

# Recuperação radio-geométrica e catalogação digital de coberturas aéreas antigas da zona de Lisboa

» *António Manuel Guerreiro Marques*  
*Aluno estagiário do Mestrado em Engenharia Geográfica*  
antonio.m.g. marques@mail.telepac.pt

» *Prof.ª Dr.ª Paula Redweik*  
*Professora Auxiliar do Departamento*  
*de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia*  
pmredweik@fc.ul.pt

## Introdução

Os levantamentos aerofotográficos com objectivo cartográfico terão tido início em Portugal nos anos 30. Desde essa altura que existem extensas colecções de fotografias aéreas em diversos suportes e que constituem os mais antigos testemunhos visuais do país. Essa informação variada é extremamente importante para estudos de evolução temporal de fenómenos (geomorfologia, hidrologia, ocupação do solo, etc.).

Este trabalho integra-se no projecto de recuperação do espólio aerofotográfico antigo existente em Portugal, neste caso o disponível no Instituto Geográfico do Exército, de modo a ser acessado e explorado pela comunidade científica.

Como o espólio de fotografias aéreas verticais existente no arquivo do Instituto Geográfico do Exército é muito extenso, no caso concreto do voo registado como “SPLAL” datado de 1937-1952, é de cerca de 40 000 fotografias 18cm x 18cm, o primeiro passo deste projecto consistiu em implementar e testar uma série de metodologias num bloco de dimensão reduzida para, numa fase posterior, o processo ser aplicado a todas as restantes fotografias. Simultaneamente, efectuou-se alguma investigação visando obter informações adicionais para identificação da câmara aérea utilizada, dados acerca dos voos efectuados, etc.

## Origem das fotografias

A empresa SPLAL – Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Limitada, foi criada em 1930 e teve como sócio fundador e director técnico o General Norton de Matos, personalidade notável da primeira metade do século XX, director dos Serviços de Geodesia e Agrimensura da Índia de 1890 a 1900. A empresa possuía aviação própria para fotografia aérea, câmaras próprias e toda a aparelhagem para restituição e elaboração de cartas por métodos fotogramétricos. Durante o final da década de 30 e ao longo de quase toda a década de 40, foi juntamente com



**Figura 1** – O avião Messerschmitt “Pato Marreco” utilizado pela SPLAL em voos aerofotogramétricos

a E.N.E.T. – Empresa Nacional de Estudos Técnicos, o principal adjudicatário de trabalhos de natureza fotogramétrica para os Serviços Cartográficos do Exército e o Instituto Geográfico Cadastral.

A partir de 1949 verifica-se uma redução acentuada da produção levada a cabo pela SPLAL, tendo a empresa entrado em liquidação, e por fim, cessado actividades em 1951. Equipamentos como câmaras aéreas e algum pessoal transitaram para novas empresas que surgiram nesta altura, como por exemplo, a Artop – Aero-Topográfica, Lda. Os Serviços Cartográficos do Exército viriam anos mais tarde a ocupar as antigas instalações da SPLAL na Rua da Escola Politécnica.

O objecto deste trabalho é uma das colecções de fotografias aéreas registadas como tendo sido obtidas pela SPLAL e que existem nos arquivos do Instituto Geográfico do Exército (algumas em placas de vidro, suporte preferido pela empresa pelo

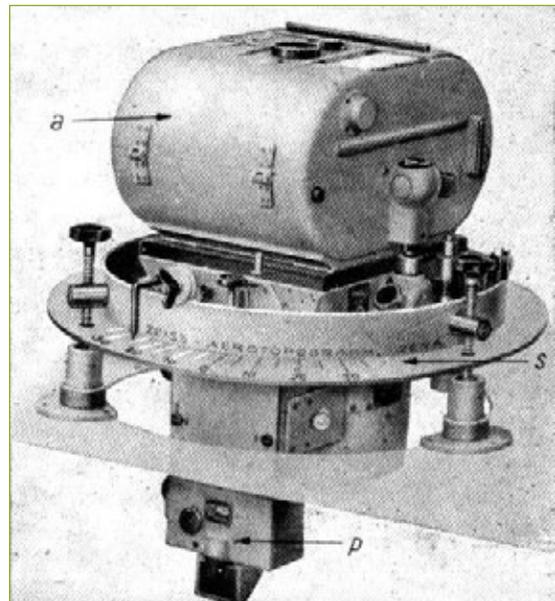


**Figura 2** – Oficina de estereorestituição da SPLAL

menos até 1941).

O processo inicial de investigação para descobrir dados sobre a câmara aérea permitiu concluir que pelas características das fotografias, nomeadamente o formato 18cm x 18cm e as suas marcas fiduciais em “trevo”, objectiva de distância focal 204,40mm e data dos voos efectuados (início da década de 40), a câmara mais passível de ter sido utilizada para obter estas fotografias é uma Zeiss® RMK S 1818.

Esta conclusão veio mais tarde a ser confirmada com a descoberta na Biblioteca do Instituto



**Figura 3** – A câmara aérea Zeiss® RMK S 1818

Geográfico do Exército do manual original dessa câmara, juntamente com os manuais de outros aparelhos fotogramétricos que os Serviços Cartográficos do Exército possuíam nesta altura, como o *Multiplex* e o *Wild A5*. O facto de o manual se encontrar na Biblioteca indicia que a câmara pertenceria aos Serviços Cartográficos do Exército. Além disso, no relatório de actividades dos Serviços Cartográficos do Exército de 1939 é mencionada a aquisição de uma câmara aérea “RMK 21”. No ano seguinte estes serviços já se congratulam por terem, pela primeira vez, utilizado a >

referida câmara e fotografado 479km<sup>2</sup>. No ano de 1941 o total de área levantada aumenta e, em 1942, de toda a área fotografada durante esse ano (5090,5km<sup>2</sup>), um quinto foi efectuada pelos Serviços Cartográficos do Exército, com a sua câmara aérea RMK com uma objectiva de 210mm e utilizando um avião e equipa de pilotos da Aeronáutica Militar (a Força Aérea Portuguesa apenas seria criada como ramo independente das Forças Armadas em 1952).

Por outro lado, no relatório de 1947 da própria SPLAL em que vêm descritos todos os trabalhos efectuados pela empresa até essa altura, em parte alguma é mencionado que tenham voado e fotografado as folhas 1:25 000 que fazem parte deste bloco de trabalho. Mais ainda, no relatório de actividades de 1942 dos Serviços Cartográficos do Exército, por exemplo, é mencionado que foram voadas as folhas 429 e 430 com uma área total de 15 800ha, o que confirma a informação descrita nos envelopes dos negativos.

Como tal, a conclusão final é a de que efecti-

vamente esta colecção de fotografias aéreas foi obtida pelos Serviços Cartográficos do Exército com a sua câmara aérea Zeiss® RMK S 1818, e não pela empresa SPLAL.

### Organização, enquadramento e digitalização das fotografias

A primeira operação a ser efectuada foi o levantamento e organização dos envelopes contendo os negativos das fotografias aéreas que constituem o objecto deste trabalho. O bloco inicial de estudo dizia respeito a apenas quatro folhas 1:25 000 da zona de Lisboa mas devido ao facto de para uma delas (“416 – Amadora”) não existirem fotografias aéreas com as mesmas características que as restantes (obtidas com a mesma câmara), este teve que ser alterado para uma configuração em “U” com 6 folhas da mesma zona. Foram então manipulados e organizados por fiada, ano de voo e carta, os cerca de 1 000 envelopes

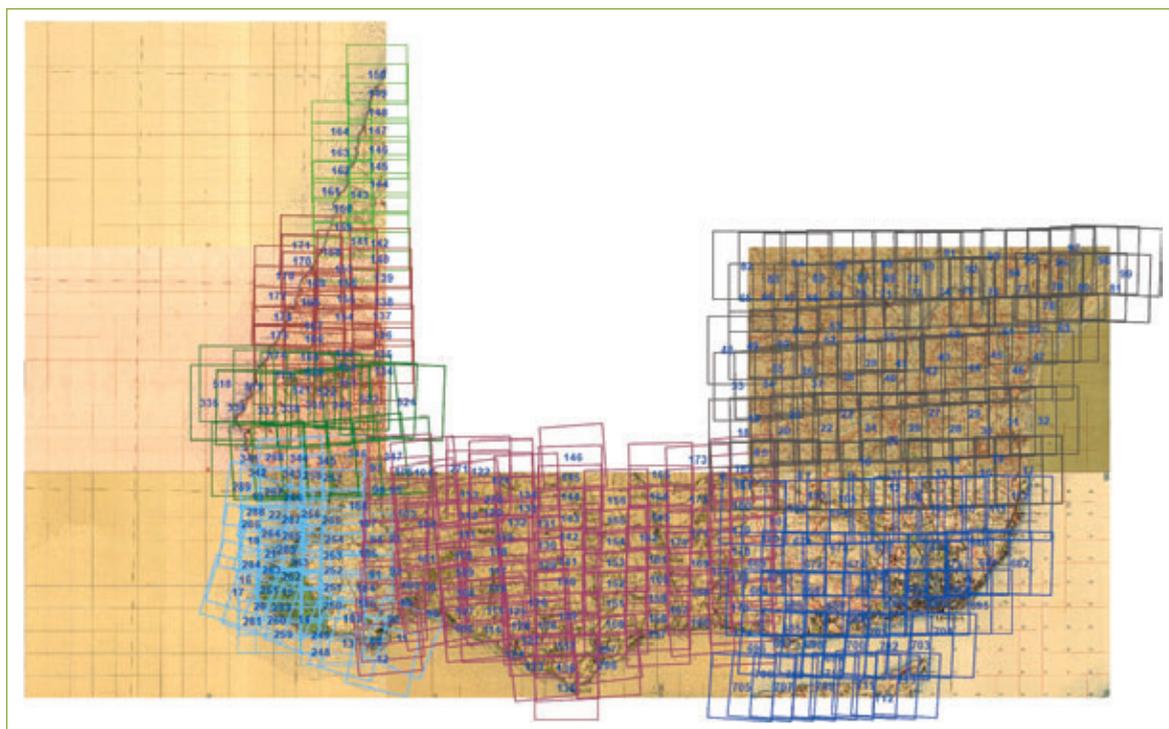


Figura 4 – Enquadramento geral com todas as cartas e fiadas

registados como “SPLAL” e com a indicação de pertencerem às cartas que constituem o bloco.

Numa segunda fase, foram seleccionadas as coberturas de voo mais antigas de cada carta (desde 1942 até 1944) e criados manualmente em ArcGis®, com recurso a medições sobre algumas impressões em papel das fotografias, os respectivos enquadramentos sobre as primeiras edições das cartas 1:25 000. Deste modo torna-se mais fácil a identificação de pormenores, em cada carta e ao longo de todo o bloco.

De seguida, o processo de digitalização das fotografias iniciou-se utilizando o scanner de alta definição PhotoScan TD da Zeiss®/Intergraph®. Os negativos foram digitalizados para positivo com uma resolução de 21 microns e para formato “TIFF”. Cada imagem ocupou cerca de 142 Mbytes de espaço em disco devido ao facto de ter sido mantida a área de digitalização para películas de maiores dimensões. Utilizou-se esta configuração para facilitar a colocação dos negativos sob o vidro do scanner, pois estes são relativamente pequenos e têm tendência a enrolar. Mais tarde, o excesso de tamanho que aparecia nas imagens como margens largas a preto foi eliminado ficando cada imagem com cerca de 72 Mbytes.

### Recuperação radiométrica das imagens e determinação automática das Orientações Internas

Foi necessário desenvolver uma aplicação em Matlab® que permitisse, numa primeira fase, melhorar o contraste das imagens (quase todas se encontravam demasiado escuras), e posteriormente, detectar de forma automática as marcas fiduciais de cada foto e calcular os seus parâmetros de orientação interna. A este programa foi atribuído o nome S.I.T.I.O. – “S.c.e.’s Image Treatment and Internal Orientations”.

Para efectuar a optimização do contraste das fotografias aplicou-se a técnica CLAHE (Contrast Limited Adaptive Histogram Enhancement) através da função “adaphisteq” do Matlab®. Este método actua sobre os valores de cinzento da imagem

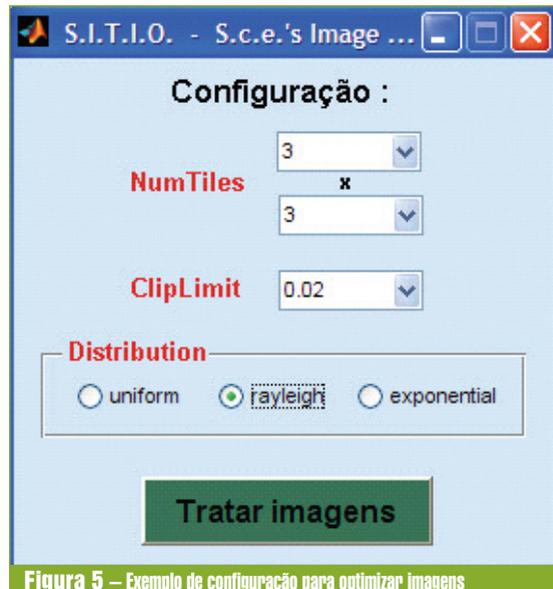


Figura 5 – Exemplo de configuração para otimizar imagens

efectuando a equalização do seu histograma, gradualmente em pequenas zonas e não sobre toda a imagem de uma só vez. Para cada grupo de fotos com características homogêneas de contraste foi possível aplicar uma configuração específica do método, fazendo variar parâmetros de entrada como o número de zonas em que a imagem é dividida (*NumTiles*), a intensidade da transformação (*ClipLimit*) e a distribuição estatística do histograma pretendido (*Distribution*).

Este processo automático permitiu a rápida optimização de todas as imagens utilizadas neste trabalho (356), sendo o tempo médio necessário para corrigir cada uma de cerca de 39 segundos.

Para detectar automaticamente as quatro marcas fiduciais existentes em cada fotografia e calcular os respectivos parâmetros de orientação interna, foi implementada dentro do mesmo programa em Matlab®, uma opção que, de forma automática, abre as imagens, recorta as zonas onde cada marca se poderá encontrar, efectua a sua binarização e uma série de processos de filtragem até isolar o objecto gráfico que é reconhecido como sendo a marca.

Se não estiver correcta a sua localização ou não for detectado nenhum objecto, é possível corri- ➤



Figura 6 – Exemplo de imagem sem optimização



Figura 7 – Exemplo de imagem optimizada

S.I.T.I.O. - S.c.e.'s Image Treatment and Internal Orientations

Processamento Tratamento Ajuda

**Em Processamento**

Ficheiro  Imagem  de

**D**

X 137  
Y 4379

✓  
**Corrigir**

**A**

X 4240  
Y 208

✓  
**Corrigir**

**B**

X 8408  
Y 4313

✓  
**CORRIGIR**

**C**

X 4305  
Y 8487

✓  
**Corrigir**

**Aguarda Validação**

**Validar** **Processar**

13%

88%

**Marcas fiduciais detectadas correctamente** 7  
Marcas fiduciais com inserção/correção manual 1

Figura 8 – Exemplo de detecção de marcas fiduciais

gir/inserir manualmente a posição de cada marca fiducial e só depois validar toda a operação. A partir das coordenadas *pixel* dos pontos encontrados e validados, são calculados os respectivos parâmetros de orientação interna para cada imagem. São estes dados que por fim são exportados para um ficheiro que poderá ser lido no *software* de aerotriangulação automática *ISAT*<sup>®</sup> - “*ImageStation Automatic Triangulation*” da *Intergraph*<sup>®</sup>, evitando assim a operação demorada que seria medir manualmente nesta aplicação as marcas fiduciais de todas as fotografias (esta solução informática detecta e lê marcas fiduciais automaticamente mas apenas em fotografias actuais).

### Pontos fotogramétricos

Para efectuar a aerotriangulação automática é necessário utilizar pontos fotogramétricos (PF's) que sejam visíveis nas fotografias. Numa primeira fase foram obtidos de cadernetas de campanhas de campo antigas, os dados referentes a Vértices Geodésicos e Pontos Fotogramétricos que se localizam nas folhas 1:25 000 que constituem o bloco. As coordenadas destes pontos referem-se ao sistema *Datum* Lisboa Hayford-Gauss Militar, que foi o utilizado no resto do trabalho.

Foi criado em *ArcGis*<sup>®</sup> um projecto “MXD” para onde foram importados esses dados e a partir da sua localização georeferenciada, foram seleccionados cerca de 300 pontos fotogramétricos

para ser confirmada a sua visualização nas fotos.

Desses, apenas 213 foram efectivamente reconhecidos nas fotografias e documentados num ficheiro *Microsoft Excel*<sup>®</sup> para auxiliar a sua localização durante o processo de medição de pontos de controlo, sendo que 105 deles eram vértices geodésicos.

### Triangulação automática

A triangulação automática das fotografias foi efectuada utilizando o *software ISAT*<sup>®</sup> da *Intergraph*<sup>®</sup>. Do grupo total de 356 fotografias foram trianguladas 343 (ainda que destas tenham sido rejeitadas duas durante o processo), não tendo sido incluídas 12 fotos da fiada Costeira da folha “429 – Cascais”, devido à sua configuração e mau estado das imagens, e uma fotografia da folha “417 – Loures” por não existir nessa fiada as duas fotos anteriores e as duas posteriores. O bloco total inicial continha 38 fiadas numa configuração pouco convencional em U.

Foram importados ficheiros com as orientações internas calculadas anteriormente com o programa *S.I.T.I.O.*, com os parâmetros iniciais provisórios de orientação externa das fotos e com os dados dos pontos fotogramétricos.

Foram medidos 148 pontos de controlo ao longo de todo o bloco que abrangia as seis folhas 1:25 000, desde a “401A – Magoito” a Noroeste até à “417 – Loures” a Nordeste.

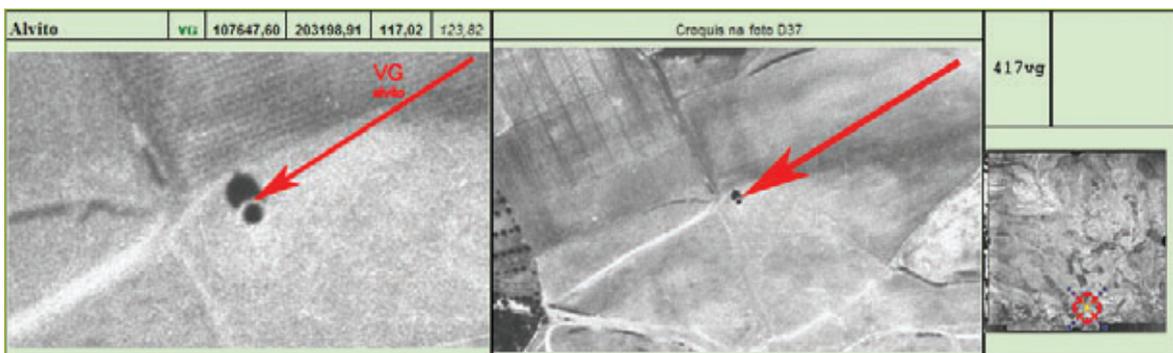


Figura 9 – Exemplo de PF reconhecido nas fotos e documentado

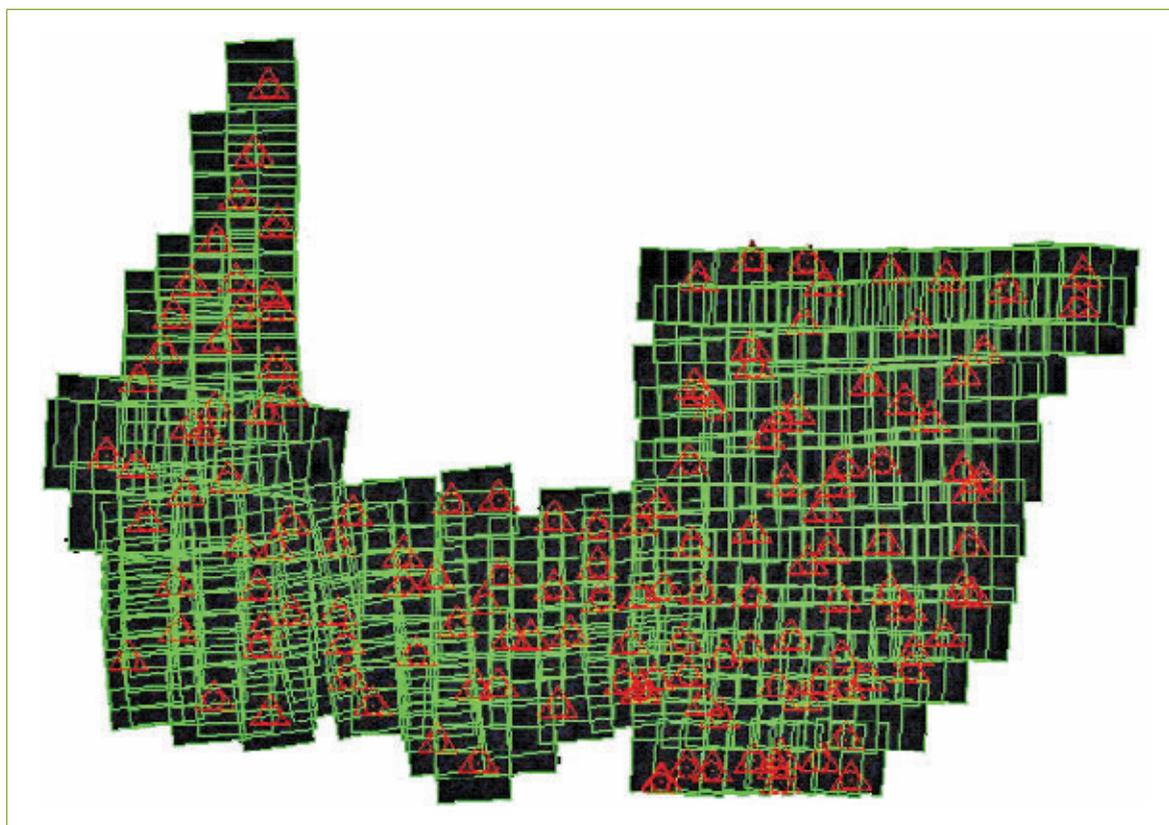


Figura 10 – Footprints de todo o bloco e distribuição de pontos de controlo

Existiram dificuldades ao longo do processo. Não existe certificado de calibração da câmara aérea e as orientações internas utilizadas são aproximadas. A determinada altura, verificou-se que entre as duas primeiras fiadas da folha “431 – Lisboa” não tinham sido detectados pontos de ligação. Tal acontecia pelo facto de existir uma descontinuidade temporal entre as fiadas, pois foram voadas em alturas diferentes ainda que no mesmo ano (1944). Isto era visível pela vegetação e restante realidade física presente nas fotografias. Foi necessário então medir manualmente cerca de 30 pontos de ligação nessa zona.

A lacuna existente na folha “417 – Loures” provocada pela falta de cinco fotos e o número reduzido de pontos de controlo disponíveis nessa zona provocavam maus resultados da triangulação desta área, pelo que se verificou ser necessário partir o bloco inicial em dois mais pequenos.

Desta forma, os resultados obtidos no primeiro bloco foram bastante razoáveis, sendo que no segundo bloco, mais problemático, os resultados foram piores, ainda que aceitáveis (ligeiramente acima da tolerância definida inicialmente de 1m para os resíduos máximos em X e Y).

Em ambos os blocos resultaram valores de

Bloco desde 401A - Magoito até 431 - Lisboa				
	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )
RMS	0,371	0,378	0,082	27,4
Resíduo Máx.	0,895	0,885	0,324	

Figura 11 – Resultados da AT do primeiro Bloco

Bloco 417 - Loures				
	X (m)	Y (m)	Z (m)	$\sigma$ ( $\mu\text{m}$ )
RMS	0,583	0,585	0,096	35,8
Resíduo Máx.	1,184	1,054	0,261	

Figura 12 – Resultados da AT do segundo Bloco

sigma ( $\sigma$ ) superiores à tolerância de 21 microns definida inicialmente no projecto, no entanto, sendo imagens com mais de 60 anos e face às circunstâncias de configuração do bloco e número de PF's disponíveis, e até eventualmente à precisão com que as coordenadas destes foram obtidas (não existe informação disponível), conclui-se que de uma forma global os valores finais do ajustamento são bastante razoáveis.

A posterior verificação de "check points" não só lidos dentro do próprio ISAT® mas também através da aplicação ISSD® – *ImageStation Stereo Display da Intergraph®*, indicaram desvios mais acentuados nas zonas periféricas dos blocos, em particular nos cantos do bloco maior (por exemplo, na carta "429 – Cascais" que tem muitos poucos PF's) e no bloco da carta "417 – Loures" de uma forma generalizada (com poucos PF's e com uma lacuna de cinco fotografias perto do centro do bloco).

### Catalogação da informação

Com o objectivo de catalogar de forma prática as fotografias aéreas utilizadas neste trabalho e a respectiva informação associada (folha 1:25000 correspondente, fiada, número, ano de voo, câmara aérea, parâmetros de orientação externa obtidos durante a Aerotriangulação, etc.), foi implementado um Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando o software ArcGis®.

Para tal, foi desenvolvido um programa em Matlab® com o nome IMAN – "Image MANipulator", que cria automaticamente uma miniatura para cada imagem e o respectivo ficheiro "TFW" (Arcgis® World File referente a uma imagem "TIFF" e com informação que permite a sua georeferenciação) com o mesmo nome.

Como cada fotografia aérea digitalizada tem em média 72Mbytes, seria impraticável, perante o desenvolvimento informático actual, a importação como raster de todo o conjunto das 343 imagens trianguladas. Assim, optou-se por reduzir oito vezes cada imagem, tornando os ficheiros manipuláveis com apenas 1.14Mbytes cada.



Figura 13 – Programa que cria as imagens miniatura "TIFF" e respectivos ficheiros "TFW"

A partir de um ficheiro de entrada com todos os parâmetros de orientação externa obtidos da aerotriangulação efectuada, foram determinados os seis elementos de cada ficheiro "TFW": os dois termos de rotação, os dois termos que indicam a dimensão do pixel sobre o terreno nas direcções

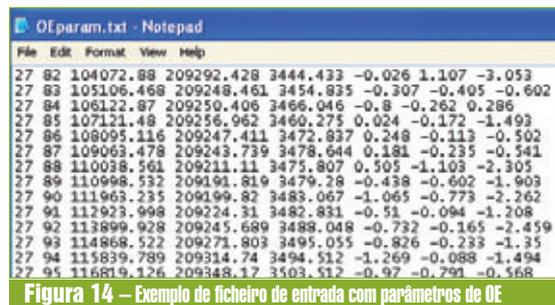


Figura 14 – Exemplo de ficheiro de entrada com parâmetros de OE

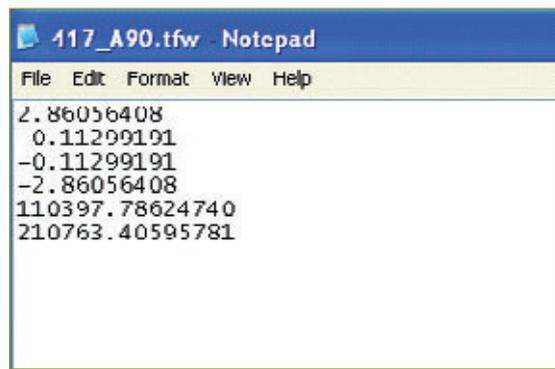


Figura 15 – Exemplo de TFW

X e Y, e por fim, os dois termos referentes às coordenadas terreno do canto superior esquerdo da nova imagem miniatura.

Mais tarde foi acrescentada ao programa a opção de efectuar o mesmo processo para imagens em formato “JPEG”, criando miniaturas e ficheiros de georeferenciação “JGW”.

Numa segunda fase, foram importados para um projecto em ArcMap® as imagens miniatura “TIFF” obtidas, criando automaticamente o mosaico global com todas as fotos. Estes rasters foram então agrupados por fiada, carta, e por fim, num só grupo denominado “FOTOS”, permitindo gerir de forma prática o seu “display”.

Simultaneamente foi criado em Microsoft Excel® um ficheiro contendo toda a informação disponível referente às fotografias, gravado com a extensão “DBF” (ficheiro do tipo base de dados dBASE) e importado para dentro do projecto em ArcMap® como uma *feature class* de pontos chamada “Dados”.

De forma a conseguir gerir de maneira eficiente as consultas à informação disponibilizada e o efeito dessas pesquisas sobre o mosaico de fotos, decidiu-se criar uma *feature class* de polígonos chamada “Catálogo”, sobre esses rasters. Através da junção das tabelas de atributos do “Catálogo” com a dos “Dados” foi possível reunir toda a informação numa tabela única. Deste modo, ao ser efectuada uma pesquisa sobre o mosaico de fotos, será essa tabela de atributos que será inquirida, não afectando a visualização nem provocando um novo carregamento das imagens.

Para complementar a informação já disponível, foram criadas miniaturas “JPEG” de todas as imagens e associado um *hyperlink* a cada uma, permitindo desta forma abrir uma pré-visualização de cada foto que faça parte dos resultados duma pesquisa.

A informação disponibilizada desta forma é passível de ser pesquisada através de um clique sobre o ponto pretendido ou descrevendo um rectân-

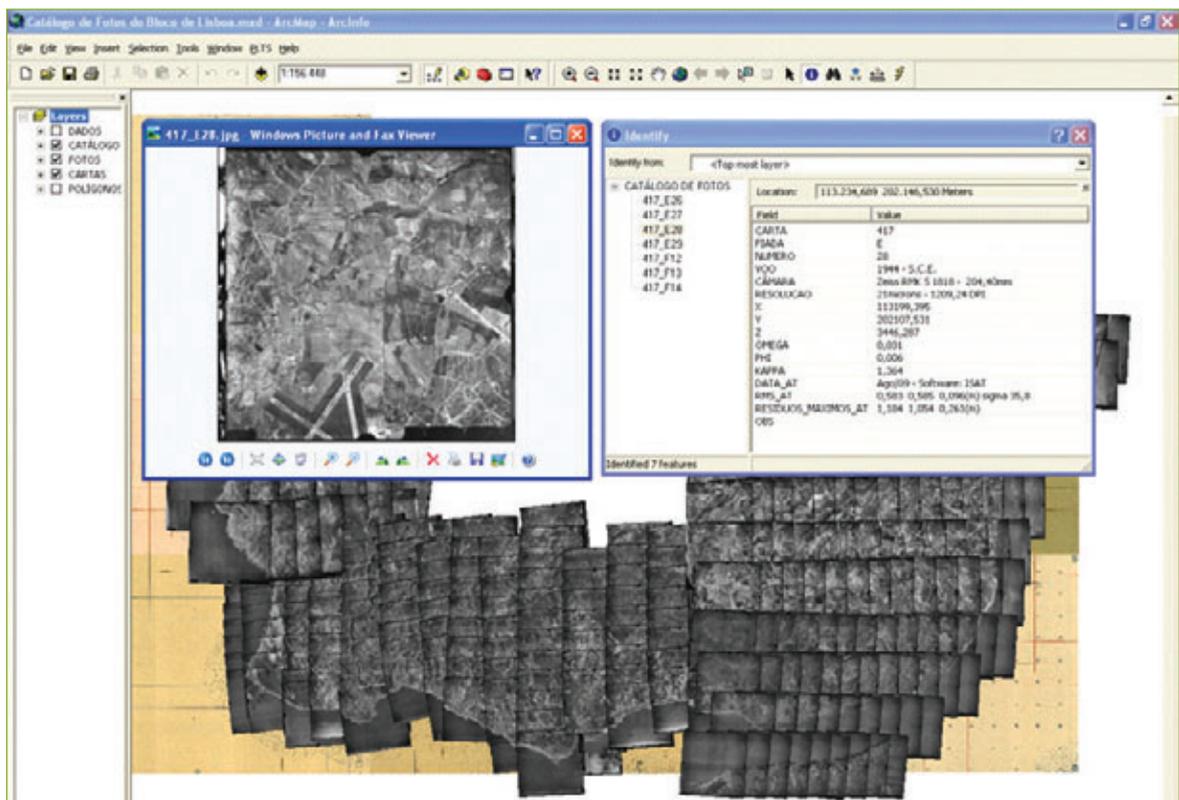


Figura 16—SIG final com o mosaico de fotos e respectiva informação associada

gulo em torno da área desejada (com o cursor em modo “Identify”), ou utilizando a ferramenta de selecção por atributos do ArcMap®, caso se pretenda por exemplo, os dados de todas as fotografias referentes a uma determinada folha 1:25 000.

## Conclusões

No âmbito deste trabalho foi possível reunir um conjunto de informações extremamente interessantes, não só sobre a empresa SPLAL como também sobre o próprio Instituto Geográfico do Exército. Exemplo disso é a existência da câmara aérea adquirida pelos Serviços Cartográficos do Exército (desconhecida até hoje), da sua extensa utilização e de como a colecção de fotografias aéreas registada como SPLAL e que foi objecto deste estudo, foi efectivamente obtida pelos Serviços e não por essa empresa particular.

Ao longo de todo este trabalho foi desenvolvida uma série de aplicações, o programa para melhorar o contraste das imagens e detectar marcas fiduciais, como a aplicação que cria miniaturas e ficheiros “TFW”, que se revelaram bastante úteis e que de uma forma bastante prática, optimizaram a execução de processos que de outra forma seriam impraticáveis, como a geração do mosaico de fotos em ArcMap®, ou demasiado morosos, como a medição de todas as marcas fiduciais das fotografias.

É também possível concluir pelos resultados obtidos da triangulação automática realizada que estas fotografias possuem uma boa qualidade radiométrica e geométrica, considerando que se trata de negativos com mais de 60 anos, e um potencial considerável, seja para restituição ou para a produção de ortofotos ou modelos digitais de elevação, ou ainda outros estudos de natureza variada.

## Referências bibliográficas

Aero Clube de Portugal, 1941. *Revista do Ar* Ano 4 Número 41, Lisboa

Associação Portuguesa de Fotogrametria, 1942. *Boletim da Associação Portuguesa de Fotogrametria* Vol.I Fascículo n.º 3, Lisboa

Espanha, Servicio Geográfico del Ejército – Escuela de Geodesia Y Topografía, 1953. *Curso de interpretacion fotografica*, Madrid

Matos J., 2007. *Engenharia Geográfica nos Séculos XIX e XX* <http://websig.civil.ist.utl.pt/jmatos/Modules/StandardToolkit/Documents/View-Document.aspx?Mid=745&ItemId=61> (acedido pela última vez em 15 de Setembro de 2009)

Minnesota Department of Natural Resources MIS Bureau - GIS Section, 2001. *Managing and Creating Spatial Data* <http://thoreau.dnr.state.mn.us/mis/gis/tools/arcview/Training/Web-Help/Courses/CandMSPData/Section3/Page3-7.html> (acedido pela última vez em 11 de Setembro de 2009)

Portugal. Estado-Maior do Exército, 1939. *Actividade desenvolvida pelos Serviços Cartográficos do Exército*, Lisboa: Edições do Estado-Maior do Exército

Portugal. Estado-Maior do Exército, 1940. *Actividade desenvolvida pelos Serviços Cartográficos do Exército*, Lisboa: Edições do Estado-Maior do Exército

Portugal. Estado-Maior do Exército, 1941. *Actividade desenvolvida pelos Serviços Cartográficos do Exército*, Lisboa: Edições do Estado-Maior do Exército

Portugal. Estado-Maior do Exército, 1942. *Actividade desenvolvida pelos Serviços Cartográficos do Exército*, Lisboa: Edições do Estado-Maior do Exército

Redweik P. 2007, *Fotogrametria Aérea*. Texto não publicado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa

Redweik P., Roque D., Marques A., Matildes R. e Marques F., 2009. *Recovering Portugal Aerial Images Repository*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing Vol. XXXVIII-1-4-7/W5 ISSN 1682-1777

SPLAL, 1947. *Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos*, Lda, Lisboa

