco que devem aparecer representados de forma idêntica nas várias peças. Por isso será necessário que a estratégia de restituição gráfica preveja este aspecto.

A restituição gráfica será feita através do software AutoCAD.

Deverão ser associados aos desenhos, em layer própria, as orto-imagens finais sobre as quais se desenhará.

Os desenhos de projecto terão por base os desenhos de levantamento. Os desenhos de levantamento são produzidos pela equipa coordenada pela FAUTL e entregues ao Atelier 15 em layout próprio.

Os desenhos produzidos pela equipa da FAUTL serão entregues ao Atelier 15 apenas em suporte digital no formato *.dwg.

Caberá ao Atelier 15 a responsabilidade de produção dos layouts de acordo com as exigências da entidade contratante, a Frente Tejo / Parque Expo e respectiva integração no projecto de conservação do Arco.

- Durante todo o processo será dada atenção à produção de informação paralela, sob a forma não acabada, para apoio aos diversas acções em curso, nomeadamente para

apoio à análise do estado de conservação, e para apoio à reflexão própria de um processo de projecto.

Estimativa de recursos humanos necessários, tempo de execução e custos:

- Optou-se por referir este item na descrição da estratégia de recolha dos dados.

A.10.2. PRODUÇÃO DA DOCUMENTAÇÃO GRÁFICA DESCRITIVA (EXECUÇÃO)

A.10.2.1. RECOLHA DE DADOS

Descrição do processo de recolha de dados, incluindo equipamentos utilizados:

- 15/09/2010

Foi feito um ensaio de colagem de alvo para testar a adesão à superfície. Foi colada uma superfície quadrada de tamanho idêntico a um alvo como se ilustra na figura 10-15. Esta superfície, em plástico branco mate, foi colada com cinco pontos de silicone branco.



Figura 10-15: Ensaio de colagem de alvo.

No mesmo dia foi feito um levantamento fotográfico de reconhecimento.

● 17/09/2010

Os alvos foram fabricados artesanalmente. Sobre uma superfície de plástico branco mate com as dimensões de 160x160x2mm, foram feitas máscaras de modo a poder-se pintar aquela superfície dividindo-a a 4 quadrantes. Dois quadrantes opostos ficaram brancos e outros dois foram pintados com tinta de esmalte cor RAL 7004 (cinza mate) como se mostra na figura 10-16. É importante que a superfície dos alvos não seja brilhante pois teria mau desempenho no varrimento laser.

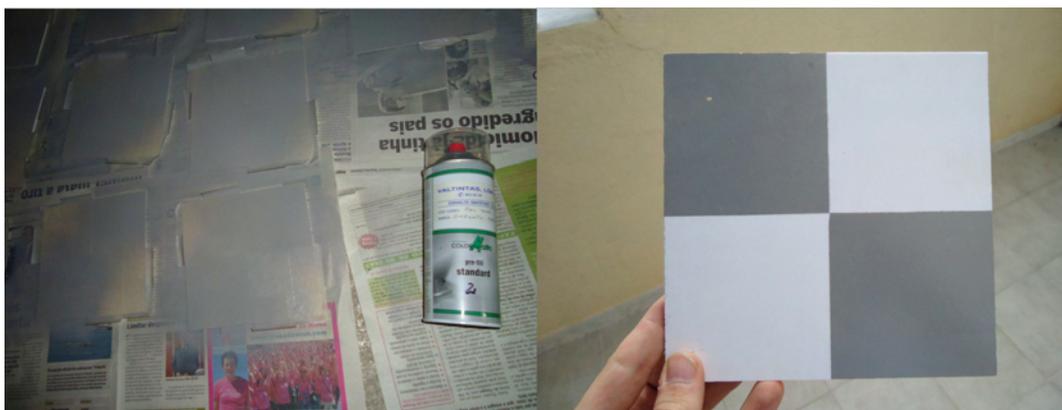


Figura 10-16: Fabricação dos alvos.

● 22/09/2010

Foi feita a descolagem do alvo de teste. Verificou-se que o alvo apresentava boa aderência à superfície. A operação de remoção do alvo não apresentou grandes dificuldades sendo possível realizá-la à mão sem o auxílio de nenhuma ferramenta. Verificou-se que a silicone deixou marcas na pedra nos pontos de colagem, embora pouco visíveis como se ilustra na figura 10-17.



Figura 10-17: Aspecto da superfície de pedra após a remoção do alvo teste.

A afixação dos alvos seguiu o planeamento previsto. Foram colados os 23 alvos previstos. Os alvos colados em zonas elevadas foram ainda presos com um fio de nylon a um elemento na sua vizinhança. Trata-se de uma precaução para evitar a possível queda de alvos com o respectivo risco de dano para pessoas que circulem nas imediações do Arco. Embora os alvos não sejam pesados, uma queda de uma altura de 20 a 30m poderia trazer perigo. Os alvos colados em zonas mais baixas foram colocados suficientemente elevados para não ficarem ao alcance imediato das pessoas. Na figura 10-18 mostra-se um destes alvos.

A DRCLVT contactou com a Polícia Municipal de Lisboa no sentido de assegurar acompanhamento dos trabalhos, o que se verificou. Os agentes que se encontravam na vizinhança estavam a par das acções a realizar.



Figura 10-18: alvo nº 11 colado sob o Arco.

● 23/09/2010

À semelhança do que se passara no dia anterior, a Polícia Municipal de Lisboa, assegurou acompanhamento dos trabalhos por meio dos seus agentes no local.

O levantamento topográfico ficou a cargo da DRCLVT. Foi realizado pelo topógrafo Fernando Leitão (DRCLVT) coordenado pelo Arquitecto Luís Mateus (FAUTL), tendo estado presente também o Arquitecto Victor Ferreira (FAUTL). Foram materializadas duas estações topográficas, uma na Praça do comércio (figura 10-19 à esquerda) e outra na Rua Augusta (figura 10-19 à direita) por meio de marcas metálicas cravadas no pavimento e com a cabeça pintada de cor vermelha. Ambas as estações foram colocadas de forma simétrica em relação ao Arco.



Figura 10-19: À esquerda: Estação na Praça do Comércio. À direita: Estação na Rua Augusta

Foi utilizada uma estação total Topcon, modelo GTS-300, com bastão e prisma reflector para posicionamento das estações conforme se ilustra na figura 10-20.

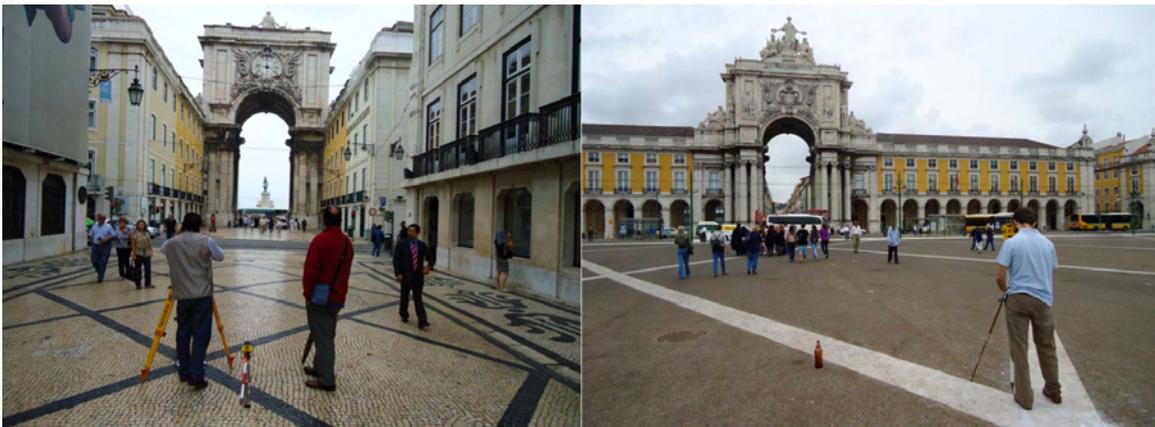


Figura 10-20: Estação total posicionada na Rua Augusta (à esquerda) e bastão com alvo reflector posicionado na Praça do Comércio (à direita).

Os alvos foram medidos directamente sem prisma reflector. Cada alvo foi medido cinco vezes para avaliar a precisão desta operação.

No decurso dos trabalhos verificou-se não ser necessária a georeferenciação do modelo, considerando-se como aceitável a utilização de uma referencial local.

Esta operação demorou aproximadamente 2 horas.

Fez-se um levantamento fotográfico de monitorização dos alvos e acompanhamento desta operação.

- 24/09/2010

Para todas as sessões de VL3D foi contratada a empresa 3D Total.

Participaram nesta sessão o Eng. Gatinho Ramos (3D Total), o Arquitecto Luís Mateus (FAUTL) e o Arquitecto Victor Ferreira (FAUTL). Foi utilizado o scanner de comparação de fase Z+F 5006i.

Para esta sessão de trabalho, a DRCLVT contactou com a Polícia Municipal de Lisboa no sentido de assegurar acompanhamento dos trabalhos e autorização para parquear a viatura da 3D Total na Rua Augusta junto ao Arco. Esta acção foi acompanhada pelos agentes no local.

Ocorreu a 1ª sessão de VL3D. Nesta sessão a recolha de dados foi corrente. Verificaram-se três tipos de situação conforme se descreve na figura 10-21.



Figura 10-21: Scanner colocado sobre tripé (à esquerda), Scanner colocado directamente sobre superfície plana rígida (ao centro), Scanner colocado em posição invertida em dispositivo próprio (à direita).

O decorrer dos trabalhos foi registado sobre as folhas de planeamento como se ilustra na figura 10-22.

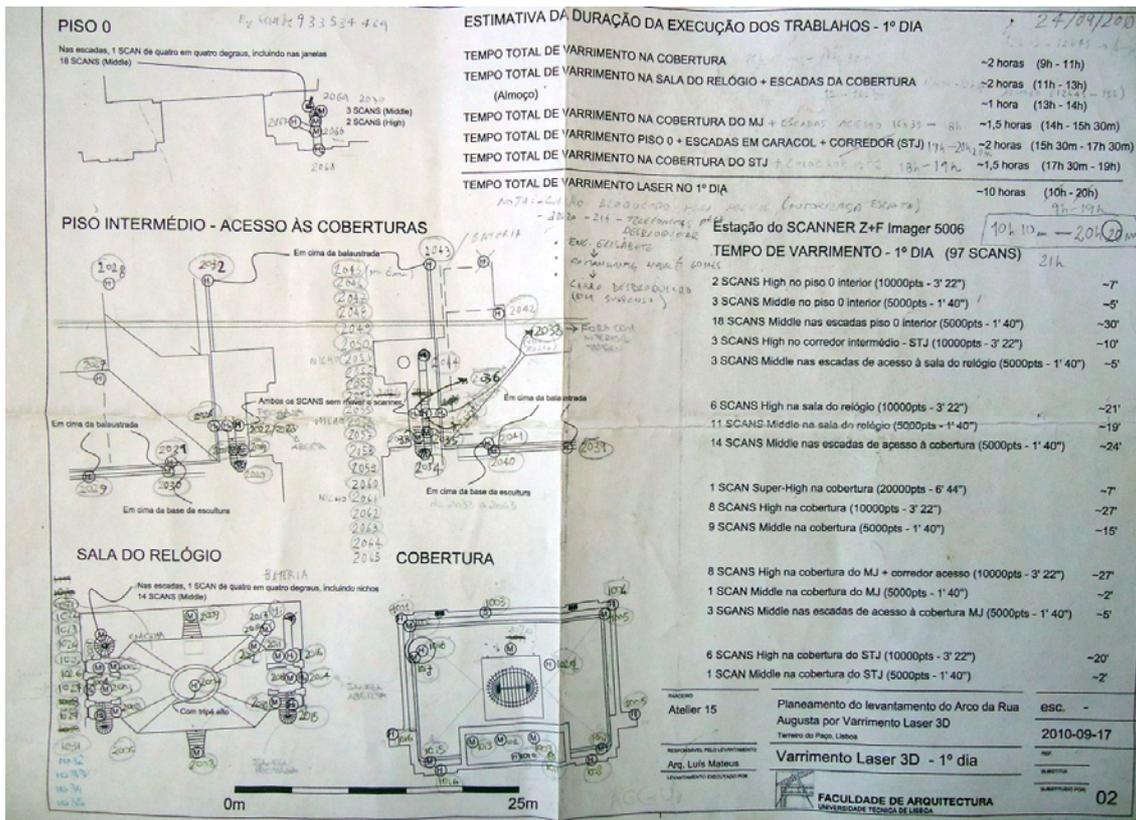


Figura 10-22: Folha de planeamento utilizada em campo para registar o decorrer das acções de levantamento.

Nestas folhas registou-se a numeração atribuída em campo a cada uma das nuvens de pontos (o que traduz a ordem pela qual o trabalho foi realizado), as horas de início e fim das várias sessões parciais, os momentos de substituição de baterias, as pausas para refeições, e outros aspectos que se entenderam como relevantes. Estas folhas assumirão um papel importante como auxiliar do processamento, na fase seguinte.

Esta sessão incidiu sobre os espaços interiores do Arco e nas zonas acessíveis pelas coberturas das construções vizinhas, nomeadamente pela cobertura do Ministério da Justiça, no lado poente, e pela cobertura do Supremo Tribunal de Justiça, no lado nascente. Também em relação a estas duas instituições a DRCLVT se encarregou de informar acerca do desenvolvimento do levantamento.

Na tabela 10-1 resume-se a primeira sessão de VL3D. Foram recolhidas 101 nuvens de pontos, mais 4 que o previsto. A sessão durou cerca de 10h e 10m, sensivelmente o que tinha sido previsto. O rácio entre o tempo de VL3D estrito e o tempo passado em campo foi de 37%. Este rácio explica-se pela necessidade de transportar o equipamento de estação para estação, pela necessidade de efectuar pausas para troca de baterias e para refeições.

1ª Sessão - Interior do Arco e coberturas				
Data:	24 de Setembro de 2010			
Início:	10h 10m			
Fim:	20h 20m			
Total (min):	610			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	1			
H	31			
M	68			
P	1			
Total	101	224,85	9.130.027	37%

Tabela 10-1: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 1ª sessão de VL3D.

Paralelamente ao levantamento por VL3D fez-se um levantamento fotográfico para documentar e acompanhar o trabalho.

Pese embora o facto de a Polícia Municipal se encontrar avisada do decorrer dos trabalhos, a viatura da 3D Total foi bloqueada. Tal deveu-se ao facto de não estar visível na mesma nenhum comprovativo de autorização para parquear e também ao facto de não ter sido comunicada a nossa presença aos agentes do turno seguinte. Tendo em nossa posse os contactos dos interlocutores com a Polícia Municipal, foi possível, embora com algum transtorno, desbloquear a situação. Este facto não impediu a normal realização dos trabalhos.

- 12/10/2010

A segunda sessão de varrimento laser, que inicialmente se previra com a utilização de plataforma elevatória, ocorreu para efectuar a recolha das nuvens de pontos ao nível da rua, no exterior do arco previstas para aquela sessão.

Esta operação foi executada pelo Eng. Gatinho Ramos da 3D Total com base na folha de planeamento respectiva em que se registou a numeração das nuvens de pontos como se ilustra na figura 10-23.

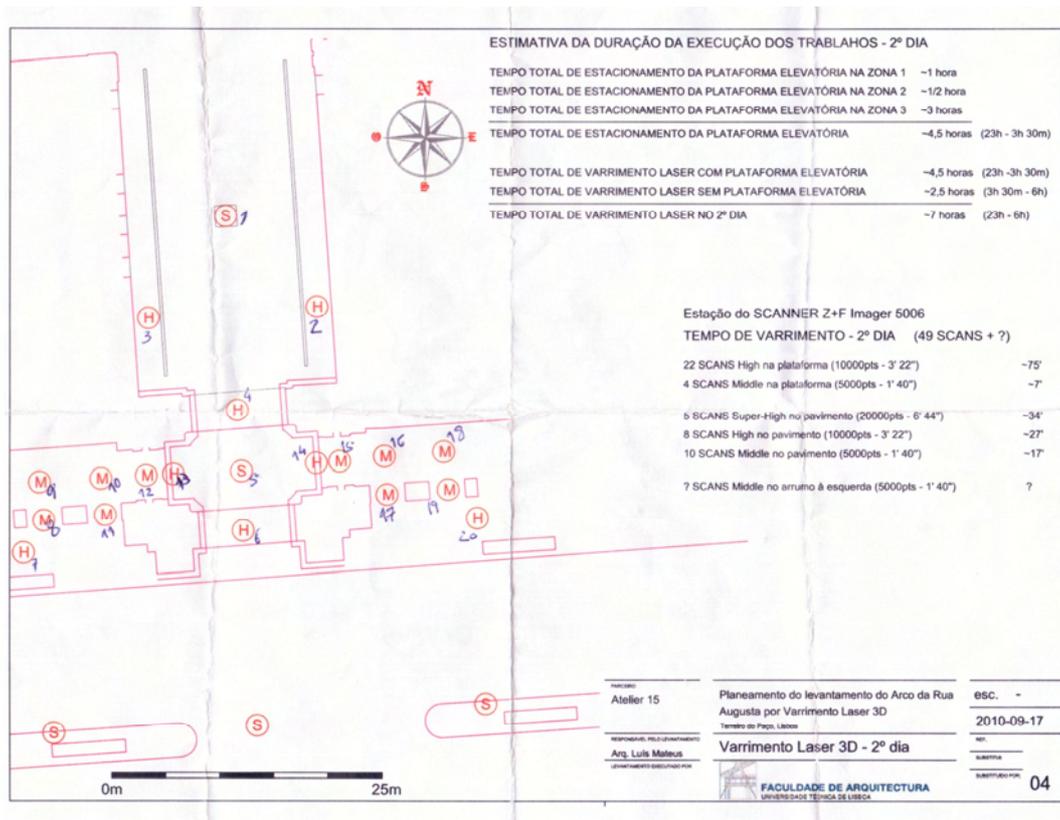


Figura 10-23: Folha de planeamento utilizada em campo para registar o decorrer das acções de levantamento.

A imagem da figura 10-24 corresponde a uma pré-visualização de uma nuvem de pontos recolhida nesta sessão de trabalho. Trata-se da estação 5 (figura 10-23) em que é visível o ruído introduzido pela circulação de pessoas.

O tipo de recolha de dados foi corrente, colocando sempre o scanner sobre tripé.

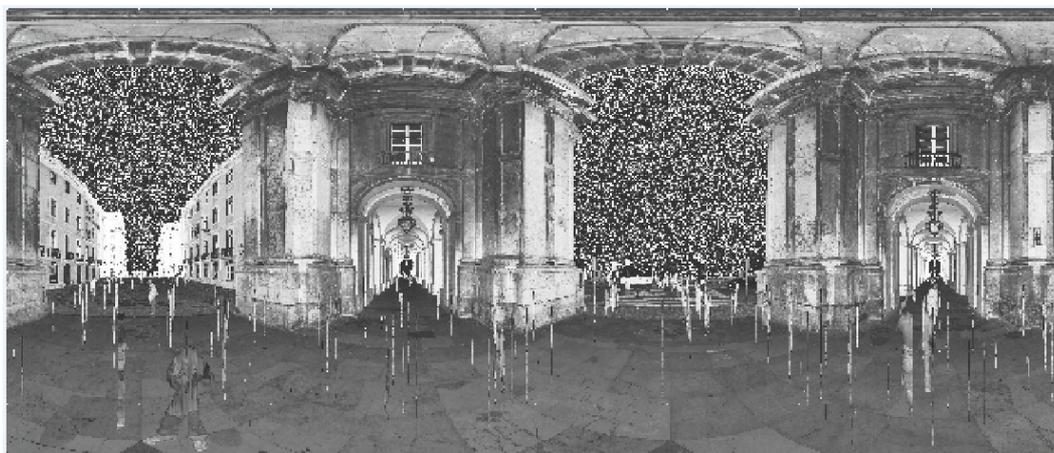


Figura 10-24: Imagem de pré visualização de nuvem de pontos. Pode observar-se o ruído introduzido pela circulação de pessoas.

Na tabela 10-2 faz-se o resumo dos dados recolhidos na segunda sessão de VL3D. Foram recolhidas 20 nuvens de pontos. A sessão durou cerca de 2h e 10m. O rácio entre o tempo de VL3D estrito e o tempo passado em campo foi de 44%. Este rácio explica-se pela necessidade de transportar o equipamento de estação para estação que neste caso se pode fazer sem desmontar o scanner do tripé, o que melhora um pouco o rácio de tempo entre o VL3D e o tempo passado em campo.

2ª Sessão - Exterior do Arco				
Data:	12 de Outubro de 2010			
Início:	15h 50m			
Fim:	18h 00m			
Total (min):	130			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	2			
H	8			
M	10			
P	0			
Total	20	57,07	3.156.121	44%

Tabela 10-2: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 2ª sessão de VL3D.

Esta sessão corresponde apenas parcialmente ao que inicialmente se previra como a segunda sessão de VL3D. Nesta apenas foram recolhidas as nuvens de pontos correspondentes a parte das estações exteriores sem necessidade de plataforma.

- 01/02/2011 e 02/02/2011

A 3ª sessão de VL3D corresponde parcialmente ao que se previra inicialmente como vindo a ser a 2ª sessão. Esta estivera prevista inicialmente para o dia 25/09/2010 mas em virtude de dificuldades de compatibilização entre o aluguer da plataforma elevatória e o processo de autorização respectivo, apenas se veio a realizar nesta data. Da segunda sessão inicialmente prevista, nesta sessão fez-se a recolha das nuvens de pontos através da utilização de plataforma elevatória e das nuvens de pontos na frente do Arco ao nível do pavimento, utilizando tripé nestes casos.

A plataforma elevatória telescópica Genie S-125 com alcance de 38m utilizada nesta sessão foi transportada para o local em semi-reboque, descarregada em frente ao Arco e de seguida conduzida para a rua Augusta, local em que ficou estacionada até

ao início dos trabalhos conforme se ilustra na figura 10-25. À parte da descarga da plataforma, a realização desta sessão de trabalho teve lugar durante a noite para que se minimizassem eventuais conflitos com a circulação de pessoas e veículos. Mais uma vez, a Polícia Municipal de Lisboa acompanhou o desenvolvimento dos trabalhos e orientou o estacionamento da plataforma.



Figura 10-25: Sequência das operações de descarga e estacionamento da plataforma.

Estiveram presentes nesta sessão de campo o Eng. Gatinho Ramos (3D Total), o Arquitecto Luís Mateus (FAUTL), Valeria Sarobba (mestranda FAUTL/Politécnico de Turim), Maria Ramalho (IGESPAR), Paulo Figueiredo (Parque Expo/Frente Tejo), e Henrique Ribeiro (CML).

Para prevenir o acesso à plataforma e para servir de protecção relativamente à circulação de pessoas, foram colocadas baias metálicas de protecção em seu redor.

A imagem da figura 10-26 representa uma pré-visualização de uma nuvem de pontos recolhida através da plataforma elevatória com o scanner colocado em posição invertida.

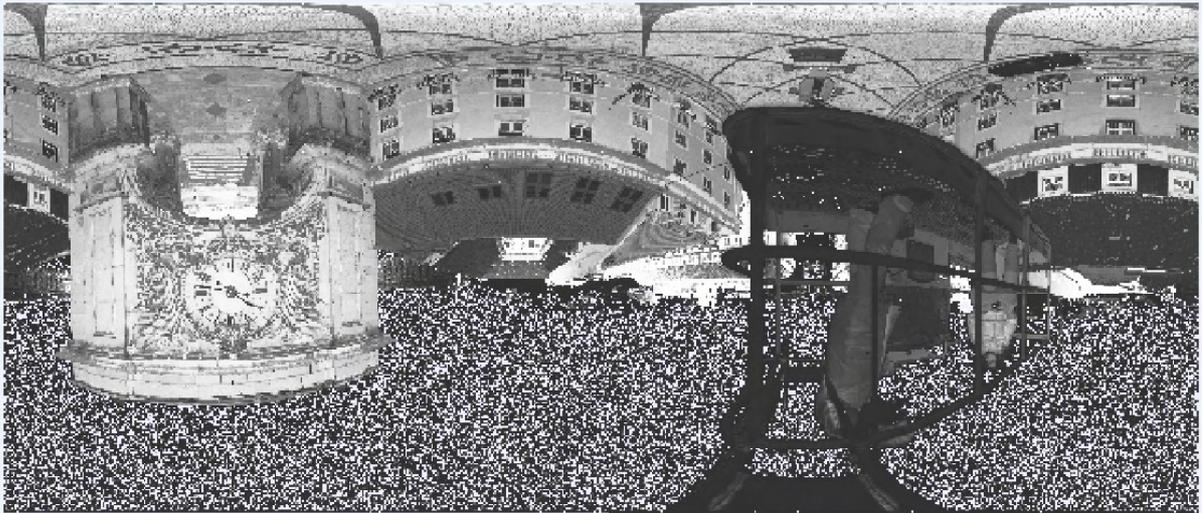


Figura 10-26: Imagem de pré visualização de nuvem de pontos. Pode observar-se a presença de dados espúrios correspondentes à plataforma elevatória. Note-se que esta nuvem de pontos foi recolhida com o scanner em posição invertida.

Pela leitura da imagem da figura 10-27 pode ter-se uma noção das condições em que se desenrolou esta sessão de VL3D. O dispositivo que se observa na figura à direita permite a fixação do scanner em posição invertida ou em posição normal. A posição invertida é muitas vezes preferível porque volta o cone de invisibilidade do scanner para cima.



Figura 10-27: À esquerda: vista da Rua Augusta a partir da plataforma elevatória. À direita: solução de fixação do scanner de VL3D, em posição invertida, ao cesto da plataforma elevatória.

Acabou por verificar-se possível efectuar todo o levantamento sem deslocar a plataforma elevatória para a via pública em frente ao Arco. Mantendo a plataforma sob o Arco e tirando partido do grau de liberdade de movimento do braço telescópico em torno de um eixo vertical, foi possível colocar sempre o scanner em posição adequada face ao Arco. Nesta situação, a maior precaução a considerar prendeu-se com as catenárias dos eléctricos e com a necessidade evidente de as evitar. Esta dificuldade ficou acrescida pelo facto de esta acção ter decorrido durante a noite.

Na tabela 10-3 faz-se o resumo dos dados recolhidos na terceira sessão de VL3D.

Foram recolhidas 47 nuvens de pontos, 5 das quais sem utilização de plataforma elevatória.

3ª Sessão - Zonas elevadas (plataforma)				
Data:	1 e 2 de Fevereiro de 2011			
Início:	18h 40m			
Fim:	05h 00m			
Total (min):	620			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	0			
H	47			
M	0			
P	0			
Total	47	158,23	8.184.484	26%

Tabela 10-3: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 3ª sessão de VL3D.

A sessão durou cerca de 10h e 20m. O rácio entre o tempo de VL3D estrito e o tempo passado em campo foi de 26%. Este rácio explica-se pelo facto de que o manobrar da plataforma elevatória é uma operação complexa e demorada que é necessário efectuar com muito cuidado para não causar danos à integridade física dos operadores nem ao edifício. Por outro lado, é necessário aguardar a estabilização da plataforma após o seu posicionamento. Relativamente às nuvens que se pretendia recolher com plataforma (26 nuvens) recolheram-se mais 16 (42 nuvens). Esta diferença explica-se pelo facto de a percepção do espaço sobre a plataforma ser

consideravelmente diferente da que se tem ao nível do pavimento o que levou a uma alteração do planeamento inicial.

O total das nuvens de pontos recolhidas nesta sessão e na anterior perfaz um total de 67 nuvens de pontos, 42 das quais recolhidas com a utilização da plataforma elevatória. Este total corresponde a mais 17 nuvens de pontos que o estimado inicialmente para o que se previra ser a segunda sessão de VL3D.

Paralelamente ao varrimento laser 3D foi feita uma documentação através de fotografia e vídeo. As imagens fotográficas tiradas sobre a plataforma terão posteriormente valor para as operações de caracterização do estado de conservação do Arco já que correspondem a pontos de vista sobre o objecto que não é possível ter ordinariamente.

● 17/02/2011

Esta sessão de VL3D, a quarta, não estava inicialmente prevista. A sua necessidade foi por nós assumida como consequência de informações segundo as quais haveria espaços na estrutura do Arco actualmente ocupados pelos serviços do Ministério da Justiça. Face à previsível pequena extensão daqueles espaços, considerou-se suficiente que o planeamento do levantamento se fizesse no local.

Após autorização dada pelo Ministério da Justiça para realização daquela acção, foi levada a cabo.

Verificou-se que aqueles espaços correspondem a dois níveis: i) ao nível inferior no pilar noroeste (figura 10-28 à esquerda), e ii) ao nível intermédio no pilar noroeste (figura 10-28 à direita).

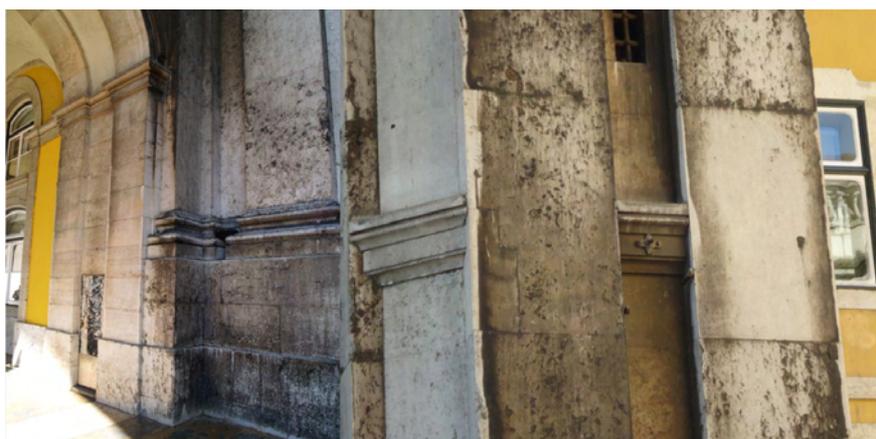


Figura 10-28: À esquerda: vista de porta emparedada de acesso a um espaço do Arco situado de forma presumivelmente simétrica relativamente à actual entrada. À direita: vão indiciador de espaço situado no pilar nordeste em nível intermédio.

A imagem da figura 10-29 corresponde a uma pré visualização de uma nuvem de pontos recolhida no espaço utilizado pelos serviços do Ministério da Justiça.

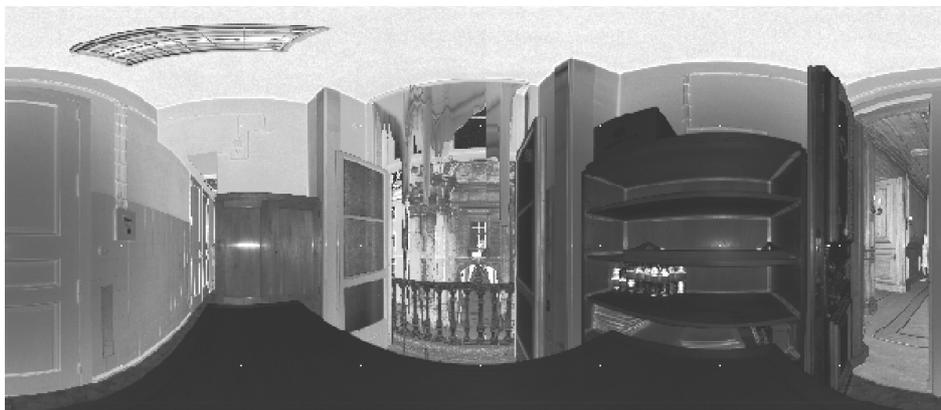


Figura 10-29: Pré visualização de nuvem de pontos recolhida no espaço do Arco utilizado pelos serviços do Ministério da Justiça.

Na tabela 10-4 faz-se o resumo dos dados recolhidos na quarta sessão de VL3D. Foram recolhidas 8 nuvens de pontos. A sessão durou cerca de 40m. O rácio entre o tempo de VL3D estrito e o tempo passado em campo foi de 42%. Trata-se de um rácio semelhante ao das sessões um e dois como seria de esperar.

4ª Sessão - Espaços do MJ				
Data:	17 de Fevereiro de 2011			
Início:	11h 00m			
Fim:	11h 40m			
Total (min):	40			
Resolução	Quantidade	Tempo de Scanning (min)	Tamanho (Kb)	Rácio entre tempo de scanning e tempo total
S	0			
H	2			
M	6			
P	0			
Total	8	16,73	516.745	42%

Tabela 10-4: Resumo da recolha dos dados relativos a nuvens de pontos correspondentes à 4ª sessão de VL3D.

- 11/05/2011

Já na fase final do processamento dos dados foi ainda necessário efectuar uma sessão fotográfica complementar para suprir lacunas de informação nas nuvens de pontos relativas a alguns elementos a restituir como foi o caso da clarabóia (figura 10-30). Esta foi realizada pelo Arquitecto Luís Mateus.



Figura 10-30: Pormenor da clarabóia da sala do Relógio. Este tipo de pormenor não ficou bem caracterizado nas nuvens de pontos.

- 23/05/2011

Após a entrega do levantamento do Arco foi feita a remoção dos alvos e a entrega da chave à DRCLVT, momento a partir do qual se deixou de ter acesso às instalações.

- No CD anexo pode ser observado o registo das operações de campo feito sobre os documentos de preparação (006_ARA.pdf).

Descrição dos dados recolhidos:

- Os dados resultantes do levantamento topográfico foram-nos apresentados sob a forma de uma listagem de coordenadas em que cada alvo aparece cinco vezes, tantas quantas as que foi observado conforme a tabela 10-5.

FRENTE					TRASEIRA				
Número	Coord.X	Coord.Y	Coord.Z	Código	Número	Coord.X	Coord.Y	Coord.Z	Código
2	991.0560	2073.0370	130.6130	K	63	1008.9680	2086.6830	130.5600	K
3	1008.3300	2073.0860	130.6110	K	64	999.9220	2086.6090	130.5020	K
4	981.8570	2075.9620	117.0770	K	65	990.3170	2086.6910	120.5740	K
5	1017.5680	2075.0650	117.2270	K	66	1008.5990	2086.7200	117.3970	K
6	982.6590	2075.9610	102.7440	K	67	990.7570	2086.6480	117.3340	K
7	994.4080	2072.9200	102.6970	K	68	1008.3910	2086.6570	102.7380	K
8	994.8630	2083.7570	102.6920	K	69	1004.8360	2086.6930	102.7840	K
9	1004.5510	2083.7930	102.7660	K	70	1004.5510	2075.9560	102.7370	K
10	1005.0280	2072.9540	102.7630	K	71	994.8360	2075.8270	102.6790	K
11	1016.7640	2076.0560	102.8560	K	72	994.7910	2086.6570	102.7860	K
12	995.7140	2073.1910	131.4530	K	73	991.0960	2086.6050	102.7470	K
13	1004.1240	2073.2010	131.8900	K	74	1008.9700	2086.6810	130.5610	K
14	991.0560	2073.0350	130.6120	K	75	999.9230	2086.6090	130.5010	K
15	1008.3300	2073.0870	130.6100	K	76	990.3180	2086.6310	130.5740	K
16	1017.5690	2076.0680	117.2270	K	77	1008.5980	2086.7170	117.3970	K
17	981.8580	2075.9580	117.0770	K	78	990.7590	2086.6490	117.3320	K
18	982.6570	2075.9640	102.7440	K	79	1008.3900	2086.6590	102.7380	K
19	994.4080	2072.9230	102.6970	K	80	1004.8370	2086.6930	102.7810	K
20	994.8660	2083.7610	102.6910	K	81	1004.5520	2075.8560	102.7380	K
21	1004.5500	2083.7920	102.7690	K	82	994.8370	2075.8270	102.6780	K
22	1005.0280	2072.9520	102.7640	K	83	994.7900	2086.6590	102.7860	K
23	1016.7630	2076.0570	102.8540	K	84	991.0960	2086.6060	102.7470	K
24	1004.1210	2073.2010	131.8790	K	85	1008.9700	2086.6810	130.5610	K
25	995.7130	2073.1870	131.4530	K	86	999.9230	2086.6110	130.5020	K
26	991.0560	2073.0370	130.6150	K	87	990.3180	2086.6320	130.5710	K
27	1008.3280	2073.0870	130.6130	K	88	1008.5960	2086.7180	117.3970	K
28	981.8580	2075.9610	117.0770	K	89	990.7590	2086.6510	117.3320	K
29	1017.5680	2076.0680	117.2270	K	90	1008.3910	2086.6600	102.7370	K
30	982.6600	2075.9620	102.7450	K	91	1004.8360	2086.6930	102.7810	K
31	994.4070	2072.9230	102.7000	K	92	1004.5520	2075.8560	102.7370	K
32	994.8620	2083.7570	102.6910	K	93	994.8370	2075.8290	102.6780	K
33	1004.5500	2083.7900	102.7690	K	94	994.7910	2086.6630	102.7860	K
34	1005.0270	2072.9530	102.7660	K	95	991.0960	2086.6090	102.7450	K
35	1016.7620	2076.0560	102.8550	K	96	1008.9680	2086.6810	130.5610	K
36	1004.1230	2073.2010	131.8780	K	97	999.9220	2086.6070	130.5050	K
37	995.7130	2073.1930	131.4530	K	98	990.3180	2086.6310	130.5760	K
38	991.0550	2073.0390	130.6160	K	99	1008.5990	2086.7230	117.3950	K
39	1008.3290	2073.0900	130.6110	K	100	990.7580	2086.6510	117.3310	K
40	981.8580	2075.9620	117.0770	K	101	1008.3920	2086.6590	102.7360	K
41	1017.5670	2076.0670	117.2280	K	102	1004.8350	2086.6980	102.7830	K
42	981.8590	2075.9600	117.0790	K	103	1004.5520	2075.8560	102.7390	K
43	1017.5680	2076.0720	117.2230	K	104	994.8380	2075.8290	102.6800	K
44	982.6590	2075.9640	102.7420	K	105	994.7900	2086.6610	102.7860	K
45	994.4070	2072.9230	102.7000	K	106	991.0960	2086.6070	102.7450	K
46	994.8630	2083.7600	102.6910	K	107	1008.9690	2086.6820	130.5610	K
47	1004.5500	2083.7900	102.7700	K	108	999.9240	2086.6110	130.5030	K
48	1005.0280	2072.9550	102.7660	K	109	990.3180	2086.6310	130.5740	K
49	1016.7650	2076.0570	102.8540	K	110	1008.5980	2086.7250	117.3950	K
50	1004.1230	2073.2030	131.8780	K	111	990.7580	2086.6520	117.3310	K
51	995.7130	2073.1980	131.4510	K	112	1008.3910	2086.6580	102.7360	K
52	991.0550	2073.0370	130.6130	K	113	1004.8360	2086.6960	102.7820	K
53	1008.3290	2073.0860	130.6140	K	114	1004.5520	2075.8560	102.7370	K
54	981.8560	2075.9600	117.0790	K	115	994.8360	2075.8320	102.6760	K
55	1017.5680	2076.0660	117.2270	K	116	994.7890	2086.6610	102.7860	K
56	982.6610	2075.9620	102.7460	K	117	991.0970	2086.6080	102.7450	K
57	994.4070	2072.9250	102.6950	K					
58	994.8620	2083.7640	102.6990	K					
59	1004.5520	2083.7920	102.7660	K					
60	1005.0280	2072.9530	102.7640	K					
61	1016.7630	2076.0570	102.8530	K					

Número	Coord.X	Coord.Y	Coord.Z	
1	1000.000	2000.000	100.000	K
62	999.7400	2147.2950	100.618	K

Tabela 10-5: Coordenadas dos alvos resultantes do levantamento topográfico. São apresentados os resultados de cinco séries de medições.

- Foram recolhidas cerca de 176 nuvens de pontos (mais 30 que o previsto), 42 (mais 16 que o previsto) das quais com recurso a plataforma elevatória. A isto correspondeu aproximadamente 8 horas de varrimento efectivo, e aproximadamente 20Gb de dados recolhidos distribuídos por quatro sessões de trabalho de campo (tabela 10-6). As nuvens de pontos foram-nos fornecidas pela 3D Total no formato *.zfs, o formato nativo do equipamento de varrimento laser utilizado, o scanner ZF 5006i. A cada nuvem de pontos corresponde ainda um ficheiro de pré visualização no formato *.jpg que permite, de forma rápida para o utilizador, reconhecer a sua localização.

ARCO DA RUA AUGUSTA - RESUMO DE DADOS - NUVENS DE PONTOS							
Resolução	Tempo unitário (min)	Nº de nuvens de pontos por resolução	Tempo de scanning por sessão (min)	Tamanho dos dados por sessão (Kb)	Nº de nuvens de pontos por sessão	Sessão	Data
S	6,73	3	224,85	9.130.027	101	1ª Sessão	24-09-2010
H	3,37	88	57,07	3.156.121	20	2ª Sessão	12-10-2010
M	1,67	84	158,23	8.184.484	47	3ª Sessão	01-02-2011
P	0,42	1	16,73	516.745	8	4ª Sessão	17-02-2011
		176	456,88	20.987.377	176	Total final	

Tabela 10-6: Resumo descritivo das nuvens de pontos recolhidas.

- Durante este processo foram recolhidas 693 imagens fotográficas e 45 vídeos, perfazendo um total de aproximado de 7.9Gb de informação, como se pode verificar pela análise das tabelas 10-7 e 10-8.

ARCO DA RUA AUGUSTA - RESUMO DE DADOS - FOTOS					
Nº de fotos	Tamanho total (Kb)	Formato	Câmara	Pasta	Descrição / Pessoas presentes
25	91.010	*.jpg	Olympus E-500	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100521_visita_previa	1ª Vista prévia ao Arco com Luís Mateus (FAUTL), José Aguiar (FAUTL), Delgado Rodrigues (LNEC), Sérgio Fernández (Atelier 15), Paulo Figueiredo (Parque Expo / Frente Tejo), Antónia Tinture (IGESPAR), Antónia Athayde (DRCLVT), Elisabeth Carnevalheira (DRCLVT)
46	127.391	*.jpg	Sony Cyber Shot DSC-W320	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100915_visita_previa	2ª Visita de reconhecimento geral e ensaio de colagem de alvo (Luís Mateus)
9	24.943	*.jpg	Sony Cyber Shot DSC-W320	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100917_preparacao	Fabricação dos alvos (Luís Mateus)
99	305.595	*.jpg	Sony Cyber shot DSC-W320	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100922_23_preparacao	Colagem dos alvos e levantamento topográfico (Luís Mateus - FAUTL, Victor Ferreira - FAUTL, Fernando Leitão - DRCLVT)
93	275.213	*.jpg	Sony Cyber shot DSC-W320	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100924_VL3D_1_sessao	Documentação da 1ª sessão de varrimento laser 3D (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Victor Ferreira - FAUTL)
78	82.542	*.jpg	SAMSUNG GT-I5700	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100924_VL3D_1_sessao_victor	Documentação da 1ª sessão de varrimento laser 3D (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Victor Ferreira - FAUTL)
51	703.622	*.orf	Olympus SLR E-500	.J07_Arco_Rua_Augusta_20110201_mapear01	Recolha de imagens durante a 3ª sessão de varrimento laser 3D em que se utilizou a plataforma (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Valeria Sarobba - FAUTL/Politécnico de Turim, Henrique Ribeiro - CML, Paulo Figueiredo - Parque Expo / Frente Tejo, Maria Ramalho - IGESPAR)
72	993.348	*.orf	Olympus SLR E-500	.J07_Arco_Rua_Augusta_20110201_mapear02	Recolha de imagens durante a 3ª sessão de varrimento laser 3D em que se utilizou a plataforma (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Valeria Sarobba - FAUTL/Politécnico de Turim, Henrique Ribeiro - CML, Paulo Figueiredo - Parque Expo / Frente Tejo, Maria Ramalho - IGESPAR)
109	321.136	*.jpg	Sony Ciber Shot DSC-W320	.J07_Arco_Rua_Augusta_20110201_VL3D_3_sessao	Documentação da 3ª sessão de varrimento laser 3D (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Valeria Sarobba - FAUTL/Politécnico de Turim, Henrique Ribeiro - CML, Paulo Figueiredo - Parque Expo / Frente Tejo, Maria Ramalho - IGESPAR)
111	311.288	*.jpg	Sony Cyber shot DSC-W320	.J07_Arco_Rua_Augusta_20110511_complemento	Recolha de informação complementar ao levantamento (Luís Mateus - FAUTL)
693	3.236.088				

Tabela 10-7: Resumo descritivo das imagens recolhidas.

ARCO DA RUA AUGUSTA - RESUMO DE DADOS - VIDEOS					
Nº de vídeos	Tamanho total (Kb)	Formato	Câmara	Pasta	Descrição / Pessoas presentes
2	10.550	*.avi	Canon Legria FS19	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100915_visita_previa	2ª Visita de reconhecimento geral e ensaio de colagem de alvo (Luís Mateus)
3	35.539	*.avi	Canon Legria FS19	.J07_Arco_Rua_Augusta_20100924_VL3D_1_sessao	Documentação da 1ª sessão de varrimento laser 3D (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Victor Ferreira - FAUTL)
40	5022676	*.mod	Canon Legria FS19	.J07_Arco_Rua_Augusta_20110201_VL3D_3_sessao_video	Documentação da 3ª sessão de varrimento laser 3D (Luís Mateus - FAUTL, Gatinho Ramos - 3D Total, Valeria Sarobba - FAUTL/Politécnico de Turim, Henrique Ribeiro - CML, Paulo Figueiredo - Parque Expo / Frente Tejo, Maria Ramalho - IGESPAR)
45	5.068.764				

Tabela 10-8: Resumo descritivo dos vídeos recolhidos.

- No CD anexo pode ser observada uma listagem completa dos dados recolhidos no que respeita a nuvens de pontos e imagens fotográficas recolhidas (007_ARA.pdf).

Desvio em relação às previsões:

- Entre o planeamento da recolha dos dados e a sua recolha efectiva verificaram-se alguns desvios. De alguma forma já foram ficando patentes ao longo das descrições anteriores.
- A primeira questão a relevar está relacionada com a gestão de pedidos de autorização às várias entidades que, de alguma forma, são responsáveis pelos espaços ou edifícios que é necessário ocupar. Esta gestão de autorizações nem sempre é um processo claro e célere, o que pode motivar, e neste caso motivou, atrasos.

Em particular, a autorização para utilização da plataforma elevatória dependia de várias entidades. Por um lado caberia à DRCLVT coordenar o processo. A autorização deveria ser solicitada à Divisão de Ambiente e Espaço Público da Câmara Municipal de Lisboa, após o que deveria ser contactada a Polícia Municipal de Lisboa para contratação de acompanhamento dos trabalhos. Por outro lado verificou-se, já após o início do processo, e por isso não considerado desde o início, que, tanto a autorização da CML como a contratação do acompanhamento policial implicavam custos elevados que ficavam fora do orçamentado para esta operação. Acrescia a esta situação o facto de os prazos para a instrução da solicitação de autorização, cerca de 15 dias úteis, não serem compatíveis com a capacidade de previsão meteorológica. Por estas razões verificou-se um impasse que durou cerca de quatro meses. Só foi possível ultrapassar este impasse através do envolvimento directo do gabinete da presidência da Câmara Municipal de Lisboa que, através da pessoa do Sr. Assessor Henrique Ribeiro, assegurou a autorização pretendida face ao carácter extraordinário e interesse dos trabalhos a realizar.

Esta questão levou a que o que inicialmente se previra como sendo a segunda sessão de varrimento laser 3D se tenha subdividido no que acabou por ser a segunda e terceira sessão de varrimento laser.

- A segunda questão que importa relevar prende-se com a intenção de não perder a oportunidade de documentar os espaços do Arco da Rua Augusta que hoje apenas são apenas acessíveis através das instalações do Ministério da Justiça. Inicialmente, a DRCLVT não havia considerado ser necessário registar estes espaços. Porém, entendemos que fazia todo o sentido registá-los dado que poderiam ser considerados de interesse no âmbito de acções posteriores ao projecto de Conservação do Arco. Este facto implicou mais um pedido de autorização e mais uma deslocação a campo.

- Notamos também que o número de estações de varrimento laser cumpridas (186) e o número de estações laser previstas (146) diverge, sendo aquele número maior que este. Este facto resulta das necessárias readaptações do planeamento que se verificam em campo como função no decurso dos trabalhos. Não significa que o planeamento tenha sido deficiente. Quer antes dizer que é necessário haver alguma flexibilidade entre o planeamento e a acção para poder incorporar contributos e observações que só é possível realizar durante a acção.
- No nosso planeamento inicial previmos dois dias para a realização do levantamento de campo de varrimento laser. Acabámos por necessitar de nos deslocar a campo o dobro das vezes. O que se previra como sendo dois dias sequenciais, acabou por se transformar em quatro dias dispersos por quatro meses. Valeu o facto de esta componente das operações ter sido antecipada em relação ao calendário formal do Projecto de Conservação uma vez que foi integrada no projecto de investigação: “Contributos para o Projecto de Conservação do Património: Metodologia documental baseada na fotogrametria digital e digitalização laser 3D terrestres”, referência FCT:PTDC/AUR/66476/2006.

A.10.2.2. PROCESSAMENTO DE DADOS

Descrição do processamento dos dados incluindo os meios técnicos, a validação e as formas de organização dos materiais finais:

- A metodologia global de processamento dos dados seguiu, no essencial, as etapas previstas. Também se verificou que algumas etapas tiveram momentos em que se desenvolveram em paralelo. As etapas e a ordem global pela qual foram executadas foram as seguintes: i) construção de um modelo tridimensional de nuvens de pontos, ii) processamento dos dados topográficos, iii) orientação absoluta do modelo de nuvens de pontos, iv) extracção de secções e orto-imagens parciais do modelo de nuvens de pontos, v) produção de orto-imagens de síntese, vi) desenho de secções tipo em 2D, vii) desenho de plantas, cortes, alçados e pormenores, e viii) produção em paralelo de informação variada, conforme solicitado, para acompanhar os processos de caracterização do estado de conservação e projecto.
- Construção de um modelo tridimensional de nuvens de pontos:
Esta etapa compreendeu os seguintes passos: a) importação das nuvens de pontos, b) limpeza e eliminação de dados espúrios, c) orientação relativa das nuvens de pontos com base no algoritmo ICP, d) avaliação visual da qualidade da orientação relativa. Esta etapa teve lugar entre 12 de Janeiro de 2011 e 1 de Março de 2011. Foi utilizado o software JRC3D Reconstructor v 2.6.

a) A operação de importação de uma nuvem de pontos consiste em convertê-la do seu formato original, o formato *.zfs nativo do scanner utilizado, para um formato do software JRC3D Reconstructor. Nesta conversão, por cada ficheiro *.zfs, é gerado um ficheiro com a extensão *.rgp e uma pasta com vários ficheiros correlacionados contendo informação deiversa. Por vezes é compensador, logo nesta operação, proceder à remoção de dados espúrios. Esta é feita através de uma selecção numa janela de pré-visualização da nuvem de pontos conforme se ilustra na figura 10-31. Note-se que não é forçoso importar as nuvens todas de uma só vez.



Figura 10-31: Importação de uma nuvem de pontos a partir de uma selecção feita na janela de pré-visualização.

b) A operação de limpeza e eliminação de dados espúrios consistiu na eliminação daquela informação que, para os fins pretendidos, pode ser considerada lixo. Para cada nuvem de pontos esta operação ocorreu geralmente em duas etapas. Numa primeira etapa é feito um processamento automático em que são aplicados filtros que removem pontos com base em vários parâmetros de qualidade definidos pelo operador. Esta operação também é designada de pré processamento. Estes parâmetros incluem valores de corte para a reflectância, inclinação do feixe laser, distância dos pontos ao scanner, entre outros. Numa segunda etapa é feita uma remoção manual de pontos. Esta permite remover pontos relativos a pessoas, veículos, plataforma elevatória, ruído devido a materiais reflectantes como vidro ou superfícies metálicas, ou seja, informação que até pode ter valor semântico mas que não interessa reter (figura 10-32).

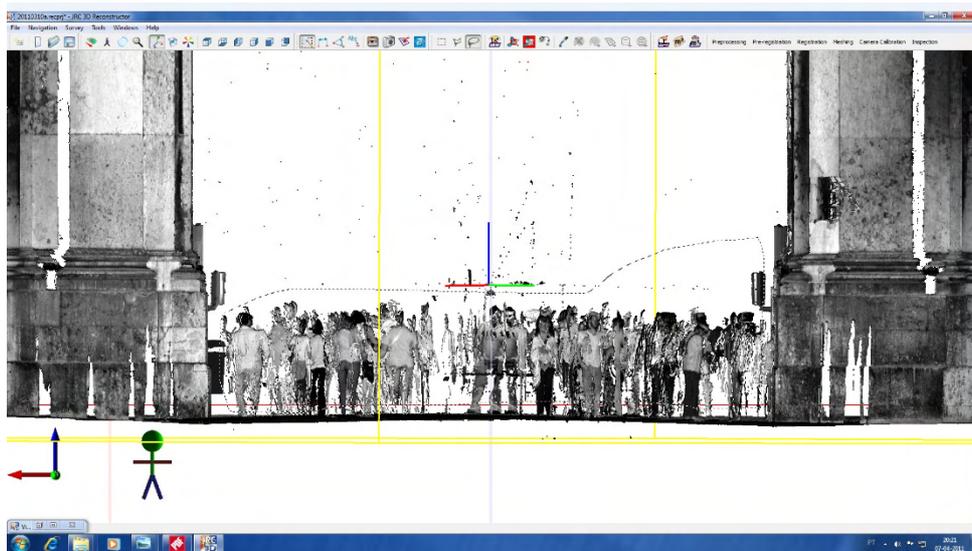


Figura 10-32: Eliminação de pontos relativos a pessoas que ficaram registadas na nuvem de pontos.

c) Para a operação de orientação relativa das nuvens de pontos elegeu-se o sistema de coordenadas da nuvem 05 como sistema de referência, relativamente ao qual todas as nuvens foram orientadas. Esta é uma operação sequencial que vai adicionando uma nuvem de cada vez àquele sistema de coordenadas. A orientação relativa tem opera-se em dois momentos. Primeiramente é feita uma aproximação manual da posição da nuvem à posição correcta. Esta faz-se através da correspondência de um mínimo de três pontos homólogos identificados em duas nuvens de pontos, uma tomada como fixa e outra como móvel, tal como se ilustra na figura 10-33.

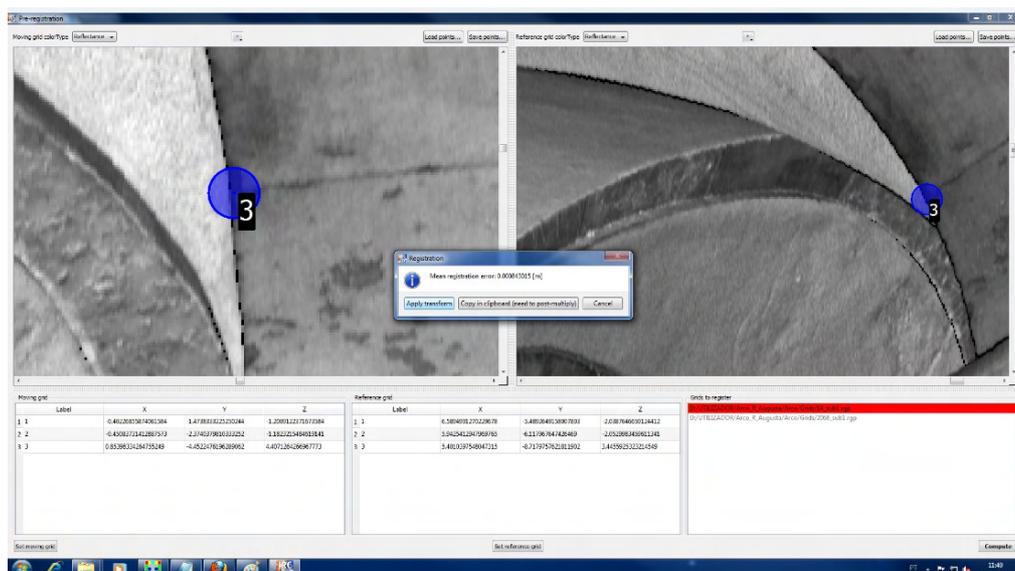


Figura 10-33: Pré orientação de uma nuvem de pontos através da identificação de pontos homólogos.

Nesta operação é calculada uma transformação rígida que efectua uma orientação aproximada da nuvem de pontos. De seguida a orientação é otimizada através da aplicação do algoritmo ICP (figura 10-34). Trata-se de um processo iterativo que é terminado quando é atingido um dos valores de corte definidos pelo operador. Porém este processo implica que se faça um processamento prévio das nuvens de pontos de modo a ser calculada uma superfície implícita. O cálculo desta superfície implícita acrescenta uma série de novos parâmetros à nuvem de pontos, como por exemplo os vectores normais à superfície, descontinuidades, entre outros. Deste modo a quantidade de dados associados às nuvens de pontos aumenta.

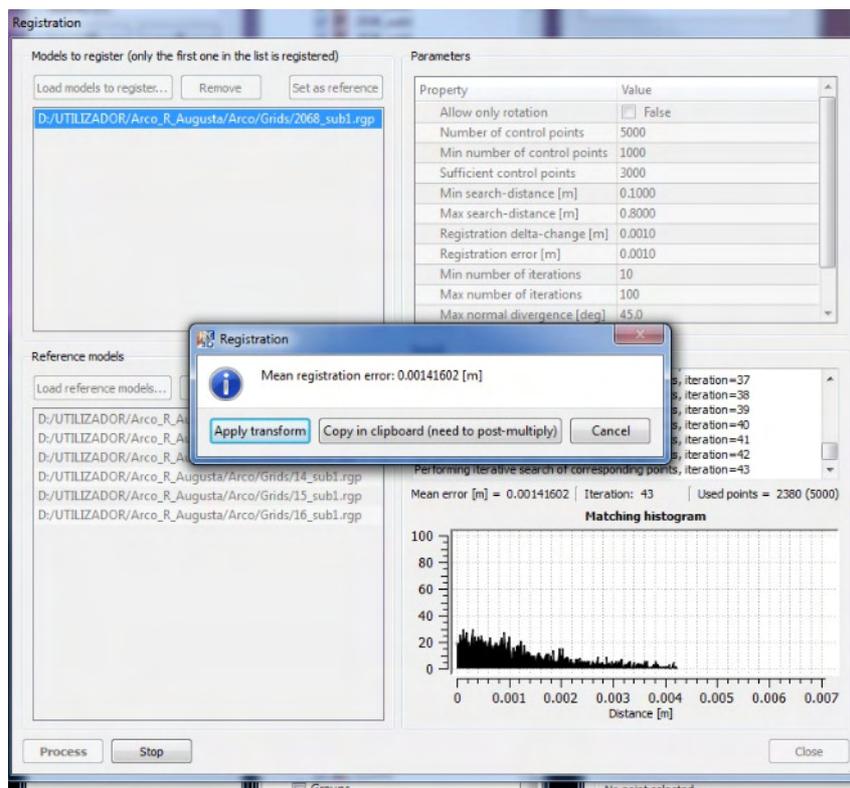


Figura 10-34: Optimização do processo de orientação de uma nuvem de pontos através da aplicação do algoritmo ICP.

O valor médio do Erro Quadrático Médio (RMSE) das orientações relativas foi de 0,0022m. Na tabela 10-9 sumarizam-se os valores daquele erro em intervalos. Verifica-se que na esmagadora maioria das operações de optimização da orientação relativa o RMSE ficou abaixo dos 3mm.

RMSE das orientações relativas (m)	Nº
menor que 0.003	141
entre 0.003 e 0.005	37
entre 0.005 e 0.007	5
maior que 0.007	2
Total de orientações	185

Tabela 10-9: Tabela resumo dos valores dos RMSE resultantes do processo de otimização da orientação relativa.

A estratégia global seguida consistiu em definir um esqueleto do modelo tridimensional que o fechasse e ligasse interior e exterior pelo caminho mais curto possível. Por caminho mais curto deve entender-se, utilizar o menor número possível de nuvens de pontos. A nuvem 05 (ao centro sob o Arco) foi a escolhida para definir o sistema de coordenadas local inicial por se tratar de uma nuvem central em relação ao objecto. Também se considerou prudente, para minimizar erros na construção do modelo, deixar para o final as nuvens de pontos correspondentes à utilização da plataforma elevatória pois não se sabia até que ponto aquela se manteve estável durante o processo de varrimento. Com efeito, pela análise visual destas nuvens de pontos foi possível verificar que algumas apresentavam artefactos devido ao movimento da plataforma motivado pelo vento, tal como se pode observar na figura 10-35.



Figura 10-35: Nuvem de pontos com aspecto ondulado resultante do movimento da plataforma motivado pelo vento.

Para além da apreciação do valor do erro médio quadrático de cada operação de orientação, que deve ser sempre baixo e dentro do que é definido como a exactidão do equipamento de varrimento laser para as distâncias em causa, é necessário

inspeccionar visualmente os resultados. Assim, à medida que o processo vai avançando, devem ir-se controlando os resultados. A estratégia seguida consistiu em definir um conjunto de três planos ortogonais entre si e visualizar de forma dinâmica a variação da secção que cada um destes planos produz no modelo. Na figura 10-36 pode observar-se o resultado de uma orientação relativa deficiente. Este tipo de resultado pode ocorrer mesmo que o erro médio quadrático da optimização da orientação relativa seja aparentemente aceitável. Isto pode dever-se a uma aproximação inicial deficiente e/ou a situações em que as superfícies de referência são aproximadamente planas. Nestes casos a convergência pode dar-se para os pontos de uma parede, por exemplo, descartando pontos de outra parede que também deveriam ser considerados.

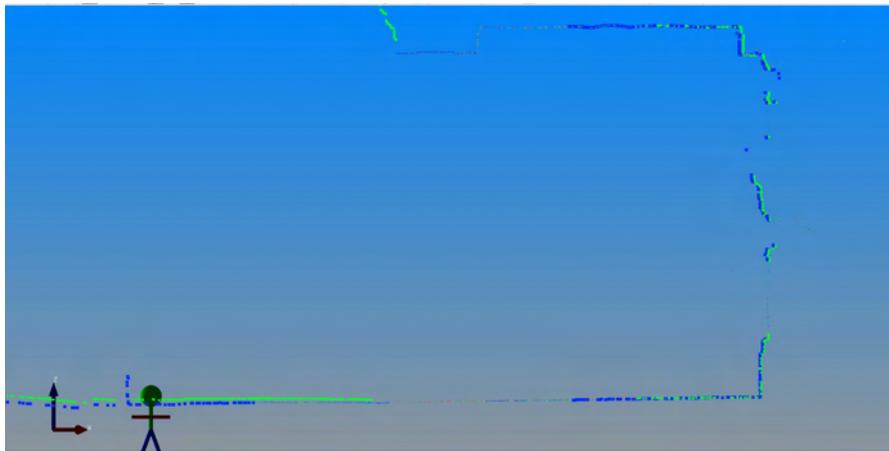


Figura 10-36: Mau resultado de uma operação de orientação relativa. As linhas (sequências de pontos) correspondentes não estão alinhadas.

Por esta razão, é conveniente não deixar esta inspeção toda para o final pois correm-se riscos de erros intermédios virem a afectar a qualidade final do modelo.

Na figura 10-37 é apresentada uma vista parcial do modelo final, em que este já foi contido numa caixa envolvente (bounding box), tendo-se eliminado os dados fora desta caixa.

O somatório do tamanho dos vários ficheiros correspondentes às nuvens de pontos processadas e orientadas foi de aproximadamente 240Gb.

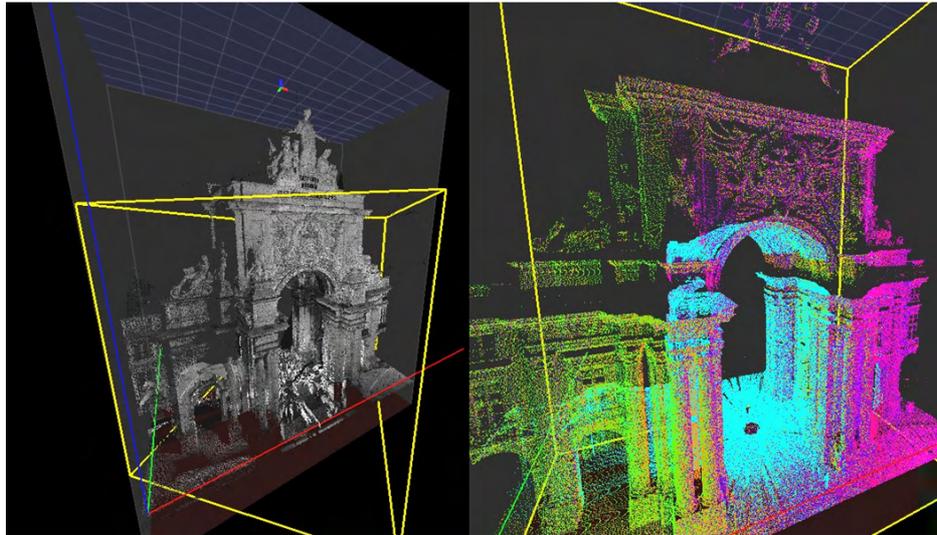


Figura 10-37: Modelo tridimensional final (parcial). À esquerda com textura de reflectância. À direita as nuvens de pontos são diferenciadas através da cor.

No CD anexo pode ser consultado o registo das operações de orientação relativa bem como uma listagem das matrizes de posição de cada nuvem que resultaram daquela operação (008_ARA.pdf).

- **Processamento dos dados topográficos:**

Relatam-se neste momento as operações de tratamento dos dados topográficos. Com efeito, este relato podia ter sido feito no início. Note-se no entanto que a metodologia seguida para a construção do modelo tridimensional não necessitou dos dados topográficos. Estes vão ser necessários agora para proceder à orientação absoluta, embora num referencial local, do modelo tridimensional.

Para cada alvo foram feitas cinco leituras de que resultaram cinco séries de coordenadas. Os valores foram ordenados e verificou-se que numa das séries os alvos 05 e 06 foram medidos em duplicado, ficando os alvos 09 e 10 por medir nessa série. De seguida calculou-se, para cada alvo, a média das coordenadas obtidas e verificou-se que o desvio de cada uma das coordenadas em relação à sua média nunca ultrapassou os 4mm. Daqui resultou um conjunto de valores assumidos como as coordenadas de referência dos 23 alvos. Para operar com valores pequenos considerou-se ainda uma translação das coordenadas. O resultado final indica-se na tabela 10-10. À direita na tabela indica-se a média quadrática dos desvios à média para as coordenadas de cada um dos alvos. Estes valores são indicadores da precisão da operação de posicionamento dos alvos. Considerou-se a média quadrática dos desvios na coordenada z, no plano xy, e espacialmente em xyz.

MÉDIA DAS CINCO SÉRIES (após translação) - m					MÉDIA QUADRÁTICA DOS DESVIOS		
Alvo nº.	X'	Y'	Z'	Estação	dx	dxy	dxyz
1	2,659	5,963	2,744	1	0,001	0,002	0,002
2	14,407	2,923	2,698	1	0,002	0,002	0,003
3	25,028	2,953	2,765	1	0,001	0,001	0,002
4	36,763	6,057	2,854	1	0,001	0,001	0,002
5	1,857	5,960	17,078	1	0,001	0,002	0,002
6	37,568	6,068	17,227	1	0,002	0,002	0,003
7	11,056	3,037	30,614	1	0,001	0,001	0,002
8	15,713	3,190	31,453	1	0,001	0,002	0,003
9	24,123	3,202	31,879	1	0,001	0,001	0,002
10	28,329	3,087	30,612	1	0,001	0,002	0,002
11	14,863	13,760	2,691	1	0,001	0,003	0,003
12	24,551	13,791	2,768	1	0,002	0,001	0,002
13	24,552	5,856	2,738	2	0,001	0,001	0,001
14	14,837	5,829	2,678	2	0,001	0,002	0,002
15	28,391	16,659	2,737	2	0,001	0,001	0,001
16	24,836	16,696	2,782	2	0,001	0,002	0,003
17	14,790	16,660	2,786	2	0,000	0,002	0,002
18	11,096	16,607	2,745	2	0,001	0,002	0,002
19	28,598	16,721	17,396	2	0,001	0,003	0,003
20	10,758	16,650	17,332	2	0,001	0,002	0,002
21	28,969	16,681	30,561	2	0,000	0,001	0,001
22	19,923	16,609	30,503	2	0,001	0,002	0,002
23	10,318	16,631	30,574	2	0,002	0,001	0,002

Tabela 10-10: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes do levantamento topográfico de apoio. Estes valores foram obtidos após uma translação dos valores iniciais.

No CD anexo pode ser consultado o tratamento dos dados topográficos (009_ARA.pdf).

- Orientação absoluta do modelo de nuvens de pontos:

Esta operação consistiu em duas etapas gerais: a) extracção das coordenadas dos alvos topográficos nas nuvens de pontos, e b) cálculo e aplicação de uma transformação com base nas coordenadas homólogas dos pontos obtidas pelo processo topográfico e no modelo de nuvens de pontos.

a) Para a extracção das coordenadas dos alvos nas nuvens de pontos consideraram-se dois procedimentos distintos de que resultaram o que designámos por quatro medições.

Na primeira medição procedeu-se do seguinte modo.

Cada alvo fica registado na nuvem de pontos através de um número elevado de pontos. Se o alvo tiver ficado perto da estação de varrimento laser é provável que tenha ficado registado com mais pontos do que se tiver ficado longe. Por outro lado é pouco provável que um dos pontos da nuvem de pontos corresponda exactamente ao centro do alvo, cuja coordenada nos interessa apurar. Por esta razão seguiu-se o seguinte procedimento. Para cada alvo escolheu-se a nuvem de pontos que melhor o regista, isto é, aquela em que o alvo aparece registado com a maior densidade de pontos, e efectuou-se uma selecção de pontos a que se ajustou um plano através do critério dos mínimos quadrados. De seguida redimensionou-se o plano para a dimensão do alvo e efectuou-se uma translação (no plano do alvo) e uma rotação (em

torno do eixo ortogonal ao plano do alvo) do mesmo de modo a posicionar visualmente o seu centro no que aparenta ser o centro do alvo, como se ilustra na figura 10-38. A coordenada do centro do plano corresponderá à coordenada do alvo.

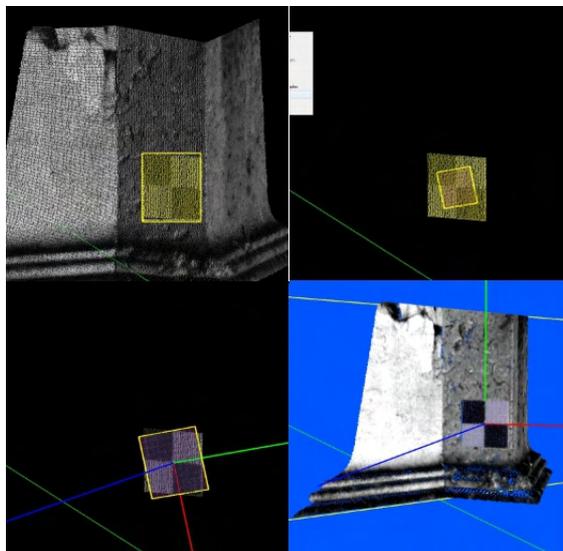


Figura 10-38: Posicionamento de um plano ajustado a um alvo – Medição 1.

A razão de ser desta operação prende-se com o facto de que o software utilizado para o processamento das nuvens de pontos não implementa nenhum algoritmo de detecção automática de alvos. Note-se ainda que esta operação apenas foi realizada para alvos identificáveis em nuvens de pontos em que não foi utilizada a plataforma elevatória, o que deixou os alvos 05, 06, 07, 08, 09, e 10, de fora (alvos colocados em posição elevada no alçado sul do Arco da Rua Augusta). Na tabela 10-11 apresentam-se os valores das coordenadas obtidos. A incerteza da realização desta operação está relacionada com a densidade de pontos da nuvem em análise na vizinhança do alvo e com a habilidade do operador para posicionar o centro do plano visualmente. Como esta operação só se realizou uma vez para cada alvo, dada a sua morosidade, não temos nenhum indicador numérico da precisão da operação. Nota-se ainda que algumas destas coordenadas serviram para calcular uma primeira transformação, que se referirá, descreverá e comentará adiante, que orientou aproximadamente o modelo, pelo que as coordenadas das medições seguintes vêm já expressas no novo sistema de coordenadas.

EXTRAÍDO DAS NUVENS DE PONTOS			
Medição 1			
(nuvens sem utilização de plataforma)			
Alvo nº	X	Y	Z
1	-14,6683	9,52394	0,70056
2	-8,66034	-1,01808	0,67039
3	-1,23175	-8,61078	0,75541
4	9,17582	-14,8569	0,86494
11	-0,57157	6,2118	0,67711
12	6,20338	-0,70936	0,76909
13	0,52343	-6,24977	0,75056
14	-6,27135	0,69522	0,67407
15	10,9418	-1,46631	0,76557
16	8,48707	1,10598	0,80548
17	1,45917	8,2791	0,7924
18	-1,15724	10,8877	0,74583
19	11,1009	-1,55588	15,4301
20	-1,39052	11,1777	15,3275
21	11,3027	-1,83649	28,5938
22	4,94581	4,59074	28,5215
23	-1,74068	11,4955	28,5712

Tabela 10-11: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 1 sobre as nuvens de pontos através do ajuste de planos.

Na segunda medição também foram considerados apenas os alvos identificáveis em nuvens de pontos em que não se utilizou a plataforma elevatória. Mas neste caso identificou-se visualmente o ponto da nuvem de pontos que mais se aproxima do centro do alvo. Esta operação foi realizada, conforme se ilustra na figura 10-39, para todas as nuvens em que o alvo foi de identificação fácil, tendo sido de seguida calculada a média dos valores obtidos.

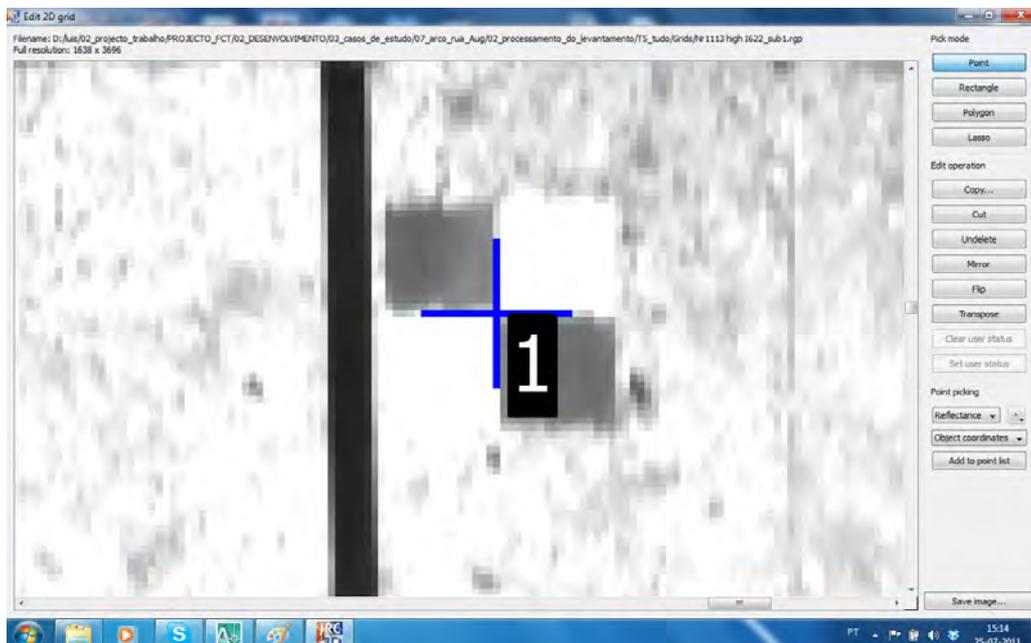


Figura 10-39: Identificação directa do centro do alvo – Medição 2.

Na tabela 10-12 são apresentados os valores das coordenadas dos alvos obtidos por este processo. À direita na tabela indica-se o número de observações de cada alvo, isto, é o número de nuvens de pontos em que cada alvo foi medido. Indica-se também a média quadrática dos desvios à média da posição de cada alvo em z, xy e yxz.

EXTRAÍDO DAS NUVENS DE PONTOS Medição 2 (nuvens sem utilização de plataforma)				MÉDIA QUADRÁTICA DOS DESVIOS			
Alvo nº	X	Y	Z	dz	dxy	dxyz	Nº de obs.
1	2,65677	5,96318	2,7391	0,001	0,004	0,005	3
2	14,4056	2,92135	2,69579	0,002	0,004	0,005	3
3	25,0305	2,95091	2,7656	0,000	0,007	0,007	2
4	36,7584	6,05779	2,84779	0,001	0,001	0,001	3
11	14,8609	13,7595	2,67985	0,003	0,002	0,004	6
12	24,5476	13,7896	2,75835	0,001	0,003	0,003	6
13	24,5574	5,8549	2,75296	0,001	0,002	0,003	4
14	14,8404	5,82682	2,69311	0,003	0,003	0,004	4
15	28,391	16,6597	2,73898	0,003	0,004	0,004	2
16	24,8381	16,6951	2,78963	0,002	0,003	0,004	3
17	14,791	16,6599	2,79194	0,005	0,003	0,006	4
18	11,1009	16,6033	2,75106	0,002	0,004	0,004	2
19	28,5943	16,7373	17,4002	0,002	0,002	0,003	2
20	10,7539	16,6616	17,3257	0,001	0,004	0,004	2
21	28,9531	16,7107	30,5781	—	—	—	1
22	19,9112	16,6383	30,5124	0,000	0,006	0,006	3
23	10,2996	16,6602	30,5816	0,001	0,003	0,003	2

Tabela 10-12: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 2 sobre as nuvens de pontos.

Pela comparação das médias quadráticas apresentadas à direita nas tabelas 10-10 e 10-12, pode concluir-se que esta forma de medir as coordenadas dos alvos é, em geral, menos precisa que a medição topográfica. No entanto, pode também afirmar-se que esta precisão é função da densidade das nuvens de pontos pelo que quanto mais densas maior a precisão obtida no posicionamento dos pontos. A precisão é menor quando os alvos apenas são registados a partir de estações desvantajosas, isto é, quando há obliquidade acentuada entre o feixe laser e a superfície do alvo.

A terceira medição consistiu na média entre os valores das duas primeiras medições, considerando já a transformação inicial adiante designada por T1. O interesse desta operação reside na possibilidade de verificar se existe uma grande diferença entre as duas formas de medir. Se elas corresponderem a exactidões semelhantes os desvios das medições 1 e 2 em relação à média não deverão ser significativos. Com efeito verifica-se que os desvios maiores ocorrem nos alvos 19, 20, 21, 22 e 23, isto é, alvos colocados em zonas superiores do Arco e relativamente aos quais as estações de varrimento laser estavam situadas bastante abaixo.

MEDIÇÃO 3 - (média das medições 1 e 2)				MÉDIA QUADRÁTICA DOS DESVIOS		
Alvo nº	X	Y	Z	dz	dxy	dxyz
1	2,65723	5,96311	2,73811	0,001	0,000	0,001
2	14,4046	2,92066	2,69469	0,001	0,001	0,002
3	25,0283	2,95137	2,76358	0,002	0,002	0,003
4	36,7592	6,05796	2,84727	0,001	0,001	0,001
11	14,8606	13,7594	2,68003	0,000	0,000	0,000
12	24,5465	13,7902	2,75749	0,001	0,001	0,001
13	24,5573	5,85553	2,75261	0,000	0,001	0,001
14	14,8407	5,82696	2,69225	0,001	0,000	0,001
15	28,3914	16,6598	2,7404	0,001	0,000	0,001
16	24,8373	16,6943	2,7885	0,001	0,001	0,002
17	14,7927	16,6583	2,79118	0,001	0,002	0,002
18	11,1004	16,6015	2,75046	0,001	0,002	0,002
19	28,5924	16,7375	17,4031	0,003	0,002	0,003
20	10,7533	16,6611	17,3289	0,003	0,001	0,003
21	28,9532	16,7105	30,5736	0,004	0,000	0,005
22	19,9124	16,6362	30,5119	0,000	0,002	0,002
23	10,3008	16,6576	30,5791	0,003	0,003	0,004

Tabela 10-13: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 3 correspondente à média das coordenadas obtidas nas medições 1 e 2.

Na quarta medição procedeu-se de modo análogo ao descrito para a medição 2 porém consideraram-se também as nuvens de pontos em que se utilizou a plataforma elevatória tendo a média sido calculada com todas as observações. Na tabela 10-14 registam-se os valores obtidos. Pela comparação da tabela 10-14 com os valores da tabela 10-12, em particular para os alvos comuns às duas tabelas, verifica-se que, ao considerar as nuvens de pontos obtidas com a utilização da plataforma, se pioram os indicadores de precisão do posicionamento dos alvos. Este facto era de esperar já que ao utilizar a plataforma elevatória introduz-se uma fonte provável de erro na medição das coordenadas. Porém, o facto de esta medição ser menos precisa não significa necessariamente que seja menos rigorosa.

MEDIÇÃO 4				Nº de nuvens c/ plat.	Nº de nuvens s/ plat.	MÉDIA QUADRÁTICA DOS DESVIOS		
Alvo nº	X	Y	Z			dz	dxy	dxyz
1	2,65625	5,96047	2,7389	3	3	0,006	0,005	0,008
2	14,4056	2,92135	2,69579		3	0,002	0,004	0,005
3	25,0305	2,95091	2,7656		2	0,000	0,007	0,007
4	36,7603	6,05828	2,84951	2	3	0,004	0,003	0,005
5	1,85126	5,97163	17,0654	3		0,005	0,001	0,006
6	37,5699	6,07707	17,2257	4		0,005	0,004	0,007
7	11,0519	3,05531	30,6068	4		0,004	0,004	0,005
8	15,7052	3,21571	31,4458	2		0,001	0,002	0,002
9	24,116	3,22897	31,8763	4		0,005	0,006	0,007
10	28,3231	3,10557	30,6137	4		0,003	0,015	0,015
11	14,8609	13,7596	2,67973	1	6	0,002	0,002	0,003
12	24,5478	13,7899	2,75776	2	6	0,002	0,003	0,003
13	24,5594	5,85667	2,75006	10	4	0,006	0,005	0,008
14	14,8434	5,82494	2,69132	11	4	0,009	0,005	0,010
15	28,3919	16,6624	2,74116	4	2	0,005	0,004	0,007
16	24,8399	16,6956	2,78739	6	3	0,007	0,004	0,009
17	14,7933	16,6602	2,7924	5	4	0,004	0,006	0,008
18	11,1003	16,6059	2,74749	2	2	0,006	0,006	0,008
19	28,5948	16,7343	17,4017	7	2	0,003	0,003	0,004
20	10,7572	16,6614	17,3343	8	2	0,006	0,006	0,009
21	28,9536	16,7113	30,5695	5	1	0,005	0,004	0,006
22	19,9118	16,6361	30,5113	5	3	0,003	0,006	0,007
23	10,3057	16,6604	30,5826	4	2	0,003	0,012	0,012

Tabela 10-14: Tabela com os valores das coordenadas dos alvos resultantes da medição 3 correspondente à média das coordenadas obtidas nas medições 1 e 2.

b) A partir das coordenadas dos alvos 01, 02, 03, 04, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18, isto é, os alvos situados aproximadamente num plano horizontal, apuradas na primeira medição e das coordenadas homólogas da primeira série de observações topográficas, foi calculada uma transformação inicial, T1 que orientou o modelo de nuvens de pontos no referencial topográfico. O erro médio quadrático (RMSE do inglês root mean square error) global desta operação foi de cerca de 9mm. A decomposição deste em z (posicionamento vertical) e em xy (posicionamento horizontal) foi de 8mm e 4mm respectivamente. A consequência desta opção resultou no facto de que as diferenças nas coordenadas dos alvos não utilizados na transformação, isto é, os alvos 19, 20, 21, 22 e 23, atingiram a média quadrática de 26mm, que decomposta em z e xy, resultou em 7mm e 25mm respectivamente, o que sai fora dos valores resultantes da transformação, como se pode verificar na tabela 10-15. Isto significa que não é boa opção calcular uma transformação recorrendo apenas a um conjunto localizado de pontos homólogos. Pode ainda verificar-se que o erro médio quadrático é menor no posicionamento horizontal que no posicionamento vertical. Este facto indicia que no levantamento topográfico de apoio a medição da altura da estação total, operação realizada com fita métrica, não terá sido feita com o rigor desejado. Volta a referir-se neste momento que as medições 2, 3 e 4 atrás referidas ocorreram após esta transformação.

ERROS QUADRÁTICOS MÉDIOS DA TRANSFORMAÇÃO INICIAL ENTRE O SISTEMA DE COORDENADAS DO VL3D E O SISTEMA DE COORDENADAS TOPOGRÁFICO (m)					
Transformação	z	xy	xyz	(xyz JRC)	Notas:
T1	0,008	0,004	0,009	0,008	Coordenadas dos alvos extraídas através de ajuste de plano sobre as nuvens de pontos em que não se utilizou plataforma elevatória. Apenas se utilizaram os alvos ao nível do piso o (1,2,3,4,11,12,13,14,15,16,17,18). Tomou-se por referência a 1ª série topográfica.
	0,007	0,025	0,026		Erros quadráticos resultantes da aplicação da transformação aos alvos que não foram utilizados no seu cálculo (19,20,21,22,23).

Tabela 10-15: Tabela de resumo do erro médio quadrático da transformação T1.

De seguida, foram efectuadas e comparadas 12 transformações que melhoram o resultado da orientação resultante da transformação T1. Na tabela 10-16 resumem-se os valores dos erros médios quadráticos relativos a essas transformações. A direita na tabela indica-se que pontos foram utilizados em cada transformação.

ERROS QUADRÁTICOS MÉDIOS DAS TRANSFORMAÇÕES ENTRE O SISTEMA DE COORDENADAS DO VL3D E O SISTEMA DE COORDENADAS TOPOGRÁFICO (m)					
Transformação	z	xy	xyz	(xyz JRC)	Notas:
01	0,010	0,005	0,011	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 2. Tomou-se por referência a 1ª série topográfica.
01a	0,010	0,005	0,011	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 2. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.
02	0,009	0,005	0,011	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 1. Tomou-se por referência a 1ª série topográfica.
02a	0,010	0,005	0,011	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 1. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.
03	0,010	0,005	0,011	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 3. Tomou-se por referência a 1ª série topográfica.
03a	0,010	0,005	0,011	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 3. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.
04	0,009	0,005	0,010	0,009	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 4. Não se consideraram alvos que apareciam exclusivamente em nuvens em que se utilizou a plataforma. Tomou-se por referência a 1ª série topográfica.
04a	0,009	0,005	0,010	0,010	Coordenadas dos alvos resultantes da MEDIÇÃO 4. Não se consideraram alvos que apareciam exclusivamente em nuvens em que se utilizou a plataforma. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.
05	0,009	0,006	0,011	0,010	Coordenadas de todos os alvos resultantes da MEDIÇÃO 4. Tomou-se por referência a 1ª série topográfica.
05a	0,009	0,006	0,011	0,010	Coordenadas de todos os alvos resultantes da MEDIÇÃO 4. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.
Frente	0,002	0,003	0,004	0,004	Coordenadas de todos os alvos resultantes da MEDIÇÃO 4. Consideraram-se apenas os alvos do Alçado Sul. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.
Trás	0,004	0,003	0,005	0,005	Coordenadas de todos os alvos resultantes da MEDIÇÃO 4. Consideraram-se apenas os alvos do Alçado Norte. Tomou-se por referência a média das 5 séries topográficas.

Tabela 10-16: Tabela de resumo dos erros médios quadráticos das várias transformações ensaiadas e analisadas.

Todas as transformações, à excepção das últimas duas, exibem resultados semelhantes e o mesmo padrão. O erro médio quadrático em z é sempre maior de em xy, o que vem reforçar a nossa hipótese acerca do rigor da medição da altura da estação total aquando do levantamento topográfico, praticamente confirmada pelo facto de que resíduos das transformações apresentam todos valores negativos para os alvos visíveis de uma estação topográfica e positivos para os alvos visíveis da outra estação topográfica.

As duas últimas transformações visam confirmar a nossa hipótese. Para cada uma destas transformações apenas foram utilizados alvos visíveis apenas de uma estação topográfica. Os erros médios quadráticos de ambas as transformações falam por si. O erro em z baixou drasticamente em ambos os casos.

Acabou por se considerar a transformação 05a pelo facto de que, considerando todos os alvos, não piora significativamente o desempenho da transformação. O erro médio quadrático ficou no limite do valor assumido inicialmente como aceitável para a orientação absoluta do modelo tridimensional.

Informação detalhada sobre cada uma destas transformações, bem como as posições finais de cada nuvem de pontos, traduzidas através de matrizes de posição, pode ser consultada no CD anexo (010_ARA.pdf).

- Extracção de secções e orto-imagens parciais do modelo de nuvens de pontos:

A partir deste momento, em que o modelo se encontra devidamente orientado, pode-se passar à fase seguinte. Esta compreende as seguintes operações; a) orientação de planos de corte/projecção para a produção de orto-imagens parciais base, e b) exportação de orto-imagens parciais relativas a secções e projecções.

a) A Orientação de planos de corte / secção corresponde à definição dos planos que vão produzir secções no modelo de nuvens de pontos, a partir das quais se desenham as linhas de corte das plantas, cortes e alçados, e nos quais o modelo vai ser projectado.

Foram conduzidos planos relativos a 4 alçados, 4 cortes, 5 plantas ordinárias, 1 planta de tectos, correspondentes a 14 peças desenhadas à escala 1/50. Note-se que para cada peça desenhada pode ter sido, e em geral foi, necessário conduzir mais que uma plano de corte. Isto deve-se à natureza de algum modo esquemática do desenho de arquitectura que reduz à mesma peça desenhada elementos que na estrita observação do seu posicionamento geométrico não são seccionados pelo mesmo plano. Para além dos planos relativos a estes elementos gerais, foram conduzidos outros para a definição de pormenores. Na figura 10-40 podem ser visualizados os vários planos principais de corte. Quando se diz que para cada peça pode ter sido necessário recorrer a mais que um plano de corte, quer dizer-se que o problema foi resolvido através da translação do plano principal.

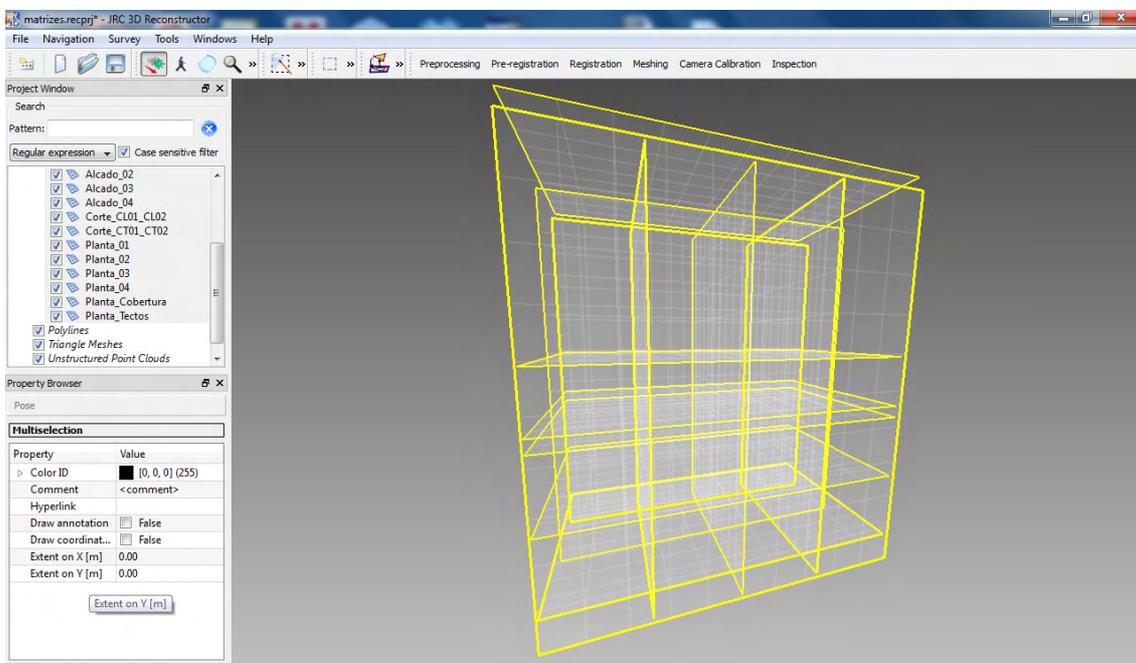


Figura 10-40: Visualização dos vários planos principais de corte.



Figura 10-41: Visualização do plano de corte da planta 03.

b) Conduzidos os planos é possível à produção e exportação de orto-imagens parciais relativas a secções e projecções.

Com efeito, não é possível sectionar um modelo de pontos. O que na realidade se faz é definir uma amplitude de alguns milímetros (por exemplo 10mm) para ambos os lados de um plano, projectando-se nesse plano todos os pontos, sobre nuvens de pontos seleccionadas, que dele distam menos que aquela amplitude. O resultado é uma imagem em que os pontos correspondem à secção. Esta fica melhor ou pior definida em função da relação entre o tamanho do pixel da imagem e a sua correspondente área no modelo. Pretendendo-se o nível de detalhe da escala 1/50, considerou-se 1 pixel igual a uma área de 5x5mm, o que implicará uma incerteza de $\pm 2.5\text{mm}$ no desenho de restituição, na presunção que a “linha” de corte fica com a espessura de 1 pixel na imagem, o que nem sempre acontece. Para a definição dos elementos modulares como molduras de cornijas considerou-se 1 pixel igual a uma área de 2.5x2.5mm. Estas são imagens de trabalho e por isso não é necessário que toda a secção do modelo fique definida numa única imagem, como se ilustra na figura 10-42. Note-se que nestas imagens também podem ficar registados, por exemplo, elementos correspondentes a mobiliário ou outros elementos que não foram removidos das nuvens de pontos.



Figura 10-42: Fragmento de uma imagem da secção de relativa a um corte horizontal no modelo de nuvens de pontos.

Cumprido o primeiro passo, em que se gera informação que permitirá desenhar as linhas de corte, passa-se à produção de orto-imagens que preencherão os desenhos e sobre as quais será feita a restituição gráfica das vistas. No que respeita aos objectivos, a resolução destas imagens está condicionada pela escala dos desenhos a produzir, e no que respeita à densidade das nuvens de pontos, a resolução das imagens depende da distância entre pontos. No que diz respeito à primeira condição, definiu-se que, para a escala 1/50, seria suficiente produzir imagens em que cada pixel correspondesse a 5x5mm. No que diz respeito à segunda condição, ela deverá ter ficado assegurada na fase de planeamento das operações aquando da definição da resolução de cada varrimento laser. Esta resolução de pixel de 5x5mm por seu lado condiciona o tamanho das imagens a produzir, não tanto do ponto de vista computacional, mas antes do ponto de vista do seu manuseamento prático futuro sobretudo se for usado hardware standard. Note-se que uma área de 100m² fica representada por uma imagem de 2000x2000pixel. Assim cada peça a desenhar foi decomposta num conjunto de áreas relativamente às quais deveriam ser produzidas as orto-imagens (figura 10-43). A definição das áreas entrou em linha de conta com o tamanho das imagens e com as discontinuidades do objecto. Assumir as junções das várias imagens nas discontinuidades do objecto facilitou, como se verá adiante, o tratamento destas imagens.

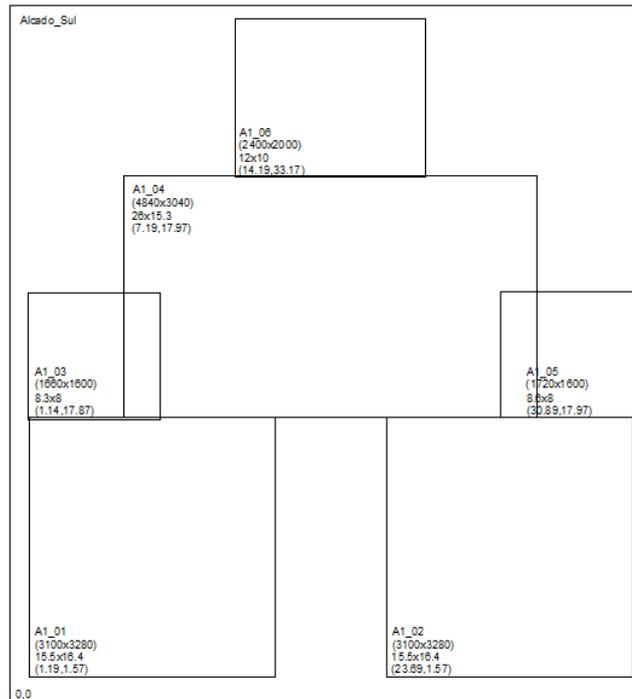


Figura 10-43: Decomposição do alçado sul do Arco da Rua Augusta em seis áreas.

Uma vez que o modelo é composto por várias nuvens, cada uma com seus valores de reflectância, não é viável produzir a orto-imagem de uma vez só pois o resultado seria estranho. Assim, a opção consistiu em, para cada uma das áreas definidas, produzir as orto-imagens parciais correspondentes àquelas nuvens de pontos que contribuem significativamente para a produção da orto-imagem de síntese, isto é, a orto-imagem final a compor posteriormente. Cada uma das imagens da figura 10-44 corresponde à área inferior esquerda definida na imagem da figura 10-43. A área mede 15,5mx16,4m e cada orto-imagem parcial foi produzida com a resolução de 3100x3280px.



Figura 10-44: Conjunto das orto-imagens parciais relativas a uma das áreas do alçado sul do Arco da Rua Augusta.

Note-se que embora todas as imagens correspondam à mesma zona do objecto, elas aparecem com tonalidades distintas. Estas tonalidades distintas correspondem a diferentes valores de reflectância capturados pelo equipamento de varrimento laser motivados pela sua posição em relação ao objecto.

Procedeu-se de forma semelhante para cada uma das restantes peças desenhadas a produzir. Todas estas operações foram realizadas com o software JRC3D Reconstructor v 2.6.

- Produção de orto-imagens de síntese:

A metodologia seguida para a produção das orto-imagens de síntese consistiu em: a) inserir as várias orto-imagens parciais como camadas num ficheiro de imagem, b) ordená-las em função de um critério de qualidade visual, c) eliminar zonas das várias camadas que não contribuem para a construção da imagem final, d) equilibrar o brilho e o contraste entre as imagens das várias camadas, e) aplicar máscaras de controlo de transparências, f) aplicar filtros de fusão de camadas.

As várias orto-imagens parciais da figura 10-44 deram origem à orto-imagem de síntese da figura 10-45.



Figura 10-45: Orto-imagem de síntese relativa a uma das áreas do alçado sul do Arco da Rua Augusta.

Por fim, é possível agrupar as várias orto-imagens de síntese. Optámos por não formar uma única orto-imagem por questões de tamanho e utilização futura em CAD.

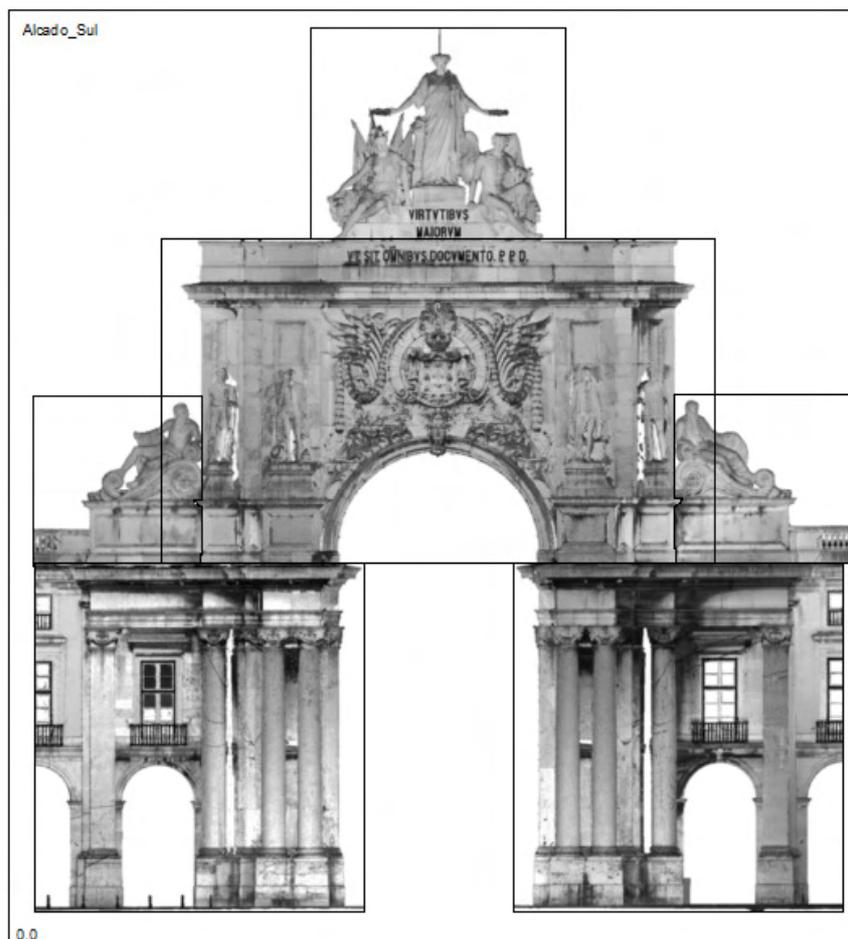


Figura 10-46: Visualização das 6 orto-imagens de síntese correspondentes ao alçado sul do Arco da Rua Augusta.

Nesta fase dos trabalhos é possível a percepção de lacunas de informação na imagem. Apesar do planeamento que houve, estas resultaram de zonas cegas para o equipamento de varrimento laser. A forma de as suprir seria adicionar estações de varrimento. Porém é importante notar que quanto mais espacialmente complexa é a estrutura a documentar, maior é a probabilidade de haver zonas que ficam por registar. É também importante notar que uma cobertura de 100% do objecto é virtualmente impossível.

Na tabela 10-17 faz-se o resumo da operação de produção de orto-imagens de síntese. Foram exportadas 726 orto-imagens e produzidas 52 orto-imagens de síntese o que correspondeu aproximadamente a 850Mb de informação.

A produção das orto-imagens de síntese foi feita com os softwares Gimp 2 e Adobe Photoshop CS3.

RESUMO DAS ORTO-IMAGENS EXPORTADAS E PRODUZIDAS																
	Alçado 01 (Alçado Sul)	Alçado 02 (Alçado Nascente)	Alçado 03 (Alçado Norte)	Alçado 04 (Alçado Poente)	Planta 01	Planta 02	Planta 03	Planta 04	Planta de Cobertura	Planta de Tectos	Corte CL01	Corte CL02	Corte CT01	Corte CT02	Pormenores	Totais
Orto-imagens de corte	0	4	6	5	8	5	4	5	0	0	28	0	8	1	12	86
Tamanho (bytes)	78 0	2.087.189	1.906.239	1.281.682	5.242.923	2.144.944	1.351.036	2.008.659	29 0	14 0	3.929.928	79 0	1.667.811	75.518	782.594	22.478.523
Orto-imagens parciais	6	40	38	28	54	24	53	53	29	14	52	79	44	48	6	640
Tamanho (bytes)	126.152.337	38.309.794	70.505.883	26.354.515	102.112.939	10.104.513	35.210.916	35.025.957	36.553.680	93.955.011	31.719.923	39.698.880	26.309.489	28.098.539	674.622	700.786.998
Orto-imagens de síntese	6	2	3	2	2	2	2	2	1	1	8	9	6	6	0	52
Tamanho (bytes)	16.822.212	6.112.611	9.284.552	6.231.862	9.338.669	3.417.244	9.061.901	5.359.186	5.679.517	14.337.236	12.534.478	13.800.395	11.347.045	1.100.435	0	124.427.343

Tabela 10-17: Tabela de resumo das orto-imagens exportadas e produzidas.

- Desenho de secções tipo em 2D:

Em paralelo com as operações anteriores deu-se início ao desenho bidimensional em CAD com o software AutoCAD 2008. A primeira etapa deste processo correspondeu à definição dos polígonos para inserção das orto-imagens de síntese no desenho. Estes mesmos polígonos também serviram para inserir as orto-imagens de corte já que os planos de secção/projecção são comuns a ambos os tipos de imagem.

Para garantir coerência entre as várias peças desenhadas tornou-se necessário começar por restituir graficamente o desenho das molduras modulares, dado que estas se repetem por várias peças desenhadas. Com efeito, estas correspondem aos desenhos de observação directa que efectuámos na fase de planeamento do levantamento (figura 10-10). É de notar que todo o processo de desenho passa pela observação simultânea das orto-imagens, de fotografias, do modelo tridimensional, e de quaisquer outros elementos, de modo a que o procedimento se possa tornar o mais isento de dúvidas possível.

- Desenho de plantas, cortes e alçados:

Trata-se de uma sequência lógica da etapa anterior. A cada orto-imagem de síntese corresponde uma layer no ficheiro de CAD.

Os primeiros elementos a restituir foram as linhas de secção e só após estes estarem concluídos se passou ao desenho dos elementos em vista. A razão de ser deste encadeamento prende-se mais uma vez com a necessidade de que os desenhos finais apresentem coerência entre si. Também se prende com a necessidade de excluir aqueles elementos que aparecem no desenho mas que não interessa representar, como por exemplo o mobiliário.

Para além dos elementos auxiliares da compreensão do objecto que atrás se referiram, verificou-se que nesta fase também eram de utilidade as imagens panorâmicas resultantes do varrimento laser expressas num parâmetro do software JRC 3D Reconstructor designado por “confidence” como se ilustra na figura 10-47.



Figura 10-47: Imagem de “confidence” de nuvem de pontos sob o Arco.

Um aspecto interessante de referir neste ponto prende-se com o facto de que este tipo de imagens difere pouco de perspectivas para algumas zonas localizadas. Por conseguinte, é possível utilizá-las directamente no CAD para restituição aplicando a rotina `rectificador.lsp` (ver capítulo 4 no volume 1) de correcção da perspectiva como se ilustra na figura 10-48. Esta situação é particularmente útil naquelas situações em que, em virtude da escala, a orto-imagem não apresenta resolução suficiente ou em que elementos se repetem à parte de uma transformação projectiva.

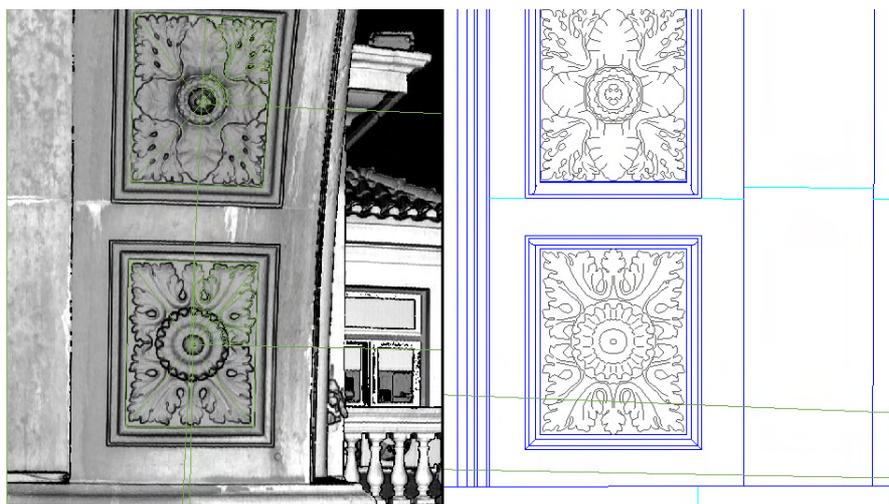


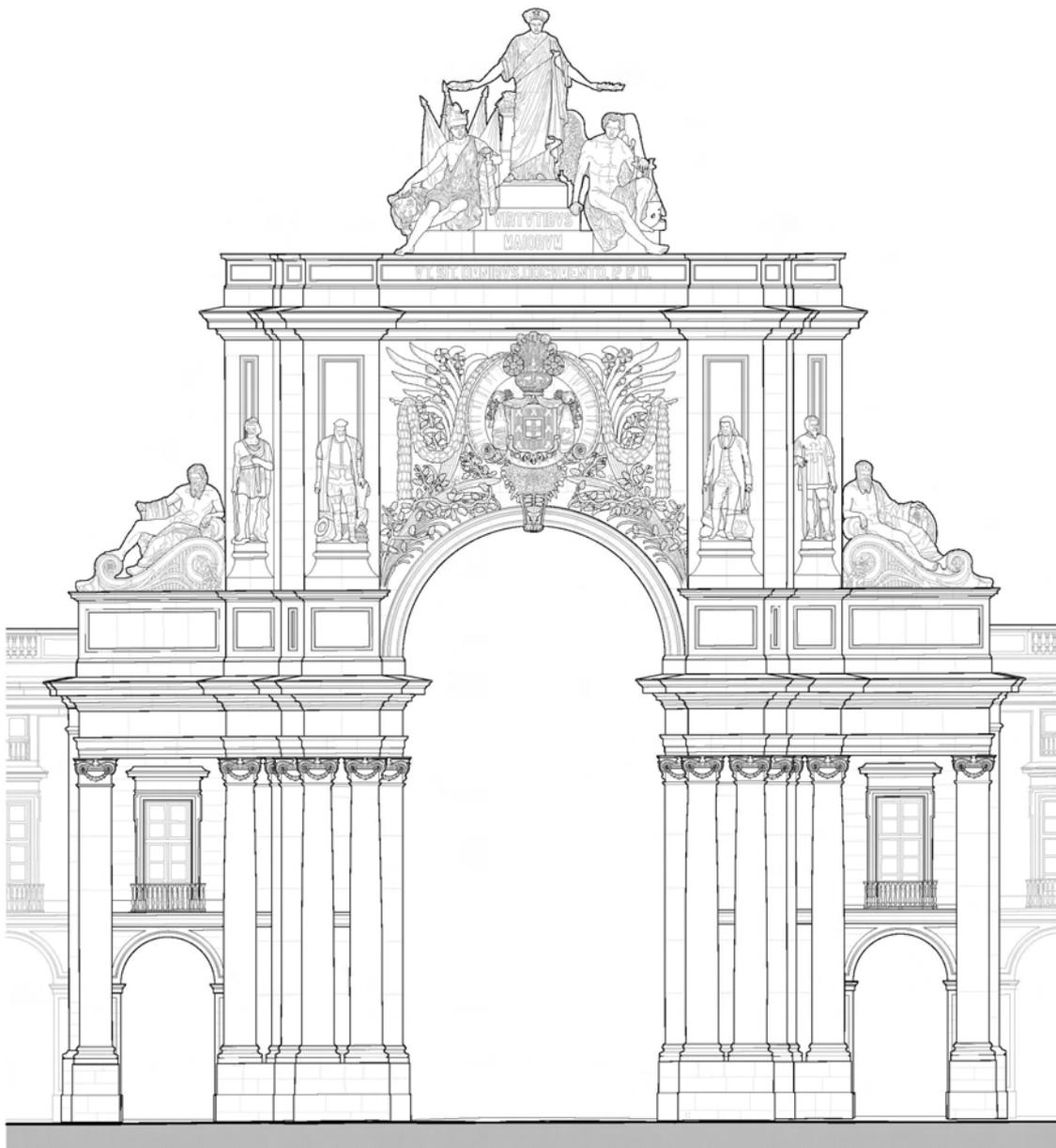
Figura 10-48: Utilização da rotina `Rectificador.lsp` para rectificação vectorial de desenho efectuado sobre imagem panorâmica.

O resultado da restituição gráfica depende do nível de detalhe pretendido e do correspondente critério de diferenciação de informação associado. Na imagem da figura 10-49 pode ver-se o nível de detalhe da restituição gráfica do conjunto escultórico que encima o Arco da Rua Augusta. Trata-se do conjunto alegórico da Glória, Génio e Valor.



Figura 10-49: Detalhe da restituição gráfica do grupo escultórico da Glória, Génio e Valor, no Alçado Sul.

Na imagem da figura 10-50 pode observar-se o resultado da restituição gráfica do alçado Sul do Arco da Rua Augusta, sem imagem associada.

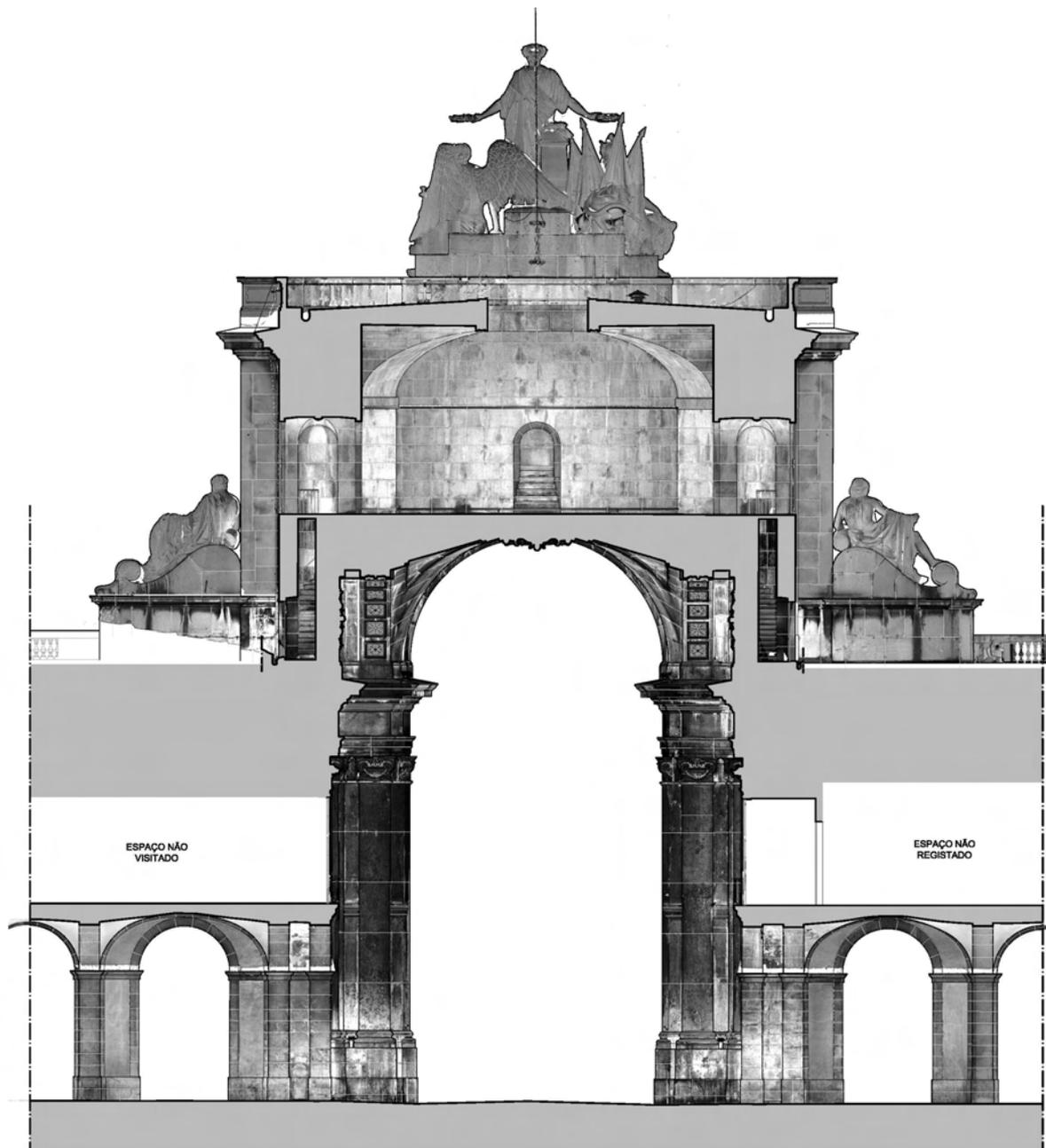


ARCO DA RUA AUGUSTA
- Alçado Sul -



Figura 10-50: Restituição gráfica do Alçado Sul do Arco da Rua Augusta.

Na imagem da figura 10-51 pode observar-se o resultado da restituição gráfica do Corte Longitudinal CL 2 do Arco da Rua Augusta. A orto-imagem associada é na verdade um conjunto de nove orto-imagens de síntese.



ARCO DA RUA AUGUSTA
- Corte Longitudinal CL 2 -

0 1 5 10 20m

Figura 10-51: Restituição gráfica do Corte Longitudinal CL 2 do Arco da Rua Augusta, com imagem associada.

Durante a restituição gráfica foi possível vislumbrar que, pelo menos algumas medidas do mesmo obedeciam ao sistema métrico do palmo craveiro. Não fazemos esta afirmação tendo por base uma análise exaustiva das medidas, o que implicaria outras formas de medir, em particular nos detalhes mais reduzidos, mas sim pelo facto da

métrica de algumas molduras e dimensões gerais encaixar naquela métrica. Por este motivo, em algumas fases do processo de restituição gráfica foi conveniente comparar o desenho com uma régua com aquele sistema métrico como se ilustra na figura 10-52.

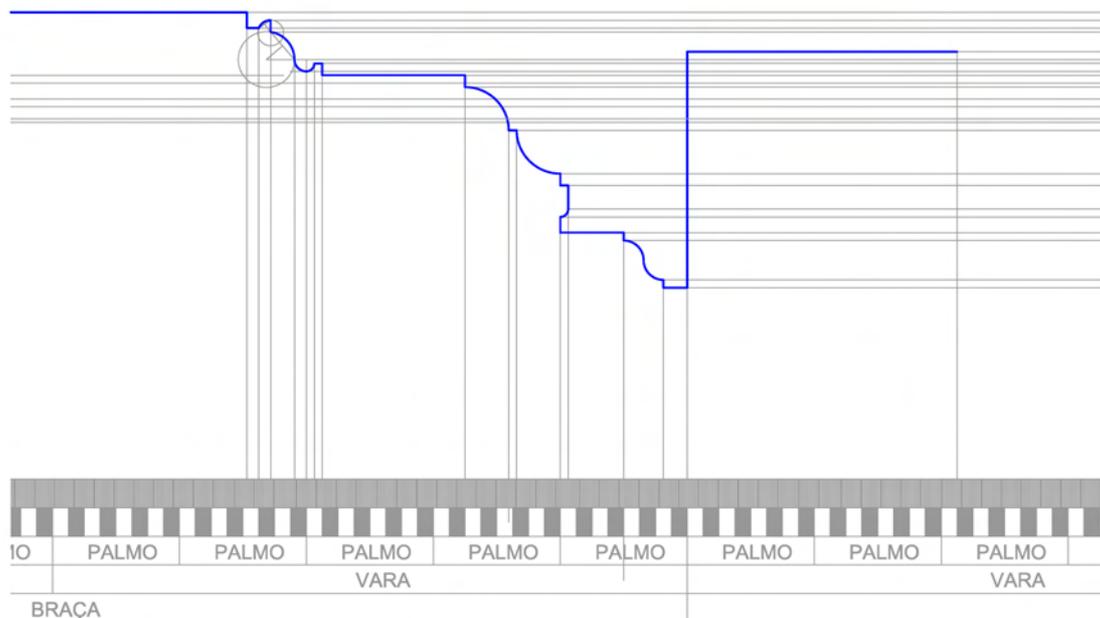


Figura 10-52: Associação de uma régua com o sistema do palmo craveiro ao desenho de restituição gráfica (rodado 90º no sentido horário).

- Produção em paralelo de informação variada:

O processo de restituição gráfica do levantamento para produção das plantas, cortes e alçados base, decorreu em paralelo com a necessidade de ir produzindo análises variadas do ponto de vista do projecto. Verificou-se que, mesmo sem dispor ainda dos desenhos finais, as imagens de síntese das nuvens de pontos podem fornecer uma boa base para a formulação de hipóteses de intervenção. Na figura 10-53 podemos visualizar várias nuvens de pontos em planta, diferenciadas através de cores, de modo que é desde logo possível perceber relações verticais entre espaços e com isso formular hipóteses de intervenção. O mesmo tipo de abordagem pode ser feito em alçado de modo a colocar em evidência diferenças de altura e relações verticais entre espaços.

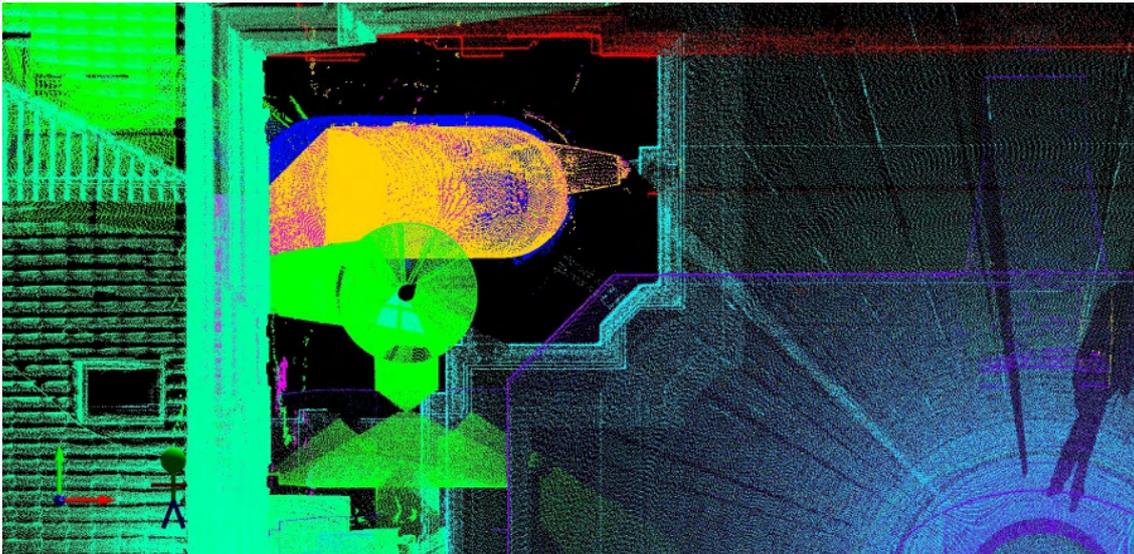


Figura 10-53: Sobreposição de várias nuvens de pontos, diferenciadas através de cores, e visualizadas em planta.

Também a análise do estado de conservação avançou em paralelo à restituição gráfica. Verificou-se que simples imagens de reflectância das nuvens de pontos, como a que se apresenta na figura 10-54, se consubstanciaram como suportes eficazes para o registo, em campo, de anomalias.



Figura 10-54: Imagem de reflectância como base para o registo de anomalias e análise do estado de conservação.

Outro aspecto que importa relevar refere-se ao processo das medições. Usualmente as medições fazem-se tomando por base as plantas, cortes e alçados. No entanto, medições feitas deste modo têm maior grau de incerteza que medições feitas tridimensionalmente, sobretudo se as formas em causa não forem decomponíveis facilmente em troços planos. É o caso dos elementos esculpidos ou das superfícies

curvas. Face à limitação temporal presente no nosso trabalho, não se procedeu a uma modelação tridimensional exaustiva como suporte ao processo de medições, e sempre que as formas podiam ser decompostas em troços planos ou extrusões adoptaram-se procedimentos correntes para as medições.

Houve porém uma análise que importou realizar, e que resultou numa modelação tridimensional que serviu de base para o processo de medição. Trata-se da abóbada principal do arco. Esta foi tanto mais importante quanto o facto de não ser conhecido o paradeiro dos desenhos de projecto do Arco e, em consequência disso, não se saber, do ponto de vista conceptual, qual a natureza geométrica de parte das superfícies que compõem a abóbada. Assim esta análise revestiu-se de dupla importância.

A leitura dos elementos bidimensionais do levantamento, isto é, plantas, cortes, alçados e orto-imagens, como se ilustra na figura 10-55, permitiu verificar vários aspectos relevantes: i) as superfícies estruturantes da abóbada são regradas, ii) as superfícies são cilíndricas e aparentemente de cilindróide, embora no decorrer da nossa análise tenhamos chegado à conclusão de que se tratavam de facto de conóides, iii) há três geratrizes rectas, uma de cada superfície, que são complanares.

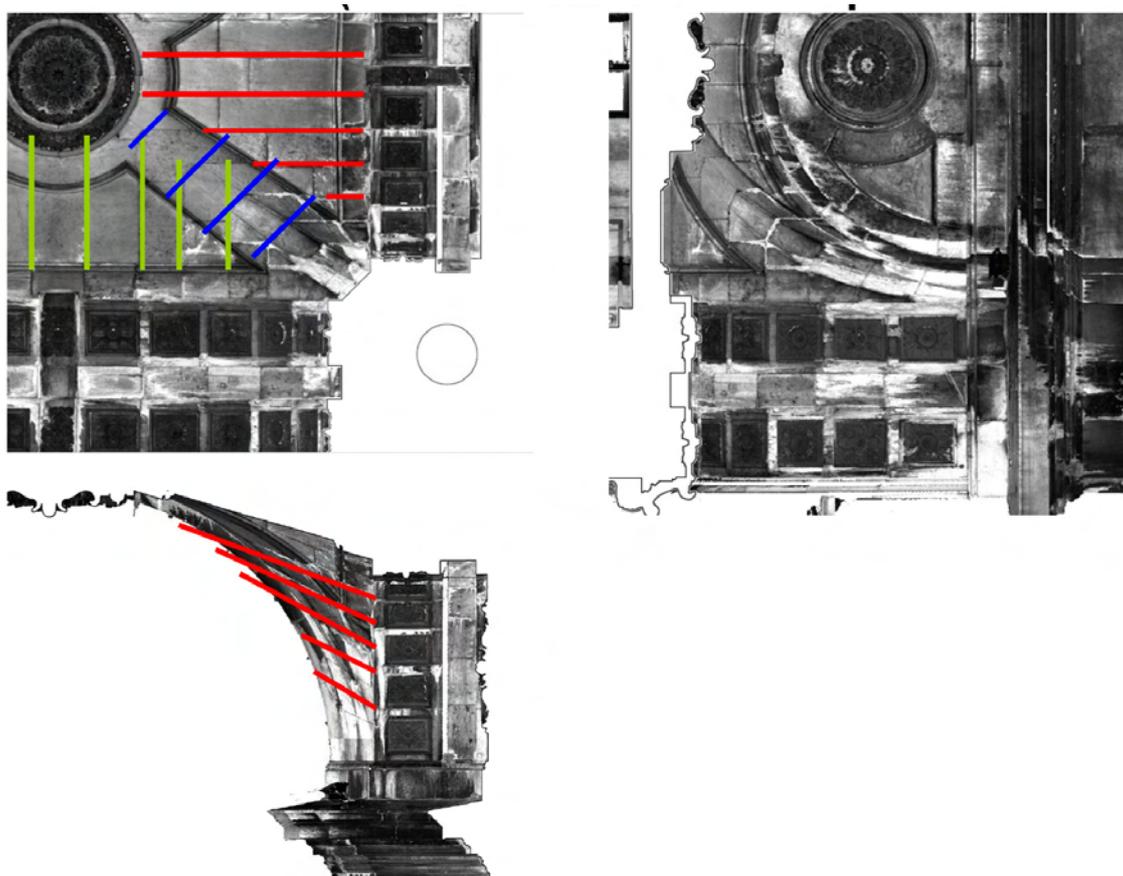


Figura 10-55: Leitura dos elementos bidimensionais do levantamento e a formulação de hipóteses quanto à natureza geométrica das superfícies da abóbada.

Notamos que a evidência sobre os factos constatados só foi possível em face dos elementos bidimensionais, embora estes tenham sido derivados de dados tridimensionais. Este é um aspecto importante. Note-se que o enquadramento técnico e conceptual de um arquitecto do século XIX se reduzia ao desenho bidimensional de onde, aqueles elementos bidimensionais colocados em relação tornam presentes as intenções originais de projecto, ou pelo menos permitem escrutiná-las.

A épora da figura 10-56 resultou da análise dos dados tornados evidentes na figura 10-55 e seu confronto com o modelo tridimensional do varrimento laser da abóbada do arco.

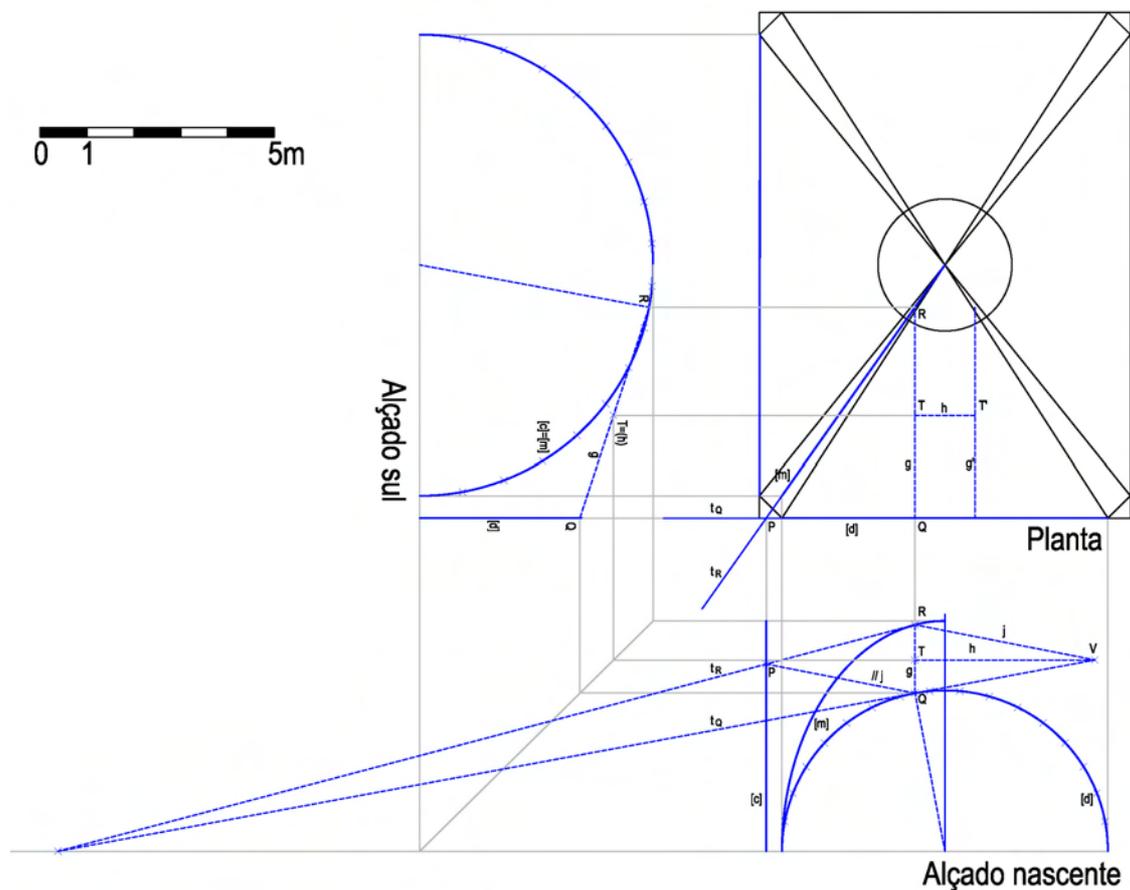


Figura 10-56: Épora do estudo das superfícies da abóbada.

A circunferência [c] é directriz de uma superfície cilíndrica de geratrizes horizontais com direcção sul/norte.

A circunferência [d] é directriz de três superfícies de conóide, adiante designadas por conóide 2 e conóide 3 (figura 10-58), duas das quais simétricas relativamente à direcção nascente/poente (conóide 2) e a outra (conóide 3) concordante com aquelas duas ao longo das geratrizes g e g' e contendo também a directriz h. Estas superfícies de conóide têm por orientação directriz a orientação vertical que contém a direcção

nascente poente. A épora da figura 10-56 foi produzida iterativamente confrontando os resultados com os dados do varrimento laser conforme se ilustra na figura 10-57.

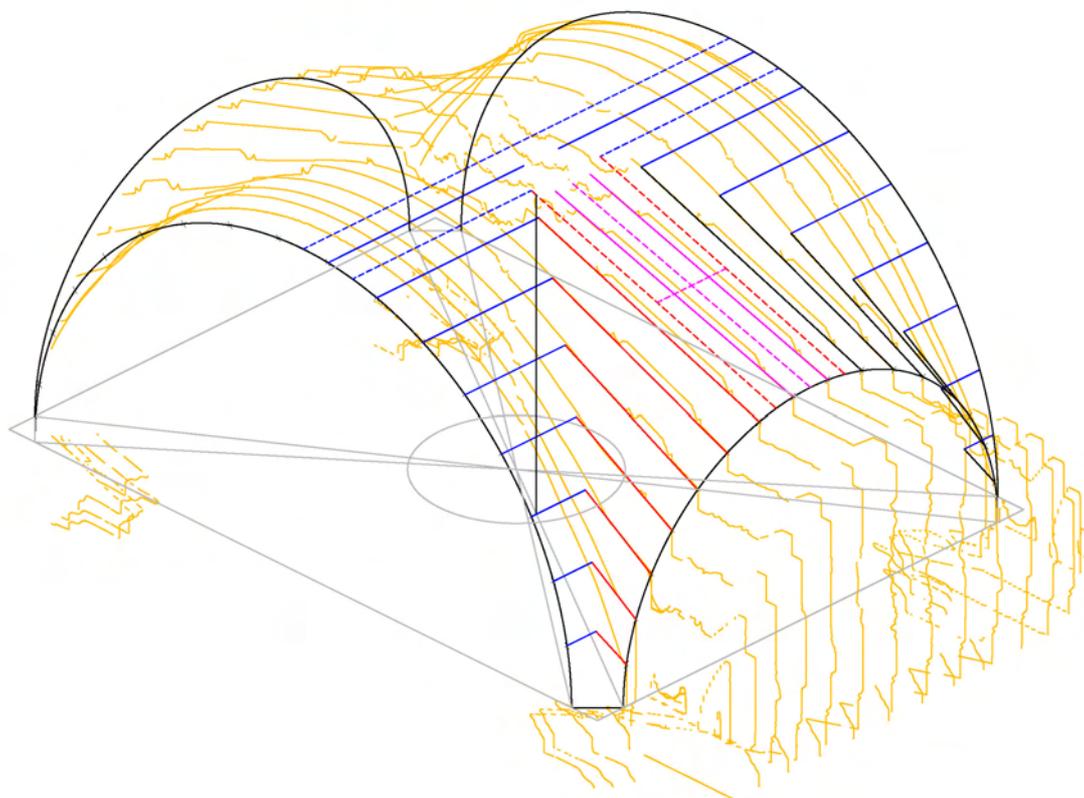


Figura 10-57: Comparação das geratrizes das superfícies geométricas com as secções produzidas no modelo de varrimento laser 3D, em cor amarela na figura. As diferenças entre ambas, medidas na vertical, nunca ultrapassaram 1cm.

A fazer a transição entre a superfície cilíndrica e as superfícies de conóide 2 há ainda superfícies de conóide designadas por conóide 1 conforme se ilustra na figura 10-58. A orientação directriz destas superfícies de conóide é vertical e contém a direcção a 45° com a direcção norte/sul. Note-se que apenas está representada a análise para metade da abóbada dado que a sua configuração é simétrica relativamente à direcção norte/sul.

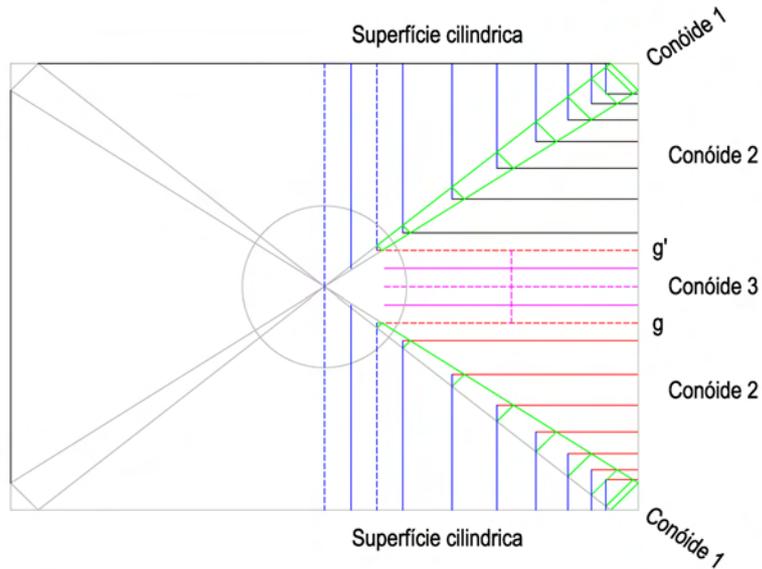


Figura 10-58: Designação das superfícies geométricas. Identificação das geratrizes g e g' ao longo das quais de dá a concordância entre as superfícies de conóide 2 e a superfície de conóide 1.

Até ao momento temo-nos referido às superfícies de conóide 1 e 2 sem referir a razão pela qual não são de facto superfícies de cilíndroide como de facto aparentam dado que as directrizes próprias a partir das quais são geradas são curvas. No entanto, se prolongarmos as geratrizes rectas destas superfícies até ao plano de arranque dos arcos, como se mostra na figura 10-59, verificamos, para cada uma das superfícies, que os traços daquelas rectas naquele plano incidem sobre linhas rectas que também são, por isso, directrizes das superfícies regradas referidas. Daqui resulta, com efeito, a justificação da designação adoptada para as superfícies.

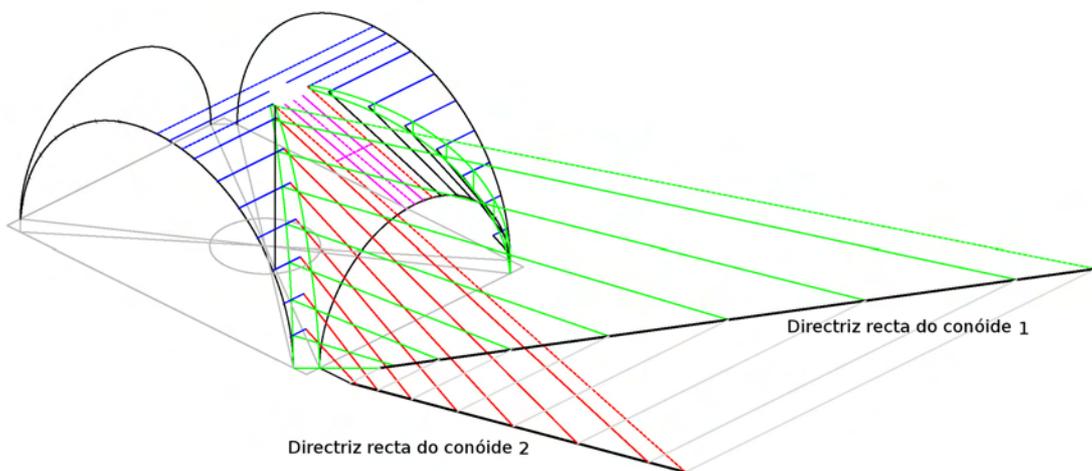


Figura 10-59: Verificação de que as superfícies 1 e 2 são de facto superfícies de conóide.

Com base nestas conclusões procedeu-se à modelação da abóbada tendo-se extraído a sua área de seguida. Apurou-se o valor de 124m^2 . Note-se que o valor desta área em projecção horizontal é de apenas 80m^2 . O rácio entre estes dois valores é de aproximadamente 1.6. Para este tipo de superfícies, a modelação tridimensional permite reduzir a incerteza dos processos de medição.

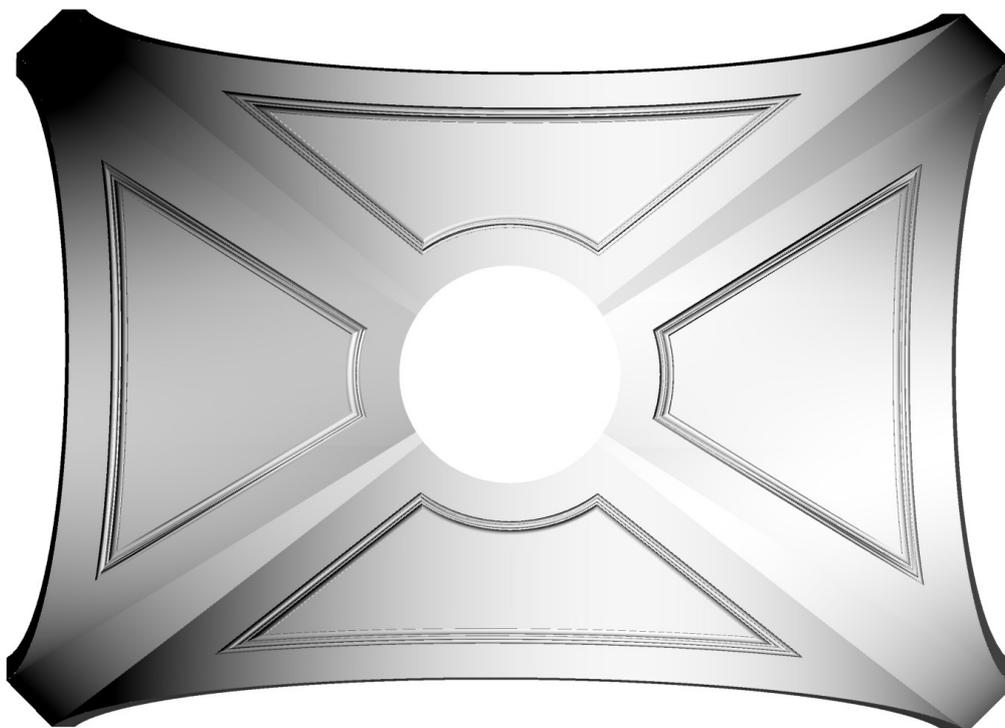


Figura 10-60: Modelação tridimensional da abóbada.

- O processo de restituição gráfica das plantas, cortes e alçados ficou concluído em 11 de Maio de 2011, data em que se procedeu a uma visita a campo para validação dos resultados. Posteriormente, e por solicitação da Frente Tejo, procedeu-se a nova entrega em que se incluíram desenhos de pormenor de molduras e esculturas conforme se ilustra na figura 10-61.

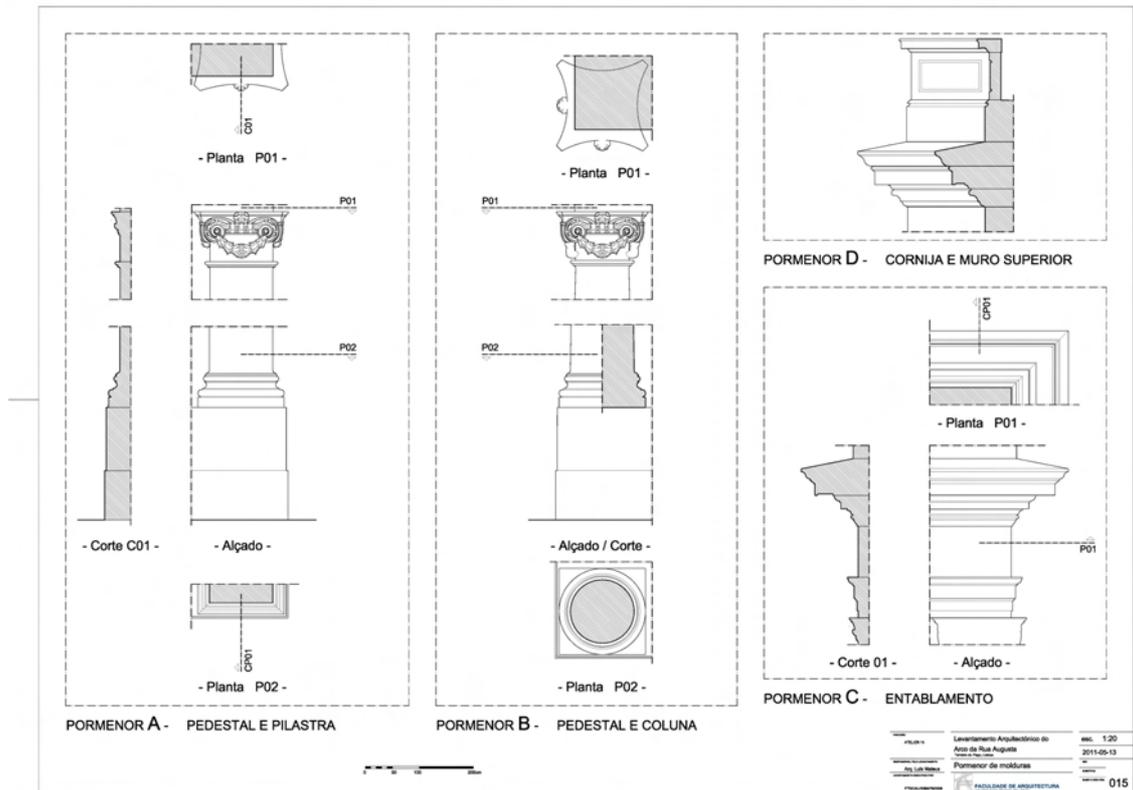


Figura 10-61: Pormenor de capitéis e molduras.

Desvio em relação às previsões:

- Foi definido o prazo de 46 dias úteis para a execução do levantamento distribuídos da seguinte forma: i) 1 dia para a execução de levantamento topográfico de apoio, ii) 2 dias para levantamento por varrimento laser 3D e levantamento fotográfico de apoio, iii) 8 dias para processamento do varrimento laser 3D; e iv) 35 dias para restituição gráfica. Este prazo, incluído no prazo total dado para a realização do projecto do arco, implicaria que o levantamento estivesse finalizado no dia 21 de Abril de 2011. Com efeito, não foi possível cumprir este prazo, o que não implicou atrasos na entrega final do projecto uma vez que os elementos produzidos foram sendo entregues ao Atelier 15 à medida que iam ficando concluídos ou na medida em que fossem trabalháveis. Este atraso verificou-se face à inclusão na equipa de elementos com menor experiência e face a atrasos ocorridos com a realização de parte do trabalho de campo. Ainda assim considera-se que as condições para a realização do trabalho foram privilegiadas bem como notável o empenho de todas as entidades participantes, nomeadamente a DRCLVT, a Frente Tejo / Parque Expo e a CML.
- Quanto a recursos humanos envolvidos houve algumas alterações relativamente ao previsto. Os trabalhos de campo foram coordenados pelo arquitecto Luís Mateus contando com o apoio do arquitecto Victor Ferreira e da mestrandia Valeria Sarobba. O

processamento inicial das nuvens de pontos foi realizado pela mestranda Valeria Sarobba, do Instituto Politécnico de Turim, supervisionada pelo arquitecto Luís Mateus. Cumpriu-se assim também uma componente de formação que deve estar implícita em trabalhos de investigação desta natureza. A extracção de dados base para a restituição gráfica, isto é, orto-imagens e secções, foi feita pelo arquitecto Luís Mateus. As orto-imagens de síntese foram produzidas pela arquitecta Ana Lopes. A restituição gráfica foi produzida pelo arquitecto Luís Mateus e pelo arquitecto André Picaró, ficando o número de intervenientes aquém do inicialmente previsto. A cartografia do estado de conservação foi feita pela mestranda Valeria Sarobba. As medições foram feitas pelo arquitecto Luís Mateus.

- No que diz respeito às peças desenhadas produzidas houve algumas diferenças em relação ao inicialmente previsto. Não foram produzidos os cortes CT 3, CT 4, CT 5 e CT 6 indicados na figura 10-14. Não foi produzida a planta de tectos PT1 indicada na figura 10-13. No entanto foram acrescentadas duas plantas e os desenhos de pormenor. Com efeito, os elementos produzidos foram aqueles que apresentavam maior relevância para o processo de projecto.

- Da diferença entre os tempos previstos para a realização do trabalho e os que efectivamente se consumiram, conclui-se que o prazo assumido inicialmente para a realização do levantamento foi subdimensionado. Em particular deveria ter-se considerado mais tempo para a componente de processamento dos dados de varrimento laser e extracção e produção da documentação base para restituição. Na componente de restituição gráfica foi cumprido o previsto.

A.10.2.3. APRESENTAÇÃO DOS MATERIAIS FINAIS

Descrição e apresentação dos materiais finais (tipo, formas de representação, tema, e suportes de distribuição e armazenamento dos materiais finais):

- A forma da documentação final entregue ao Atelier 15 pode ser consultada no CD anexo (011_ARA.pdf). Na figura 10-62 temos um exemplo do tipo de desenho, e respectivo layout, entregue ao Atelier 15. Coube ao Atelier 15 a formatação final dos elementos fornecidos de acordo com o exigido pela entidade contratante, a Frente Tejo / Parque Expo.

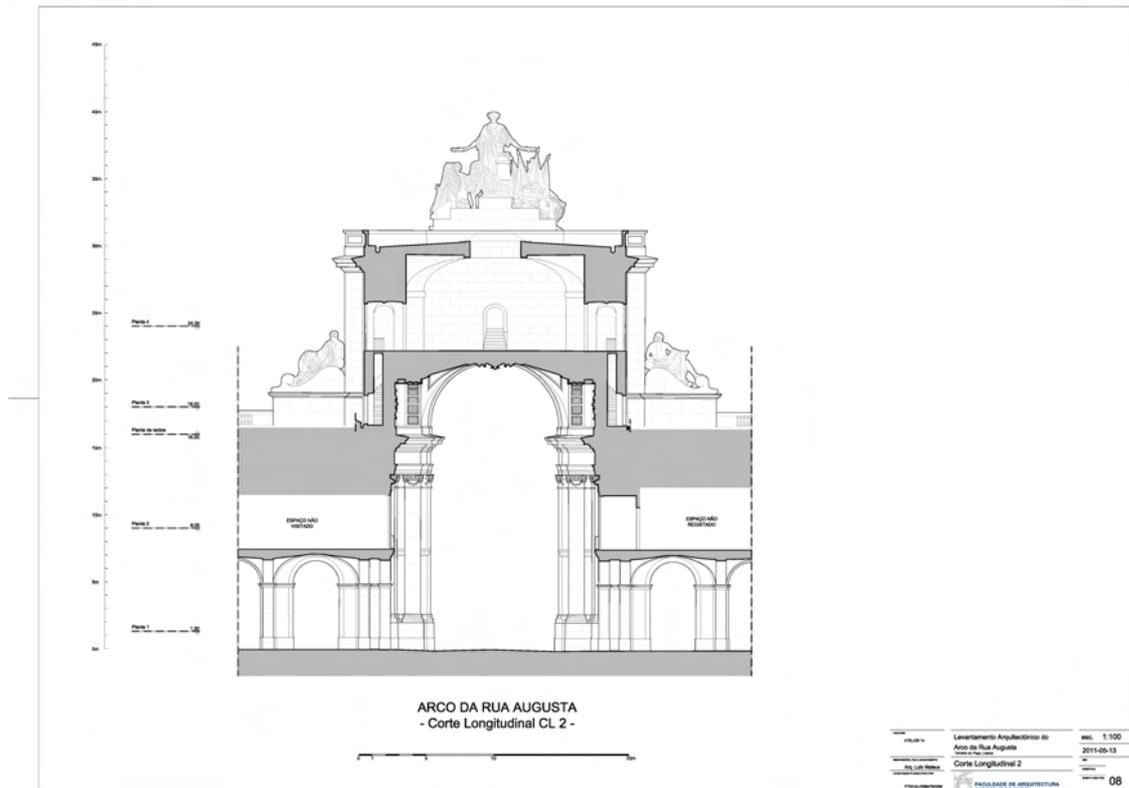


Figura 10-62: Exemplo de desenho entregue ao Atelier 15.

Desvio em relação às previsões:

- Nesta componente não há desvios relevantes a assinalar relativamente às previsões.

A.10.3. ANÁLISE CRÍTICA

Começamos a nossa análise por reafirmar a importância do envolvimento entre a investigação e a sociedade civil no sentido de tornar aquela activa e aplicada a problemas concretos do mundo real. Foi assim que consideramos a natureza do nosso trabalho. Consideramos que o nosso envolvimento, isto é, o envolvimento da FAUTL neste processo trouxe valor acrescentado ao Projecto de Conservação do Arco.

Cumprimos também uma componente importante de apoio às instituições na medida em que fomos parte activa na formulação dos problemas de documentação e projecto em que ajudámos a encontrar soluções para os mesmos. Parte desta acção foi sequência lógica do Projecto de Recuperação das fachadas dos quarteirões do Terreiro do Paço em que também participámos.

Na componente do levantamento, seguimos uma metodologia de trabalho que não ignorou a necessidade de verificar e recolher toda a informação gráfica prévia existente. Esta incursão permitiu-nos concluir que não é conhecido o paradeiro dos

desenhos do projecto do Arco da Rua Augusta embora se trate de um edifício relativamente recente.

Houve alguma falha inicial na antecipação dos problemas relacionados com autorizações de acesso e respectiva gestão do processo. Sobre este aspecto importa reflectir sobre a natureza dos pedidos de autorização, sobre o diálogo que é necessário desenvolver com as várias entidades no sentido de desbloquear situações complexas, o que é um ponto crucial na realização deste tipo de trabalho. A sua correcta gestão permite tornar os processos mais céleres. No entanto, para que o processo flua é preciso ser definida uma cadeia de comando de responsabilidades ferreamente definida e perfeitamente clara em que seja evidente quem deve tratar do quê e quando o deve fazer. Estas falhas acabaram por se traduzir em atrasos no desenvolvimento dos trabalhos.

Definimos um nível de detalhe para a recolha de informação que considerámos apropriado aos trabalhos a desenvolver e mobilizámos os meios que considerámos mais adequados para recolher aquela informação. A opção pelo varrimento laser como método para a realização do levantamento pareceu-nos incontornável face à natureza do edifício, ao tipo de informação a recolher e prazos disponíveis.

Também neste caso, nos apercebemos que entre arquitectos projectistas e conservadores, as tradicionais plantas, cortes e alçados são ainda os suportes privilegiados para a prossecução das suas acções pelo que a nossa estratégia se centrou na produção desses elementos.

No que diz respeito ao planeamento operativo das acções de campo, exagerámos no planeamento como meio de antecipação e previsão de eventuais problemas. Quando dizemos que exagerámos, dizemo-lo com a noção de que este é o procedimento correcto. Só o planeamento pode tornar mais céleres os trabalhos em campo e permite efectuar desvios controlados a esse mesmo planeamento. Este planeamento deve ser em boa parte efectuado em campo. Parte do processo consiste em nos colocarmos na posição do equipamento de varrimento e anteciparmos o que virá a ser o seu campo de visão. Este exercício permite-nos antecipar o conteúdo da cada nuvem de pontos e perceber em que posições deve ser estacionado o equipamento de modo a evitar o maior número de oclusões possível. Naturalmente, é virtualmente impossível cobrir todas as superfícies do objecto, mas um correcto planeamento minimiza este problema. O planeamento também permitiu estimar com segurança o tempo de trabalho de campo. Este aspecto é particularmente relevante quando, como foi o caso, é necessário mobilizar meios temporários de grande envergadura como é o caso da plataforma telescópica.

A definição do número de elementos da equipa, e respectiva experiência, a participar no processo é também um factor decisivo na definição de prazos de realização dos trabalhos. Operadores menos experientes podem demorar o dobro do tempo ou mais que operadores mais experientes na realização das tarefas. No nosso caso acabou por haver alguma diferença entre as previsões iniciais e a realização, no que diz respeito ao tempo, também por esta razão. É de referir que parte desta experiência respeita a cultura arquitectónica mais que a ser desembaraçado na utilização do CAD. Face à elevada quantidade de dados produzidos foi importante dispor de hardware e software adequado.

Os prazos reduzidos próprios dos contextos de intervenção real implicam a montagem de estratégias de trabalho e produção de informação em paralelo em que os vários intervenientes no processo, desde os produtores do levantamento, aos conservadores, arquitectos e engenheiros possam ir prosseguindo com as suas acções específicas. Para este efeito, a quantidade e o tipo de dados gerados pelo varrimento laser 3D permite, em fases muito iniciais, distribuir elementos de suporte a várias acções, ainda que sob a forma não terminada. São exemplo as imagens de síntese que se podem obter ao custo de uma impressão de ecrã.

Foi com expectativa que se utilizou uma plataforma telescópica para aceder às zonas mais elevadas do Arco. Verificou-se que os dados recolhidos utilizando esta plataforma apresentavam elevada qualidade. O processamento dos mesmos permitiu comprovar essa qualidade, sobretudo se analisarmos a transformação geométrica que permitiu orientar o modelo de nuvens de pontos relativamente ao referencial topográfico. Recordar-se que o erro quadrático médio da transformação dos 23 alvos foi 6mm no plano horizontal e 9mm na direcção vertical, o que consideramos um bom resultado, sobretudo se tivermos em conta que alguns dos alvos apenas eram identificáveis em nuvens obtidas com a plataforma elevatória. Embora todo o modelo tenha sido produzido sem recurso aos pontos topográficos de apoio, consideramos que a utilização de dois processos de medição independentes funcionou como garantia de qualidade do trabalho realizado medida em função do grau de conformidade entre os dois processos.

Apesar da plataforma elevatória, com alcance de 38m, ter permitido efectuar um levantamento extensivo do Arco, ainda assim verificou-se que nas zonas mais elevadas do grupo escultórico central ficaram áreas por documentar.

O facto do varrimento laser produzir uma enorme quantidade de dados num único sistema de coordenadas tridimensional é um factor importante para a coerência dos elementos a produzir. No entanto é importante uma supervisão próxima dos processos de restituição gráfica na medida em que se trata sempre de processos interpretativos.

É importante a cadeia de dependências no processo de trabalho. Para garantir que a informação produzida é coerente não é possível fragmentar o processo de trabalho, isto é, as várias peças desenhadas não podem ser produzidas de forma independente. Foi necessário definir critérios e desenhar previamente todos aqueles elementos modulares que se repetem pelo objecto.

O varrimento laser produz uma enorme quantidade de informação e por isso, em princípio, não há restrições ao número de peças desenhadas que se podem produzir com aquela informação. Porém deve notar-se que esta etapa, a restituição gráfica, é das que consome mais tempo no processo de levantamento. Por esta razão foi importante estimar com a maior exactidão possível o número de peças desenhadas a produzir, mesmo que depois tenha havido alterações. Com efeito, esta estimativa foi crucial para estimar o tempo de restituição gráfica que, no essencial, foi cumprido.

Num contexto ideal poderíamos ter pensado numa modelação tridimensional de todo o edifício, incluindo as esculturas, de modo a extrair todas as medições. Contudo o contexto real em realizámos o trabalho implicou prazos reduzidos de trabalho em que foi preciso otimizar os procedimentos de modo a fazer o melhor possível no tempo disponível. Ainda assim houve situações em que foi possível efectuar uma modelação tridimensional, que designamos por modelação selectiva, que para além de permitir uma melhor medição das áreas, também acrescentou conhecimento sobre o Arco. Sobre este aspecto concluímos que o facto de dispor de informação base já tridimensional facilita o processo de modelação. Porém não podemos deixar de afirmar que as tradicionais plantas, cortes e alçados permitem, em particular em edifícios antigos, trazer uma maior clareza sobre os princípios conceptuais por detrás do projecto original. Este facto é, em nossa opinião, tanto mais evidente quanto a natureza erudita do edifício. E é importante porque, nos casos em que houve seguramente desenho de projecto, com é certamente o caso do Arco da Rua Augusta, esse desenho foi feito com os meios técnicos da época, isto é, sobre suportes bidimensionais de desenho, a folha de papel. É apenas reproduzindo esses elementos, naturalmente sob a forma de plantas, cortes e alçados, que nos podemos religar às intenções do arquitecto.

Do ponto de vista do projecto de conservação, a adopção do varrimento laser constituiu-se uma mais valia na medida em que facilitou a produção de informação gráfica de qualidade e na medida em que ao associar a essa informação a reflectância permitiu uma nova leitura das superfícies. Características relativas ao estado de conservação das superfícies, como é o caso da sujidade ou destacamentos, ficam registadas sobre a forma de imagem métrica associada aos desenhos. Essas imagens foram um instrumento complementar eficaz das observações de campo.

Importa também referir que o varrimento laser apresentou algumas limitações em particular no registo de superfícies metálicas polidas, e dos vidros. Esta informação teve de ser recolhida por processos complementares, em particular a fotografia. Também devemos referir que, de um modo geral, a fotografia funcionou como uma eficaz fonte de informação complementar no processo de restituição gráfica, como a própria observação directa consubstanciada por desenhos manuais. Tudo isto para reafirmar que, em geral, a adopção de uma única tecnologia de levantamento não resolve todos os problemas e que é na articulação sábia entre várias abordagens que se pode chegar a bons resultados.

A.10.4. CONCLUSÕES

- Verificou-se a importância de dispor de hardware com boa capacidade de processamento.
- Consolidámos a metodologia de levantamento por VL3DT nas suas fases de planeamento e execução.
- Consolidámos a noção da importância do planeamento do levantamento nas suas diversas vertentes (gestão logística, interlocução com as entidades responsáveis, contratual, operativa) como garante da boa execução e controlo das operações.
- Demonstrámos que é viável o processamento e orientação das nuvens de pontos para a produção do modelo 3D através da utilização sistemática de algoritmos de correspondência entre superfícies (ICP). Salientamos que é prudente e desejável realizar um levantamento topográfico de apoio para validar os resultados obtidos e também, caso seja necessário, georreferenciar o modelo produzido. A qualidade do procedimento ficou comprovada pelo nível de conformidade entre o posicionamento dos alvos dado pela topografia e o posicionamento obtido pelo VL3DT.
- Demonstrámos que a metodologia de levantamento por VL3DT mostrou ser bastante eficaz e célere no que respeita ao completamento do trabalho de campo.
- Continuámos a verificar que a etapa de restituição gráfica, incluindo a edição de imagens, é a que consome mais tempo no processo.
- Demonstrou-se que a utilização de plataformas elevatórias não introduziu ruído assinalável nos dados. A sua utilização deve equacionar as condições climáticas e a possibilidade real de imobilização durante o varrimento laser. Sugere-se que seja uma plataforma testada para o efeito.
- Mostrou-se que a associação de orto-imagens ao desenho foi factor determinante no acréscimo de qualidades semânticas à representação, vitais para os processos de análise em Conservação.

- Demonstrou-se que as imagens resultantes do VL3DT podem constituir-se como suporte eficaz da análise e registo das formas de degradação.
- Demonstrou-se que as imagens de síntese do VL3DT podem, ainda numa fase preliminar do levantamento, ser suporte da compreensão da espacialidade e volumetria do edifício. Esta permite logo na fase inicial do processo conceptual do projecto considerar novas hipóteses de intervenção. Isto é, demonstrou-se a potencialidade do VL3DT como instrumento de inquirição sobre o objecto arquitectónico.
- Demonstrou-se que dispor de um levantamento sob a forma tridimensional melhorou a qualidade do processo de medição de áreas, que pode considerar a geometria no espaço em vez da geometria projectada.
- Demonstrou-se que o varrimento laser, pela qualidade e fiabilidade dos dados, permite um tipo de análise icónica mais refinada, que possibilita o reencontro com as intenções conceptuais do projecto original. Esta é uma dimensão da análise em Conservação e Restauro que consideramos fundamental.
- Demonstrámos que, na análise icónica do edifício, a redução da tridimensionalidade à bidimensionalidade não foi factor de perda de informação mas sim factor que colocou em evidência o quadro conceptual original do arquitecto. O 3D permitiu comprovar as conjecturas mas foi o 2D que permitiu formular as hipóteses.
- Demonstrou-se ainda que a prevalência da metodologia de levantamento por VL3DT não invalidou procedimentos tradicionais de análise e registo como o desenho analítico de observação. Considera-se que ambos contribuem com informação relevante para o conhecimento mais aprofundado do edifício.