



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**MOSAIC.PT – LEVANTAMENTOS FOTOGRAFAMÉTRICOS
COM *DRONE* DAS PRAIAS DE COVA-GALA, VIEIRA
E SÃO PEDRO DE MOEL EM 2019**



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

MOSAIC.PT – LEVANTAMENTOS FOTOGRAFAMÉTRICOS COM *DRONE* DAS PRAIAS DE COVA-GALA, VIEIRA E SÃO PEDRO DE MOEL EM 2019

Trabalho realizado no âmbito do projeto de investigação
MOSAIC.pt – Análise do risco de inundação costeira
a partir de múltiplas fontes para comunidades seguras
e desenvolvimento sustentável, financiado pela
FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia

Lisboa • janeiro de 2020

I&D BARRAGENS DE BETÃO

RELATÓRIO 3/2020 – DBB/NGA

Título

MOSAIC.PT – LEVANTAMENTOS FOTOGRAFÉTRICOS COM *DRONE* DAS PRAIAS DE COVA-GALA, VIEIRA E SÃO PEDRO DE MOEL EM 2019

Autoria

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

Maria João Henriques

Investigadora Principal, Núcleo de Geodesia Aplicada

Colaboração

Hugo Ricardo Silva

Assistente Operacional, Núcleo de Geodesia Aplicada

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 3/2020

Proc. 0604/121/21070, 0404/111/2107002

MOSAIC.PT - LEVANTAMENTOS FOTOGRAFAMÉTRICOS COM *DRONE* DAS PRAIAS DE COVA - GALA, VIEIRA E SÃO PEDRO DE MOEL EM 2019

Resumo

Este relatório apresenta os procedimentos dos levantamentos fotogramétricos, realizados com um *drone*, assim como as ações complementares, efetuadas em 2019, destinados a obter informação de carácter geométrico das praias de Cova - Gala, Vieira e São Pedro de Moel.

Palavras-chave: Praia / Levantamento / Fotogrametria / Drone

MOSAIC.PT - PHOTOGRAMMETRIC SURVEYS MADE IN 2019 WITH A DRONE OF BEACHES OF COVA - GALA, VIEIRA AND SÃO PEDRO DE MOEL

Abstract

This report refers to the photogrammetric surveys made with a drone, as well as the complementary actions carried out in 2019, to get geometric information about the beaches of Cova - Gala, Vieira and São Pedro de Moel.

Keywords: Beach / Survey / Photogrammetry / Drone

Índice

1	Introdução	1
2	Descrição do trabalho efetuado	3
	2.1 Levantamento fotogramétrico	3
	2.2 Apoio por métodos topográficos	9
3	Produtos gerados	13
	3.1 Nuvens de pontos e ortomosaicos	13
	3.2 Nuvens de pontos	13
	3.3 Ortomosaicos	16
	3.4 Modelos numéricos de superfície	18
	3.5 Metadados	21
4	Controlo de qualidade	23
	4.1 Considerações gerais	23
	4.2 Comparação de coordenadas de pontos de apoio e de controlo	23
	4.3 Comparação de coordenadas GNSS	24
	4.4 Comparação de perfis na praia de São Pedro de Moel	25
5	Comparação com outros levantamentos	29
6	Considerações finais	33
	Referências bibliográficas	35

Índice de figuras

Figura 1.1 – Fotografia da praia de Cova – Gala, zona sul	2
Figura 1.2 – Fotografia da praia de Vieira, zona central.....	2
Figura 1.3 – Fotografia da praia de São Pedro de Moel, zona norte.....	2
Figura 2.1 – <i>Drone</i> e acessórios utilizados nos levantamentos fotogramétricos.....	3
Figura 2.2 – <i>Drone</i> no início de um dos voos realizado na praia de São Pedro de Moel.....	4
Figura 2.3 – Área com restrições a voos devido à Base Aérea de Monte Real	4
Figura 2.4 – Planos dos três primeiros voos efetuados sobre a praia de Cova - Gala	5
Figura 2.5 – Planos dos três últimos voos efetuados sobre a praia de Cova - Gala	6
Figura 2.6 – Planos dos três voos efetuados sobre a praia de Vieira	6
Figura 2.7 – Planos dos dois voos efetuados sobre a praia de São Pedro de Moel	7
Figura 2.8 – Praia de Cova – Gala: número de fotografias por pixel.....	8
Figura 2.9 – Praia de Cova - Gala: localizações da câmara fotográfica durante os voos	8
Figura 2.10 – Praia de Vieira: número de fotografias por pixel e localizações da câmara fotográfica durante os voos	8
Figura 2.11 – Praia de São Pedro de Moel: número de fotografias por pixel e localizações da câmara fotográfica durante os voos.....	8
Figura 2.12 – Exemplos de pontos coordenados conforme ficam visíveis nas fotografias	9
Figura 2.13 – Praia de Vieira: coordenação do canto de uma passadeira	10
Figura 2.14 – Praia de São Pedro de Moel: coordenação de um ponto assinalado com tinta pela equipa do NGA	10
Figura 2.15 – Localização das estações da ReNEP em Portugal continental.....	11
Figura 2.16 – Praia de Cova - Gala: localização dos pontos coordenados	12
Figura 2.17 – Praia de Vieira: localização dos pontos coordenados	12
Figura 2.18 – Praia de São Pedro de Moel: localização dos pontos coordenados	12
Figura 3.1 – Pormenor da nuvem de pontos da secção entre os esporões E4 e E5 da praia de Cova - Gala e zona adjacente	13
Figura 3.2 – Pormenor da nuvem de pontos da secção sul da praia de Vieira	13
Figura 3.3 – Nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel	14
Figura 3.4 – Pontos com características para serem pontos homólogos numa fotografia da praia de Cova – Gala (no texto indica-se o significado das letras)	15
Figura 3.5 – Modelo numérico de superfície da praia de S. Pedro de Moel colorida artificialmente pelo <i>software</i> QGIS de acordo com escala de cores apresentada (unidade metro)	15
Figura 3.6 – Ortomosaico da praia de Cova - Gala	16
Figura 3.7 – Ortomosaico da praia de Vieira.....	16
Figura 3.8 – Ortomosaico da praia de São Pedro de Moel.....	17
Figura 3.9 – Ortomosaico da praia de São Pedro de Moel com inclusão de isolinhas de igual altitude (unidade metro).....	17
Figura 3.10 – Sobreposição dos ortomosaicos das praias sobre cartas 1:50.000	18
Figura 3.11 – Nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel	20
Figura 3.12 – MNS não interpolado da praia de São Pedro de Moel	20
Figura 3.13 – MNS interpolado da praia de São Pedro de Moel	20
Figura 3.14 – MNS extrapolado da praia de São Pedro de Moel	20
Figura 3.15 – Perfis traçados com base no MNS não interpolado (esquerda) e no MNS interpolado (direita) da praia de São Pedro de Moel.....	21
Figura 3.16 – Visualização do início do ficheiro de metadados associado à nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel, levantamento de 2019	22

Figura 4.1 – Perfis da praia de São Pedro de Moel: localização dos pontos coordenados pela equipa do NGA	26
Figura 4.2 – Equipa do NGA na coordenação de pontos no perfil 1 da praia de São Pedro de Moel .	26
Figura 4.3 – Ponto inicial do perfil 1 da praia de São Pedro de Moel.....	27
Figura 4.4 – Pontos iniciais dos perfis 2 e 3 da praia de São Pedro de Moel	27
Figura 4.5 – Perfil 1 da praia de São Pedro de Moel, incluindo os pontos coordenados por GNSS....	28
Figura 4.6 – Diferença entre altitudes do MNS e GNSS nos perfis da praia de São Pedro de Moel ...	28
Figura 5.1 – Localização dos pontos do perfil COSMO na praia de Vieira.....	30
Figura 5.2 – Perfis COSMO e MOSAIC na praia de Vieira.....	31
Figura 5.3 – Diferença entre ortomosaicos de Cova Gala.....	32
Figura 5.4 – Diferença entre ortomosaicos de São Pedro de Moel	32

Índice de quadros

Quadro 1.1 – Descrição sucinta da atividade realizada em fevereiro de 2019.....	1
Quadro 2.1 – Descrição sucinta dos levantamentos aéreos.....	7
Quadro 2.2 – Diferença entre coordenadas registadas na antena GNSS base e as que resultam do processamento com as antenas permanentes da ReNEP.....	11
Quadro 2.3 – Número de pontos coordenados em cada praia	12
Quadro 4.1 – Diferença entre coordenadas reais e coordenadas do processamento de GCP	24
Quadro 4.2 – Diferença entre coordenadas reais e coordenadas do processamento de CP	24
Quadro 4.3 – Diferença entre coordenadas GNSS de pontos na praia de Cova - Gala	25
Quadro 4.4 – Coordenadas dos pontos iniciais dos três perfis da praia de São Pedro de Moel	26
Quadro 5.1 – Valor médio da diferença de altitude entre pontos “COSMO” e “MOSAIC”	30
Quadro 5.2 – Diferença planimétrica entre ortomosaicos COSMO e MOSAIC.....	31

1 | Introdução

No presente relatório são descritos os procedimentos de realização dos levantamentos fotogramétricos das praias de Cova - Gala, Vieira e São Pedro de Moel, realizados com um *drone* em fevereiro de 2019, bem como as ações complementares de apoio a estes procedimentos. Estes levantamentos foram realizados no âmbito do projeto MOSAIC.pt – Análise do risco de inundação costeira a partir de múltiplas fontes para comunidades seguras e desenvolvimento sustentável – financiado pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia (PTDC/CTA-AMB/28909/2017), que é coordenado pelo Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA/NEC). Este projeto visa desenvolver um quadro de referência inovador de apoio à gestão do risco de inundação na zona costeira, incluindo estuários, com base na integração de modelos de previsão e monitorização em tempo real das variáveis relevantes ao processo de inundação, e tendo em conta as diferentes dimensões da vulnerabilidade do território (LNEC; 2019).

Os levantamentos foram realizados por uma equipa do Núcleo de Geodesia Aplicada (NGA) do Departamento de Barragens de Betão do LNEC, com colaboração pontual de elementos do DHA/NEC. Os levantamentos aéreos foram todos realizados na baixa-mar de modo a maximizar as zonas emersas. No Quadro 1.1 apresenta-se a descrição dos trabalhos efetuados nos diferentes dias pela equipa do NGA. Da Figura 1.1 à Figura 1.3 apresentam-se fotografias obtidas pela câmara fotográfica instalada no *drone*.

Quadro 1.1 – Descrição sucinta da atividade realizada em fevereiro de 2019

Dia	Descrição da atividade realizada
11	praia de Cova – Gala: marcação de pontos, coordenação da maioria destes pontos e levantamento fotográfico com <i>drone</i>
12	praia de São Pedro de Moel: marcação e coordenação de pontos e levantamento fotográfico com <i>drone</i> praia de Cova – Gala: coordenação de pontos
27	praia de Vieira: marcação e coordenação de pontos e levantamento fotográfico com <i>drone</i>

O presente relatório está organizado em seis capítulos. Depois do presente capítulo, de introdução, descreve-se, no capítulo 2, o trabalho realizado em campo (levantamento com *drone* e coordenação dos pontos de apoio e controlo). No terceiro capítulo descreve-se o trabalho realizado em gabinete e no quarto apresentam-se os resultados de análise de qualidade. No capítulo 5 inclui-se informação sobre a comparação entre levantamentos e no último capítulo apresentam-se as considerações finais.

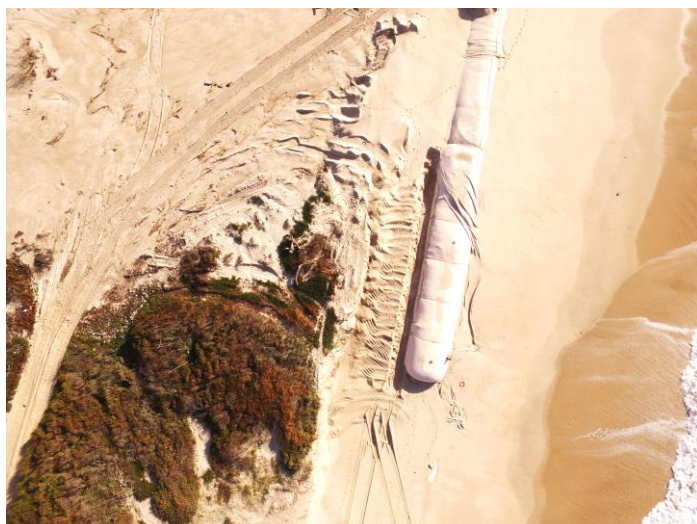


Figura 1.1 – Fotografia da praia de Cova – Gala, zona sul

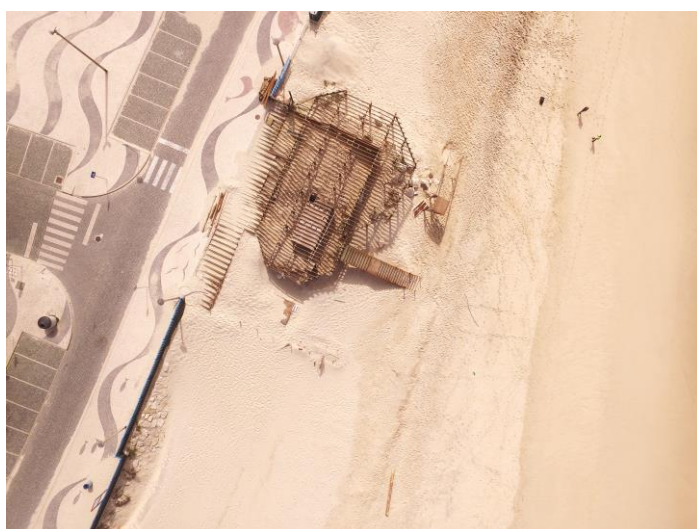


Figura 1.2 – Fotografia da praia de Vieira, zona central

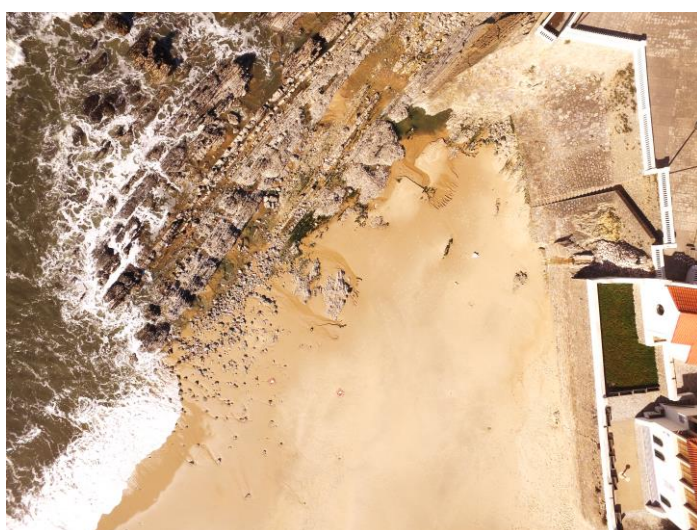


Figura 1.3 – Fotografia da praia de São Pedro de Moel, zona norte

2 | Descrição do trabalho efetuado

2.1 Levantamento fotogramétrico

Nos levantamentos aéreos foi utilizado o seguinte equipamento: o multicóptero (vulgo *drone*) do LNEC, o DJI Inspire I V2 dotado com uma câmara Zenmuse X3, um controlo remoto equipado com um *tablet* e seis baterias (Figura 2.1). O controlo remoto comunica com o *drone* por *wi-fi* e destina-se a comandar o *drone*, seguir o seu estado (onde se inclui a verificação do nível da bateria), ver as fotografias obtidas e atuar nas fases de levantar e de aterrar. No *tablet* deste controlo foram programados os planos de voo sendo cada um transmitido para o *drone* antes do início de cada voo. Na Figura 2.2 apresenta-se uma vista do *drone* no início de um dos voos, obtida na praia de São Pedro de Moel.



Figura 2.1 – *Drone* e acessórios utilizados nos levantamentos fotogramétricos

As praias de Vieira e de São Pedro de Moel situam-se numa zona restrita a voos (ver Figura 2.3, ANAC; 2019), por estarem numa área cujo espaço aéreo está sob jurisdição militar. Esta área restrita resulta da proximidade da base Aérea de Monte Real. Por este motivo, e para além do necessário licenciamento para o registo de fotografias e a utilização de um controlo remoto que recebe em tempo real imagens da câmara do *drone*, obrigatório para todos os voos, qualquer que seja a zona sobrevoada, houve ainda necessidade de obter autorização para realizar voos na referida área. As duas autorizações são emitidas pela Autoridade Aeronáutica Nacional (AAN). Relativamente aos voos sobre a praia de Cova – Gala, como foram efetuados a alturas inferiores a 120 m, não houve necessidade de pedir licença de voo à Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC).

Durante os voos foram respeitadas as regras de segurança divulgadas pela ANAC (2016), nomeadamente ter o *drone* sempre em linha de vista para poder atuar se detetada alguma anomalia durante o voo.



Figura 2.2 – *Drone* no início de um dos voos realizado na praia de São Pedro de Moel



Figura 2.3 – Área com restrições a voos devido à Base Aérea de Monte Real

Os voos foram realizados de forma automática, tendo as rotas sido previamente definidas utilizando o *software* GS PRO, desenvolvido pela DJI, fabricante do *drone*. Durante a elaboração dos planos de voo foi estabelecida a altura dos voos, considerando uma sobreposição longitudinal e transversal, entre fotografias, de 80%. Dada a extensão das praias houve a necessidade de realizar vários voos de forma a cobrir todas as áreas emersas. Da Figura 2.4 à Figura 2.7 apresentam-se os planos de voo utilizados nos levantamentos. Refira-se que a praia da Cova – Gala tem uma extensão de 2100 m, tendo sido coberta por seis voos; a de Vieira - 850 m - por três voos; a de São Pedro de Moel - 400 m – por dois voos.

Deve referir-se que, quando foram efetuados os levantamentos, a extensão lateral das praias (direção este oeste), no sentido do mar, era menor que a que surgia nas imagens utilizadas pelo programa GS PRO. Tal significa que, apesar de nas figuras apresentadas parecer que a faixa do areal mais próxima do mar não foi levantada, em todos os levantamentos houve uma cobertura integral das áreas de estudo.

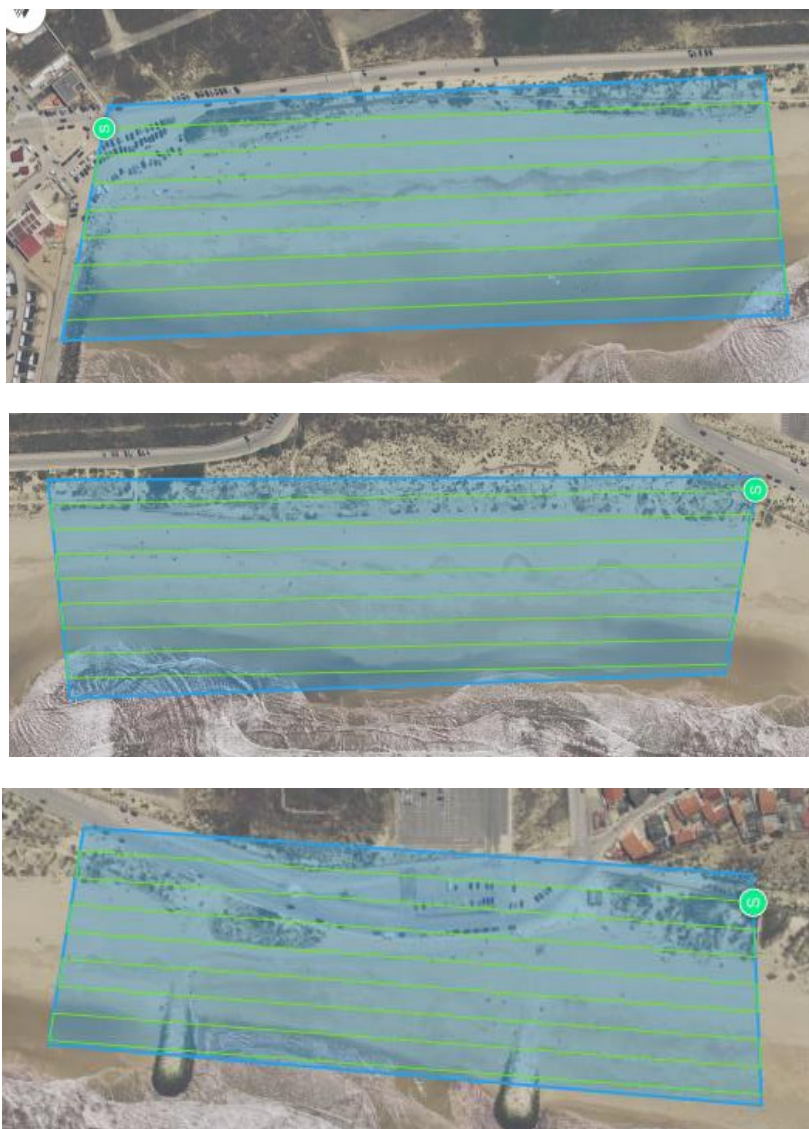


Figura 2.4 – Planos dos três primeiros voos efetuados sobre a praia de Cova - Gala

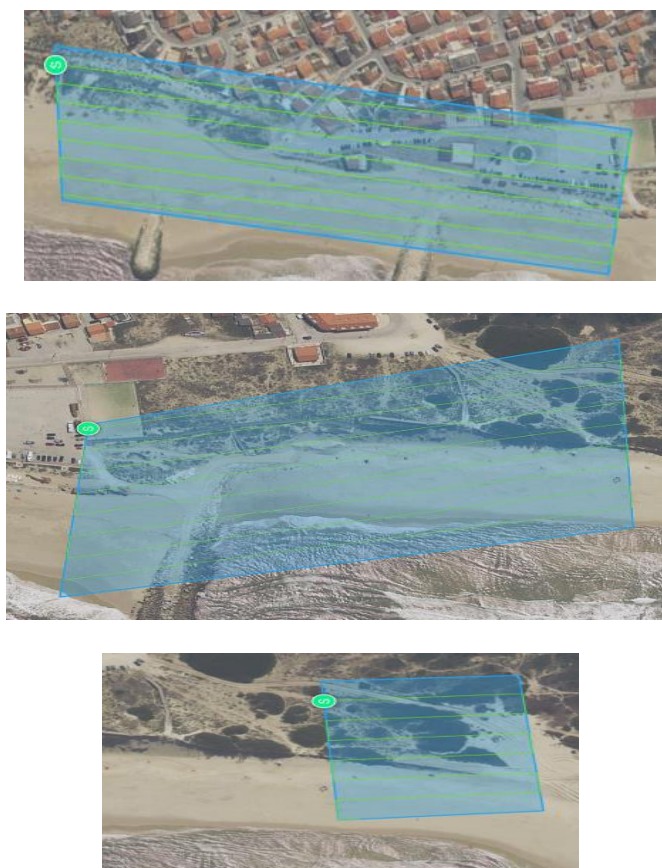


Figura 2.5 – Planos dos três últimos voos efetuados sobre a praia de Cova - Gala

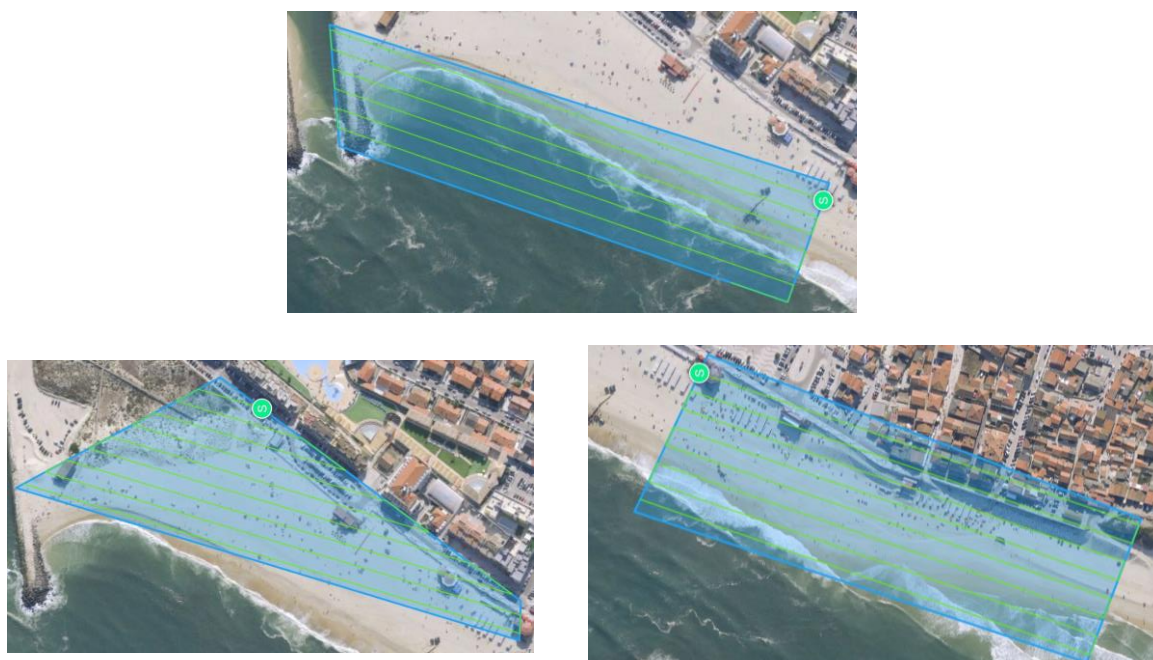


Figura 2.6 – Planos dos três voos efetuados sobre a praia de Vieira

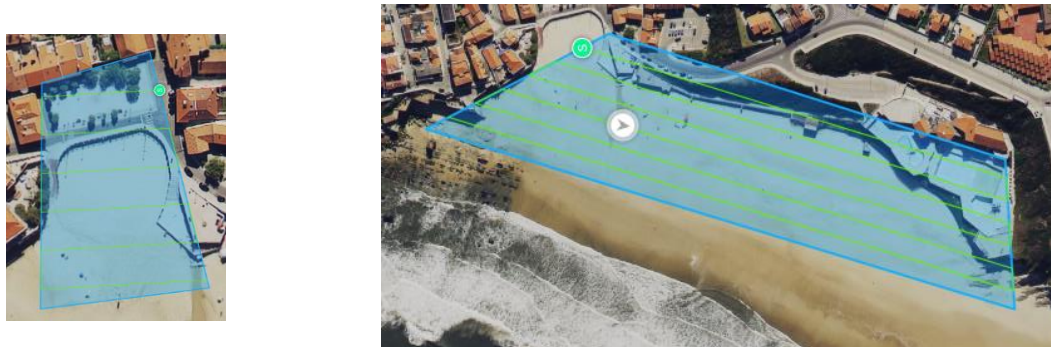


Figura 2.7 – Planos dos dois voos efetuados sobre a praia de São Pedro de Moel

No Quadro 2.1 apresentam-se alguns dados dos levantamentos fotográficos das praias, nomeadamente a hora de início e de fim dos levantamentos, o número de voos, a sua duração total (soma dos tempos associados aos períodos em que foram obtidas fotografias), altura de voo e número de fotografias obtidas. Deve referir-se que os cálculos dos tempos de voo foram efetuados com base nos instantes de registo das fotografias inicial do primeiro voo e final do último voo realizados em cada praia. Não se inclui o tempo utilizado na substituição da bateria e na preparação dos voos assim como de deslocação, obrigatória na praia de Cova – Gala já que houve pontos de partida dos voos bastante distantes entre si. A preparação dos voos incluía a realização de um pequeno voo sobre a praia destinado a regular a luminosidade das fotografias já que se tem optado por fixar os parâmetros da câmara durante os voos.

Da Figura 2.8 à Figura 2.11 apresentam-se plantas das praias, coloridas com falsa cor, informando, para cada pixel, qual o número de fotografias em que este está visível e, também, quais as localizações da câmara fotográfica referentes às fotografias utilizadas nos processamentos. Algumas fotografias foram rejeitadas pelo facto de cobrirem zonas extensas de mar.

Quadro 2.1 – Descrição sucinta dos levantamentos aéreos

Praia	Hora início	Hora fim	N.º Voos	Duração total dos voos (min)	Altura dos voos (m)	N.º fotografias obtidas
Cova - Gala	13h 08min	15h52min	6	45	50	1437
Vieira	13h 06min	13h 49min	3	30	50	767
São Pedro de Moel	12h 44min	13h 06min	2	12	50	262

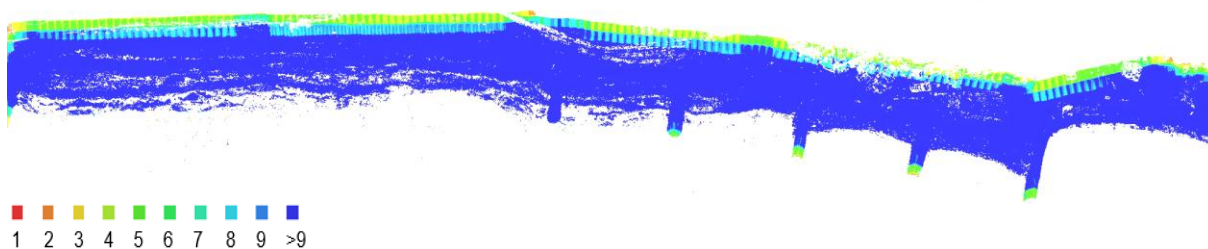


Figura 2.8 – Praia de Cova – Gala: número de fotografias por pixel

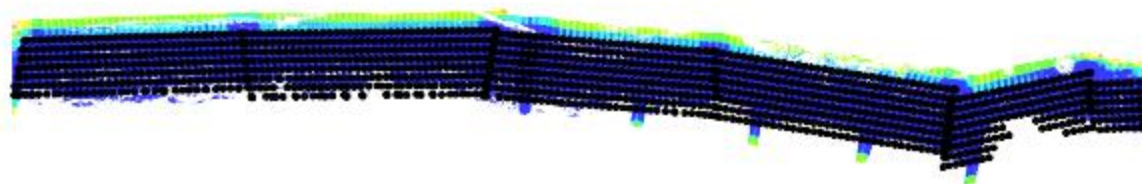


Figura 2.9 – Praia de Cova - Gala: localizações da câmara fotográfica durante os voos

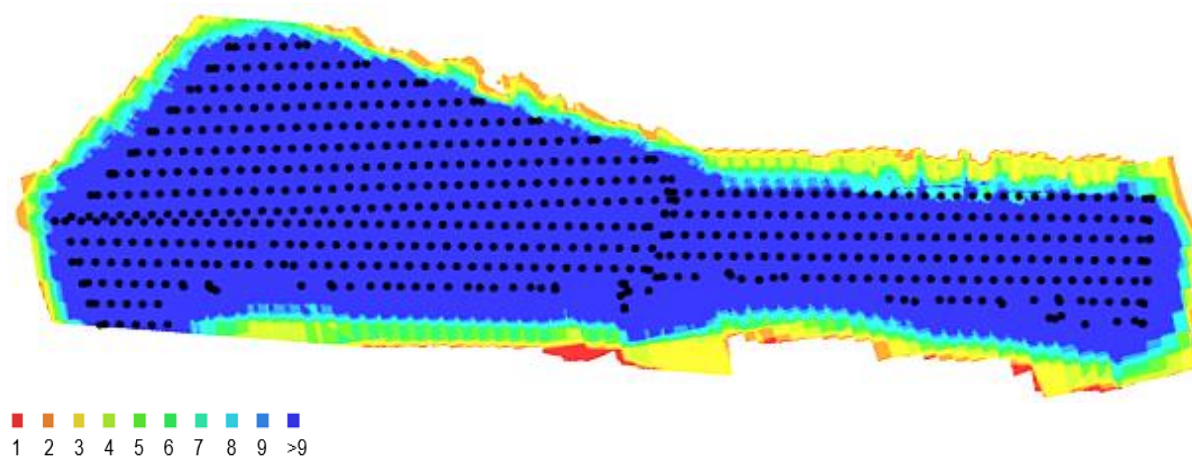


Figura 2.10 – Praia de Vieira: número de fotografias por pixel e localizações da câmara fotográfica durante os voos

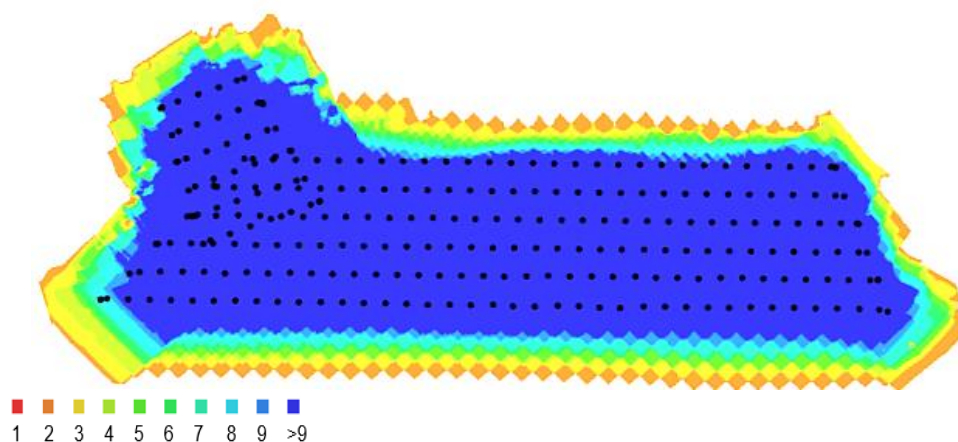


Figura 2.11 – Praia de São Pedro de Moel: número de fotografias por pixel e localizações da câmara fotográfica durante os voos

2.2 Apoio por métodos topográficos

Para um correto posicionamento, orientação e atribuição de uma escala aos produtos gerados (ortomosaicos e nuvens de pontos), é necessário determinar as coordenadas de alguns pontos, denominados pontos de apoio fotogramétrico (é frequente utilizar a sigla GCP do inglês *ground control point*). Estes têm também que ficar bem visíveis nas fotografias para poderem ser identificados. Para controlo de qualidade, é necessário marcar mais pontos, chamados pontos de controlo (ou CP, do inglês *check point*), tendo estes as mesmas características dos GCP.

Os pontos foram materializados por: i) alvos feitos por tela plástica (Figura 2.12a), utilizados nos areais; ii) alvos triangulares brancos ou vermelhos, resultantes de se aplicar tinta nas plataformas para peões situadas nas dunas (Figura 2.12b) ou nas superfícies dos blocos de pedra dos pontões (Figura 2.12c); iii) elementos já existentes, geralmente sinais de trânsito pintados no pavimento (Figura 2.12d). As imagens apresentadas foram extraídas das fotografias aéreas.



Figura 2.12 – Exemplos de pontos coordenados conforme ficam visíveis nas fotografias

Como os pontos têm que estar visíveis nas fotografias, têm que ser marcados antes da realização dos voos. A sua coordenação pode ser realizada antes ou depois dos voos.

Na praia de São Pedro de Moel foram ainda coordenados pontos ao longo de três perfis transversais. Na secção de avaliação da qualidade será incluída mais informação sobre estes levantamentos.

As coordenadas de todos os pontos (pontos isolados ou nos perfis) foram determinadas utilizando GNSS cinemático em tempo real (mais conhecido por RTK, de *real time kinematic*). O sistema GNSS integra os sistemas de satélite GPS, GLONASS, Galileu, Beidou, entre outros, sendo que os recetores utilizados, Topcon Hiper Pro, registam sinais dos sistemas GPS e GLONASS.

A coordenação por GNSS permite obter diretamente coordenadas nos sistemas de referência nacionais planimétrico (PT-TM06/ETRS89) e altimétrico (Cascais Helmert 1938). Ao adotar sistemas de referência nacionais é possível interligar os produtos gerados dos levantamentos com *drone* com outros dados que estejam georreferenciados nos mesmos sistemas de referência.



Figura 2.13 – Praia de Vieira: coordenação do canto de uma passadeira



Figura 2.14 – Praia de São Pedro de Moel: coordenação de um ponto assinalado com tinta pela equipa do NGA

Na coordenação por GNSS RTK, um dos recetores ficou estacionado em local estável e manteve-se imóvel durante toda a campanha de medição (recetor base), ficando permanentemente a registar dados e a calcular a sua posição com base nos sinais GNSS. Estando imóvel, as variações das coordenadas que calcula são consideradas resultantes de erros (os mais frequentes resultam do facto dos sinais atravessarem uma camada espessa da atmosfera, o que afeta o sinal transmitido). Estas variações permitem calcular correções que são transmitidas, via rádio, para o outro recetor (recetor *rover*) que foi transportado num bastão e que percorreu os pontos a coordenar (ver Figura 2.13 e Figura 2.14). Estando o recetor *rover* na proximidade da base (o GNSS RTK é válido para distâncias até alguns quilómetros), os sinais GNSS que recebe dos satélites estão também afetados dos mesmos efeitos que os sinais que são recebidos na base pelo que, ao corrigir as coordenadas do recetor *rover* com informação da estação base, obtêm-se coordenadas mais exatas.

O recetor *rover* ficou alguns segundos em cada ponto (cada coordenada registada resulta da média de três valores, com o cálculo de um conjunto de valores por segundo) e durante esse período recebia também dados emitidos pela estação base para poder corrigir as coordenadas. As coordenadas finais, já corrigidas, foram registadas numa caderneta de campo, a qual tinha que estar a curta distância do recetor *rover* já que esta transmissão era feita via *Bluetooth*.

Durante a coordenação de pontos na praia de Cova – Gala, realizada no dia do levantamento aéreo houve problemas na transmissão, via rádio, dos dados entre a base e o *rover* o que obrigou a que houvesse necessidade de completar a coordenação dos pontos noutros dias. Deve referir-se que todos os pontos situados no areal foram coordenados no dia em que foi realizado o levantamento aéreo.

Os dados GNSS registados pela antenna base foram, posteriormente, em gabinete, processados pelo *software* Pinnacle para o cálculo de coordenadas mais exatas e, assim, poder corrigir as coordenadas

dos restantes pontos. Nestes cálculos foram integrados os dados registados pelas duas estações da **Rede Nacional de Estações Permanentes GNSS, ReNEP** (Figura 2.15) mais próximas, concretamente Leiria e Montemor-o-Velho. As estações da ReNEP registam dados em contínuo estando estes dados, assim como as respetivas coordenadas, disponíveis no *site* deste serviço da Direção-Geral do Território, DGT (2019a). No Quadro 2.2 apresentam-se as diferenças entre estas últimas coordenadas e as que foram registadas na antena base para se avaliar a importância de realizar o processamento em gabinete.

Dos processamentos foram obtidas, para os pontos coordenados por GNSS, coordenadas cartográficas no sistema PT-TM06/ETRS89 e altitudes elipsoidais (em relação ao elipsoide de referência GRS80). Como se pretendem altitudes ortométricas, ou seja, relativas ao referencial altimétrico nacional Cascais Helmert 1938, que tem como referência a superfície do geoide, houve necessidade de obter o valor da ondulação do geoide (distância entre o elipsoide e o geoide) para efetuar a translação das altitudes.

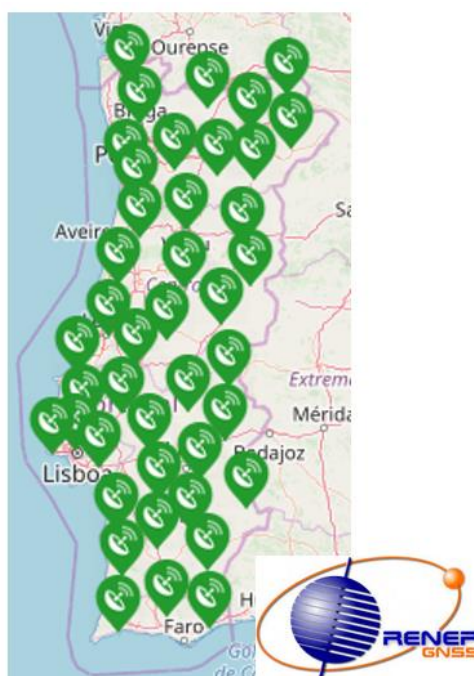


Figura 2.15 – Localização das estações da ReNEP em Portugal continental

Quadro 2.2 – Diferença entre coordenadas registadas na antena GNSS base e as que resultam do processamento com as antenas permanentes da ReNEP

Local	ΔM (m)	ΔP (m)	ΔH (m)
Cova – Gala 1	-2,15	-0,90	0,61
Cova – Gala 2	-1,48	-0,69	0,64
Cova – Gala 3	-1,86	0,02	2,48
Vieira	-1,06	0,05	2,04
São Pedro de Moel	0,03	-2,45	0,80

No Quadro 2.3 indica-se o número total de pontos coordenados em cada praia e, da Figura 2.16 à Figura 2.18, a sua localização nas praias. Nesta contabilização não estão considerados os perfis. Em Cova - Gala alguns pontos foram coordenados duas vezes em resultado de ter havido coordenação de pontos em dias diferentes.

Quadro 2.3 – Número de pontos coordenados em cada praia

Local	Nº total de pontos
Cova - Gala	159
Vieira	72
São Pedro de Moel	38

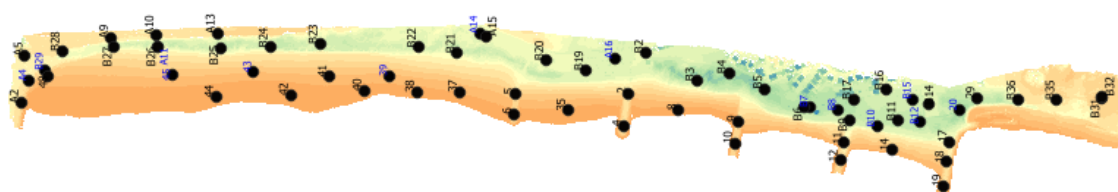


Figura 2.16 – Praia de Cova - Gala: localização dos pontos coordenados

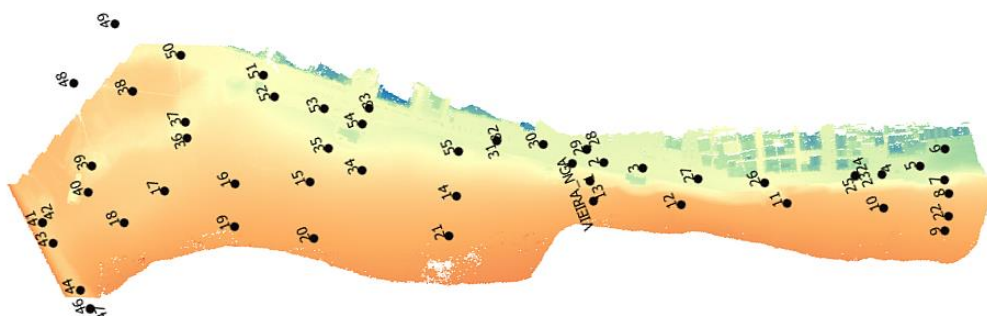


Figura 2.17 – Praia de Vieira: localização dos pontos coordenados

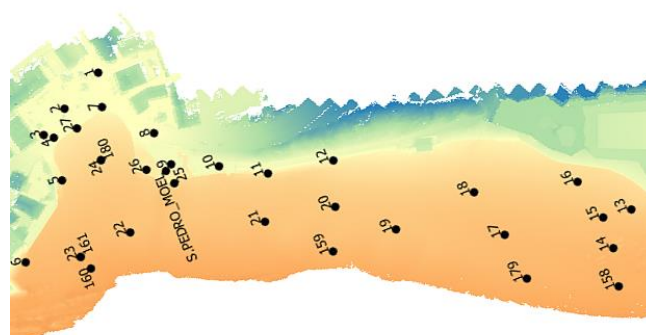


Figura 2.18 – Praia de São Pedro de Moel: localização dos pontos coordenados

3 | Produtos gerados

3.1 Nuvens de pontos e ortomosaicos

Os levantamentos fotogramétricos realizados destinaram-se a obter as necessárias fotografias para gerar nuvens de pontos e ortomosaicos. Utilizou-se o *software* Agisoft Metashape. Ao integrar no processamento as coordenadas dos GCP, os produtos gerados estão posicionados e orientados de acordo com os referenciais cartográfico e altimétrico nacionais. Estes dois produtos podem ser utilizados para avaliar a topografia das praias e, por comparação com produtos obtidos de outros levantamentos, apoiar o estudo de evolução dos areais e da morfologia das praias.

3.2 Nuvens de pontos

Na nuvem de pontos, cada ponto tem coordenadas tridimensionais (X, Y, Z) e a cada um pode ser atribuída uma cor proveniente das fotografias, o que permite obter uma visualização realista do objeto. Da nuvem de pontos pode criar-se também um modelo numérico de superfície e obter, por exemplo, perfis ao longo de planos definidos pelo utilizador. Da Figura 3.1 à Figura 3.3 apresentam-se vistas das três praias utilizando as nuvens de pontos geradas.



Figura 3.1 – Pormenor da nuvem de pontos da secção entre os esporões E4 e E5 da praia de Cova - Gala e zona adjacente



Figura 3.2 – Pormenor da nuvem de pontos da secção sul da praia de Vieira



Figura 3.3 – Nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel

A geração de cada nuvem de pontos é realizada em três etapas principais:

- estimação da orientação interna das fotografias, ou seja, das coordenadas e orientações da câmara, num referencial estabelecido pelo *software*, dos diferentes pontos de vista de fotografias de forma a poder reconstituir, para cada fotografia, os feixes de raios perspetivos que lhe deram origem. É realizada à custa dos parâmetros da câmara e da identificação de pontos homólogos em pares de fotografias, por técnicas de correlação. Pode recorrer às coordenadas GNSS da câmara, obtidas do recetor integrado no *drone*, e também aos dados de orientação da câmara, registadas nos metadados das fotografias no instante em que estas são obtidas. O acesso a estes dados torna mais rápida a identificação de pontos homólogos pois a pesquisa destes pontos só é realizada em fotografias próximas que tenham áreas em comum;
- orientação externa do sistema anterior, ou seja, determinação e aplicação de parâmetros de transformação (rotações, translações e fator de escala) que relacionam o sistema de coordenadas interno com o sistema de coordenadas estabelecido pelo utilizador. É realizada com base nas coordenadas tridimensionais dos pontos de apoio fotogramétricos (GCP) e na identificação destes pontos nas fotografias;
- geração da nuvem de pontos densa, criada diretamente através das fotografias já orientadas no espaço, segundo um princípio conhecido por “*structure from motion*” (SfM). Este princípio baseia-se na informação da posição e orientação das fotografias. Estes dados, aliados à informação sobre os pontos homólogos, permitem recriar o objeto fotografado a partir de grupos de fotografias selecionadas automaticamente pelo *software*.

É importante referir que os algoritmos de correlação têm dificuldade em identificar pontos homólogos em superfícies muito brancas, muito escuras ou muito homogêneas (areia molhada, por exemplo), por falta de contraste. Na Figura 3.4 apresenta-se uma fotografia da praia de Cova - Gala, mais concretamente da zona onde estavam a ser instalados os geocilindros. Nesta destacam-se, por terem poucos pontos, as seguintes zonas: A – contentor branco do lado esquerdo e passadiço junto, que se prolonga até ao areal (na zona onde este cria sombra não há pontos por ser uma área escura); B – arbusto alto; C – areia molhada; D – água; E – geocilindros e areia seca (ambos bastante claros). Na vegetação rasteira é normal serem identificados muitos pontos

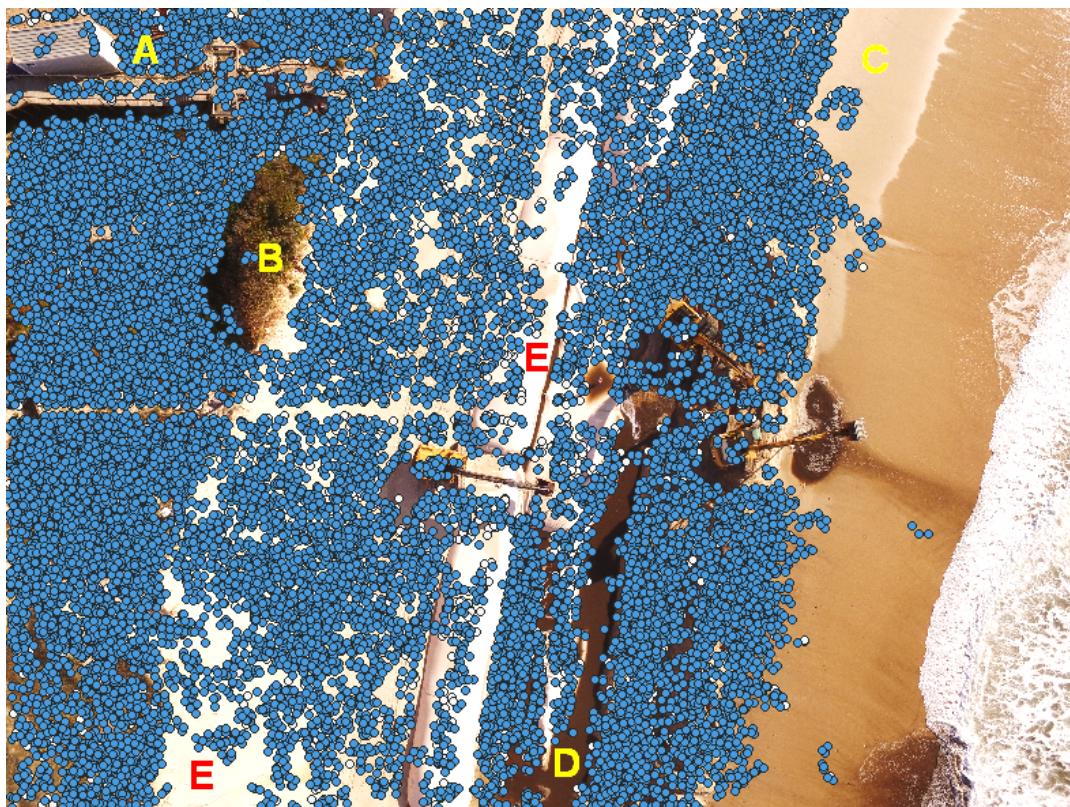


Figura 3.4 – Pontos com características para serem pontos homólogos numa fotografia da praia de Cova – Gala (no texto indica-se o significado das letras)

Após a identificação de pontos homólogos entre fotografias segue-se a fase de melhoramento na determinação da posição e orientação da câmara em cada tomada de fotografia, etapa que é realizada com o auxílio de GCP, os quais têm que ser identificados em todas as fotografias. São também marcados os CP, para a posterior avaliação de qualidade. É a etapa mais exigente para o operador por ser um procedimento que pode exigir muitas horas de trabalho dedicado. Já as restantes etapas do processamento, se bem que mais demoradas (geralmente várias horas, dependendo também da capacidade de cálculo do computador), são executadas de forma quase autónoma, sendo a intervenção do operador mais simples. Após a identificação dos GCP e transformação das coordenadas das fotografias procede-se à geração da nuvem densa de pontos. Esta nuvem permite, por exemplo, gerar modelos numéricos de superfície (MNS) como o apresentado na Figura 3.5.

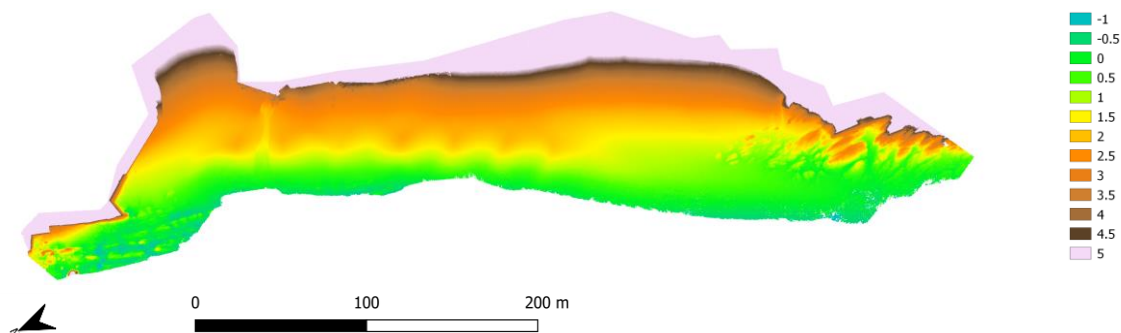


Figura 3.5 – Modelo numérico de superfície da praia de S. Pedro de Moel colorida artificialmente pelo software QGIS de acordo com escala de cores apresentada (unidade metro)

3.3 Ortomosaicos

O ortomosaico é uma junção de ortofotos (fotografias ortorretificadas, ou seja, fotografias corrigidas que apresentam uma escala constante) georreferenciados. No ortomosaico a informação é bidimensional (só são obtidas coordenadas X, Y), sendo um produto com características semelhantes a uma planta ou uma carta, sem informação altimétrica (esta pode ser adicionada por sobreposição de isolinhas de altitude constante, também conhecidas por curvas de nível).

Da Figura 3.6 à Figura 3.8 apresentam-se os ortomosaicos das três praias. Na Figura 3.9 foram traçadas isolinhas sobre o ortomosaico da praia de São Pedro de Moel, imagem que foi gerada automaticamente pelo *software* Metashape. A escala de apresentação, nestas figuras, varia.



Figura 3.6 – Ortomosaico da praia de Cova - Gala

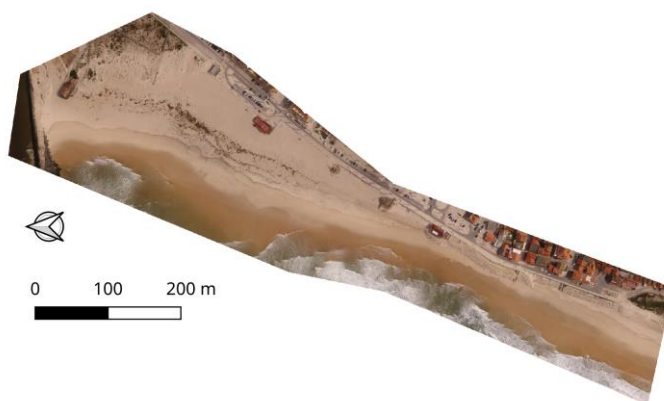


Figura 3.7 – Ortomosaico da praia de Vieira

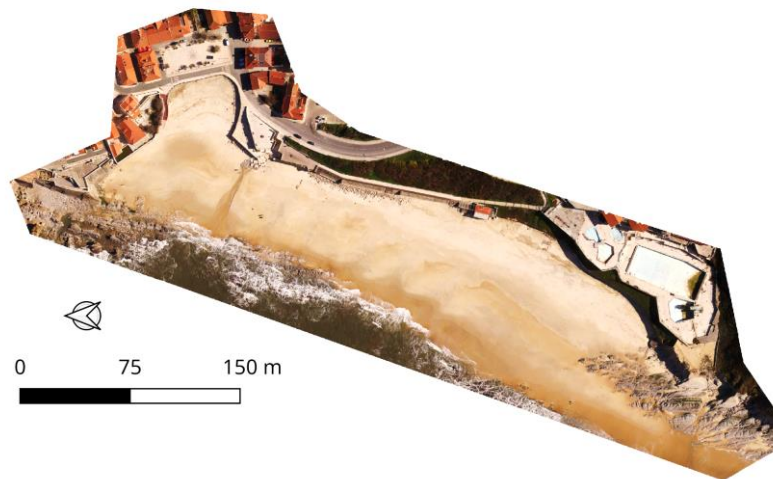


Figura 3.8 – Ortomosaico da praia de São Pedro de Moel

A geração de um ortomosaico tem três etapas principais:

- criação do modelo numérico de superfície, a partir da nuvem de pontos;
- criação de uma imagem ortorretificada para cada fotografia (cada pixel é projetado ortogonalmente, a partir da sua posição no modelo numérico de superfície, na superfície plana de referência, de altitude zero);
- ligação dos pixéis para criar o ortomosaico.



Figura 3.9 – Ortomosaico da praia de São Pedro de Moel com inclusão de isolinhas de igual altitude (unidade metro)

Como os ortomosaicos estão georreferenciados no mesmo sistema cartográfico que a série cartográfica Nacional à escala 1:50.000, uma das séries disponibilizadas *online* pela DGT através do *Web Map Service* (WMS), utilizou-se o *software* QGIS para sobrepor os resultados obtidos nas três praias em cartas da referida série cartográfica (Figura 3.10). A cartografia da DGT foi integrada como um *layer* no QGIS, utilizando-se o acesso *online* ao portal de informação geográfica aberta iGEO. A sobreposição, realizada através do *software* QGIS, foi automática. De acordo com a DGT (2019b), a carta da zona de Cova - Gala foi produzida no período 1980 - 1989 enquanto a cartografia das restantes praias foi produzida no período 1960 - 1969.

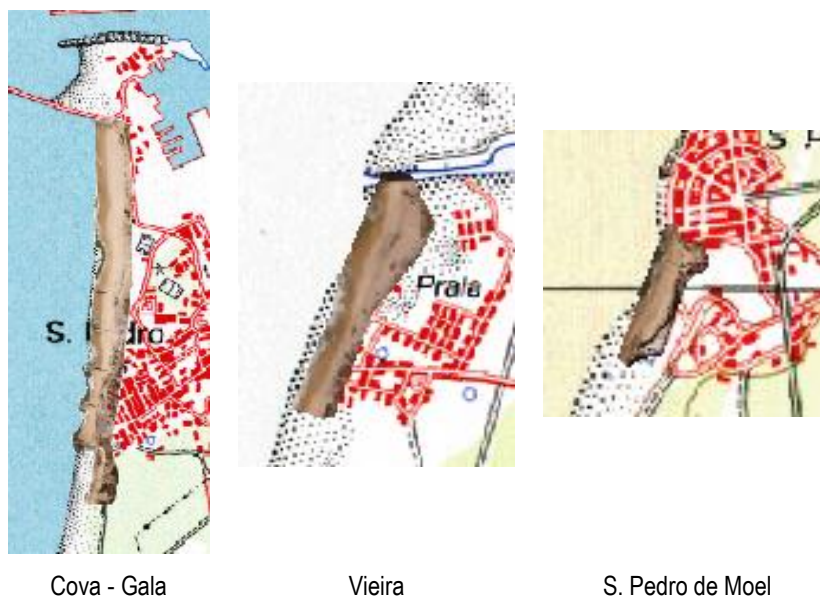


Figura 3.10 – Sobreposição dos ortomosaicos das praias sobre cartas 1:50.000

3.4 Modelos numéricos de superfície

Um modelo numérico de superfície (MNS) é utilizado para representar, num computador, a superfície do objeto de estudo. No caso deste último ser a superfície terrestre, pode também definir-se o modelo numérico do terreno (MNT) que se diferencia do MNS por não incluir vegetação, edifícios, veículos, etc. Para desenvolver um MNS recorre-se a pontos coordenados. Pelas suas características, de que se destaca o número elevado de elementos, as nuvens de pontos são a melhor base para desenvolver modelos MNS, sendo que diverso *software* disponível inclui ferramentas para os gerar automaticamente. Deve referir-se que os MNT são frequentemente gerados com base em nuvens de pontos, editadas para remover os pontos que não pertencem à superfície terrestre.

É frequente os MNS não serem utilizados pelo *software* que os gerou, motivo que leva a que haja necessidade de exportar os MNS em formatos adequados. As formas mais habituais de extrair MNS são:

- na forma de uma matriz, em que cada célula tem um valor de altitude. O utilizador define qual o comprimento das duas arestas de cada célula assim como o processo de calcular a altitude, que é função das altitudes dos pontos situados na área coberta pela célula. Assim, a situação mais usual é o valor da célula ser a média das altitudes dos pontos, mas estão também disponíveis as opções de serem a altitude máxima ou a altitude mínima. No caso de não existir

nenhum ponto na célula o utilizador pode tomar uma decisão sobre o que inscrever na célula: esta pode ficar sem valor, vulgo “vazia”; ou é calculada uma altitude, interpolada dos valores das altitudes das células vizinhas; ou é atribuído um valor específico. A matriz pode ser transformada numa imagem *raster* para ser facilmente lida por *software* de gestão de informação geográfica (vulgo SIG);

- na forma de uma malha (grelha) regular, formada por retângulos, em que cada nó tem um valor de altitude. O utilizador pode também tomar o mesmo tipo de decisões sobre a forma como as grelhas são construídas. A malha pode ser transformada num ficheiro de texto, com coordenadas tridimensionais dos nós da malha;
- na forma de uma malha composta por triângulos.

Quando é criada uma imagem *raster*, esta pode ser codificada, ou seja, é criada com formato GeoTIFF, pelo que os metadados da imagem incluem informação que permite georreferenciar a imagem. Quando o *software* não tem a capacidade de criar imagens no formato GeoTIFF, este cria um ficheiro acessório de texto que contém a informação necessária para que o *software* de utilização da imagem *raster* consiga utilizar corretamente os dados da imagem, ou o próprio utilizador pode criá-lo. Este ficheiro (conhecido pelo nome de *world file*) deve ter o mesmo nome da imagem *raster*, situar-se na mesma diretoria da imagem e ter extensão *tfw* no caso da imagem ter a extensão *tif*, ou *pngw* no caso da imagem ter extensão *png*. Para exemplo, apresenta-se o ficheiro *tfw* relativo ao MNS da praia de São Pedro de Moel, criado com um pixel quadrado de 50 cm. Neste ficheiro as unidades são sempre em metros:

0.5	tamanho do pixel na direção M
0	rotação em torno do eixo P
0	rotação em torno do eixo M
-0.5	tamanho do pixel na direção P
-77269.2	coordenada M do centro do pixel superior esquerdo
10244.0	coordenada P do centro do pixel superior esquerdo

Seguidamente analisa-se em mais pormenor MNS da praia de São Pedro de Moel, gerados com base na nuvem de pontos apresentada na Figura 3.11. Todo o processamento foi realizado automaticamente pelo *software* Metashape. Este pode gerar três tipos de MNS: i) não interpolado, em que, quando não tem dados, deixa a célula sem informação de altitude (Figura 3.12); ii) interpolado (o por defeito) em que o *software* preenche células, que inicialmente não tinham dados, com valores de altitude que resultam da média dos valores existentes numa área circular com raio estabelecido (Figura 3.13); iii) extrapolado, em que todas as células são preenchidas, em que os valores de altitude são obtidos por extrapolação (Figura 3.14). As três figuras incluem as isolinhas de igual altitude (curvas de nível). O MNS interpolado ocupa uma área maior, cobrindo inclusive uma zona de mar. Pela cor, que é automaticamente atribuída, pode deduzir-se que são calculados valores de altitude às zonas de mar, o que é confirmado pelos valores das curvas de nível (1 m e 2 m) estando a mais elevada situada nas zonas mais longínquas da praia. Este aumento de altitude fica também visível no segundo perfil apresentado na Figura 3.15. Esta figura inclui a indicação da localização de um perfil longitudinal e dois gráficos com perfis, produzidos automaticamente pelo *software*, tendo como base o MNS não interpolado (primeiro gráfico) e o interpolado (segundo gráfico).



Figura 3.11 – Nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel

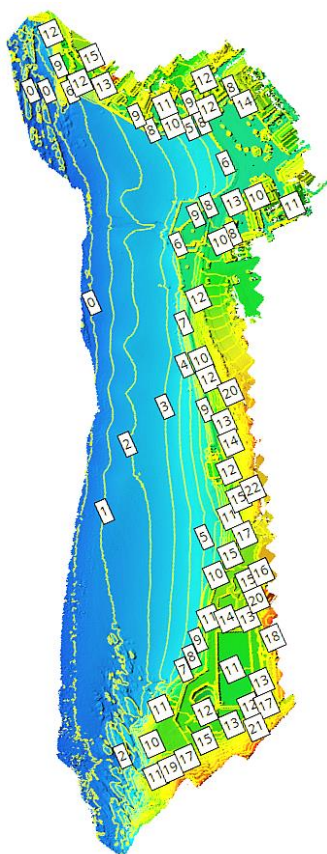


Figura 3.12 – MNS não interpolado da praia de São Pedro de Moel

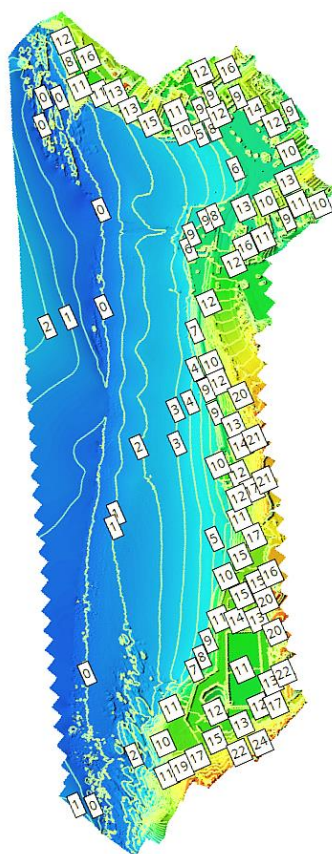


Figura 3.13 – MNS interpolado da praia de São Pedro de Moel

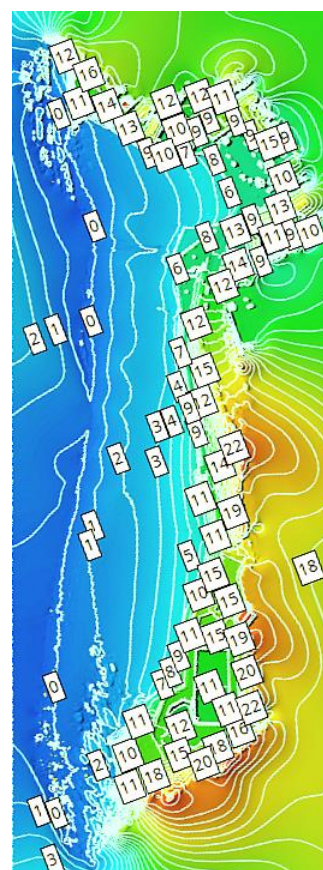


Figura 3.14 – MNS extrapolado da praia de São Pedro de Moel

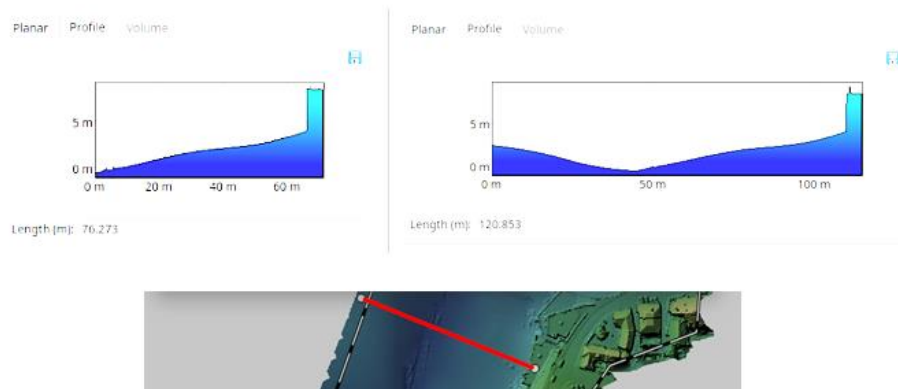


Figura 3.15 – Perfis traçados com base no MNS não interpolado (esquerda) e no MNS interpolado (direita) da praia de São Pedro de Moel. Em baixo, indicação da localização do perfil

3.5 Metadados

Há informação associada aos ortomosaicos e às nuvens de pontos, relacionada com a sua geração e com a aquisição de dados, que convém preservar e disponibilizar aos utilizadores. Esta informação, que é constituída por dados que descrevem e dão informação sobre outros aspetos, e por isso se designam por “metadados”, deve ficar registada obedecendo a regras já pré-estabelecidas para facilitar a sua criação e exploração. No processo de criação e armazenagem dos metadados foram seguidas as normas da diretiva europeia 2007/2/CE conhecida como diretiva INSPIRE - Infraestrutura Europeia de Informação Geográfica.

Seguindo os princípios descritos em DGT (2013), ponto de contacto nacional com o grupo responsável pela coordenação da diretiva INSPIRE a nível comunitário, os metadados são codificados em documentos XML, devendo-se utilizar os termos que a diretiva INSPIRE estabeleceu. Para criar os documentos XML o NGA está a utilizar, por conselho da DGT, a aplicação GeMA (Gestor de Metadados dos Açores). Esta ferramenta permite também converter, listar, descarregar e visualizar os metadados. Os ficheiros criados por esta aplicação incluem, sempre, a seguinte informação sobre o nome da norma de metadados utilizada: “ISO 19115 Sistema de Metadados dos Açores”.

De entre os cerca de 30 elementos base integrados na aplicação GeMA, foram selecionados os seguintes para constar nos ficheiros XML criados:

- Títulos base e alternativos
- Data de referência de criação e de publicação
- Palavras-chave descritivas
- Resumo e objetivo do recurso
- Sistema(s) de referência
- Créditos

Na Figura 3.16 apresenta-se um *printscreen* da visualização, recorrendo à aplicação GeMA, do início do ficheiro de metadados criado para a nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel. O ficheiro de metadados tem que ter o mesmo nome que o ficheiro com os dados, diferenciando-se unicamente na extensão (que, como se referiu, tem que ser XML).

GeMA - Gestor de Metadados dos Açores

INSPIRE
AÇORES

Início Geral Lista de Ficheiros: Metadados X Ficheiro: Nuvem_Praia_Sao_Pedro_Moel_2019_MOSAIC.xml X

Metadados em HTML Metadados em XML

GeMA
Gestor de Metadados dos Açores

METADADOS

Nuvem_Praia_Sao_Pedro_Moel_2019_MOSAIC

Identificação do Recurso

Citação:
Título: Nuvem_Praia_Sao_Pedro_Moel_2019_MOSAIC
Títulos Alternativos: Nuvem de pontos, Praia de São Pedro de Moel. Levantamento fotogramétrico realizado em 12 de fevereiro de 2019,
Data de Referência - Publicação: 2019-07-01
Data de Referência - Criação: 2019-07-01

Palavras-chave Descritivas -
Palavras-chave: nuvem de pontos, levantamento, fotogrametria, praia, São Pedro de Moel

Citação:
Título:

Resumo do Recurso:
 Levantamento fotogramétrico da praia de São Pedro de Moel, realizado em 12 de fevereiro de 2019, destinado a criar uma nuvem de pontos e um ortomosaico. UAV utilizado: DJI Inspire 1 V2 com câmara Zenmuse X3. Software de processamento: Agisoft Metashape. Executados pelo LNEC/DBB/NGA. Setor requisitante: DHA/NEC - Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras .

Objetivo:
 Dados para o projeto financiado pela FCT, denominado MOSAIC.pt - Multi-source flood risk analysis for safe coastal communities and sustainable development. PTDC/CTA-AMB/28909/2017

Figura 3.16 – Visualização do início do ficheiro de metadados associado à nuvem de pontos da praia de São Pedro de Moel, levantamento de 2019

A diretiva Inspire não prevê a necessidade de se estabelecer um referencial altimétrico pois a informação cartográfica exige unicamente a definição de um referencial planimétrico, no caso vertente o PT-TM06/ETRS89. Na criação das nuvens de pontos e produtos dela derivados, como é o caso dos MNS, a informação sobre o referencial altimétrico tem que ser acrescentada manualmente no ficheiro XML já que as aplicações existentes, desenvolvidas no âmbito da diretiva Inspire, não preveem a integração (e também a visualização) da informação sobre um referencial altimétrico. A norma ISO 19115, utilizada pela diretiva INSPIRE, prevê a possibilidade da criação de extensões sempre que os elementos não forem adequados. Com a colaboração da DGT, foram estabelecidas as seguintes linhas de informação para serem incluídas no ficheiro de metadados (exemplo para a nuvem de pontos anteriormente referida):

```
<gmd:extent>
  <gmd:EX_Extent>
    <gmd:verticalElement>
      <gmd:EX_VerticalExtent>
        <gmd:minimumValue>
          <gco:Real>-3.2</gco:Real>
        </gmd:minimumValue>
        <gmd:maximumValue>
          <gco:Real>27.3</gco:Real>
        </gmd:maximumValue>
        <gmd:verticalCRS xlink:href="http://www.opengis.net/def/crs/EPSSG/0/5780" />
      </gmd:EX_VerticalExtent>
    </gmd:verticalElement>
  </gmd:EX_Extent>
</gmd:extent>
```

4 | Controlo de qualidade

4.1 Considerações gerais

Neste capítulo analisam-se os produtos gerados numa perspetiva de controlo de qualidade através da comparação de coordenadas dos produtos gerados com pontos de controlo. Esta comparação é realizada automaticamente pelo *software* Metashape, sendo integrada no relatório do processamento produzido. Na praia de Cova - Gala, e por força de se terem coordenado pontos em dias diferentes, houve repetição de coordenação de alguns pontos. A comparação de resultados serve para avaliar a qualidade da coordenação efetuada. Também para efeito de avaliação da qualidade, foi efetuada a comparação dos perfis, coordenados por GNSS pela equipa do NGA na praia de S. Pedro de Moel, com os perfis obtidos nos mesmos pontos a partir do modelo numérico de superfície gerado a partir da nuvem de pontos.

4.2 Comparação de coordenadas de pontos de apoio e de controlo

Como foi referido, foram coordenados pontos para apoio (GCP) e para controlo (CP). A sua localização em todas as fotografias onde estes são visíveis é assinalada pelo operador durante o processamento. Com base na localização dos pontos nas fotografias, o *software* Metashape estima as coordenadas e apresenta, integrado no relatório já referido, as diferenças entre estas e as coordenadas obtidas em campo, separando, na análise, os GCP dos CP. No Quadro 4.1 e no Quadro 4.2 apresentam-se, respetivamente para os GCP e para os CP, e para as três praias, as médias das diferenças obtidas, segundo as direções do referencial adotado, assim como as diferenças máximas (em valor absoluto). As direções são: M – distância à Meridiana (direção este-oeste, positiva para este); P - distância à Perpendicular (direção norte-sul, positiva para norte); H – altitude ortométrica (positiva para o zénite).

A média das diferenças é calculada pela expressão (exemplificando para o caso das diferenças em M, ou seja, para ΔM , e onde n representa o número de pontos):

$$\text{Média_Dif}_{\Delta M} = \sqrt{\sum(\Delta M^2)/n} \quad (1)$$

No caso de Cova - Gala apresentam-se dois grupos de resultados (o segundo foi designado Cova - Gala - a) que resultou de ter sido retirada do processamento a zona sul, ou seja, a área de colocação dos geocilindros. Nesta zona verificaram-se alguns problemas com os pontos de apoio que seguidamente se descrevem. O alvo colocado na areia, junto ao geocilindro mais a sul, foi retirado e colocado noutro local, muito próximo (a cerca de 1 m de distância). Tal inviabilizou a integração deste ponto no processamento. Um segundo alvo, situado na proximidade, foi removido pelas ondas (a zona sul foi a última a ser sobrevoada, numa altura em que a maré estava a subir). Um ponto materializado por um triângulo pintado num passadiço apresentou anomalias na comparação de coordenadas. Desconhece-se a razão exata, pondo-se a hipótese de este se situar numa zona rodeada por vários

elementos, desde guardas a bancos de descanso. Por fim, na zona mais interior, foram escolhidos pontos “naturais” para servir de apoio. Estes pontos foram cantos de objetos encontrados no meio da vegetação rasteira (estava-se numa zona de duna). Por serem de reduzidas dimensões e não apresentarem grande contraste com o fundo, foi difícil a sua identificação nas fotografias, o que pode ter levado a uma incorreta marcação.

Quadro 4.1 – Diferença entre coordenadas reais e coordenadas do processamento de GCP

Praia	Média das Diferenças			Diferença máxima		
	ΔM (cm)	ΔP (cm)	ΔH (cm)	ΔM (cm)	ΔP (cm)	ΔH (cm)
Cova - Gala	4	4	4	16	14	10
Cova - Gala - a	3	3	4	6	6	9
Vieira	3	2	1	7	8	3
São Pedro de Moel	2	3	1	4	5	2

Quadro 4.2 – Diferença entre coordenadas reais e coordenadas do processamento de CP

Praia	Média das Diferenças			Diferença máxima		
	ΔM (cm)	ΔP (cm)	ΔH (cm)	ΔM (cm)	ΔP (cm)	ΔH (cm)
Cova - Gala	19	10	5	55	30	9
Cova - Gala - a	6	3	4	13	7	8
Vieira	3	3	2	6	6	4
São Pedro de Moel	3	2	2	6	4	4

Para a variação de qualidade – melhor em São Pedro de Moel, pior em Cova - Gala – pode contribuir a proporção das áreas levantadas e a densidade de pontos. Assim, enquanto em Cova - Gala a proporção do comprimento em relação à largura da praia é 10,7 (o comprimento da área levantada é 10,7 vezes superior à largura), em Vieira é 7,2 e em São Pedro de Moel 5,1. Para efeitos de processamento a situação ideal é 1, ou seja, uma área quadrada.

4.3 Comparação de coordenadas GNSS

Na praia de Cova - Gala coordenaram-se pontos em dias diferentes, tendo havido repetição da coordenação de alguns destes pontos. No Quadro 4.3 apresenta-se a diferença das coordenadas dos pontos repetidos, tendo estes sido coordenados em três levantamentos diferentes.

Quadro 4.3 – Diferença entre coordenadas GNSS de pontos na praia de Cova - Gala

Ponto A	Ponto B	ΔM (cm)	ΔP (cm)	ΔH (cm)
A6	B29	0	-3	-6
49	B29	1	2	-4
A7	B28	-1	1	-7
A8	B27	-2	1	-6
50	B23	1	-1	-5
7	35	-1	0	-1
33	B4	-1	0	-6
32	B4	-1	2	-6
34	B5	-2	-1	-3
13	B9	1	-1	-4

A menor diferença ocorre entre pontos coordenados no mesmo dia, numa situação em que não há mudança de estação base entre as medições. Já as restantes comparações envolveram valores em que houve alteração do estacionamento da antena base. As alturas das antenas base e *rover*, são dos dados necessários no processamento e a sua medição é realizada com erro de alguns milímetros. O facto de as maiores diferenças se verificarem em altimetria (H) é normal na coordenação por GNSS dado esta componente é estimada com maior incerteza. Os valores obtidos para as diferenças são normais para este tipo de coordenação.

4.4 Comparação de perfis na praia de São Pedro de Moel

Após a coordenação dos pontos de apoio em São Pedro de Moel, a equipa do NGA coordenou pontos ao longo de três perfis transversais na praia. Na Figura 4.1 apresenta-se a sua localização sobre o ortomosaico da praia enquanto na Figura 4.2 é apresentada uma fotografia da equipa do NGA a realizar a coordenação dos pontos (um elemento da equipa transportava o bastão com a antena, o outro dava a ordem de medição e registo das coordenadas na caderneta eletrónica). Na Figura 4.3 e na Figura 4.4 apresenta-se a localização dos pontos iniciais de cada perfil (os pontos dos perfis 2 e 3 foram assinalados com tinta) e no Quadro 4.4 as suas coordenadas. Espera-se que os locais escolhidos não sofram alteração de posição, de forma a que possam ser considerados pontos de referência para futuros levantamentos.



Figura 4.1 – Perfis da praia de São Pedro de Moel: localização dos pontos coordenados pela equipa do NGA



Figura 4.2 – Equipa do NGA na coordenação de pontos no perfil 1 da praia de São Pedro de Moel

Quadro 4.4 – Coordenadas dos pontos iniciais dos três perfis da praia de São Pedro de Moel

Perfil	M (m)	P (m)	H (m)
1	-77007,68	10117,23	7,06
2	-77077,34	10018,95	7,74
3	-77110,29	9878,09	8,25



Figura 4.3 – Ponto inicial do perfil 1 da praia de São Pedro de Moel



Perfil 2



Perfil 3

Figura 4.4 – Pontos iniciais dos perfis 2 e 3 da praia de São Pedro de Moel

Da nuvem de pontos da praia criou-se um modelo numérico de superfície (MNS) e, deste, obtiveram-se as altitudes correspondentes às coordenadas planimétricas dos pontos dos perfis, o que permitiu traçar os perfis. Na Figura 4.5 apresenta-se o perfil 1 com sobrelevação de cerca de nove vezes. No mesmo perfil foram implantados os pontos coordenados por GNSS. Na Figura 4.6 apresentam-se, para os três perfis, as diferenças de altitude entre o MNS e as coordenadas GNSS, estando do lado direito os pontos situados mais próximo do mar. A boa concordância deve-se, em parte, ao facto de ter sido gerada uma nuvem de pontos de qualidade, pois foram obtidos bons valores para esta praia (ver secção 4.2). As diferenças encontradas nos pontos iniciais podem resultar de serem zonas mais irregulares, com pedras ou muitos sulcos na areia, enquanto as encontradas na zona da areia molhada pode ser atribuída a uma pior modelação das superfícies molhadas.

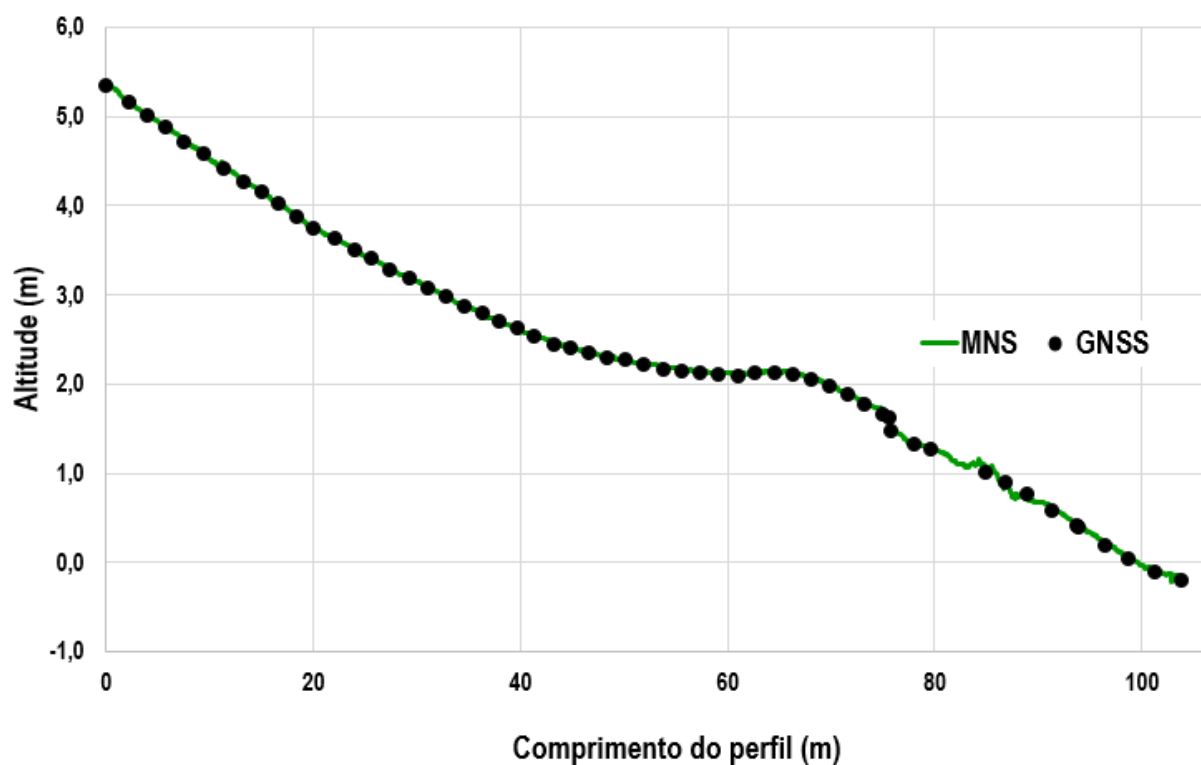


Figura 4.5 – Perfil 1 da praia de São Pedro de Moel, incluindo os pontos coordenados por GNSS

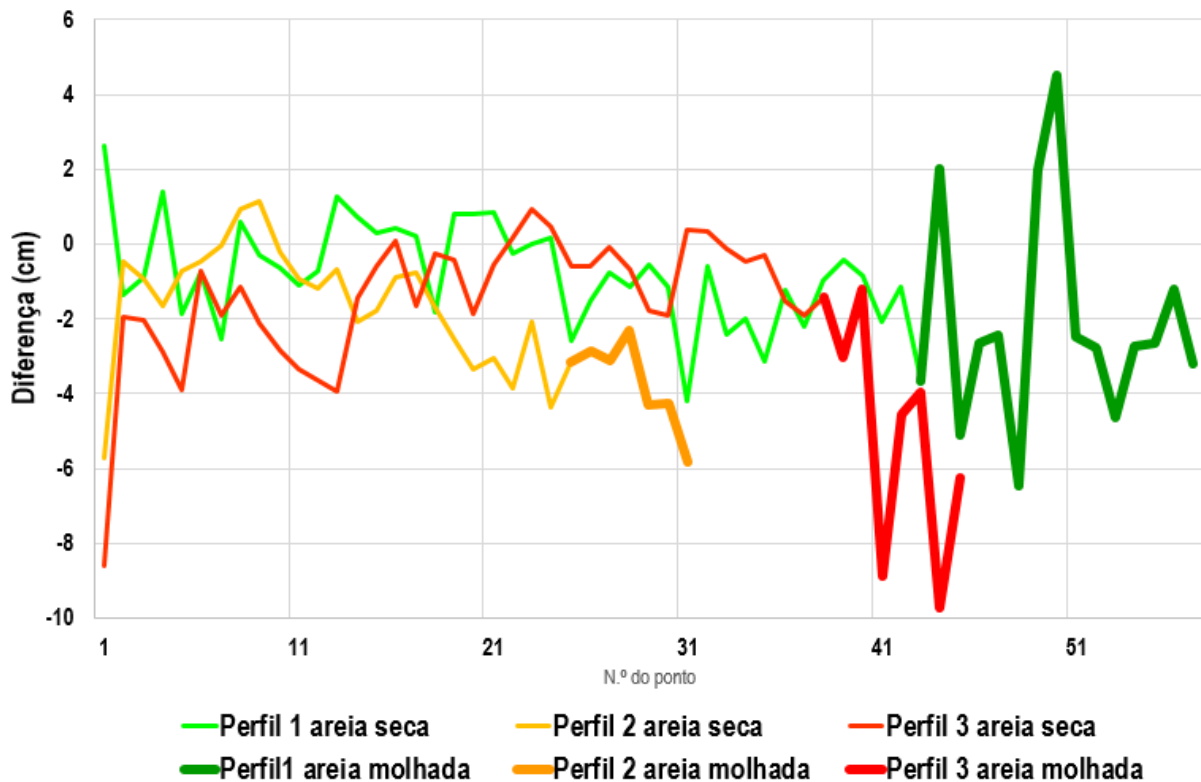


Figura 4.6 – Diferença entre altitudes do MNS e GNSS nos perfis da praia de São Pedro de Moel

5 | Comparação com outros levantamentos

A georreferenciação dos produtos gerados (nuvens de pontos, ortomosaicos ou MNS) nos sistemas de coordenadas nacionais, planimétrico e altimétrico, facilita a comparação com produtos do mesmo tipo gerados ou por outras entidades ou, futuramente, com o resultado de levantamentos realizados no âmbito do projeto MOSAIC.

Como se viu, existem diferenças entre coordenadas GNSS: i) de alguns centímetros, se aplicadas correções resultantes de pós-processamento em gabinete; ii) que podem atingir alguns metros, se as coordenadas não forem corrigidas. Na recolha de coordenadas GNSS há ainda a possibilidade de, durante o trabalho de campo, e desde que o equipamento GNSS integre sistemas de comunicação para poder aceder a uma rede de operadora de telemóvel, receber, em tempo real, dados para correção de coordenadas, difundidos ou pela ReNEP ou pela rede SERVIR (implementada pelo Centro de Informação Geoespacial do Exército). Neste caso o erro de posicionamento é de alguns centímetros.

Nos levantamentos das praias são incluídas zonas que, pelas suas características de estabilidade, podem ser consideradas de referência para comparação entre levantamentos. São os casos de estradas, que servem para avaliar diferenças altimétricas entre modelos, e de pinturas no pavimento, que servem para avaliar as diferenças planimétricas entre ortomosaicos.

Para ilustrar os passos que será necessário aplicar, e dado que no âmbito do projeto MOSAIC, até à presente data, foi feito um único conjunto de levantamentos, recorreu-se aos dados disponibilizados pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) no âmbito do “Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental – COSMO”. Este programa consiste “na recolha, processamento e análise de informação sobre a evolução das praias, dunas, fundos submarinos próximos e arribas ao longo da faixa costeira de Portugal Continental” (APA; 2019). Para a análise selecionaram-se três produtos resultantes da “cobertura integral de praias emersas e dunas, com recurso a meios aéreos, através de fotogrametria aérea”: i) MNT sob a forma de imagens raster; ii) ortomosaicos; iii) perfis emersos. Os dois primeiros têm resolução de 3 cm. Os levantamentos que serviram de base a estes produtos foram realizados em setembro de 2018.

O programa COSMO disponibiliza, para algumas zonas, MNT também chamados modelos digitais de elevação. Como foi referido, os MNS (gerados no âmbito do projeto MOSAIC) diferenciam-se dos de terreno porque incluem objetos que se encontram acima do terreno (edificações, veículos, vegetação, etc.). Nos areais, em zonas de rocha, em estradas ou passeios, os dois modelos confundem-se (são iguais, coincidentes). No caso dos perfis emersos são disponibilizadas coordenadas, sendo incluídas no ficheiro altitudes referidas ao “zero hidrográfico (ZH)” e ao “nível médio do mar (NMM)”. Este último coincide com o datum de referência altimétrico adotado no projeto MOSAIC (Cascais Helmert 1938, como referido).

Para efetuar uma comparação com o maior rigor devem ser avaliadas as diferenças entre produtos para se decidir da necessidade de implementar correções.

Comparando as altitudes de pontos seleccionados em estradas nas zonas envolventes às três praias, obtiveram-se as diferenças apresentadas no Quadro 5.1. Os dados COSMO, mais antigos, foram considerados de referência. Para extrair informação dos modelos numéricos, mais exatamente a altitude de pontos seleccionados, foi utilizado o *software* QGIS.

Quadro 5.1 – Valor médio da diferença de altitude entre pontos “COSMO” e “MOSAIC”

Cova - Gala	Vieira	S. Pedro de Moel
1,84 m	1,23 m	0,17 m

Para a praia de Vieira apresentam-se: na Figura 5.1, a localização dos pontos coordenados no âmbito do programa COSMO, sobre o ortomosaico gerado no projeto MOSAIC; na Figura 5.2, os dois perfis.

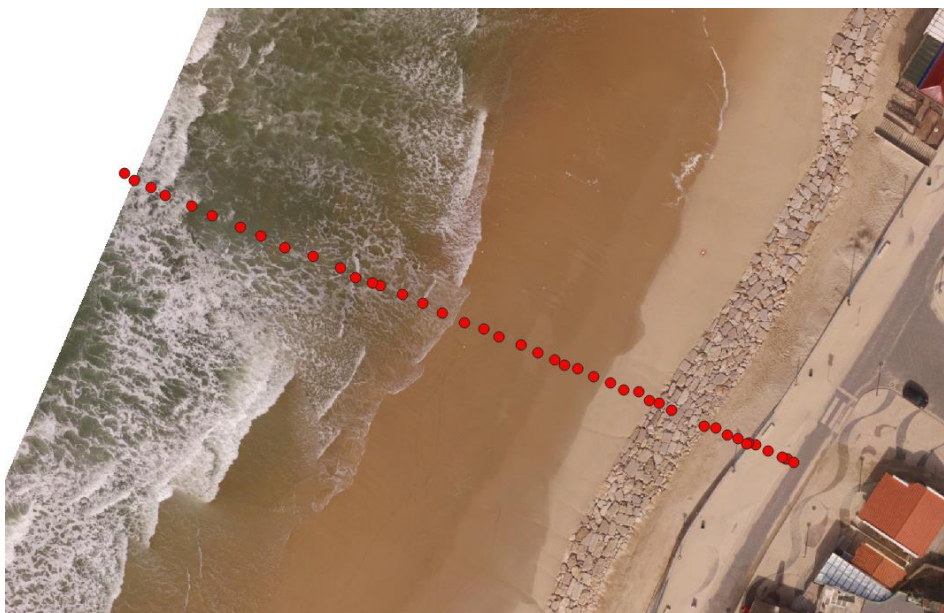


Figura 5.1 – Localização dos pontos do perfil COSMO na praia de Vieira

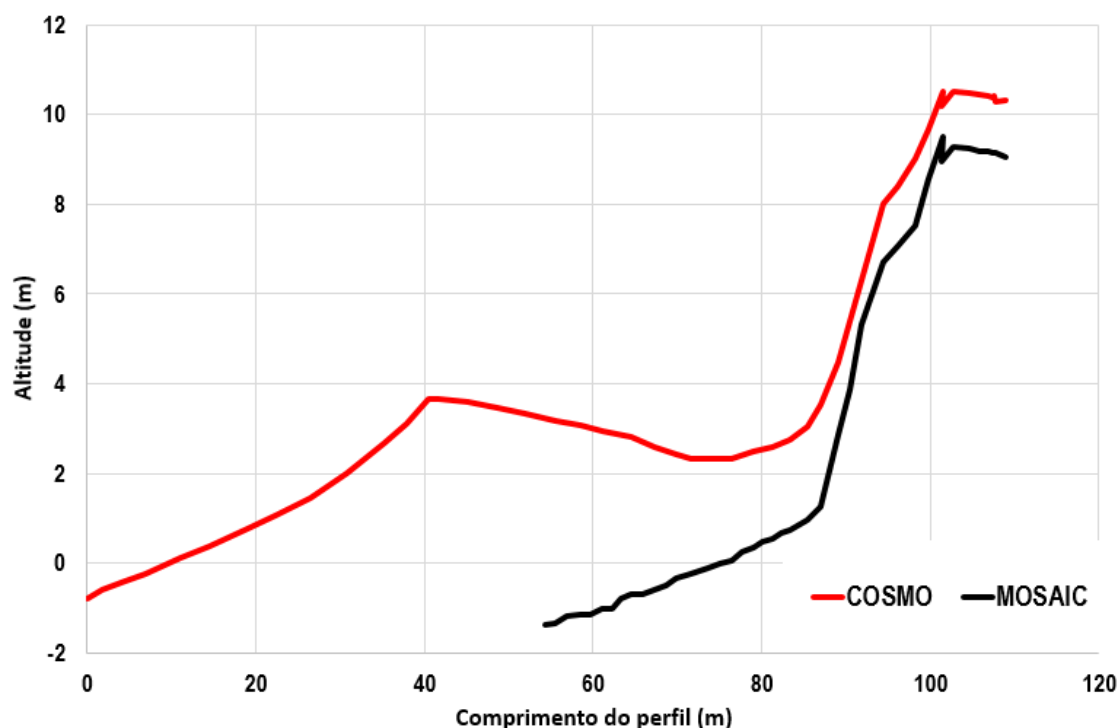


Figura 5.2 – Perfis COSMO e MOSAIC na praia de Vieira

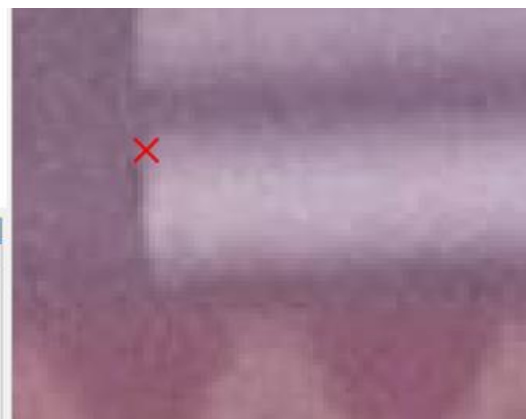
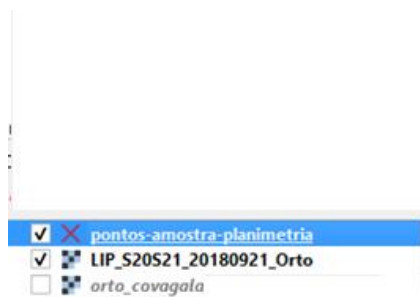
Nas três praias, as diferenças são grandes pelo que se justifica implementar translações em altitude antes de efetuar comparações entre modelos. A diferença em Cova – Gala sugere que o MNT do programa COSMO está, nesta praia, referido ao zero hidrográfico, dois metros abaixo do datum Cascais Helmert 1938.

Em planimetria podem também existir diferenças, tal como pode ser comprovado pela comparação dos ortomosaicos disponibilizados pelo programa COSMO para Cova – Gala e São Pedro de Moel. Na Figura 5.3 e na Figura 5.4 apresentam-se extratos dos ortomosaicos de zonas com passadeiras de Cova – Gala e de São Pedro de Moel. Os dois ortomosaicos (COSMO e MOSAIC) de cada praia foram sobrepostos usando o programa QGIS. Foi assinalado, com uma cruz, o canto de um traço da passadeira no ortomosaico COSMO (a cruz ficou criada numa camada independente) e, seguidamente, foi visualizado o ortomosaico MOSAIC juntamente com a camada que continha a cruz. As distâncias (em M e em P) entre a cruz e o mesmo elemento no ortomosaico MOSAIC permite avaliar o valor de translação (ver Quadro 5.2) que é necessário aplicar para que os dois ortomosaicos fiquem coincidentes.

Quadro 5.2 – Diferença planimétrica entre ortomosaicos COSMO e MOSAIC

Cova - Gala		S. Pedro de Moel	
$\Delta M = -0,03 \text{ m}$	$\Delta P = -0,29 \text{ m}$	$\Delta M = -0,05 \text{ m}$	$\Delta P = -0,37 \text{ m}$

COSMO



MOSAIC



Figura 5.3 – Diferença entre ortomosaicos de Cova Gala

COSMO



MOSAIC

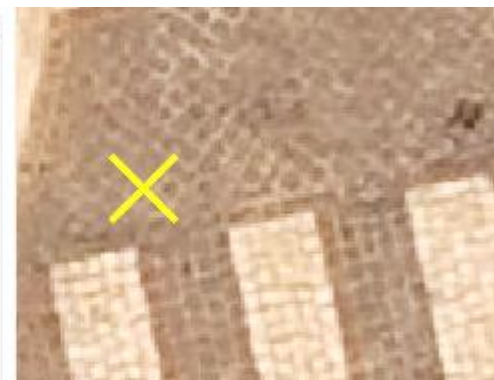
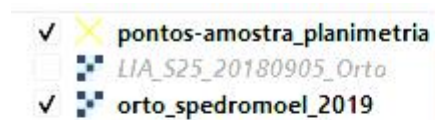


Figura 5.4 – Diferença entre ortomosaicos de São Pedro de Moel

6 | Considerações finais

Considera-se que as praias de Cova – Gala, Vieira e São Pedro de Moel foram fotografadas em boas condições e que as nuvens de pontos geradas, os ortomosaicos e os MNS têm qualidade suficiente para que delas possa ser extraída informação, com o rigor necessário, para a realização de estudos sobre a morfologia destas praias.

Nos levantamentos, a preparação dos voos (contacto com entidades e programação dos voos), o controlo do *drone*, e a coordenação dos pontos foram realizados pelo assistente operacional Hugo Ricardo Silva, que colaborou também no processamento fotogramétrico. Na praia de São Pedro de Moel teve o apoio do assistente técnico Aires Moita e da bolsista Niranjani Gnanasekaran, do NGA. Nas restantes praias houve o apoio de elementos do DHA/NCE. O cálculo necessário para obter coordenadas GNSS de melhor qualidade das estações base foi realizado pelo investigador auxiliar José Nuno Lima, do NGA.

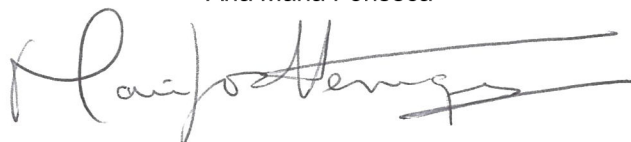
Lisboa, LNEC, janeiro de 2020

VISTOS

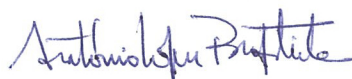
Del'

A Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada

Ana Maria Fonseca

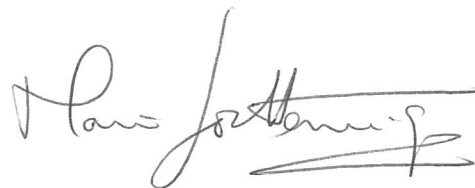


O Diretor do Departamento de Barragens
de Betão



António Lopes Batista

AUTORIA



Maria João Henriques
Investigadora Principal

Referências bibliográficas

- ANAC, 2016 – **Condições de operação aplicáveis à utilização do espaço aéreo pelos sistemas de aeronaves civis pilotadas remotamente (“Drones”), Regulamento n.º 1093/2016**, Autoridade Nacional de Aviação Civil, disponível em <https://www.voanaboa.pt/codigo-drone>.
- APA, 2019 – **Programa COSMO**, Agência Portuguesa do Ambiente, website do programa <https://cosmo.apambiente.pt/>.
- DGT, 2019a – **ReNEP**, Direção-Geral do Território.
- DGT, 2019b – **Estado de execução Série Cartográfica Nacional 50 000**, Direção-Geral do Território.
- LNEC, 2019 – **MOSAIC.pt - Análise do risco de inundação costeira a partir de múltiplas fontes para comunidades seguras e desenvolvimento sustentável**, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, website do projeto <http://mosaic.lnec.pt/>.



www.lnec.pt/

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00 • fax (+351) 21 844 30 11
lnec@lnec.pt www.lnec.pt