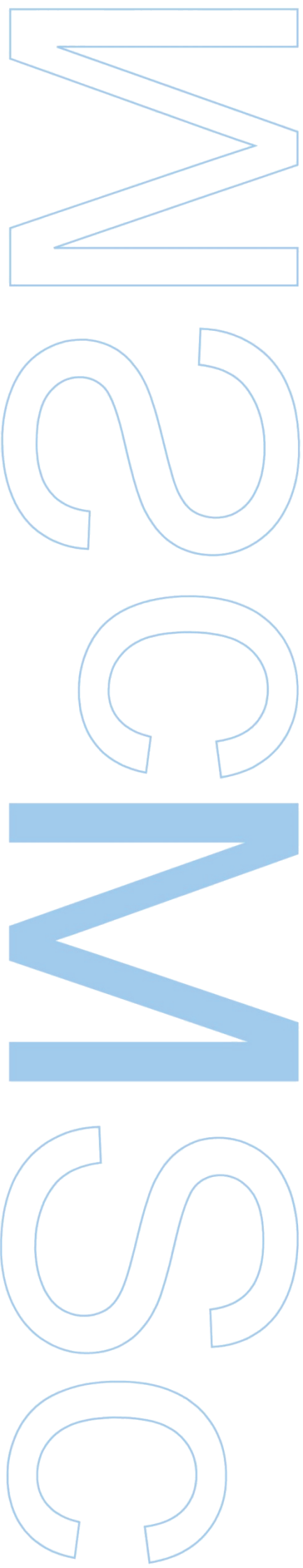


**Geração automática de ortomosaicos
de fotos aéreas de arquivo e o seu
potencial como tema de informação
geográfica**

Gonçalo Carvalho Oliveira
2021



Geração automática de ortomosaicos de fotos aéreas de arquivo e o seu potencial como tema de informação geográfica

Gonçalo Carvalho Oliveira

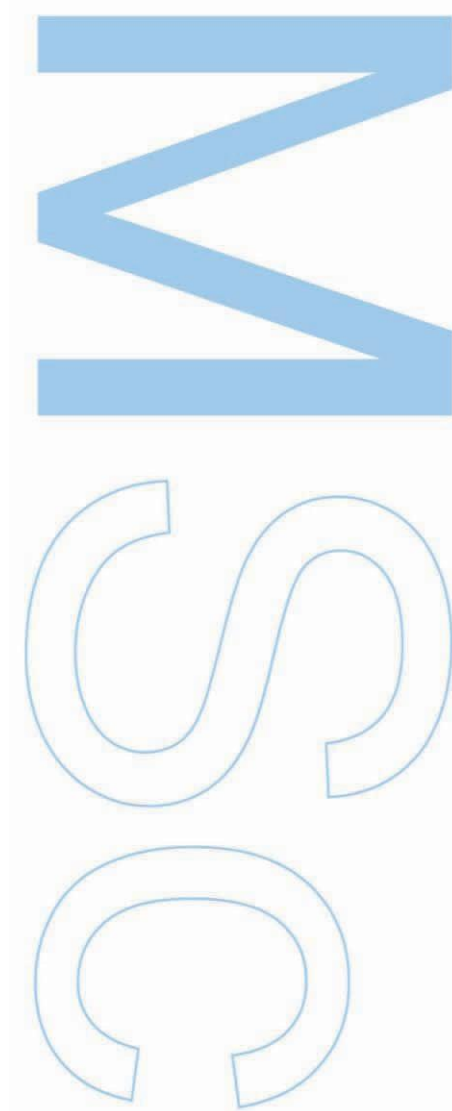
Mestrado em Deteção Remota

Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território

2021

Orientador

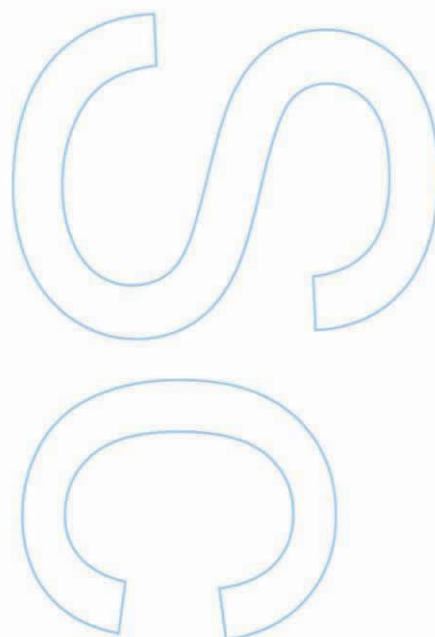
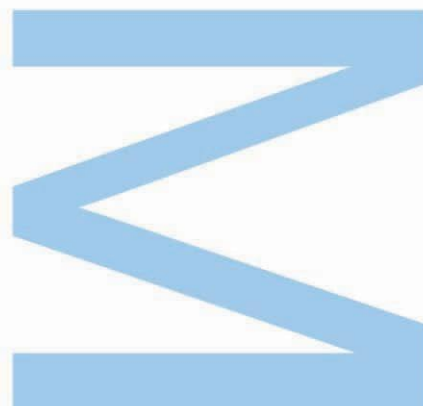
José Alberto Gonçalves, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto





Todas as correções determinadas
pelo júri, e só essas, foram efetuadas.
O Presidente do Júri,

Porto, ____ / ____ / ____



Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível devido à contribuição, direta ou indireta de diversas pessoas e instituições. Manifesto aqui os meus sinceros agradecimentos em especial:

Ao meu orientador, Professor Doutor José Alberto Gonçalves, pela orientação, paciência e dedicação demonstrada ao longo deste trabalho e durante o período de formação.

À empresa Infoportugal, Sistemas de Informação e Conteúdos, SA, por ter acolhido este estágio e ao Centro de Informação Geoespacial do Exército por ter fornecido as fotografias aéreas obtidas que serviram de base para elaboração deste trabalho.

A todos professores do curso de mestrado em Detecção Remota, pela dedicação prestada ao longo deste período de formação.

Aos meus colegas do curso de mestrado pela ajuda prestada ao longo do curso, nomeadamente o Bernard Vasconcellos.

Aos meus pais pelo apoio incondicional prestada ao longo destes anos da minha formação.

Resumo

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) requer, frequentemente, em muitas áreas de aplicação, informação antiga para comparação com a atual, sendo de particular utilidade as fotografias aéreas de arquivo. No caso de Portugal, o Centro de Informação Geoespacial do Exército possui um repositório com diversas coberturas aéreas, de diferentes fontes, de vários anos, que, apesar de já digitalizada, não é eficazmente utilizada por não estar georreferenciada. Entre elas contam-se os voos da Força Aérea Inglesa (1947), da Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos, Lda. – SPLAL (década de 1940) e da Força Aérea Americana (1958). O trabalho proposto pretende aplicar um procedimento essencialmente automático, com pequena intervenção do operador, de georreferenciação com ortorretificação, e montagem de um mosaico, tendo sido realizado sobre a cobertura de 1958. Foi utilizado um método automático baseado na técnica de “structure from motion”. O método requer uma pré-preparação das fotos, realizada em ambiente SIG, de forma a simular o que se passa com fotos de uma câmara digital. O processamento fotogramétrico é feito com uso de algoritmos computacionais recentes, que permitem a deteção de numerosos pontos comuns entre as diferentes imagens, seguido de um ajuste de feixes com um número de pontos de apoio relativamente reduzido obtidos através do Google Earth. Feita a extração automática de um modelo digital de superfície é composto o ortomosaico final.

Os ortomosaicos obtidos para três folhas da carta militar permitiram verificar que o processo gera imagens com uma georreferenciação adequada para a escala 1:25.000. O tempo de execução de uma folha é aceitável para que seja economicamente rentável a ortorretificação da cobertura de todo o país. Foi igualmente possível verificar a potencialidade destas imagens para a sua exploração na atualidade.

Palavras-chave:

AgiSoft, Centro de Informação Geoespacial do Exército, Fotografia aérea histórica, fotogrametria, georreferenciação, ortomosaico, Sistemas de Informação Geográfica, modelos digitais de superfície

Abstract

The use of geographic information systems frequently requires, in many areas of application, historical information for comparison with the current one, being of particular usefulness the archived aerial photographs. In the case of Portugal, the Army Geospatial Information Center (CIGeoE) has a repository with several aerial coverages, from different sources, of several years, which, although already digitized, is not effectively used because it is not georeferenced. Among them, are the flights of the British Air Force (1947), the American Air Force (1958) and the Portuguese Society of Air Surveys, Lda. – SPLAL (1940s). The proposed work aims to apply an essentially automatic georeferencing procedure with ortho-rectification, and assembly of a mosaic, which was carried out on the historical aerial photos of 1958. An automatic method based on the "structure from motion" technique will be used. The method requires a pre-preparation of the photos, performed in GIS environment, in order to simulate what happens with photos from a digital camera. The photogrammetric processing is done using recent computational algorithms, which allow the measurement of numerous common points between the different images, followed by a bundle adjustment, with a relatively small number of support points obtained through Google Earth. After the automatic extraction of a digital surface model, the final orthomosaic is composed..

Orthomosaics obtained for three sheets of the Portuguese military map allowed to verify that the process generates images with a good georeferencing quality, appropriate for map scale 1:25.000. The execution time of a trained operator for a map sheet is acceptable to make the orthorectification of all the coverage economically viable. It was also possible to verify the potential of these images for their exploitation in the present time.

Keywords:

AgiSoft, Army Geospatial Information Center, Historical Aerial Photography, Photogrammetry, Georeferencing, Orthomosaic, Geographic Information Systems, digital surface models

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
Abstract	iii
Índice.....	iv
Índice de Figuras.....	v
Índice de Tabelas	vii
Capítulo 1. Introdução	1
Capítulo 2. Conceitos teóricos.....	3
2.1 Fotogrametria tradicional	3
2.2 Novos desenvolvimentos na Fotogrametria.....	4
Capítulo 3. Materiais e métodos	5
3.1 Materiais	5
3.2 Área de estudo - Contextualização.....	9
3.3 Preparação das imagens.....	11
3.4 Orientação em bloco: criação da nuvem de pontos dispersa.....	12
3.5 Inserção de pontos de apoio, refinamento da orientação e georreferenciação	12
3.6 Criação da nuvem de pontos densa e de um modelo digital de superfície	13
3.7 Exportação do ortomosaico	14
3.8 Resultados esperados.....	14
3.9 Análise de alterações	15
Capítulo 4. Desenvolvimento e resultados obtidos.....	16
4.1 Carta militar 125	16
4.2 Carta militar 529	25
4.3 Carta militar 230	32
4.4 Avaliação de alterações	40
Capítulo 5. Conclusão	42
Capítulo 6. Bibliografia.....	43

Índice de Figuras

Figura 1 - Fluxograma de processamento de imagens.....	5
Figura 2 – Área da carta militar 125 (limites a azul).....	9
Figura 3 - Área da carta militar 230 (limites a azul)	10
Figura 4 - Área da carta militar 529 (limites a azul)	10
Figura 5 - Exemplo de uma foto completa e de uma das marcas fiduciais (Gonçalves et al., 2015).....	11
Figura 6 - Exemplo de uma nuvem de pontos densa.....	13
Figura 7 – Exemplo de um MDS(correspondente à área da figura anterior)	14
Figura 8 – Exemplo de um ortomosaico (correspondente à área da Figura 6)...	14
Figura 9-Pseudo georreferenciação	16
Figura 10-Pseudo georreferenciação e erros relacionados	17
Figura 11-Tipos de marcas fiduciais e respectivas shapes	17
Figura 12 – Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) da carta 125.....	19
Figura 13- Definições do sistema de coordenadas	19
Figura 14- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação da carta 125.....	20
Figura 15- Escolha dos parâmetros a ajustar durante o processo de otimização das câmaras	20
Figura 16- Parâmetros da câmara 1 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 125	21
Figura 17- Parâmetros da câmara 2 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 125	21
Figura 18- Nuvem de pontos densa da carta 125.....	22
Figura 19- DEM da carta 125	22
Figura 20- DEM da carta 125 com curvas de nível (50 metros).....	23
Figura 21- Orto da carta 125	23
Figura 22- Orto da carta 125 com curvas de nível.....	24
Figura 23- Ortomosaico da carta militar 125 (cortado pelos limites da carta militar 125)	24
Figura 24- Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) da carta 529.....	25
Figura 25- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação da carta 529.....	26

Figura 26-Google Earth folha 529 com sobreposição do orto temporário (em cima) e sem sobreposição (em baixo)	27
Figura 27- Parâmetros da câmara 1 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 529	28
Figura 28- Parâmetros da câmara 2 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 529	28
Figura 29- Nuvem de pontos densa da carta 529	29
Figura 30- DEM da carta 529	29
Figura 31- Orto da carta 529	30
Figura 32- Ortomosaico da carta militar 529 (cortado pelos limites da carta militar 529)	31
Figura 33- Alinhamento das imagens (craição da nuvem de pontos dispersa) do bloco 1 da carta 230	32
Figura 34- Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) do bloco 2 da carta 230	33
Figura 35- Parâmetros da câmara 1 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) do bloco 1 da carta 230	33
Figura 36- Parâmetros da câmara 2 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) do bloco 1 da carta 230	34
Figura 37- Parâmetros da câmara iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) do bloco 2 da carta 230	34
Figura 38- Ponto de controlo (bandeira verde) na imagem 1079 do bloco 1 da carta 230	35
Figura 39- Ponto de controlo (bandeira verde) na imagem 1078 do bloco 1 da carta 230	35
Figura 40- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação do bloco 2 da carta 230	36
Figura 41- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação do bloco 1 da carta 230	36
Figura 42- Nuvem de pontos densa do bloco 1 da carta 230.....	37
Figura 43- Nuvem de pontos densa do bloco 2 da carta 230.....	37
Figura 44- DEM do bloco 1 da carta 230	38
Figura 45- DEM do bloco 2 da carta 230	38
Figura 46- Orto do bloco 1 da carta 230	39
Figura 47- Orto do bloco 2 da carta 230	39
Figura 48- Extratos das 3 cartas (2.0x1.6 km) das três cartas e das correspondentes imagens do Google Maps.....	40

Índice de Tabelas

Tabela 1- Detalhes das fotos da carta 125	6
Tabela 2- Detalhes das fotos da carta 230	7
Tabela 3- Detalhes das fotos da carta 529	8

Lista de Acrónimos

CIGeoE	Centro de Informação Geoespacial do Exército
GPS	Global Positioning System
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
VANT	Veículo aéreo não tripulado
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
DEM	Digital Elevation Model

Capítulo 1. Introdução

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite a análise da evolução territorial ao longo do tempo. Em algumas áreas de estudo é necessária informação antiga para comparação com a situação atual, sendo de particular utilidade as fotografias aéreas de arquivo.

Contudo, em muitas áreas como a biologia e gestão e ordenamento do território, é também de grande interesse a disponibilidade de informação histórica pela possibilidade de conhecer e comparar situações passadas com o presente.

É de especial utilidade a utilização de fotografias aéreas históricas. Sendo uma das formas mais antigas de dados obtidos por deteção remota, são instrumentos cruciais para o mapeamento e monitorização do terreno ao longo do tempo.

Na biologia, por exemplo, é possível estudar a evolução da vegetação, quer o crescimento quer o desaparecimento, comparar a distribuição de determinadas espécies, a propagação de espécies não nativas ou invasoras, como é o caso de (Pinto et al., 2019a).

No ordenamento de território (Campos & Gomes, 2015; Cunha et al., 1997) é muito útil para fazer a gestão de planos diretores municipais.

O Centro de Informação Geoespacial do Exército (CiGeoE) possui milhares de fotos aéreas históricas. Fazem parte da coleção coberturas de Portugal feitas a partir dos anos 40 como são os casos da cobertura efetuada pela Força Aérea Inglesa (British Royal Air Force, RAF), entre maio e agosto de 1947, pela Sociedade Portuguesa de Levantamentos Aéreos Limitada (SPLAL), entre 1937 e 1952 (Redweik et al., 2010), e pela Força Aérea Americana (United States Air Force, USAF), entre 1958 e 1960 (Lopes & Pereira, 2015). As coleções do CiGeoE foram digitalizadas, mas não georreferenciadas, o que é necessário para a utilização destas em ambiente SIG.

Este trabalho será executado através do uso de algumas destas fotografias, nomeadamente do voo em 1958 da USAF, uma vez que esta cobertura se encontra mais completa, abrangendo todo o território português.

Apesar destas coberturas aéreas históricas existirem, estas imagens não estão georreferenciadas. O processo de georreferenciação não é simples porque envolve ortorretificação, de modo que tem de ser feito por alguém experiente na área da fotogrametria. Sendo realizado pelos métodos tradicionais, este processo é demorado e dispendioso, pelo que não é viável realizá-lo na cadeia de produção do CiGeoE. O trabalho desenvolvido neste estágio tem por objetivo propor um método que permita automatizar este processo, permitindo ser realizado por qualquer utilizador e, portanto, poupar assim

tempo e dinheiro.

Neste trabalho procedeu-se à criação de ortomosaicos de 3 folhas da carta militar com as fotografias da cobertura de 1958 feita pela USAF, com o objetivo de avaliar a qualidade do resultado. Os ortomosaicos apresentam uma qualidade geométrica compatível com a escala 1:25.000 e esta metodologia poderia ser utilizada para todo o arquivo desta cobertura aérea de arquivo.

O objetivo deste trabalho é, então, a ortorretificação de fotos aéreas do arquivo do CIGeoE. Foi executado em áreas de teste do território para avaliação a exequibilidade do processo e o potencial do resultado como tema de informação geográfica.

As áreas de teste foram escolhidas de modo a representarem os diferentes tipos de terreno existentes no território nacional português a fim de avaliar a exequibilidade e a qualidade dos ortomosaicos gerados por este método automático quando deparado com os diferentes tipos de terreno.

Foi também contabilizado o tempo de execução de todo o método de modo a avaliar a viabilidade da aplicação deste projeto-piloto para todo o território português.

A estrutura deste relatório está dividida em seis partes: introdução, conceito teóricos, materiais e métodos, desenvolvimento e resultados obtidos, conclusão e bibliografia.

Capítulo 2. Conceitos teóricos

2.1 Fotogrametria tradicional

A Fotogrametria (derivada do grego: luz, descrição e medidas) é definida como a ciência aplicada, a técnica e a arte de extrair de fotografias métricas, a forma, as feições, as dimensões e a posição dos objetos nelas contidos.

Mais recentemente, a fotogrametria foi descrita como a ciência e a tecnologia de extração de informação geométrica e temática tridimensional de confiança, geralmente ao longo do tempo, de objetos e paisagens a partir de dados de imagem e de alcance (*ISPRS Statutes 2016, 2016*) .

Uma das classificações adotadas para a fotogrametria é quanto à evolução dos equipamentos e materiais envolvidos nos processos, podendo a mesma ser: fotogrametria analógica, fotogrametria analítica ou fotogrametria digital.

A Fotogrametria aérea (aerofotogrametria) provém da fotogrametria, onde uma câmara fotográfica métrica é instalada num veículo aéreo. O voo é feito em fiadas cobrindo a área a cartografar. As fotografias numa mesma fiada apresentam uma sobreposição longitudinal e as fotografias de fiadas adjacentes apresentam uma sobreposição lateral (Pinto, 2019). É esta sobreposição de imagens adjacentes igual ou superior a 60% (sobreposição de 60% neste caso) que nos permite o uso da estereoscopia, possibilitando assim gerar modelos tridimensionais do terreno.

A estereoscopia visual é o processo pelo qual a partir de duas imagens distintas, mas contemplando a mesma região, permite ter uma noção da tridimensionalidade dessa região (Esteves et al., 2011). Um trabalho desenvolvido na fotogrametria é a extração de informação tridimensional, sob a forma de um modelo de elevação digital (DEM, do inglês, “Digital Elevation Model”).

De acordo com Burrough (1986), “o modelo de elevação digital é uma representação de matriz regular da variação contínua do relevo ao longo do espaço”. A elevação pode ser definida como a altitude acima do nível médio do mar. Um DEM envolve a criação de uma matriz regular de elevações na forma de quadrados sobre o terreno (Pratibha et al., 2013). Um DEM é essencial para a criação de ortofotos.

Um ortofoto é uma fotografia aérea transformada geometricamente, em que cada pixel foi conduzido à posição correta tendo em conta o efeito do relevo, a posição e a atitude da câmara. Corresponde a uma projeção ortogonal, em vez da projeção central da imagem original. A imagem sofre uma correção, pixel a pixel, através do modelo digital de elevação, da distorção introduzida pelo relevo (Lino, 2018).

O mosaico de ortofotos, também conhecido como ortomosaico, é o resultado da

união digital de ortofotos (Torres & Patriota, 2020).

2.2 Novos desenvolvimentos na Fotogrametria

Uma importante evolução que ocorreu recentemente na Fotogrametria foi o desenvolvimento dos veículos aéreos não tripulados (VANT). Eles permitem a aquisição de números muito grandes de imagens, com coberturas estereoscópicas tal como as das fotografias aéreas tradicionais, mas cujo processamento pelos mesmos métodos envolveria tempos de execução consideráveis. Esta disponibilidade de volumes de dados muito grandes despoletou a necessidade de algoritmos automáticos. Vários programas de processamento, como o Agisoft Photoscan e o Pix4dMapper, são largamente utilizados para processar dados desse tipo. De modo a tirar partido desse tipo de software, neste trabalho, as imagens foram pré-preparadas de forma a simular características das imagens digitais geradas por VANT.

Recentemente, em resultado dos desenvolvimentos que ocorreram nas tecnologias da informação, nomeadamente na área da visão computacional, surgiram novos algoritmos para extração automática de informação 3D a partir de imagens.

Um destes algoritmos, SIFT(*Scale Invariant Feature Transform*)(Lowe, 2004), criado por David Lowe, é utilizado no programa *Photoscan*. Na fase de "alinhamento das imagens", o método automático SIFT identifica pontos conjugados em grande número (centenas ou milhares por foto) , geralmente, permitindo a orientação relativa de pares de imagem, num processamento único, em bloco.

Anteriormente, este trabalho de identificação de pontos comuns era feito manualmente com uma perda de tempo considerável; estes algoritmos vieram permitir um aumento considerável de produtividade.

Outros desenvolvimentos nesta área são as bases de dados e plataformas online que disponibilizam informação georreferenciada, como o Google Earth, que reduz ou até mesmo elimina a necessidade de trabalho de campo em muitas áreas geográficas. No caso das imagens disponibilizadas para a Europa, elas são maioritariamente fotografias aéreas de alta resolução, não imagens de satélite, e possuem uma exatidão de georreferenciação melhor que 1 metro (Fonte et al., 2021).

O Photoscan também utiliza algoritmos que permitem a geração de nuvens de pontos densas, a que se segue a criação de um DEM interpolado, que por sua vez vai ser utilizado na ortorretificação das fotos. Assim, os programas de processamento utilizados com os VANT podem ser usados, de forma igual e largamente automatizada na ortorretificação com rigor de quaisquer fotografias aéreas obtidas por avião, em particular das fotos antigas.

Capítulo 3. Materiais e métodos

O método utilizado neste trabalho é análogo a um trabalho realizado sobre o concelho de Coimbra por (Gonçalves et al., 2015), cujo processamento de imagens é representado pelo seguinte fluxograma (Figura 1).



Figura 1 - Fluxograma de processamento de imagens

3.1 Materiais

Foram usadas fotos aéreas disponibilizadas à empresa Infoportugal pelo Centro de Informação Geoespacial do Exército, digitalizadas em scanner fotogramétrico de alta resolução (1210 dpi, correspondentes a pixel de 21 micron). As fotos são do voo da Força Aérea Americana realizado em 1958, à escala aproximada de 1:30 000 (Canha, 2019; Silva et al., 2013).

Fez-se uma recolha de informação inicial analisando todas as fotos (Tabela 1, Tabela 2 e Tabela 3), recolhendo sempre que possível a latitude, longitude, altitude do voo, distância focal, tipo de marcas fiduciais (Q-quadrados,P-pontos) (Figura 11-Tipos de marcas fiduciais e respetivas shapes). Esta recolha foi um pouco desafiante uma vez que em muitas fotos esta informação aparecia cortada ou não visível de todo, pelo que foi necessário requisitar ao CIGEOE a informação relevante e vital para a elaboração do trabalho (nas tabelas o “?” indica a informação que não estava visível nas fotos).

Também foram registadas as rotações feitas nas imagens uma vez que era imperativo que estas tivessem todas a mesma orientação, de forma a que o pares estereoscópicos fossem compostos da esquerda para a direita.

Pelas distâncias focais foram identificadas 4 câmaras, portanto 4 tipos de marcas fiduciais:2 quadrados (Q e Q2) e 2 pontos (P e P2).

É também possível, através do número de colunas e de linhas, verificar que as fotos da mesma câmara não têm o mesmo número de pixéis, uma característica fundamental para a o correto funcionamento deste processo.

Tabela 1- Detalhes das fotos da carta 125

Carta	Fiada	Imagem Original	Cols	Rows	Pix	Long (°)	Lat (°)	Altitude Voo (ft)	Dist. focal	Cam Num	Rotacao a fazer
125	1	10000.tif	12584	11505	0.58	-8.1231	41.2090	?	152.42	Q	direita
125	1	10001.tif	12580	11501	0.58	-8.1241	41.1834	?	152.42	Q	direita
125	1	10002.tif	12582	11504	0.58	-8.1231	41.1592	?	152.42	Q	direita
125	1	10003.tif	12580	11501	0.58	-8.1251	41.1367	?	152.42	Q	direita
125	1	10004.tif	12582	11504	0.58	-8.1251	41.1141	?	152.42	Q	direita
125	1	10005.tif	12580	11501	0.58	-8.1209	41.0923	?	152.42	Q	esquerda
125	2	10029.tif	12580	11501	0.58	-8.0825	41.0871	?	152.42	Q	direita
125	2	10030.tif	12580	11501	0.58	-8.0799	41.1139	?	152.42	Q	direita
125	2	10031.tif	12580	11501	0.58	-8.0814	41.1366	?	152.42	Q	direita
125	2	10032.tif	12580	11501	0.58	-8.0789	41.1603	?	152.42	Q	direita
125	2	10033.tif	12580	11501	0.58	-8.0778	41.1837	?	152.42	Q	direita
125	2	10034.tif	12582	11504	0.58	-8.0778	41.2055	?	152.42	Q	direita
125	4	10466.tif	12582	11504	0.58	-7.9811	41.0976	14150	153.01	P	direita
125	4	10467.tif	12580	11501	0.58	-7.9826	41.1195	14190	153.01	P	direita
125	4	10468.tif	12582	11504	0.58	-7.9821	41.1399	14190	153.01	P	direita
125	4	10469.tif	12580	11501	0.58	-7.9816	41.1606	14180	153.01	P	direita
125	4	10470.tif	12582	11504	0.58	-7.9810	41.1839	14190	153.01	P	direita
125	4	10471.tif	12580	11501	0.58	-7.9825	41.2065	14190	153.01	P	direita
125	3	10570.tif	12582	11504	0.58	-8.0405	41.0793	?	152.42	Q	direita
125	3	10571.tif	12580	11501	0.58	-8.0386	41.1019	?	152.42	Q	direita
125	3	10572.tif	12582	11504	0.58	-8.0394	41.1212	?	152.42	Q	direita
125	3	10573.tif	12580	11501	0.58	-8.0409	41.1438	?	152.42	Q	direita
125	3	10574.tif	12582	11504	0.58	-8.0398	41.1652	?	152.42	Q	direita
125	3	10575.tif	12580	11501	0.58	-8.0398	41.1840	?	152.42	Q	direita
125	3	10576.tif	12582	11504	0.58	-8.0388	41.2058	?	152.42	Q	direita
125	5	11255.tif	12582	11504	0.58	-7.9332	41.2123	?	152.42	Q	esquerda
125	5	11256.tif	12580	11501	0.58	-7.9358	41.1908	?	152.42	Q	esquerda
125	5	11257.tif	12582	11504	0.58	-7.9346	41.1712	?	152.42	Q	esquerda
125	5	11258.tif	11258	12112	0.58	-7.9409	41.1478	14000	152.42	Q	esquerda
125	5	11259.tif	12582	11504	0.58	-7.9360	41.1250	?	152.42	Q	esquerda
125	5	11260.tif	12580	11501	0.58	-7.9405	41.1068	?	152.42	Q	esquerda

Tabela 2- Detalhes das fotos da carta 230

Carta	Fiada	Imagem Original	Cols	Rows	Pix	Long (º)	Lat (º)	Altitude Voo (ft)	Dist. focal	Cam Num	Rotacao a fazer
230	2	236.tif	12582	11503	0.58	-8.4584	40.1870	14290	153.01	P	180°
230	2	237.tif	12582	11503	0.58	-8.4548	40.2108	14290	153.01	P	180°
230	2	238.tif	11170	12142	0.58	-8.4636	40.2351	14330	153.01	P	direita
230	2	239.tif	11265	12184	0.58	-8.4629	40.2607	14320	153.01	P	direita
230	2	240.tif	11263	12136	0.58	-8.4611	40.2858	14320	153.01	P	direita
230	2	241.tif	11204	12143	0.58	-8.4672	40.3085	14280	153.01	P	esquerda
230	1	1077.tif	11295	12134	0.58	-8.5066	40.1857	13280	153.01	P	direita
230	1	1078.tif	11503	12582	0.58	-8.5065	40.2077	13260	153.01	P	direita
230	1	1079.tif	11503	12582	0.58	-8.5096	40.2328	13270	153.01	P	direita
230	1	1080.tif	11073	10937	0.58	-8.5112	40.2598	?	153.01	P?	direita
230	1	1081.tif	11503	12582	0.58	-8.5094	40.2780	13280	153.01	P	direita
230	1	1082.tif	11503	12582	0.58	-8.5087	40.3040	13280	153.01	P	direita
230	5	1598.tif	12582	11504	0.58	-8.3219	40.1829	13280	153.01	P	direita
230	5	1599.tif	12582	11504	0.58	-8.3198	40.2070	13280	153.01	P	direita
230	5	1600.tif	12582	11504	0.58	-8.3193	40.2320	13290	153.01	P	direita
230	5	1601.tif	12582	11504	0.58	-8.3175	40.2547	13280	153.01	P	direita
230	5	1602.tif	12582	11504	0.58	-8.3171	40.2808	13280	153.01	P	direita
230	5	1603.tif	12582	11504	0.58	-8.3162	40.3057	13260	153.01	P	direita
230	4	3833.tif	12584	11505	0.58	-8.3646	40.1865	?	152,47?	Q2?	direita
230	4	3834.tif	12584	11505	0.58	-8.3605	40.2110	?	152,47?	Q2?	direita
230	4	3835.tif	12584	11505	0.58	-8.3601	40.2374	?	152,47?	Q2?	direita
230	4	3836.tif	12584	11505	0.58	-8.3598	40.2649	?	152,47?	Q2?	direita
230	4	3837.tif	12584	11505	0.58	-8.3608	40.2899	?	152,47?	Q2?	direita
230	4	3838.tif	12584	11505	0.58	-8.3561	40.3170	?	152,47?	Q2?	direita
230	3	4565.tif	12584	11505	0.58	-8.4167	40.1853	14280	153.01	P	direita
230	3	4566.tif	12584	11505	0.58	-8.4137	40.2109	?	153.01	P	direita
230	3	4567.tif	12584	11505	0.58	-8.4128	40.2343	?	153.01	P	direita
230	3	4568.tif	12580	11502	0.58	-8.4120	40.2600	14260	153.01	P	direita
230	3	4569.tif	12584	11505	0.58	-8.4121	40.2850	14230	153.01	P	direita
230	3	4570.tif	12580	11502	0.58	-8.4098	40.3103	14210	153.01	P	direita

Tabela 3- Detalhes das fotos da carta 529

Carta	Fiada	Imagem Original	Cols	Rows	Pix	Long (º)	Lat (º)	Altitude Voo (ft)	Dist. focal	Cam Num	Rotacao a fazer
529	4	1849.tif	11504	12582	0.58	-8.1839	37.9782	13530	152.42	Q	esquerda
529	4	1850.tif	11504	12582	0.58	-8.1847	37.9591	13500	152.42	Q	esquerda
529	4	1851.tif	11504	12582	0.58	-8.1843	37.9358	13490	152.42	Q	esquerda
529	4	1852.tif	11504	12582	0.58	-8.1843	37.9150	13490	152.42	Q	esquerda
529	4	1853.tif	11504	12582	0.58	-8.1851	37.8896	13500	152.42	Q	esquerda
529	4	1854.tif	11504	12582	0.58	-8.1856	37.8660	13510	152.42	Q	esquerda
529	4	1855.tif	11504	12582	0.58	-8.1820	37.8428	13520	152.42	Q	esquerda
529	3	1925.tif	11504	12582	0.58	-8.2318	37.8461	13330	152.42	Q	direita
529	3	1926.tif	11504	12582	0.58	-8.2314	37.8683	13340	152.42	Q	direita
529	3	1927.tif	11504	12582	0.58	-8.2306	37.8912	13350	152.42	Q	direita
529	3	1928.tif	11504	12582	0.58	-8.2311	37.9120	13360	152.42	Q	direita
529	3	1929.tif	11504	12582	0.58	-8.2302	37.9377	13340	152.42	Q	direita
529	3	1930.tif	11504	12582	0.58	-8.2311	37.9613	13360	152.42	Q	direita
529	5	2564.tif	12582	11504	0.58	-8.1325	37.9712	?	152,46?	P2	direita
529	5	2565.tif	12582	11504	0.58	-8.1360	37.9476	?	152,46?	P2	direita
529	5	2566.tif	12582	11504	0.58	-8.1374	37.9250	?	152,46?	P2	direita
529	5	2567.tif	12582	11504	0.58	-8.1369	37.9007	?	152,46?	P2	direita
529	5	2568.tif	12582	11504	0.58	-8.1360	37.8799	?	152,46?	P2	direita
529	5	2569.tif	12582	11504	0.58	-8.1355	37.8559	?	152,46?	P2	direita
529	2	3010.tif	12582	11504	0.58	-8.2694	37.9899	?	152,46?	P2	direita
529	2	3011.tif	12582	11504	0.58	-8.2689	37.9632	?	152,46?	P2	direita
529	2	3012.tif	12582	11504	0.58	-8.2693	37.9371	?	152,46?	P2	direita
529	2	3013.tif	12582	11504	0.58	-8.2692	37.9135	?	152,46?	P2	direita
529	2	3014.tif	12582	11504	0.58	-8.2692	37.8913	?	152,46?	P2	direita
529	2	3015.tif	12582	11504	0.58	-8.2696	37.8698	?	152,46?	P2	direita
529	2	3016.tif	11448	11504	0.58	-6.8144	40.2623	?	152.42	Q	direita
529	1	3981.tif	12584	11505	0.58	-8.3122	37.8600	?	152,46?	P2	direita
529	1	3982.tif	12584	11505	0.58	-8.3147	37.8848	?	152,46?	P2	direita
529	1	3983.tif	12584	11505	0.58	-8.3147	37.9088	?	152,46?	P2	direita
529	1	3984.tif	12584	11505	0.58	-8.3148	37.9339	?	152,46?	P2	direita
529	1	3985.tif	12584	11505	0.58	-8.3119	37.9572	?	152,46?	P2	direita
529	1	3986.tif	11290	11505	0.58	-8.3163	37.9781	?	152,46?	P2	direita

3.2 Área de estudo - Contextualização

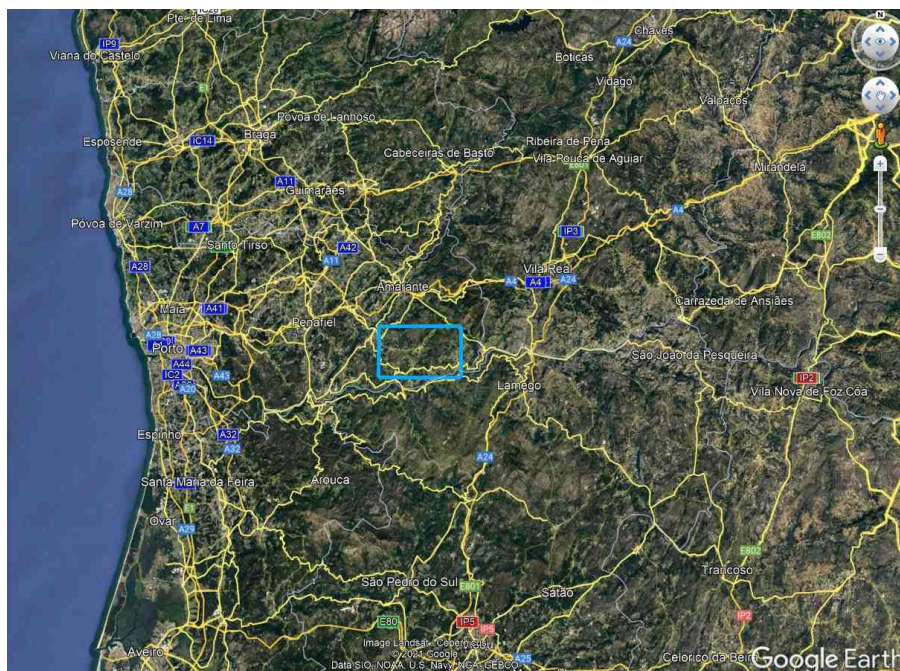


Figura 2 – Área da carta militar 125 (limites a azul)

A folha número 125 da carta militar (Figura 2) cobre, como todas as folhas desta carta, uma área de 160 km² (retângulo de 16 km por 10 km) e tem o seu centro aproximadamente no ponto de coordenadas 41.1541°N e 8.0377°W. Esta área localiza-se essencialmente no concelho de Baião, situado no distrito do Porto, na região Norte, sub-região do Tâmega e Sousa.

É uma região montanhosa, sendo em grande extensão uma zona rural, com exceção da sede do concelho que apresenta características urbanas.

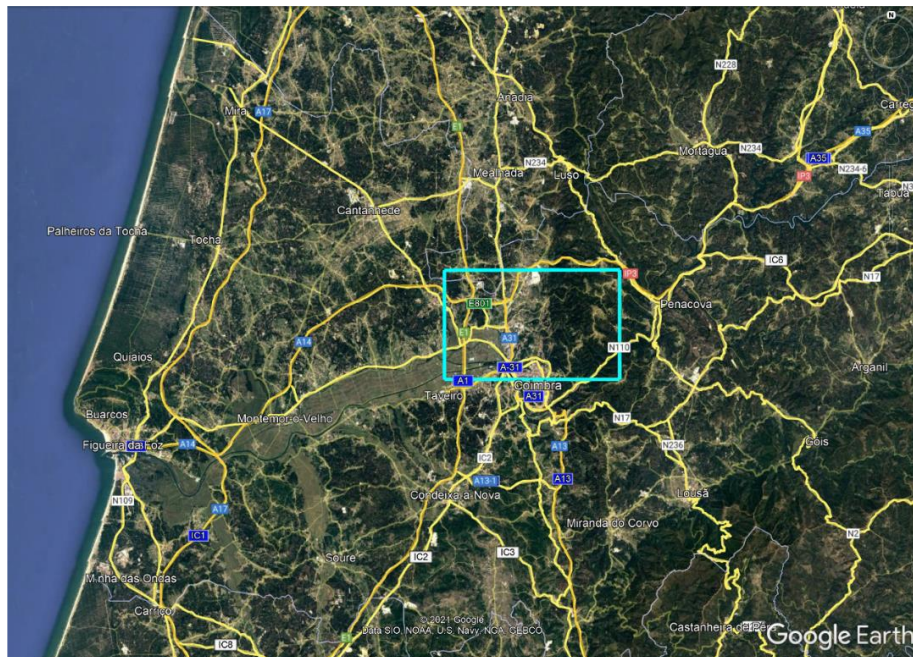


Figura 3 - Área da carta militar 230 (limites a azul)

A folha número 230 da carta militar (Figura 3) tem o seu centro no ponto de coordenadas aproximadas: 40.2533°N e -8.4151°W. Abrange uma grande parte da cidade no concelho de Coimbra, situada no distrito do Coimbra, na região Centro, sub-região Região de Coimbra.

É uma região essencialmente urbana e suburbana, atravessada pelo rio Mondego, com alguma área montanhosa e agrícola.

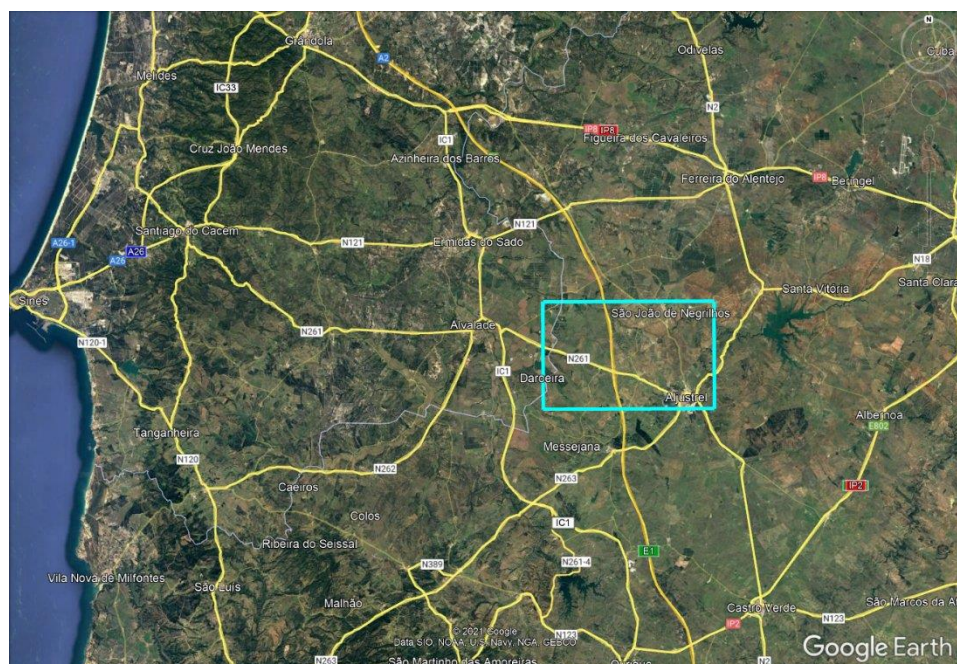


Figura 4 - Área da carta militar 529 (limites a azul)

A folha número 529 da carta militar (Figura 4) tem o seu centro no ponto de coordenadas aproximadas: 37.9116°N e 8.2240°W. Cobre parte do concelho de Aljustrel que pertence ao Distrito de Beja, sub-região do Baixo Alentejo no Sul de Portugal. É uma zona de pouco relevo, sendo uma região mineira e também rural, com grandes propriedades.

3.3 Preparação das imagens

Para usar o programa Agisoft Photoscan (*Agisoft PhotoScan User Manual - Standard Edition, Version 1.2*, 2016) torna-se necessário retificar as imagens, de forma que todas tenham o mesmo tamanho e a mesma localização no sistema de coordenadas fotográficas. Uma vez que nas fotografias digitalizadas, ao contrário do que é habitual com as imagens adquiridas por câmaras digitas usadas nos VANT, que têm todas o mesmo tamanho e o mesmo posicionamento dos píxeis relativamente ao sistema fotográfico, isto não acontece, é necessário recorrer a marcas fiduciais para o relacionamento com o sistema fotográfico.

Num conjunto de fotos a processar será escolhida a primeira como foto de referência. Utilizando uma ferramenta de georreferenciação de imagens, em ArcGIS ou QGIS, cada uma das restantes será como que georreferenciada ajustando as suas marcas fiduciais (Figura 5) às marcas da foto de referência.

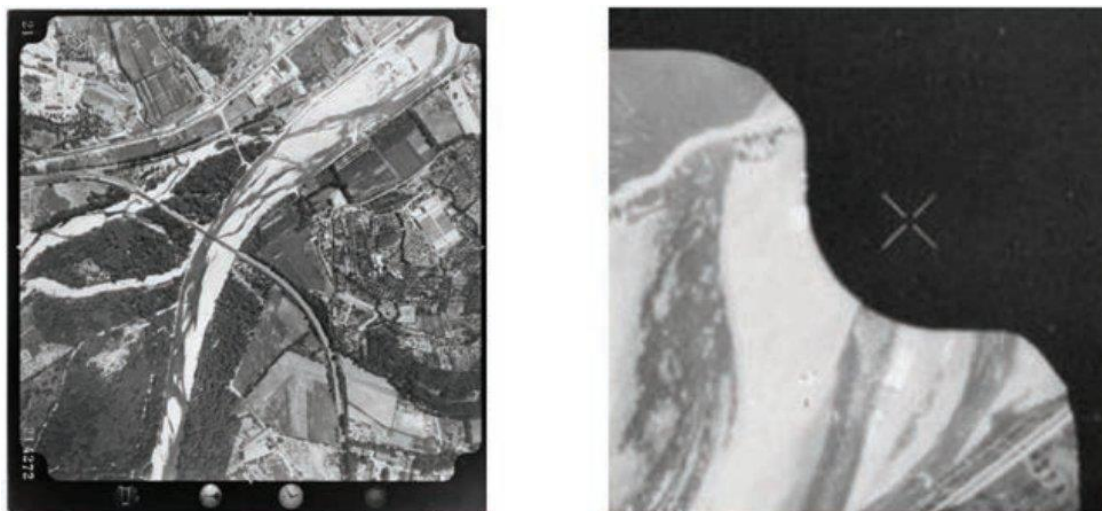


Figura 5 - Exemplo de uma foto completa e de uma das marcas fiduciais (Gonçalves et al., 2015)

Cada uma das fotos será reamostrada, utilizando para isso a biblioteca de programas GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), através dos comandos GDAL_TRANSLATE e GDALWARP.

3.4 Orientação em bloco: criação da nuvem de pontos dispersa

Uma vez reamostradas as fotos, tendo agora todas as mesmas dimensões, serão introduzidas no programa Agisoft Metashape para o processamento fotogramétrico, tendo este programa a vantagem de dispensar o conhecimento de informação de calibração da câmara. Os parâmetros de calibração (permitem obter a distorção da lente) são calculados como parte da etapa de alinhamento da imagem. Para que esse cálculo seja preciso, é necessária uma boa distribuição de pontos de correspondência entre as imagens. Em alguns casos, este requisito não é completamente satisfeito devido à sobreposição inadequada ou áreas com detalhes baixos/repetitivos e os parâmetros de distorção estarão ligeiramente fora do normal, o que será parcialmente compensado pelas posições da câmara estarem ligeiramente fora. Se usarmos as configurações calibradas, eliminamos a possibilidade de obter parâmetros de distorção "imprecisos" sendo calculados, melhorando o cálculo das posições da câmara em situações abaixo do ideal.

Com as imagens inseridas, a primeira tarefa é a orientação automática em bloco de todas as imagens, a qual gerará uma nuvem de pontos dispersa e apresentando as posições estimadas para os centros de projeção e um ortomosaico com georreferenciação aproximada.

3.5 Inserção de pontos de apoio, refinamento da orientação e georreferenciação

Com o auxílio deste mosaico e utilizando o Google Earth, far-se-á a comparação entre as imagens, para identificar pontos não alterados que podem ser usados como Pontos fotogramétricos (PF). Assim faz-se a escolha de alguns PF, preferencialmente pontos em locais com pequena variação de cota, sendo lidas as coordenadas e cotas destes, podendo também estes ser obtidos através de ortofotos e cartografia atuais.

A confiança da utilização do Google Earth como fonte de obtenção de PF e a precisão destes foi avaliada e estudada noutros trabalhos como o de (Fonte et al., 2021) na qual o Google Earth foi utilizado com a mesma finalidade, tendo sido obtidos resultados muito precisos.

A lista das coordenadas geográficas dos PF foi introduzida no projeto do programa Agisoft.

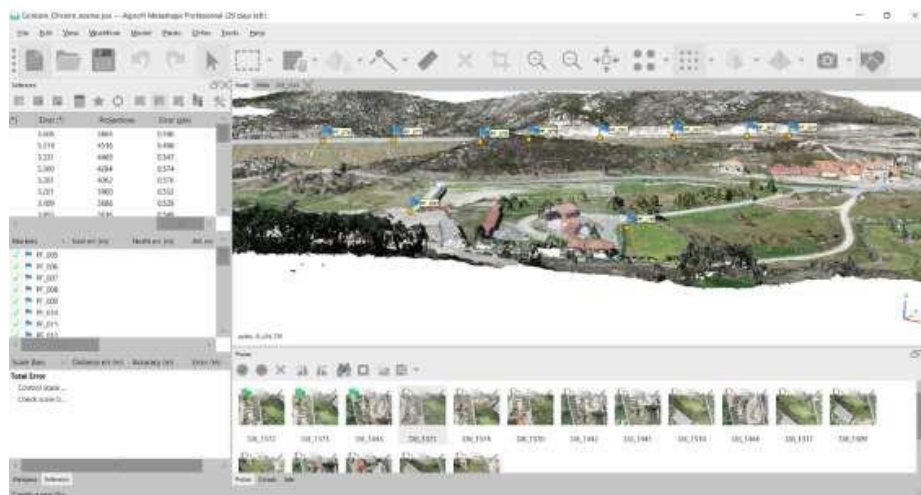
Foi feita uma verificação das posições dos PF em cada imagem onde surgem, corrigindo-as, se necessário, movendo manualmente os pontos para as suas localizações corretas.

É repetido o ajuste de feixes, cujo resultado ficará agora corretamente georreferenciado no sistema de coordenadas em que se encontram os PF.

Nesse processo resultam resíduos que o programa fornece, sendo os erros médios quadráticos nos pontos de apoio e nos pontos de ligação, usados para a detecção de erros significativos e a avaliação global da qualidade do processo. As coordenadas dos pontos da nuvem dispersa são também recalculadas.

3.6 Criação da nuvem de pontos densa e de um modelo digital de superfície

De seguida proceder-se-á à criação da nuvem de pontos densa. O programa Agisoft usa uma estratégia própria mas baseada na abordagem “Patch-based multi-view Stereo” (Furukawa & Ponce, 2010). São calculadas coordenadas terreno 3D, a partir de todas as imagens, dando assim origem à nuvem de pontos densa (Figura 6). Esta nuvem densa é triangulada gerando um modelo digital de superfície (MDS) (Figura 7) de toda a área coberta por 2 ou mais fotos, na forma de rede irregular de triângulos.



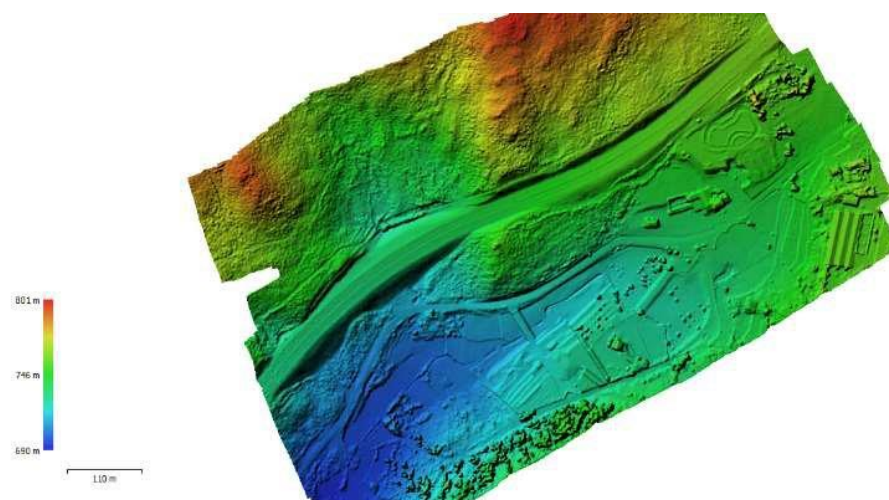


Figura 7 – Exemplo de um MDS(correspondente à área da figura anterior)

3.7 Exportação do ortomosaico

Cada uma das fotos é ortorretificada e é criado um mosaico de todas elas para toda a região, ou sub-região especificada pelo utilizador (Figura 8). Uma vez que a ortorretificação é feita utilizando um MDS, tratar-se-á de um “orto verdadeiro”, que ortorretifica edifícios e vegetação.

Este procedimento é completamente automático. As linhas de corte, onde se dá uma transição suave entre as imagens, são também escolhidas automaticamente pelo programa (Gonçalves et al., 2015).



Figura 8 – Exemplo de um ortomosaico (correspondente à área da Figura 6)

3.8 Resultados esperados

Espera-se obter uma série de ortomosaicos correspondentes a algumas folhas da carta militar portuguesa, em diferentes tipos de terrenos, com o intuito de avaliar a eficiência

do método para expandir a todo o território nacional. Serão depois comparados com ortofotos atuais de modo a avaliar o rigor posicional das imagens obtidas, assim como a sua potencialidade para avaliar alterações morfológicas, de ocupação do solo e nomeadamente em termos da vegetação como já executado em diversos trabalhos (M. Lopes, 2015) (A. T. Pinto et al., 2019b).

Pretende-se também estudar o rigor conseguido recorrendo apenas ao Google Earth como fonte de pontos de apoio para a georreferenciação.

3.9 Análise de alterações

Serão feitas análises qualitativas das alterações ao nível da cobertura florestal, da ocupação agrícola e da ocupação urbana para tentar demonstrar todo o potencial destes dados para estudos em diferentes áreas.

Capítulo 4. Desenvolvimento e resultados obtidos

4.1 Carta militar 125

A primeira zona trabalhada no estágio foi a correspondente à carta militar 125.

Como foi descrito nos métodos, começou-se por fazer a pseudogeoreferenciação das imagens de modo que elas ficassem todas alinhadas, tendo como ferramenta de trabalho o programa informático **ArcGis** e sendo este procedimento o mesmo para as três cartas.

No referido programa, utilizando a ferramenta de georeferenciação, e uma *shape* com as marcas fiduciais já assinaladas, selecionaram-se as quatro marcas fiduciais uma a uma (Figura 9), garantindo que tinham um erro de ajuste (raiz do erro médio quadrático, RMSE, do inglês *root mean square error*) inferior a três pixéis (Figura 10). Foram utilizadas diferentes shapes consoante o tipo de marcas fiduciais que as imagens apresentavam (Figura 11).

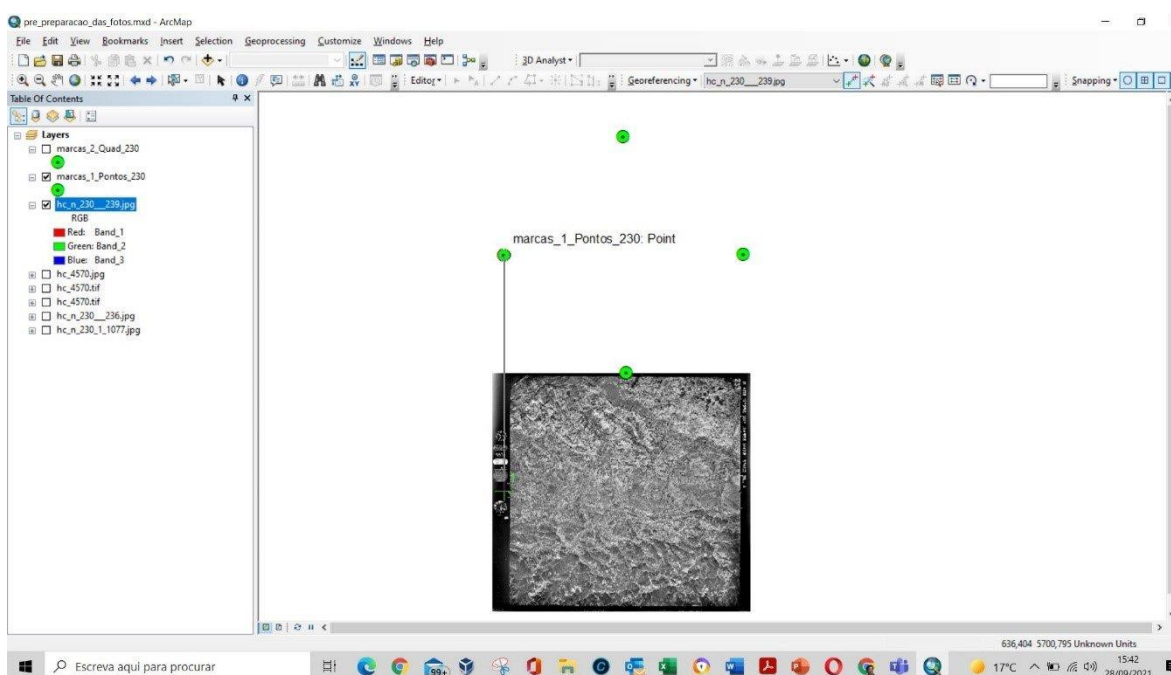


Figura 9-Pseudo georeferenciação

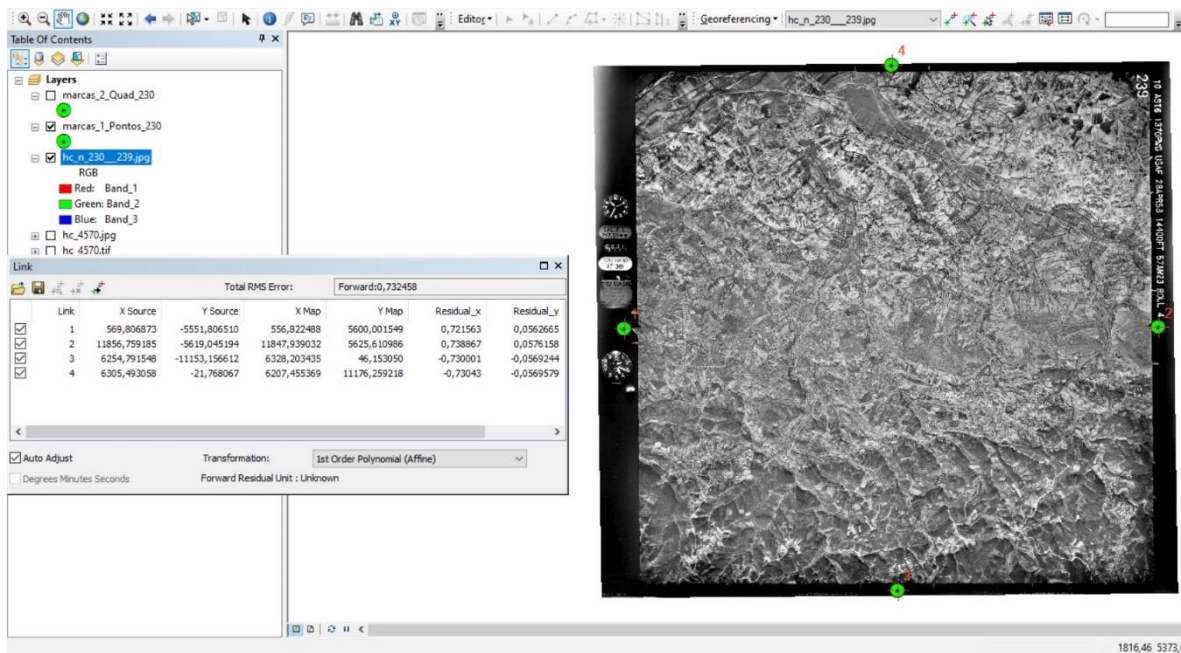


Figura 10-Pseudo georreferenciação e erros relacionados

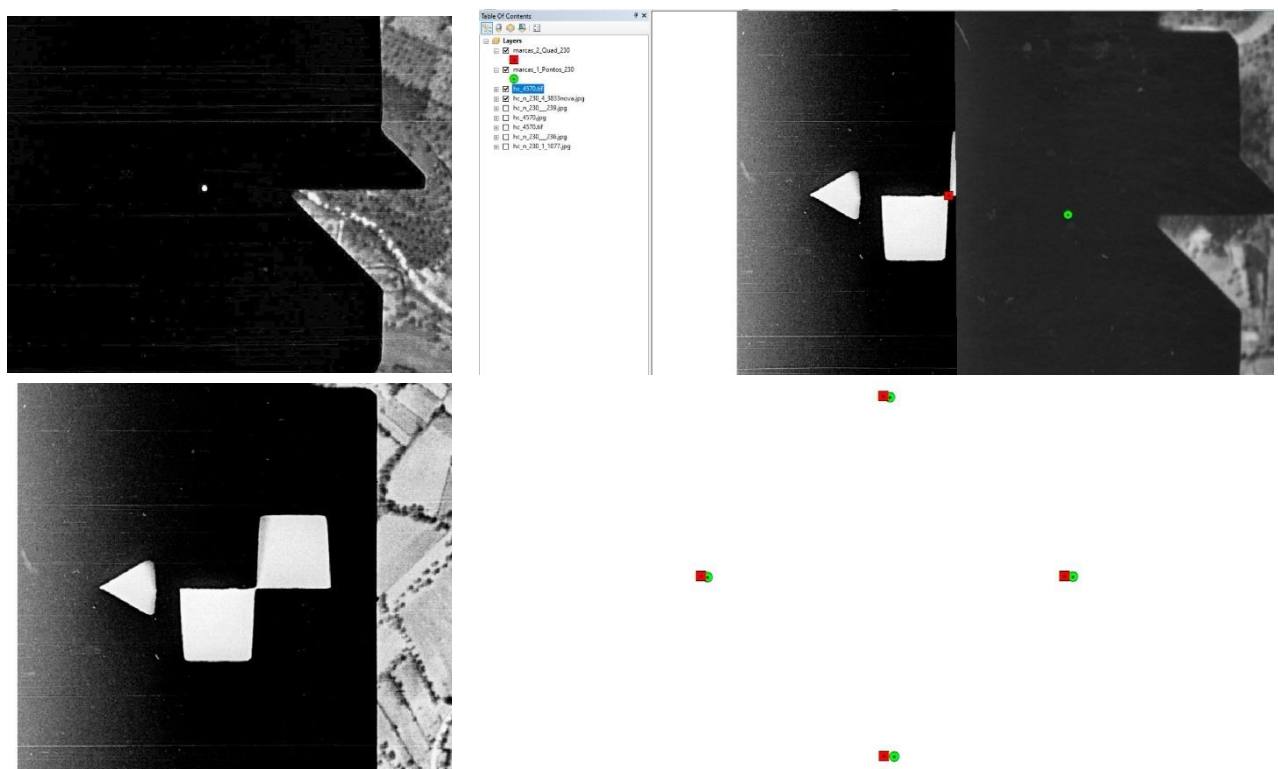


Figura 11-Tipos de marcas fiduciais e respectivas shapes

Fez-se o *update* da georreferenciação. Algumas imagens apresentaram erros maiores, pelo que foi verificado que essas imagens continham deformações ou erros ocorridos durante a digitalização, pelo que foi necessário pedir ao CIGeoE novas

digitalizações.

Após estarem todas as imagens com o mesmo tamanho, procedeu-se ao *resampling* destas, de modo a terem todas o mesmo número de pixéis. Para tal, foi utilizado o programa **OSGeo4W Shell** onde recorrendo à biblioteca do *Gdal* se utilizou o comando GDALWARP, com a seguinte sintaxe:

`Gdalwarp -tr 1 1 -te xmin ymin xmax ymax -r bilinear <imagem de entrada> <imagem de saída>`
tendo o cuidado de estabelecer os limites, consoante o tipo de marcas fiduciais utilizadas. Esses limites são os da primeira foto do bloco, usada como foto de referência. É de notar que, por imperativo dos comandos GDAL, foi necessário efetuar em primeiro lugar a transformação dos ficheiros JGWX, gerados pelo ArcGIS, a JGW.

Agora tendo as imagens todas alinhadas e com o tamanho consoante o tipo de marcas fiduciais, procedeu-se à construção do orto mosaico, usando o programa *Agisoft Photoscan Professional*.

No entanto, outro problema ocorrido durante a digitalização, foi o de que as imagens não se encontravam todas com o mesmo contraste e tonalidade pelo que foi necessário um ajuste dos histogramas destas, utilizando umas vezes comandos da biblioteca do *Gdal* e outras simplesmente manipulando o histograma no programa *Irfanview* de modo que estas ficassem com aproximadamente a mesma tonalidade e contraste, ou seja, visualmente semelhante.

Introduzindo as imagens no programa *Agisoft*, começou-se por construir a nuvem de pontos dispersa, ou seja, alinhar as imagens (Figura 12). Uma vez alinhadas, utilizou-se o Google Earth para encontrar pontos de controlo, sendo primeiro necessário estabelecer o sistema de coordenadas *WGS84* (*parâmetros por defeito*) (Figura 13).

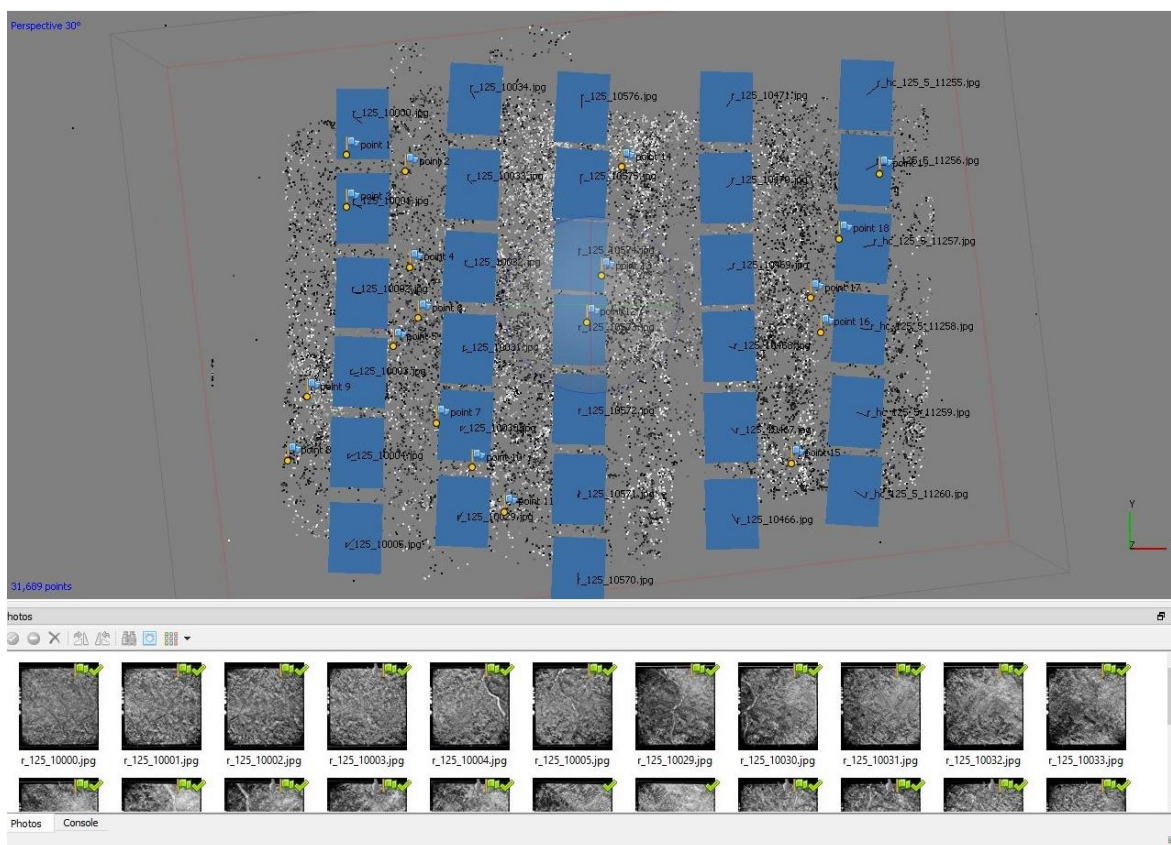


Figura 12 – Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) da carta 125

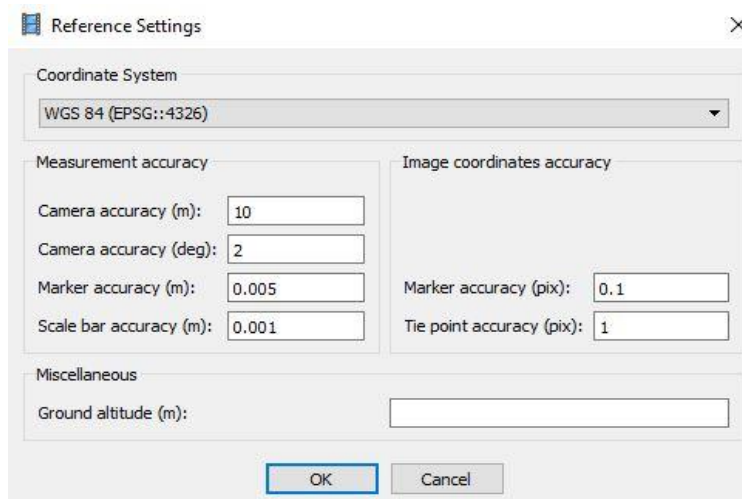


Figura 13- Definições do sistema de coordenadas

Este passo de obtenção de pontos de controlo, verificou-se um pouco difícil nalgumas situações, devido às décadas que passaram entre a obtenção das imagens aéreas e as imagens do Google Earth, tendo o terreno sofrido mudanças, por vezes bastante significativas, devido a urbanização, mudanças de limites dos campos agrícolas, construção e destruição de casas, entre outras razões.

A estratégia que usei para contornar o problema, foi a utilização de edifícios antigos,

linhas férreas e monumentos, pois não sofreram muitas alterações ao longo dos anos, sendo bons pontos de controlo.

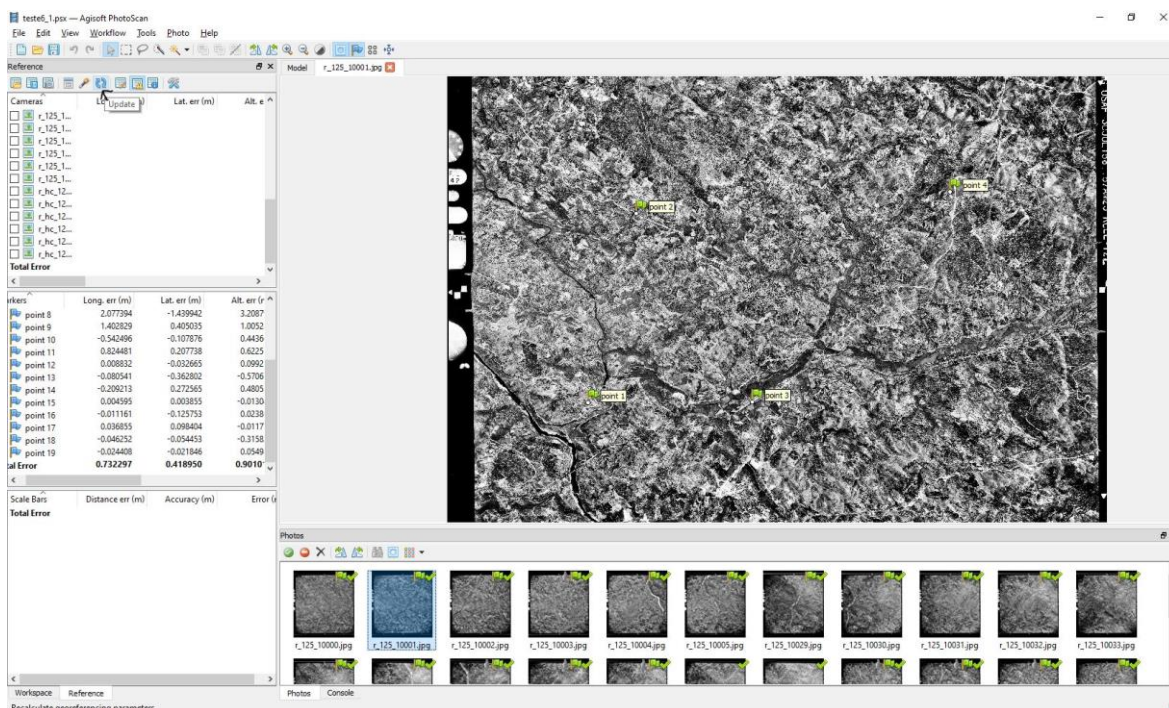


Figura 14- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação da carta 125

Tendo agora todos os pontos de controlo, procedeu-se ao update da georreferenciação (Figura 14), seguido da otimização das câmaras (Figura 15).

Antes do processo de otimização das câmaras é necessário introduzir a distância focal e o tamanho do pixel para cada câmara (Figura 16 e Figura 17).

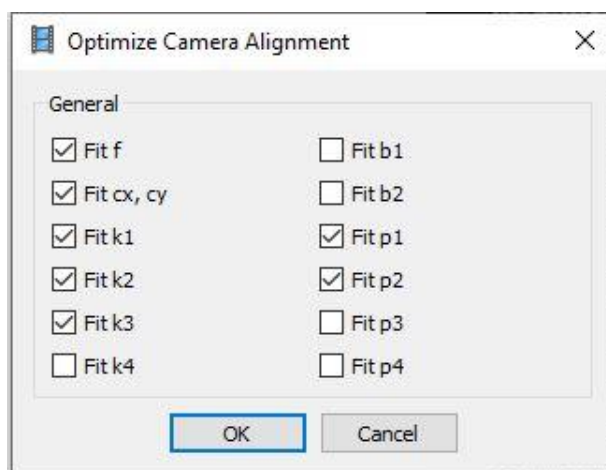


Figura 15- Escolha dos parâmetros a ajustar durante o processo de otimização das câmaras

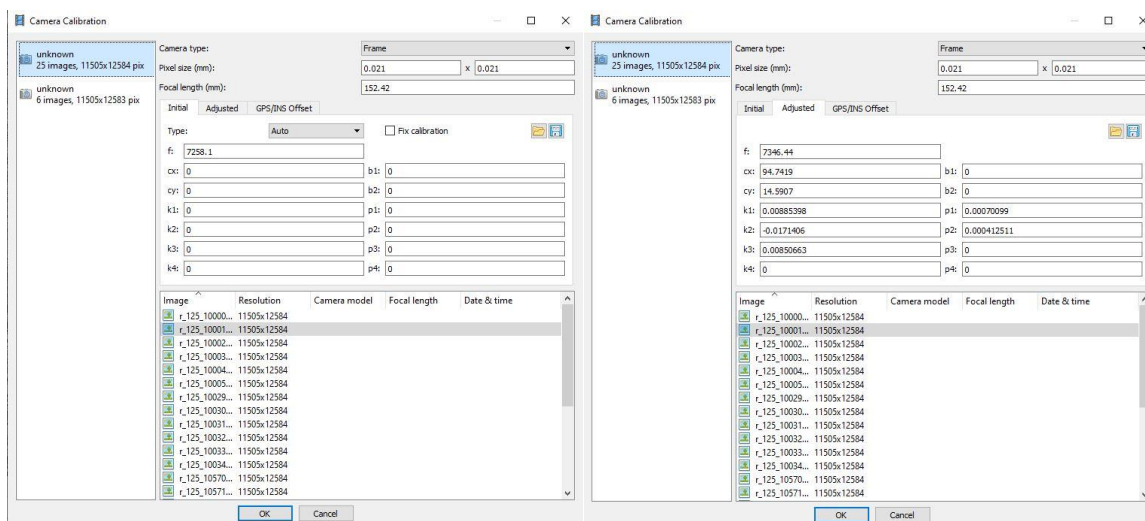


Figura 16- Parâmetros da câmara 1 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 125

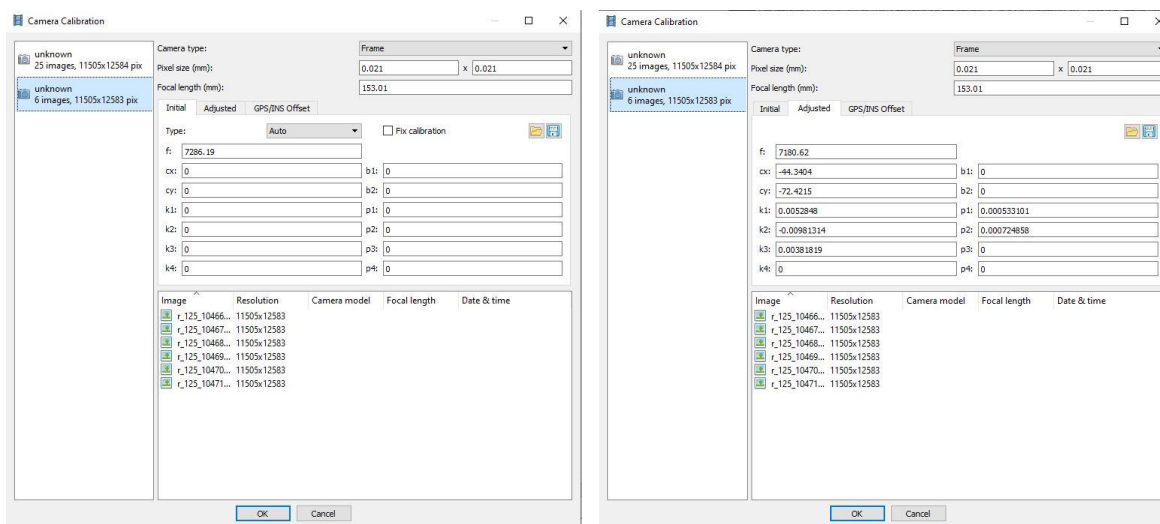


Figura 17- Parâmetros da câmara 2 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 125

Uma vez concluído este processo, procedeu-se à criação de nuvem de pontos densa (Figura 18), seguida da criação do DEM (Figura 19 e Figura 20), concluindo com a criação do orto mosaico (Figura 21 e Figura 22) e a sua posterior exportação em formato TIFF.

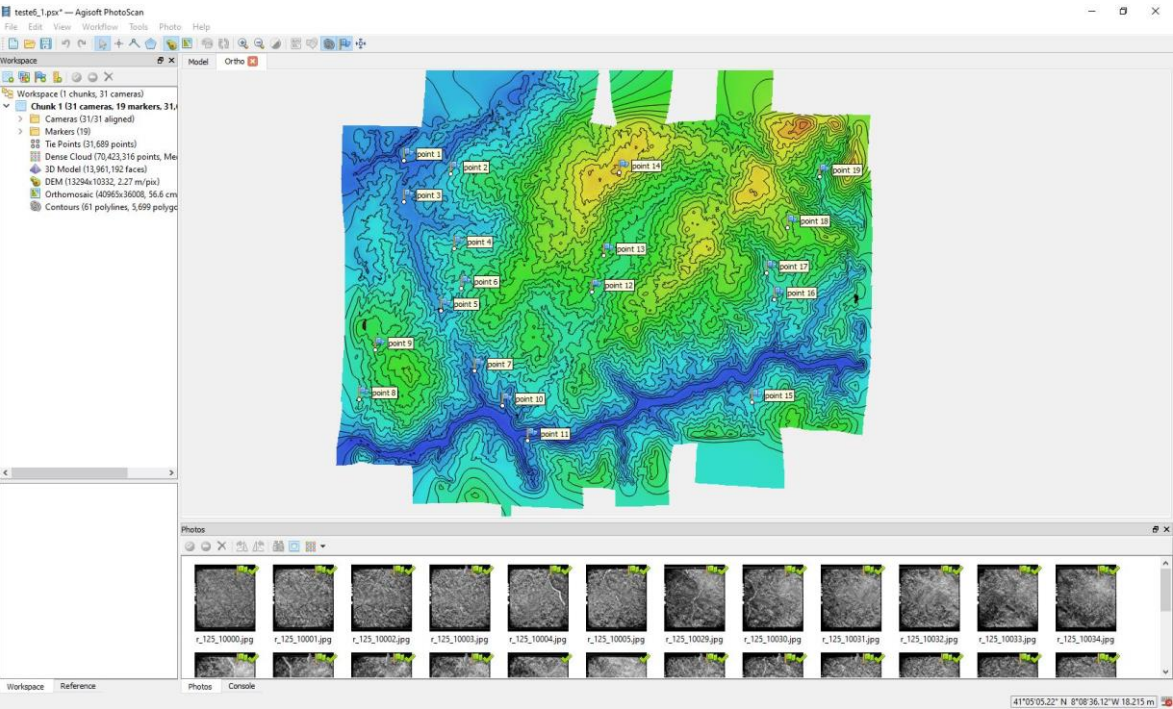


Figura 20- DEM da carta 125 com curvas de nível (50 metros)

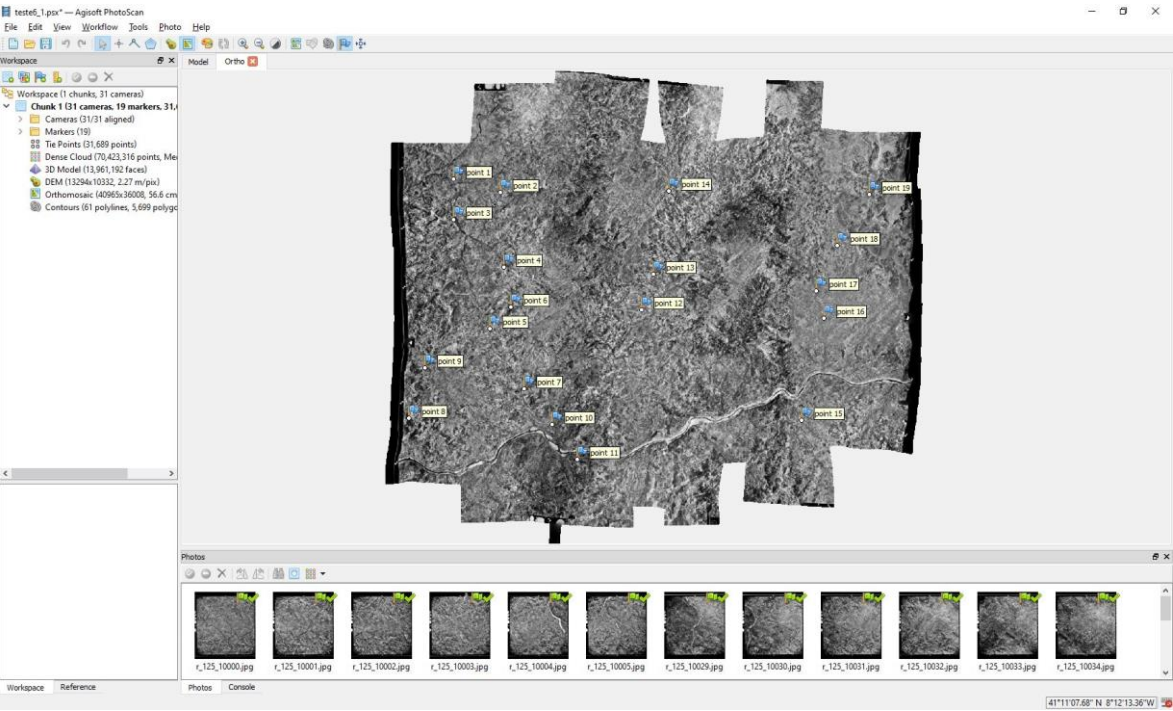


Figura 21- Orto da carta 125

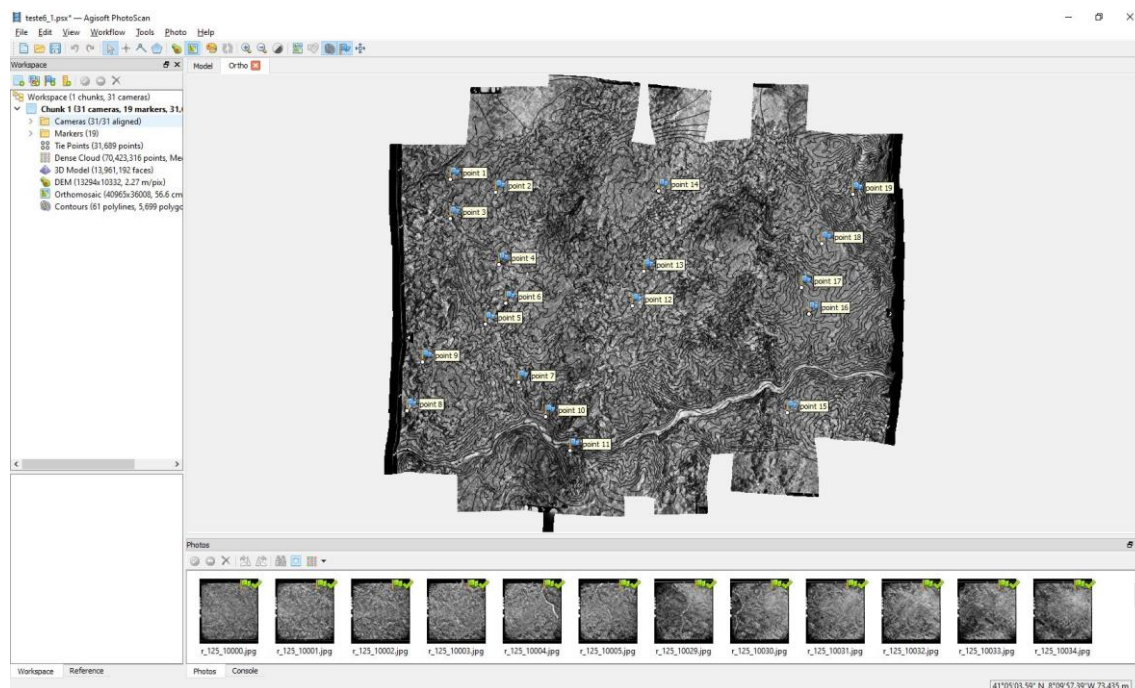


Figura 22- Orto da carta 125 com curvas de nível

Uma vez exportado, foi necessário, utilizando o ArcGis, cortar este pelos limites da carta militar 125. O resultado obtido foi o esperado, considerando os objetivos deste trabalho. O orto mosaico da carta 125 (Figura 23) apresentava apenas uma deslocação de alguns metros, em geral menos de 5 metros (erro de graficismo da carta, correspondente a 0.2 mm no papel), que para a escala de uma carta militar (1:25 000) é um erro desprezável, e três pequenas distorções na imagem que também podem ser desprezadas.

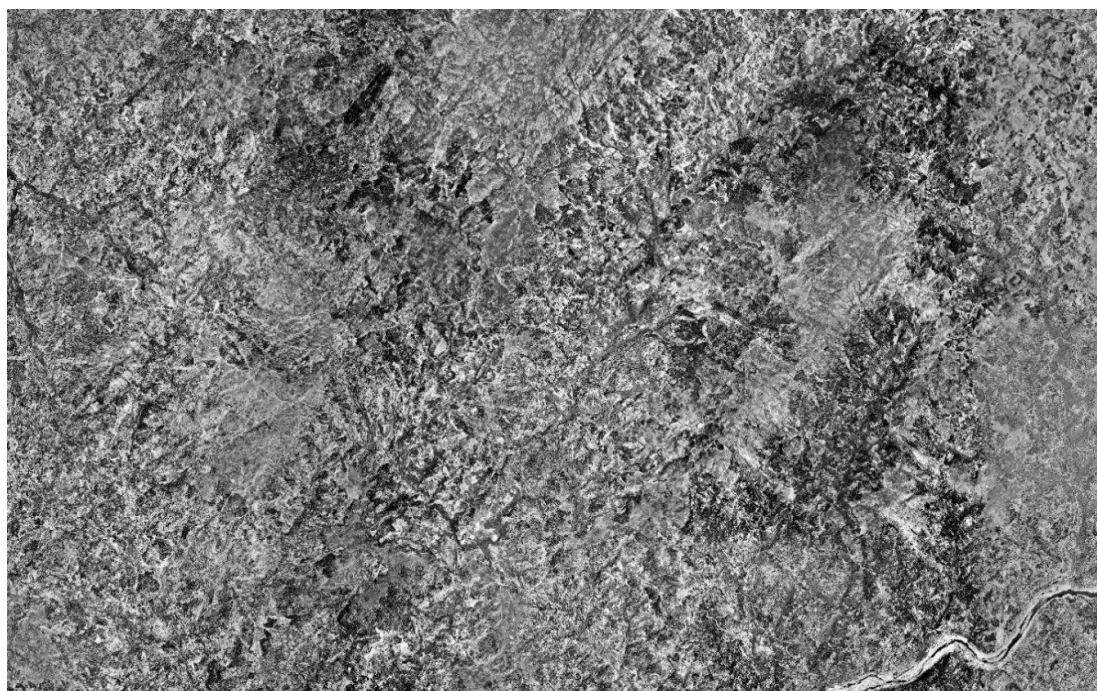


Figura 23- Ortomosaico da carta militar 125 (cortado pelos limites da carta militar 125)

4.2 Carta militar 529

Para a construção do orto mosaico correspondente à carta 529 o procedimento foi o mesmo:

- O alinhamento das fotos usando as marcas fiduciais;
- O *resampling* consoante o tipo de marcas fiduciais;
- A correção de cor e contraste;
- A construção da nuvem de pontos dispersa, ou seja, o alinhamento das fotos no

Agisoft (Figura 24);

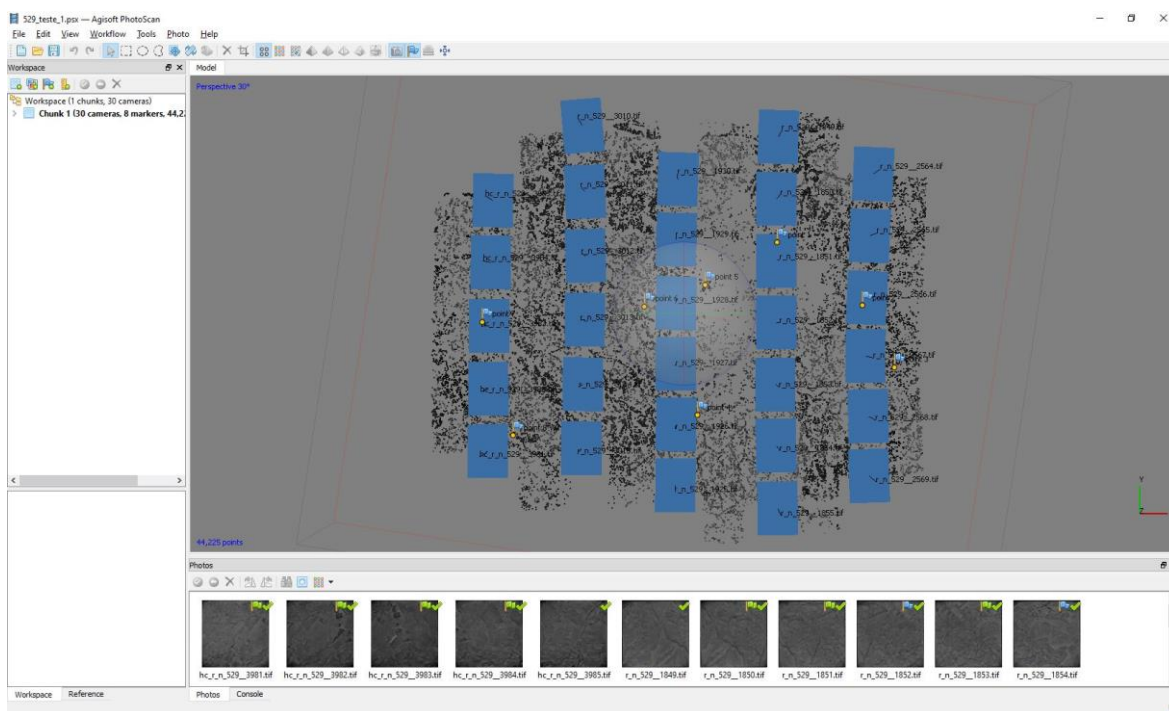


Figura 24- Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) da carta 529

- Obtenção de pontos de controlo no *Google Earth* da carta 529 (Figura 25).

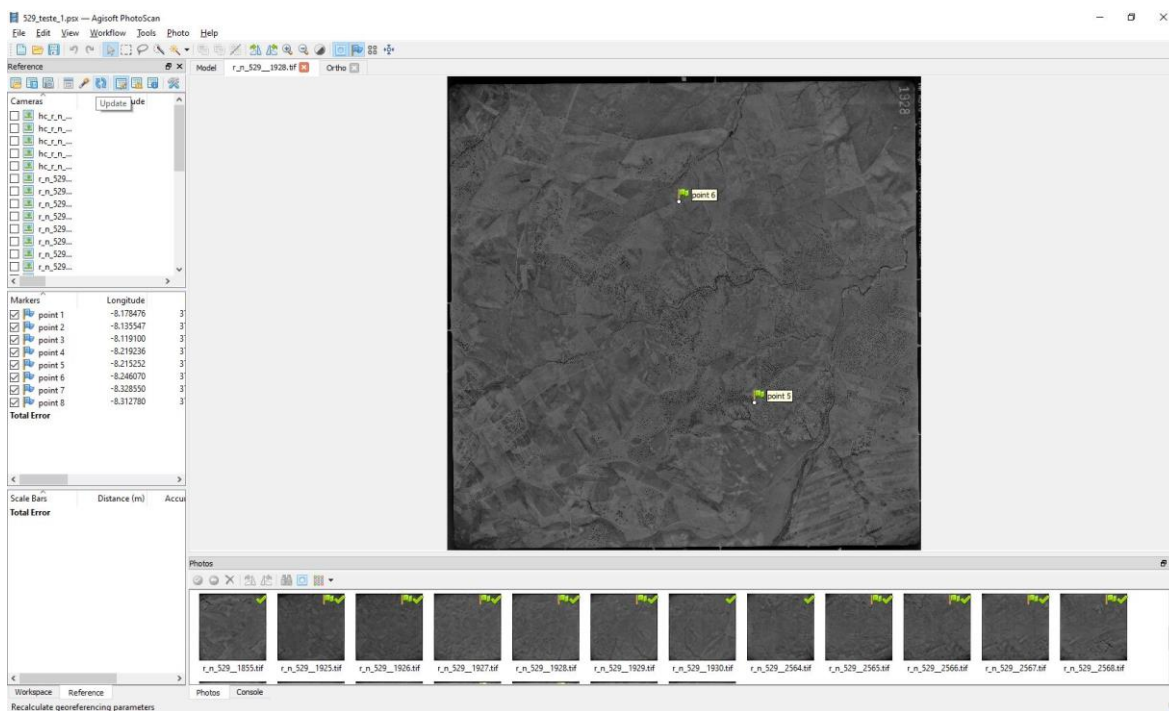


Figura 25- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação da carta 529

Neste ponto é importante referir a dificuldade da obtenção dos pontos de controlo. A zona correspondente à carta 529 é uma zona de agricultura intensiva, pelo que os limites dos terrenos sofreram grandes alterações desde a altura das fotos até à atualidade. Das poucas construções visíveis, muitas delas ou foram completamente destruídas ou sofreram renovações sendo, então, por vezes necessário, utilizar as fundações das casas em ruína, que ainda se encontravam visíveis, como pontos de controlo; outra estratégia também utilizada para facilitar a identificação de pontos de controlo foi encontrar três ou quatro pontos de controlo e criar um orto mosaico com uma georreferenciação rudimentar, exportá-la em formato kmz para utilizar no Google Earth, permitindo comparações que buscavam identificar com bastante segurança pontos de controlo (Figura 26).

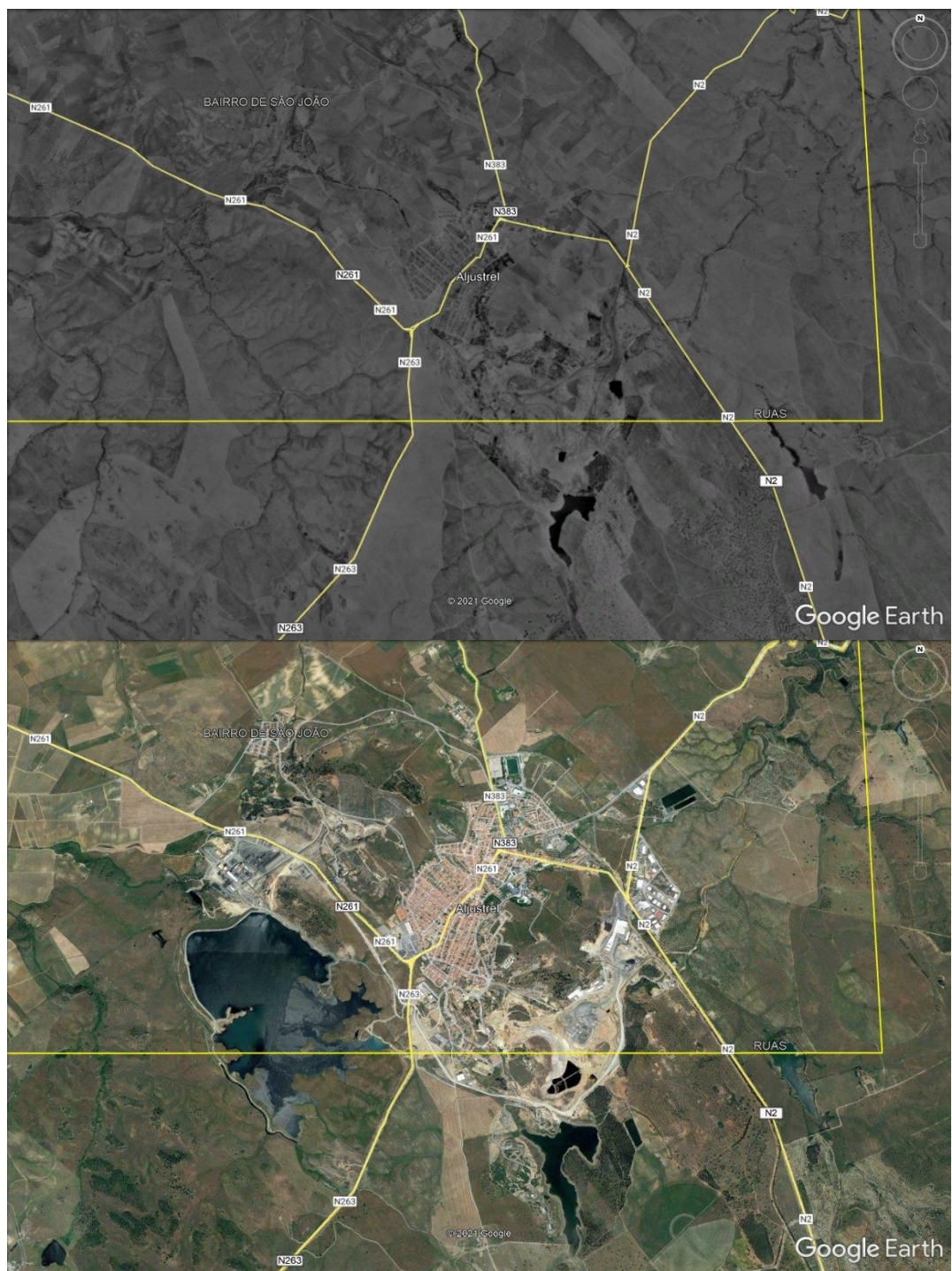


Figura 26-Google Earth folha 529 com sobreposição do orto temporário (em cima) e sem sobreposição (em baixo)

-O update da georreferenciação (Figura 25) e a otimização das câmaras (Figura 27 e Figura 28);

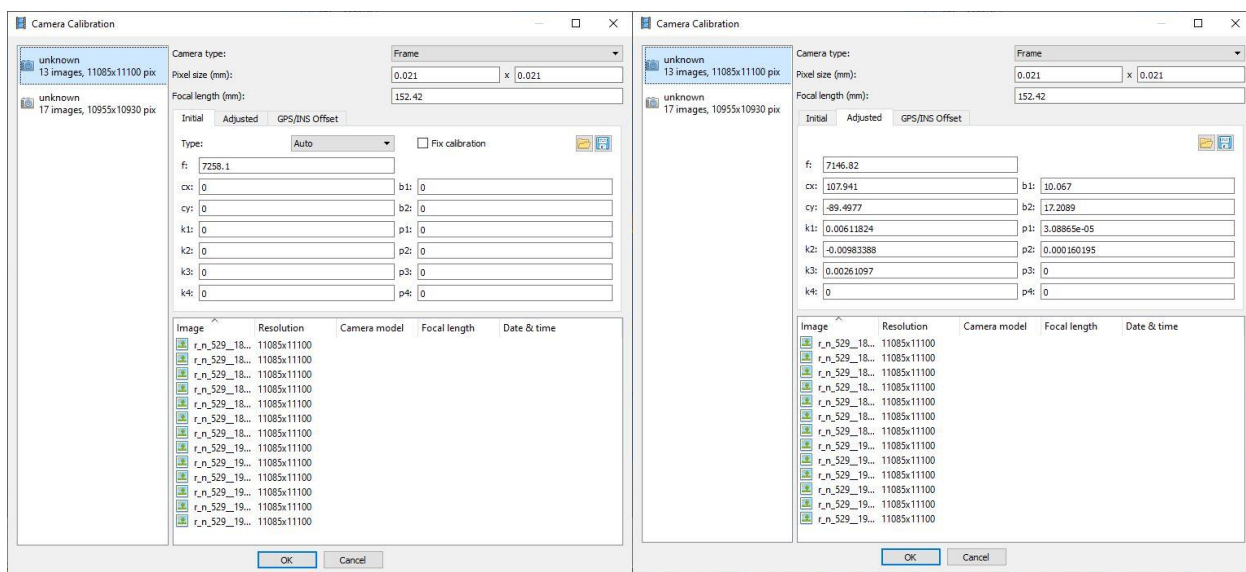


Figura 27- Parâmetros da câmara 1 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta529

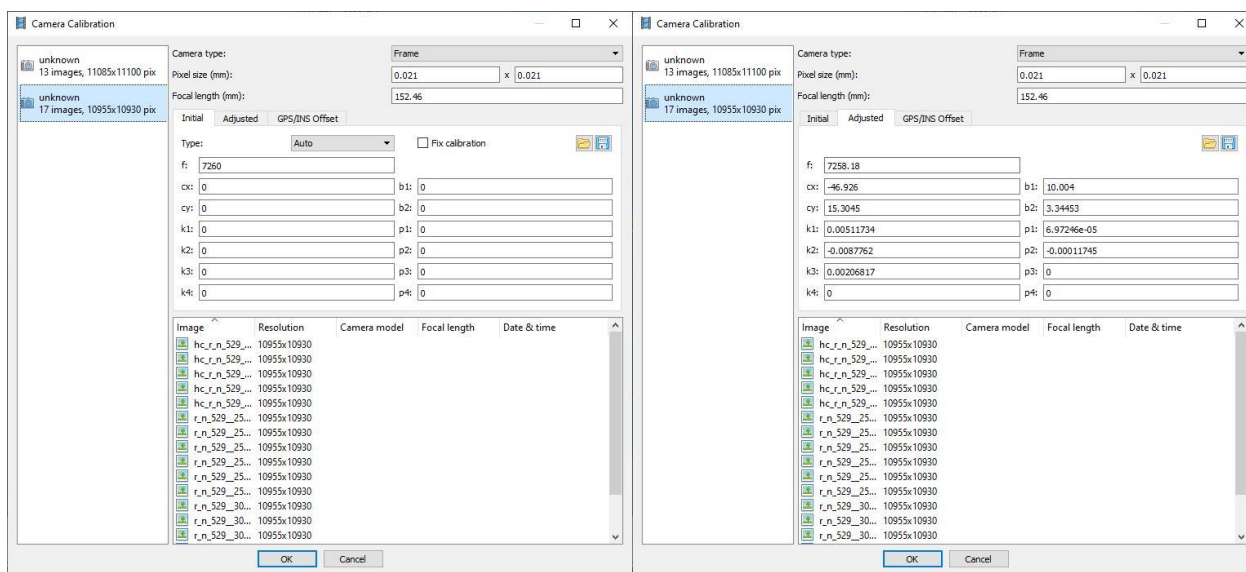


Figura 28- Parâmetros da câmara 2 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) da carta 529

-A construção da nuvem densa de pontos (Figura 29);

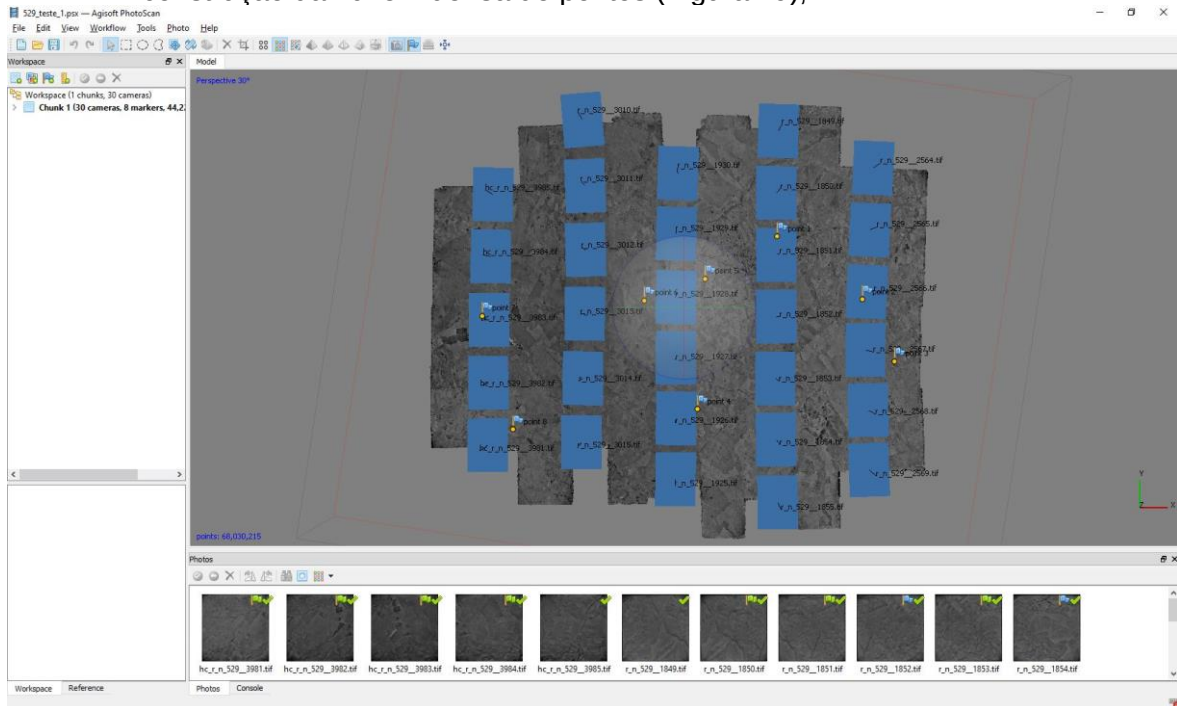


Figura 29- Nuvem de pontos densa da carta 529

-A construção do DEM (Figura 30);

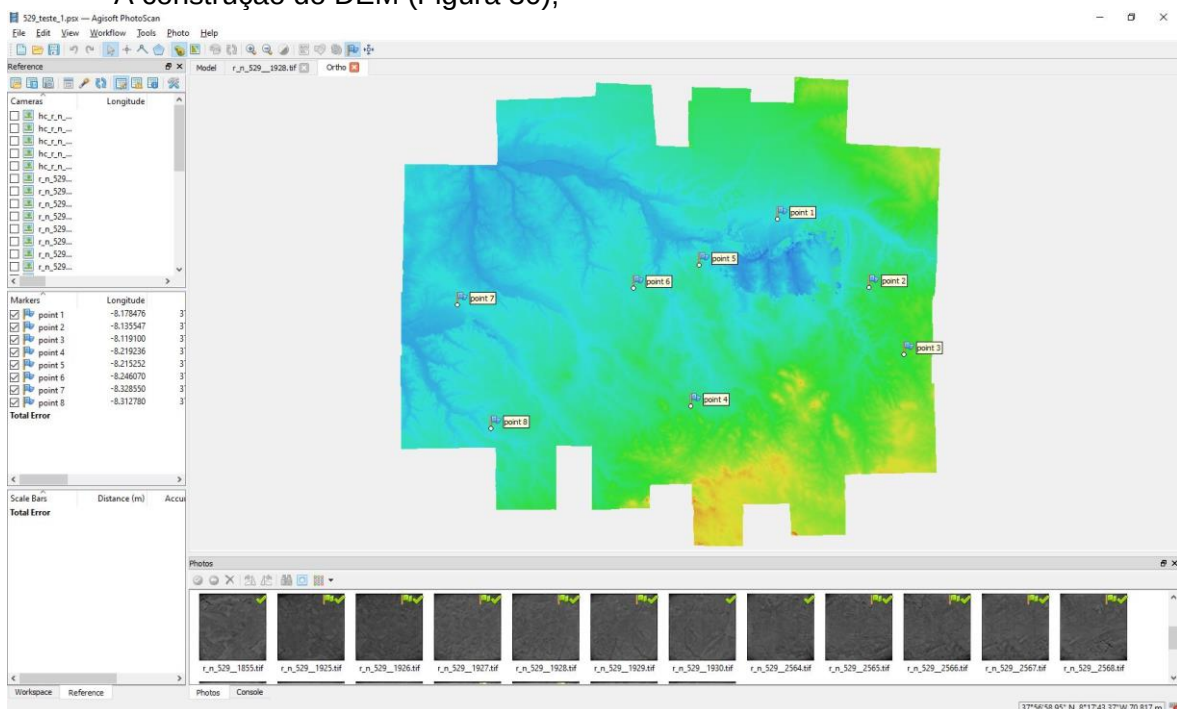


Figura 30- DEM da carta 529

-A construção do orto mosaico e sua posterior exportação em formato TIFF (Figura 31).

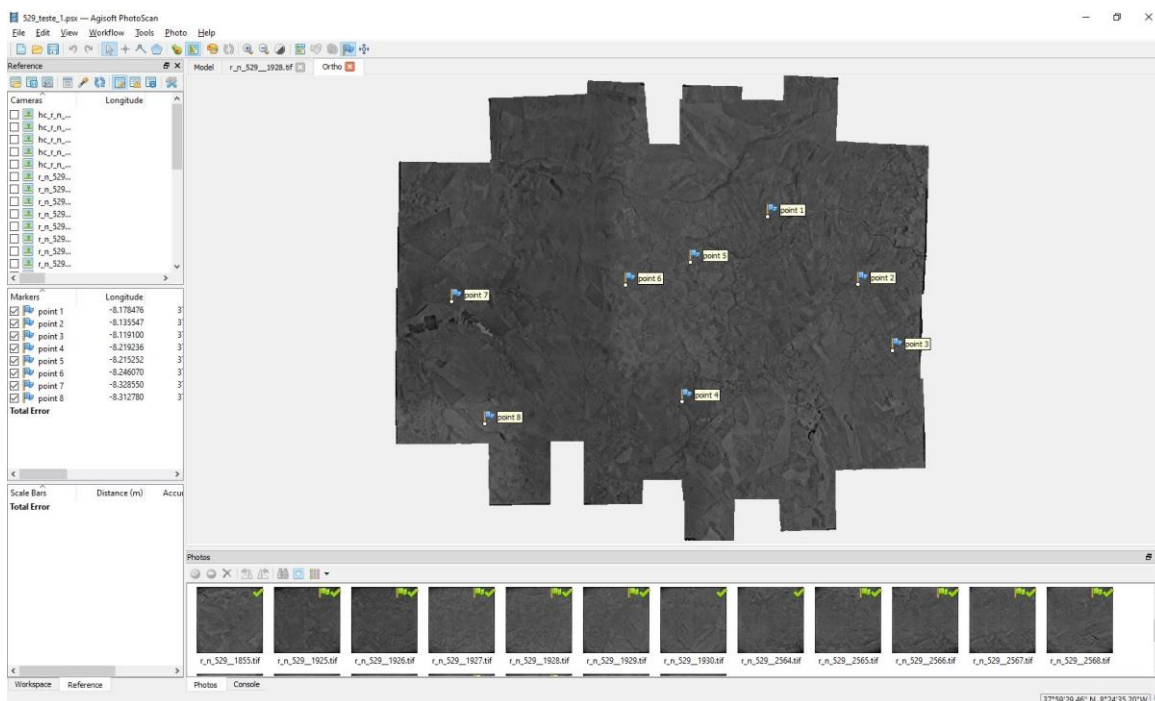


Figura 31- Orto da carta 529

Mais uma vez, o orto mosaico correspondente à carta 529 apresentou uma qualidade razoável. Os erros de deslocação são inferiores a 5 metros e, portanto, desprezáveis. Apresenta uma diferença óbvia nas tonalidades, resultado da dificuldade da tentativa manual de equalização de histogramas, que para o objetivo deste trabalho não será problemático. Durante a elaboração deste orto mosaico tomou-se o cuidado de contabilizar os tempos de operação e assim ter uma estimativa do tempo necessário para completar todo o processo de elaboração de uma carta. O tempo necessário para completar o processo de criação do orto da carta 529 foi 2 horas e 57 minutos, 3 horas e 15 minutos se contabilizarmos o tempo usado para a criação do orto com georreferenciação rudimentar que facilitou a obtenção dos pontos, notando que o tempo gasto neste só foi tão alto (18 minutos) devido às limitações de processamento do computador onde foi efetuado o trabalho (Processador AMD A10-7870K Radeon R7, 12 Compute Cores 4C+8G 3.90 GHz, 8GB RAM, com placa gráfica integrada, sistema operativo Windows 10 de 64 bits, processador baseado em x64).

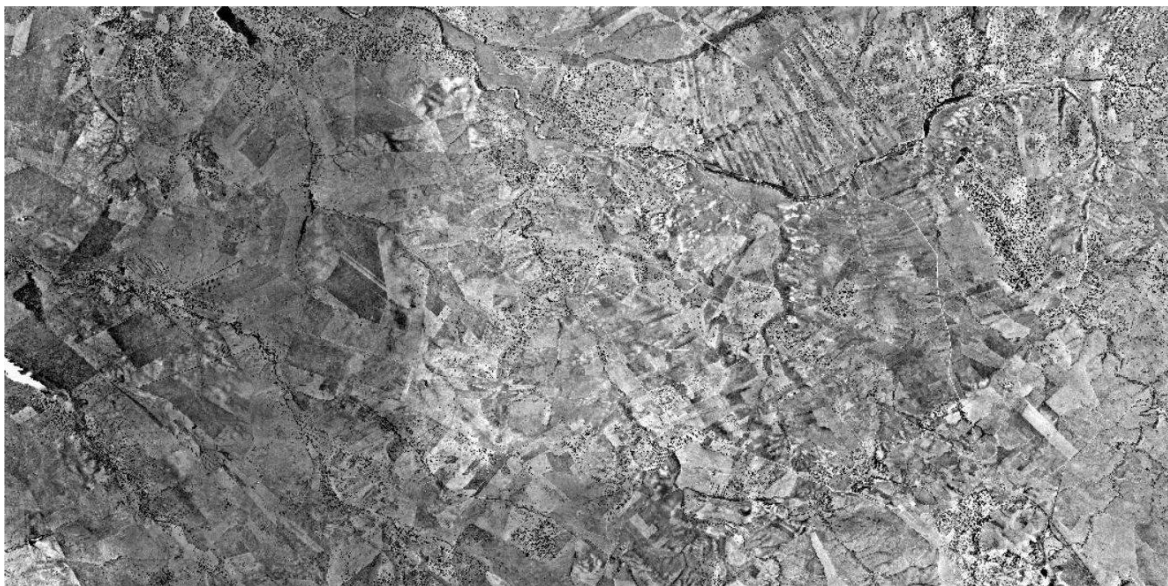


Figura 32- Ortomosaico da carta militar 529 (cortado pelos limites da carta militar 529)

4.3 Carta militar 230

No que respeita à criação do orto mosaico correspondente à carta militar 230, procedeu-se de uma maneira ligeiramente diferente.

Os procedimentos do alinhamento das fotos (pseudo georreferenciação), *resampling* das fotos e manipulação dos histogramas das fotos foram os mesmos, contudo, no Agisoft, durante o alinhamento das fotos, ou seja, na construção da nuvem de pontos dispersa, surgiu um problema. Por alguma razão que ainda não foi possível identificar, o programa não conseguia alinhar todas as fotos num único bloco. Portanto, foi necessário a construção em 2 blocos separados, utilizando o mesmo processo usado nas outras cartas (Figura 33, Figura 34, Figura 35, Figura 36, Figura 37, Figura 41, Figura 42, Figura 43, Figura 44 e Figura 45), originando assim dois orto mosaicos (Figura 46 e Figura 47). É também importante referir, mais uma vez, a dificuldade de obtenção dos pontos de controlo (Figura 38, Figura 39, Figura 40 e Figura 41), uma vez que esta área se encontrava numa zona de periferia urbana. Esta zona passou por um alto processo de urbanização, tornando-se assim difícil a identificação dos edifícios antigos que eram visíveis nas fotos, sendo também necessário recorrer aos expedientes usados para a carta 529.

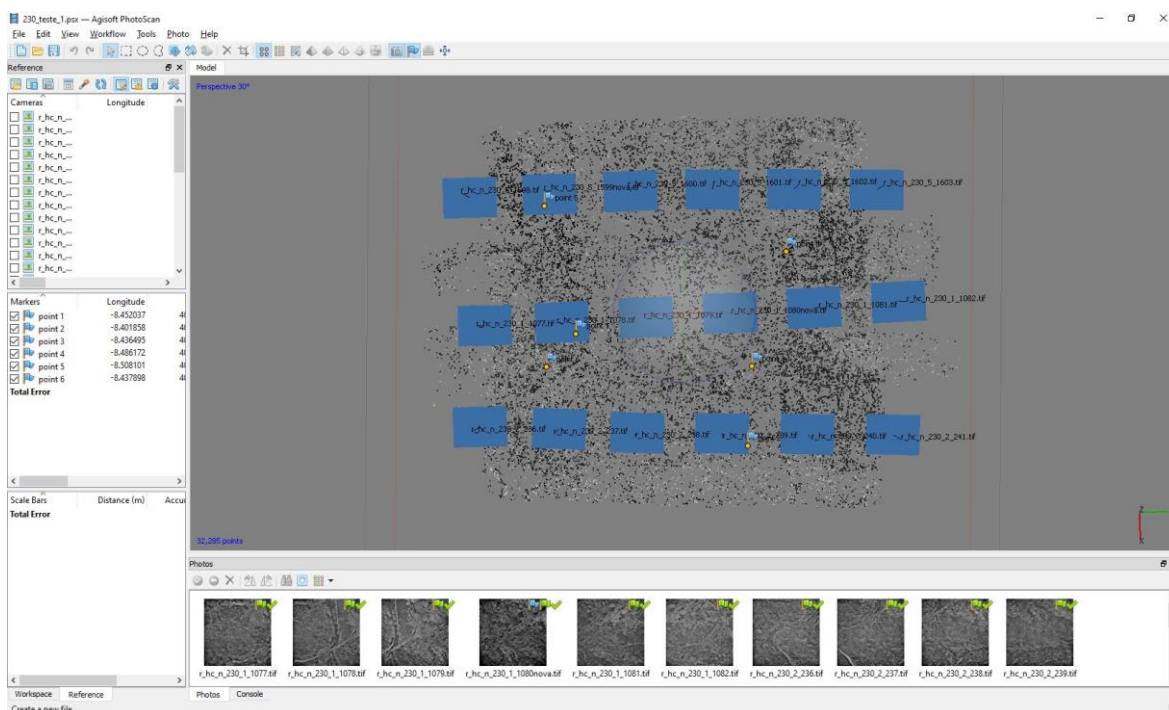


Figura 33- Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) do bloco 1 da carta 230

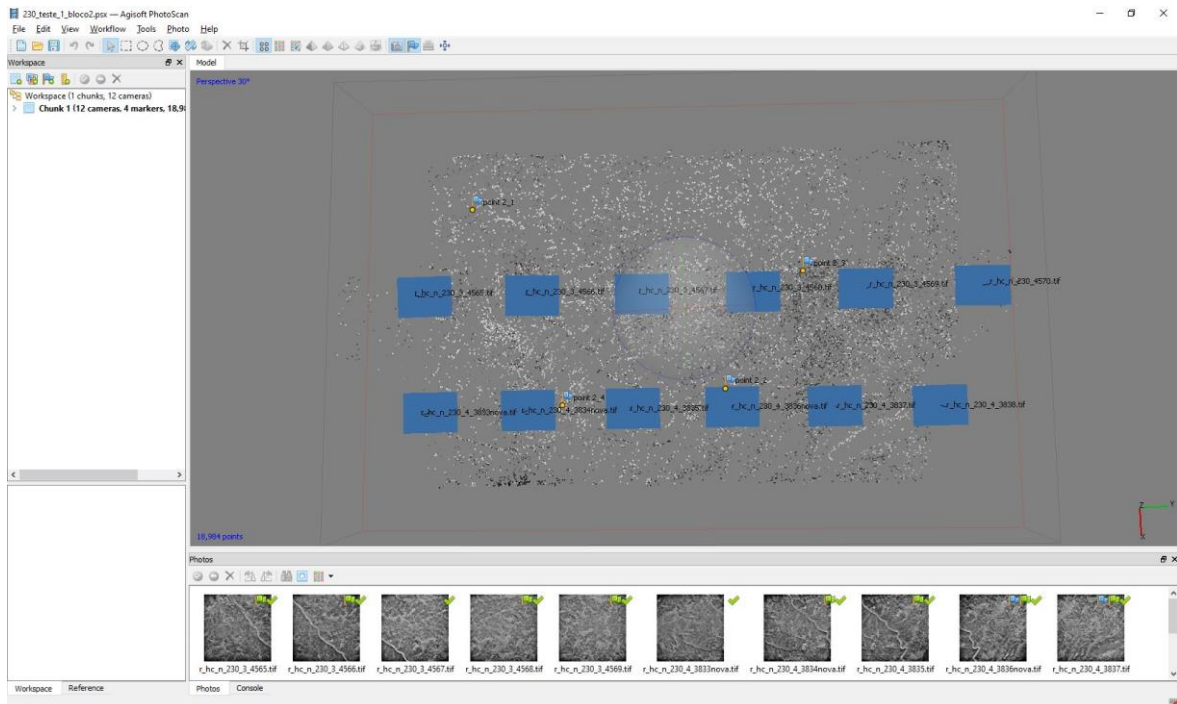


Figura 34- Alinhamento das imagens (criação da nuvem de pontos dispersa) do bloco 2 da carta 230

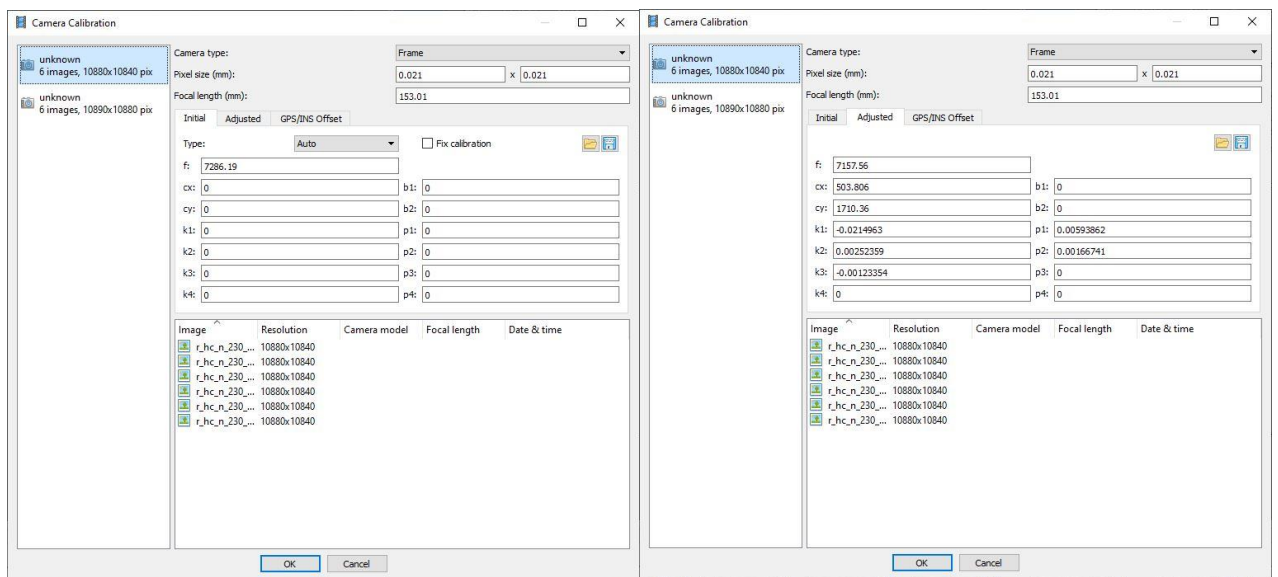


Figura 35- Parâmetros da câmara 1 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) do bloco 1 da carta 230

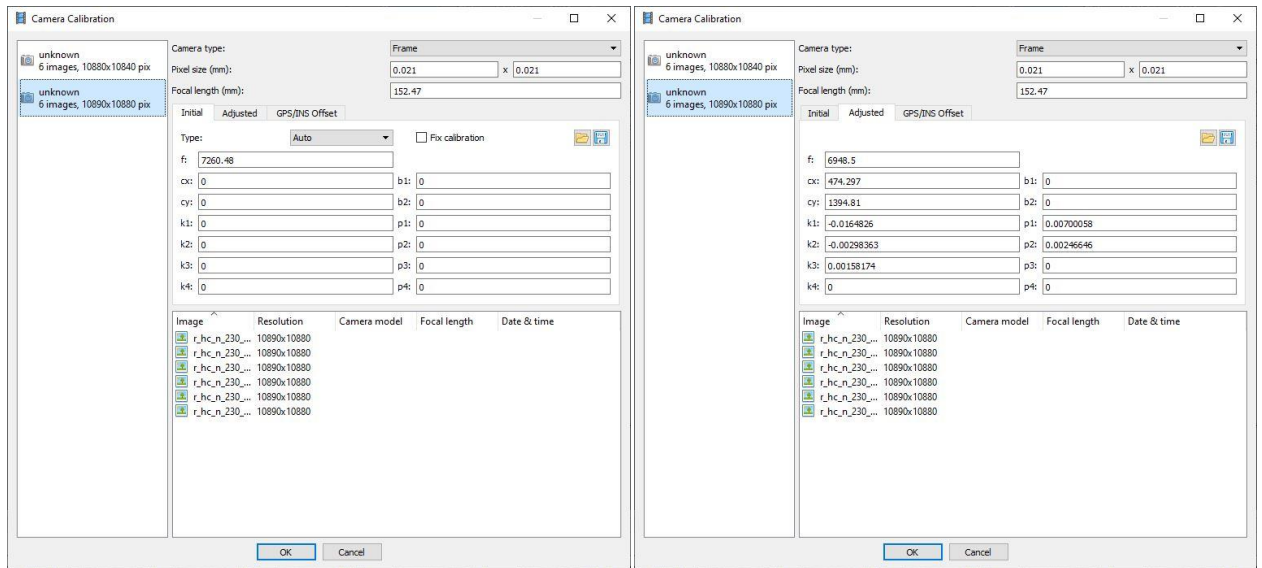


Figura 36- Parâmetros da câmara 2 iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) do bloco 1 da carta 230

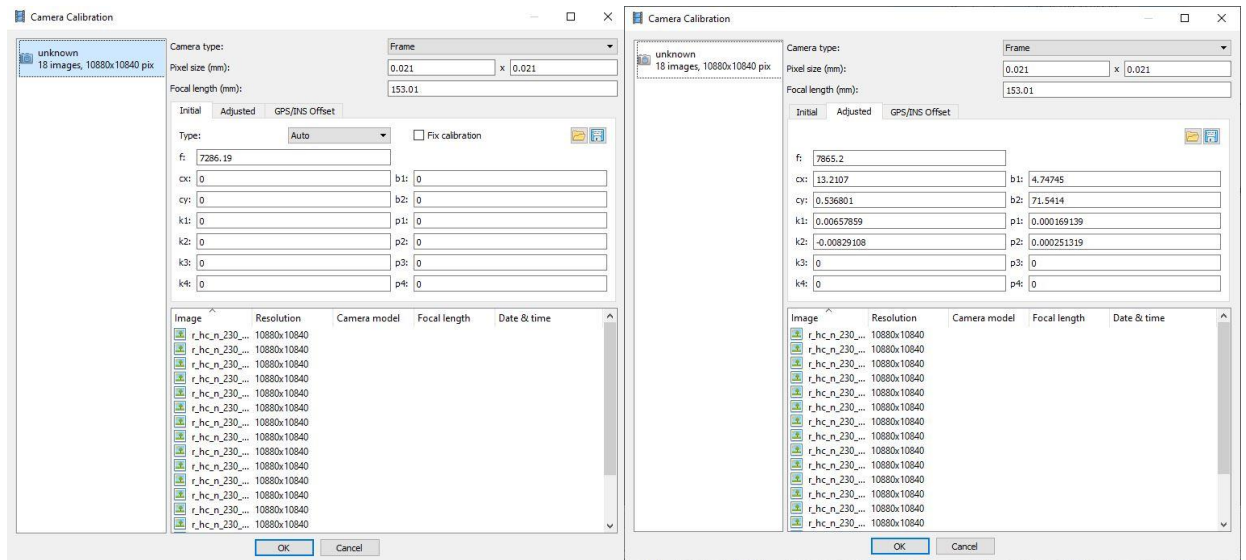


Figura 37- Parâmetros da câmara iniciais (à esquerda) e após a otimização das câmaras (à direita) do bloco 2 da carta 230

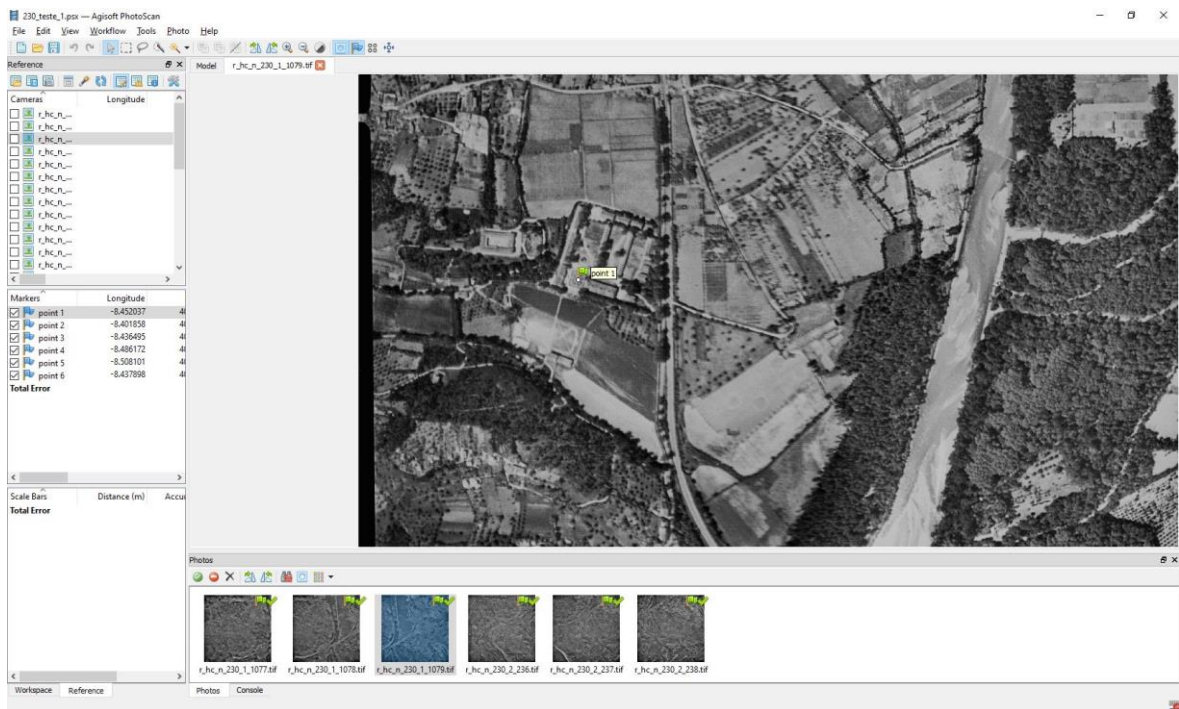


Figura 38- Ponto de controlo (bandeira verde) na imagem 1079 do bloco 1 da carta 230

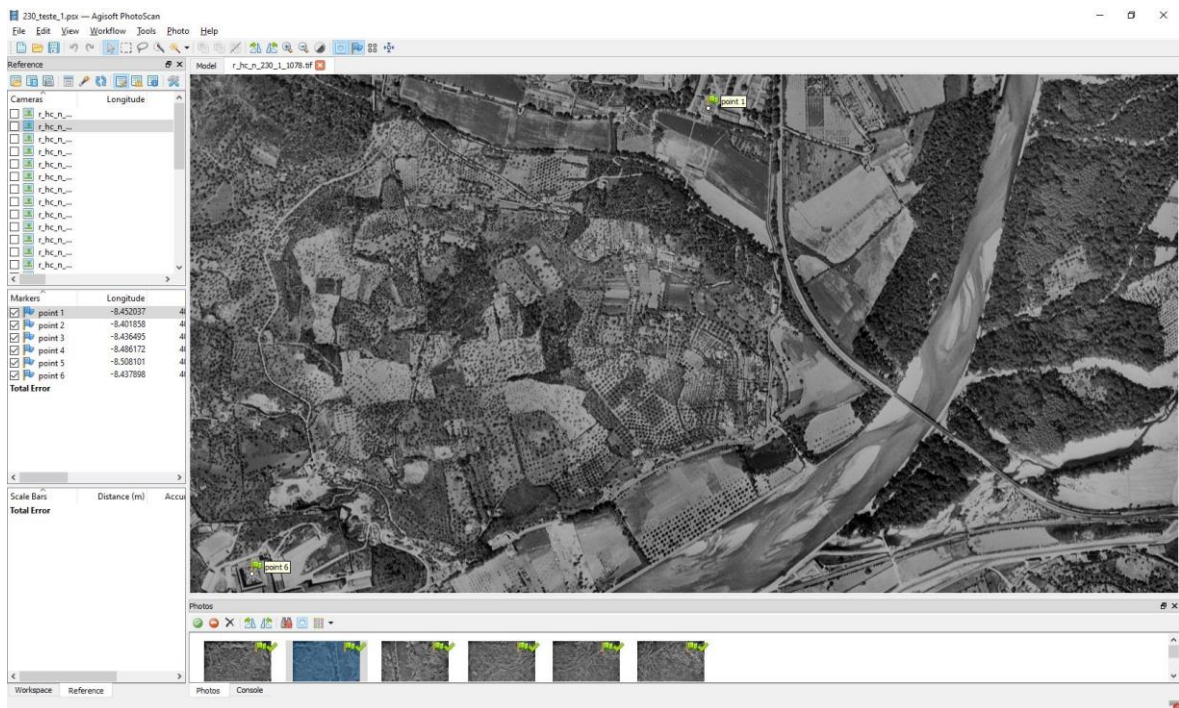


Figura 39- Ponto de controlo (bandeira verde) na imagem 1078 do bloco 1 da carta 230

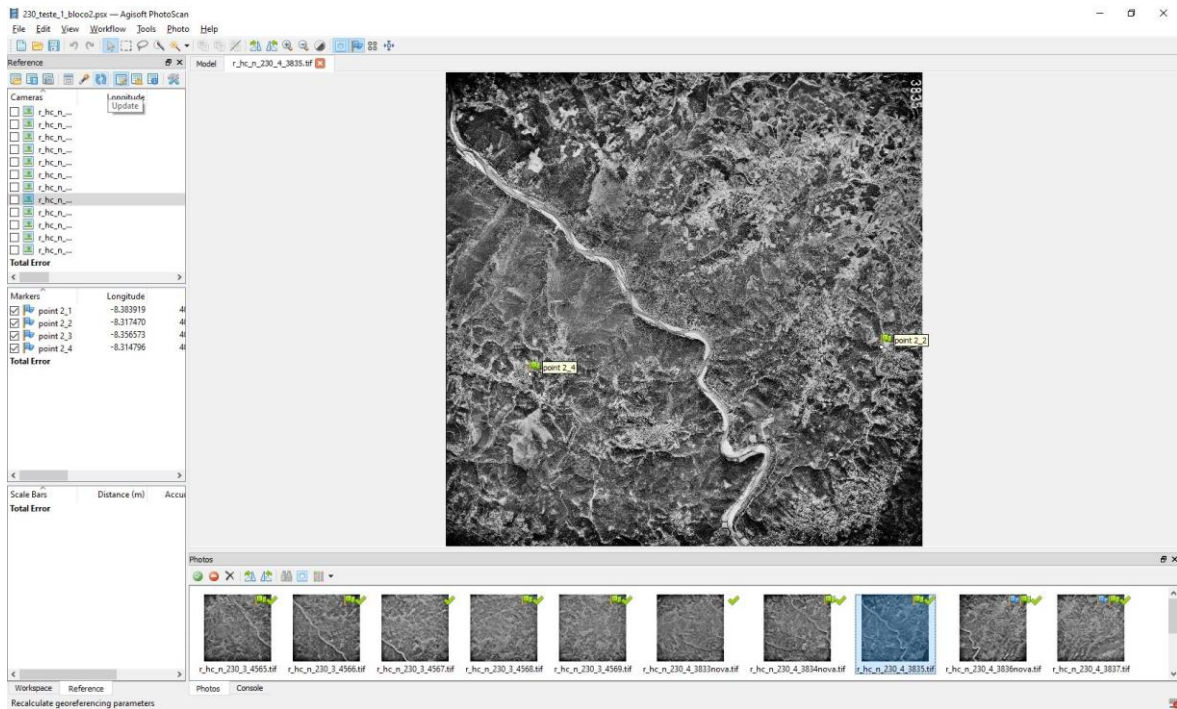


Figura 40- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação do bloco 2 da carta 230

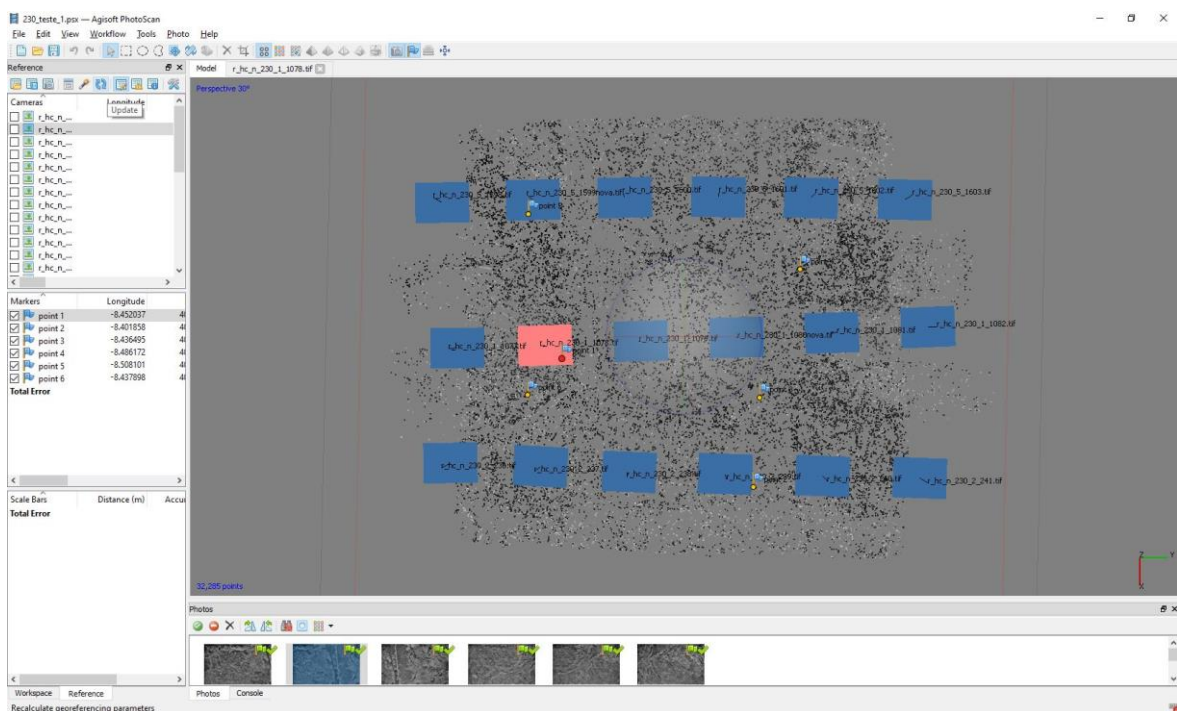


Figura 41- Pontos de controlo (bandeiras verdes) e update de georreferenciação do bloco 1 da carta 230

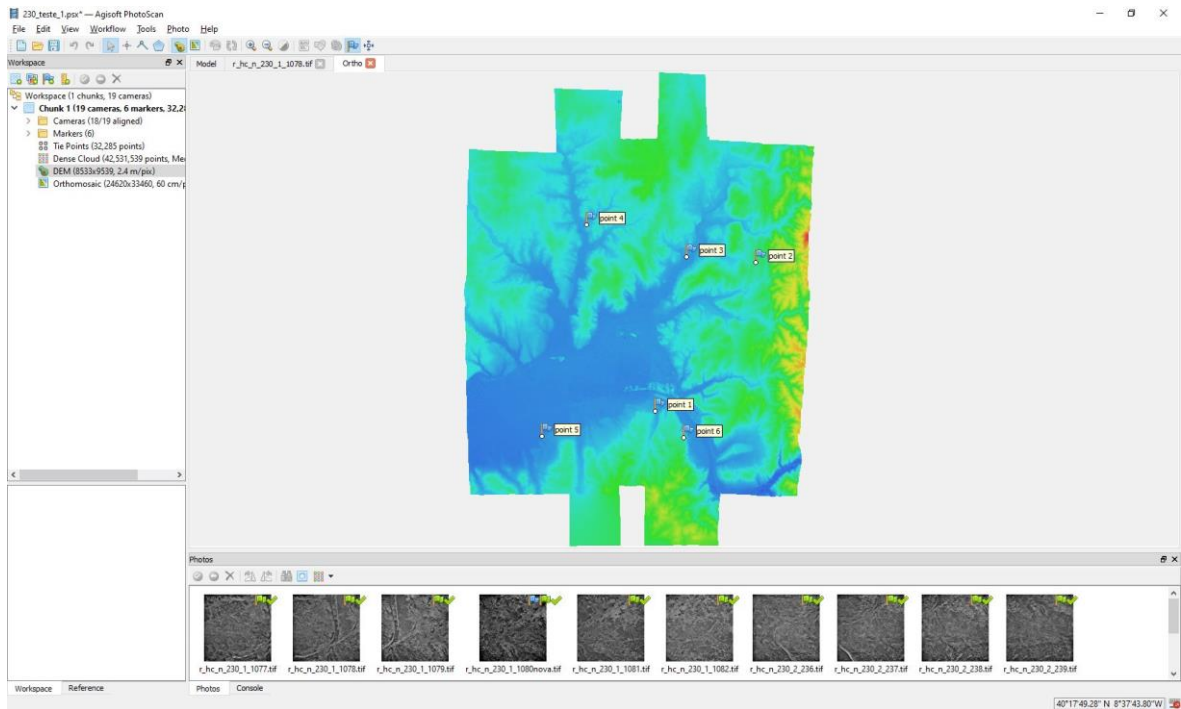


Figura 44- DEM do bloco 1 da carta 230

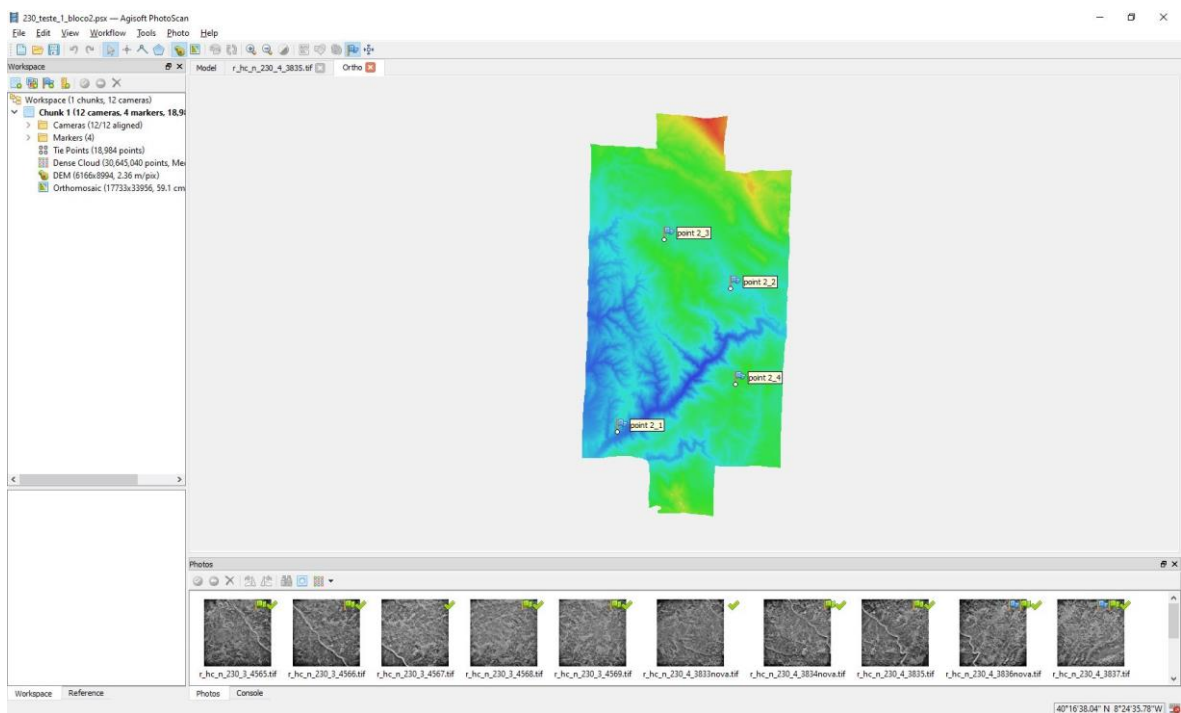


Figura 45- DEM do bloco 2 da carta 230

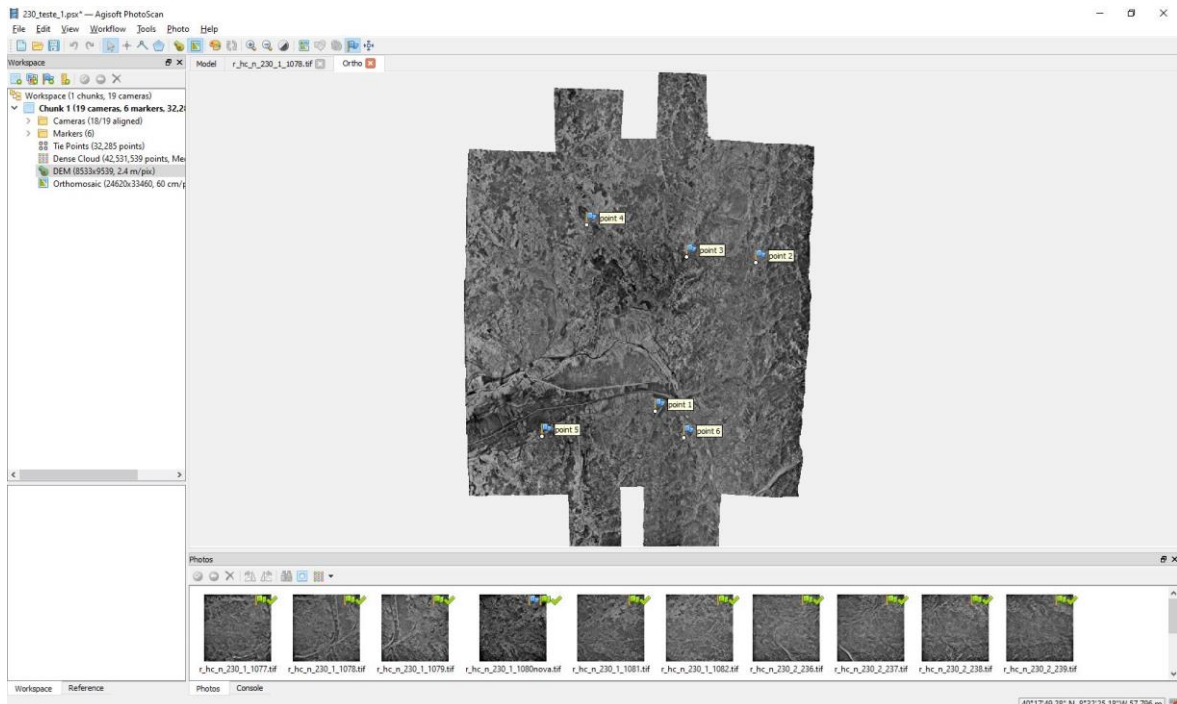


Figura 46- Orto do bloco 1 da carta 230

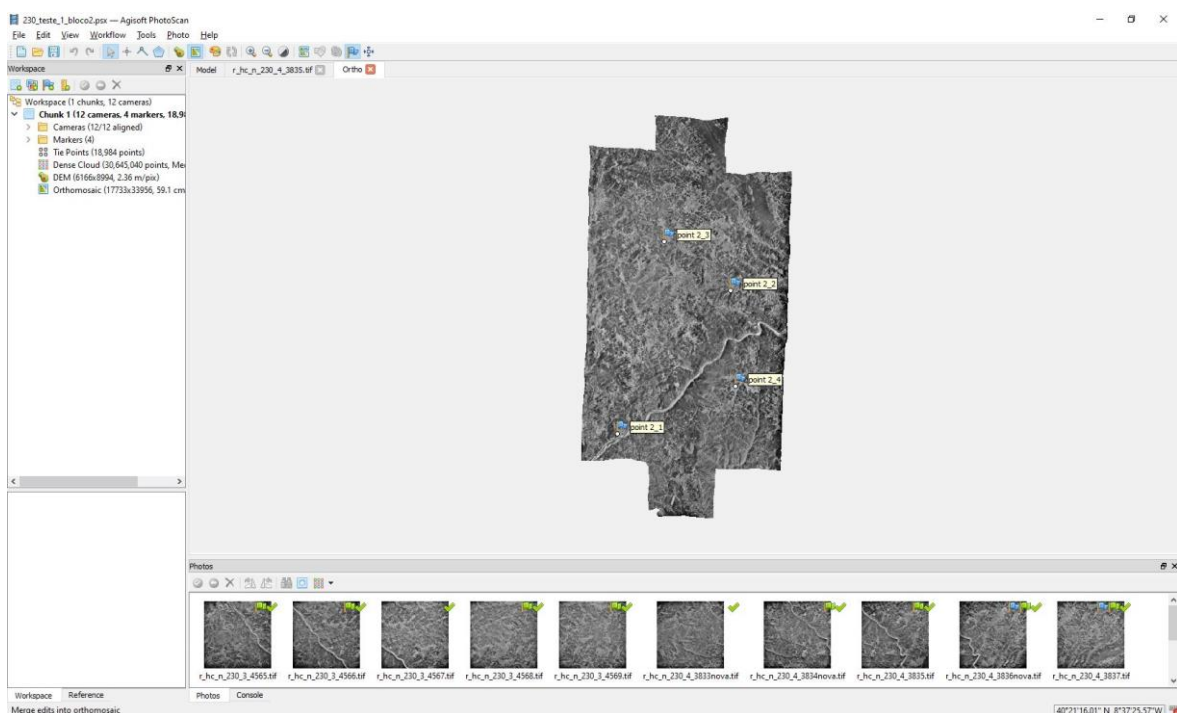


Figura 47- Orto do bloco 2 da carta 230

O ortomosaico correspondente ao bloco 1 da carta 230 apresentou uma qualidade razoável. Os erros de deslocação são inferiores a 5 metros e, portanto, desprezáveis. Contudo, o ortomosaico do bloco 2 não encaixa no bloco 1 ou seja, não está bem georreferenciado. Este erro está provavelmente relacionado com um problema não identificado, provavelmente uma falha na digitalização de alguma foto. Isso poderia explicar

porque durante o processo de orientação em bloco não foi possível o alinhamento de todas as imagens num único bloco.

4.4 Avaliação de alterações

Fez-se uma visualização comparativa dos ortomosaicos criados e das imagens atuais do Google Maps em ambiente SIG. A observação conjunta, ligando e desligando alternadamente uma das imagens, detetam-se rapidamente as pequenas alterações. A figura 48 mostra 3 exemplos de extratos, com 2.0 km por 1.6 km, das 3 cartas e das correspondentes áreas do Google Maps, em locais com alterações significativas.

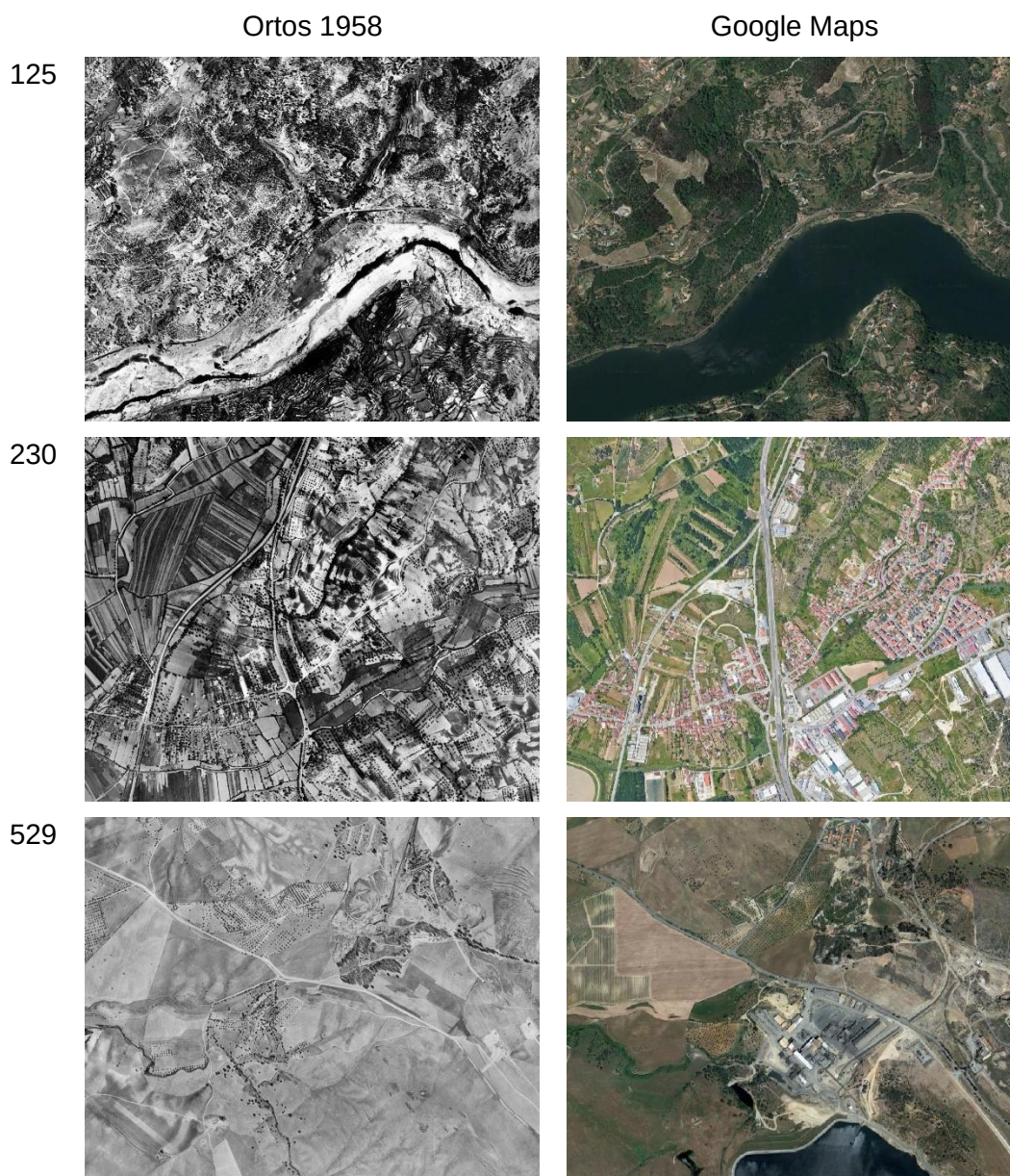


Figura 48- Extratos das 3 cartas (2.0x1.6 km) das três cartas e das correspondentes imagens do Google Maps

Observam-se na carta 125 as diferenças resultantes do enchimento da barragem do

Carrapatelo, no Douro, mas pode-se verificar que linha de comboio manteve o seu traçado. Observam-se também as alterações de ocupação florestal. Na carta 230 observam-se as alterações de expansão urbana nos arredores de Coimbra, assim como a construção da auto-estrada A1. Na carta 529, numa zona próxima de Aljustrel, observam-se as alterações resultantes da atividade mineira, assim como as alterações de formas de culturas agrícolas.

Capítulo 5. Conclusão

Este foi um trabalho exploratório, abrangendo áreas representativas de diferentes tipos (áreas florestais, áreas florestais montanhosas, áreas planas agrícolas e urbanas), apresentando resultados globalmente muito satisfatórios, sendo cumpridos plenamente os objetivos deste trabalho.

As ferramentas utilizadas, nomeadamente o programa Agisoft, com a sua simplicidade, facilidade e eficácia no processamento de dados, em que os seus algoritmos possibilitam a criação de DEM e ortomosaicos bastante precisos com recurso a relativamente poucos dados, em conjunto com o Google Earth, que disponibiliza uma plataforma comparativa de dados georeferenciados, revelaram-se muito eficientes na obtenção rápida, acessível e precisa dos dados cartográficos e posterior avaliação da qualidade dos resultados.

Este método de criação de orto mosaicos com fotos aéreas históricas revela-se um método relativamente fácil, rápido e barato, apresentando resultados de qualidade e precisão bastante razoável e com poucos erros, muitos deles não significativos e desprezáveis.

O tempo estimado na criação do ortomosaico de uma carta foi de cerca de 3 horas, o que permitiria a realização de duas cartas por dia. A este ritmo, o total de 630 folhas tomaria a um operador um pouco mais de um ano. Contudo, com o aumento da experiência do operador, e processando fiadas longas, para várias cartas em simultâneo, os tempos poderiam ser reduzidos, tornando o processo ainda mais eficiente.

Para a continuação deste projeto, a criação de orto mosaicos para as restantes cartas militares cobrindo toda a zona de Portugal, poderá ser necessário colaborar com o CIGeoE para estabelecer um protocolo para a digitalização das imagens com vista evitar os três problemas com que nos deparamos: as fotos não terem todas as marcas fiduciais visíveis, não terem todas a mesma tonalidade e contraste, e os ocasionais erros ocorridos durante a digitalização. Assim, terá de haver algum controlo de qualidade antes das imagens serem enviadas. Outro modo de economizar o tempo despendido é a criação de scripts durante os processos iniciais. Estas medidas pouparão tempo precioso, especialmente para a empresa, afinal em casos como este, tempo é dinheiro.

Capítulo 6. Bibliografia

- Agisoft *PhotoScan User Manual—Standard Edition, Version 1.2.* (2016). https://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_2_en.pdf
- Campos, A. S. C., & Gomes, A. A. (2015). *Cheia de abril de 1962 na cidade de Vila do Conde: Delimitação do perímetro de inundação com base na informação hidro-histórica das áreas afetadas.* (VII Congresso Nacional de Geomorfologia: Geomorfologia 2015) <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/81551>
- Canha, A. (2019). Paisagens Fortificadas e Monumentalizadas da “Beira-Douro” (III ao I milénio a.C.). *Arquitecturas, Cenários e Simbologias. Kairós*, 3, 32–44. https://doi.org/10.14195/2184-7193_3_3
- Cunha, P. P., Pinto, J., & Dinis, J. L. (1997). Evolução da fisiografia e ocupação antrópica na área estuarina do rio Mondego e região envolvente (Portugal centro-oeste), desde 1947. *Territorium*, 4, 99–124. https://doi.org/10.14195/1647-7723_4_8
- Esteves, G. R. P., Feitosa, M. A. F., & Fernandes, B. J. T. (2011). *Estereoscopia no cálculo de distância e controle de plataforma robótica.* 6.
- Fonte, J., Meunier, E., Gonçalves, J. A., Dias, F., Lima, A., Gonçalves-Seco, L., & Figueiredo, E. (2021). An Integrated Remote-Sensing and GIS Approach for Mapping Past Tin Mining Landscapes in Northwest Iberia. *Remote Sensing*, 13(17), 3434. <https://doi.org/10.3390/rs13173434>
- Furukawa, Y., & Ponce, J. (2010). *Accurate, Dense, and Robust Multi-View Stereopsis.* IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Vol. 2).
- Gonçalves, J. A., Manta, V., & Carvalho, M. (2015). Geração automática de orto-mosaicos de fotos aéreas de arquivo do Concelho de Coimbra. Em J. G. dos Santos, C. Fonte, R. F. de Figueiredo, A. Cardoso, G. Gonçalves, J. P. Almeida, & S. Baptista, *Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica* (1.^a ed., pp. 748–766). Imprensa da Universidade de Coimbra. https://doi.org/10.14195/978-989-26-0983-6_44
- ISPRS Statutes 2016.* (2016). <https://www.isprs.org/documents/statutes16.aspx>
- Lino, R. S. (2018). *Composição de Ortomosaicos de Fotografia Aérea do Arquivo da Câmara Municipal do Porto.* <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/121645>
- Lopes, J. A., & Pereira, B. S. (2015). *Aplicação de técnicas fotogramétricas e deteção remota na caracterização estrutural de uma zona de cisalhamento aurífera no NW de Portugal.* 7.
- Lopes, M. (2015). *FDUP - Aplicação de VANT em estudos geomorfológicos dos litorais rochosos: O exemplo de S. Paio, Vila do Conde.* https://sigarra.up.pt/fdup/en/pub_geral.pub_view?pi_pub_base_id=37466
- Lowe, D. G. (2004). Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91–110. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

- Pinto, A. T., Gonçalves, J. A., Beja, P., & Pradinho Honrado, J. (2019a). From Archived Historical Aerial Imagery to Informative Orthophotos: A Framework for Retrieving the Past in Long-Term Socioecological Research. *Remote Sensing*, 11(11), 1388. <https://doi.org/10.3390/rs11111388>
- Pinto, A. T., Gonçalves, J. A., Beja, P., & Pradinho Honrado, J. (2019b). From Archived Historical Aerial Imagery to Informative Orthophotos: A Framework for Retrieving the Past in Long-Term Socioecological Research. *Remote Sensing*, 11(11), 1388. <https://doi.org/10.3390/rs11111388>
- Pinto, G. S. M. da C. (2019). *Avaliação da Exatidão Altimétrica de Modelos Digitais de Superfície Provenientes de Veículos Aéreos Não Tripulados em Zonas de Relevo Acidentado*. <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/126678>
- Pratibha, D., Shingare, P., Sumit, M., & Kale, S. (2013). Review on Digital Elevation Model. *International Journal of Modern Engineering Research*, 3(4), 2412-2418.
- Redweik, P., Roque, D., Marques, A., Matildes, R., & Marques, F. (2010). Triangulating the Past – Recovering Portugal's Aerial Images Repository. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76(9), 1007–1018. <https://doi.org/10.14358/PERS.76.9.1007>
- Silva, A., Ponte Lira, C., Matildes, R., Andrade, C., & Taborda, R. (2013). *Utilização de ortofotomapas e fotografias aéreas para a delimitação da linha de costa*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1807.4647>
- Torres, M. S. S., & Patriota, R. C. (2020). AQUISIÇÃO DE DADOS ESPACIAIS E ANÁLISE DA QUALIDADE DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS OBTIDOS ATRAVÉS DE RPA: *Geosciences = Geociências*, 39(2), 505–515. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v39i2.13763>