



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

# **UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A MONITORIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS**

**Aplicação ao quebra-mar da Ericeira**

Lisboa • dezembro de 2013

**I&D BARRAGENS DE BETÃO**

**RELATÓRIO 409/2013 – DBB/NGA**

## **Título**

### **UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA A MONITORIZAÇÃO DE INFRAESTRUTURAS**

Aplicação ao quebra-mar da Ericeira

## **Autoria**

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

### **Ana Fonseca**

Investigadora Principal, Núcleo de Geodesia Aplicada

### **Dora Roque**

Bolseira de Iniciação à Investigação Científica, Núcleo de Geodesia Aplicada

### **José Nuno Lima**

Investigador Auxiliar, Núcleo de Geodesia Aplicada

### **Maria João Henriques**

Investigadora Principal, Núcleo de Geodesia Aplicada

SINFIC, SA

### **João Marnoto**

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

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: [lnec@lnec.pt](mailto:lnec@lnec.pt)

[www.lnec.pt](http://www.lnec.pt)

Relatório 409/2013

Proc. 0404/112/17722

## **Utilização de veículos aéreos não tripulados para a monitorização de infraestruturas. Aplicação ao quebra-mar da Ericeira**

### **Resumo**

---

O presente relatório apresenta uma experiência de aquisição de fotografias aéreas utilizando um veículo aéreo não tripulado (VANT) para recolha de informação geográfica do quebra-mar da Ericeira, com o objetivo de testar a capacidade destes dados para produção de ortofotomapas e modelos numéricos de superfície para monitorização de infraestruturas ao longo do tempo. A experiência foi realizada numa colaboração entre o LNEC e a empresa SINFIC, SA – Sistemas de Informação Industriais e Consultoria, detentora do VANT. Verificou-se que este equipamento tem capacidade para recolher informação geográfica de qualidade para produção de documentos cartográficos e para monitorização da evolução temporal de infraestruturas.

Palavras-chave: Monitorização de infraestruturas, VANT, ortofotos, modelos numéricos de superfície, avaliação da qualidade.

## **Use of unmanned aerial vehicles for infrastructure monitoring. Application to Ericeira jetty**

### **Abstract**

---

This report presents an experience of aerial photographs acquisition using an unmanned aerial vehicle (UAV) to collect geographic information of Ericeira jetty, to test the ability of these data to produce orthophotos and digital surface models for monitoring infrastructure over time. The experiment was carried out in a collaboration between LNEC and the company SINFIC, SA - Information Systems and Industrial Consultancy, owner of the UAV. It was found that this device is able to collect the necessary information for the production of maps and to perform infrastructures monitoring over time.

Keywords: Infrastructure monitoring, UAV, orthophoto, digital surface model, quality assessment

# Índice

1	Introdução .....	1
1.1	Generalidades.....	1
1.2	Âmbito e objetivos.....	1
1.3	Organização do relatório.....	1
1.4	Características do VANT utilizado .....	2
2	Campanha de recolha de fotografias aéreas .....	3
2.1	Enquadramento .....	3
2.2	Realização do plano de voo.....	4
2.3	Execução do voo e recolha de informação de referência .....	5
3	Processamento das fotografias.....	8
3.1	Generalidades.....	8
3.2	Processamento realizado pela SINFIC.....	8
3.3	Processamento realizado no LNEC.....	10
3.4	Análise da qualidade dos resultados .....	15
3.4.1	Controlo de qualidade posicional.....	15
3.4.2	Avaliação da qualidade radiométrica.....	17
4	Considerações finais .....	21
	Referências Bibliográficas .....	24
	Anexos .....	25

## Índice de figuras

Figura 1.1 – VANT <i>swinglet</i> CAM e estação de controlo terrestre.....	2
Figura 2.1 – Imagem do quebra-mar da Ericeira ( <i>Google Earth</i> ).....	3
Figura 2.2 – Parte da equipa envolvida na campanha LNEC-SINFIC .....	4
Figura 2.3 – Esquema geral do plano de voo .....	4
Figura 2.4 – Perfil do plano de voo .....	5
Figura 2.5 – Coordenação com GNSS de pontos de controlo .....	6
Figura 2.6 – Estação de referência GNSS .....	7
Figura 3.1 – Prismas de aquisição das quinze fotografias disponíveis .....	8
Figura 3.2 – Mosaico ortorretificado do quebra-mar com os pontos de controlo sinalizados a vermelho e respetivo MNS.....	9
Figura 3.3 – Visualização de uma nuvem de pontos do quebra-mar da Ericeira .....	10
Figura 3.4 – Cobertura fotográfica e localização dos pontos fotogramétricos e de passagem .....	12
Figura 3.5 – Modelo numérico de superfície (altitudes elipsoidais) .....	13
Figura 3.6 – Ortofoto do quebra-mar.....	14
Figura 3.7 – Modelo tridimensional do quebra-mar .....	14
Figura 3.8 – Localização dos pontos de controlo no quebra-mar .....	15
Figura 3.9 – Extratos das ortofotos produzidas - deformações devidas a erros no MNS .....	19
Figura 3.10 – Extratos das ortofotos produzidas - deformações devidas à ligação entre fotografias .....	19
Figura 3.11 – Análise multitemporal por inspeção visual.....	20
Figura 3.12 – Análise multitemporal por inspeção visual assistida.....	20

## Índice de quadros

Quadro A.1 – Pontos de controlo coordenados por GNSS.....	27
Quadro A.2 – Parâmetros de orientação Interna .....	28
Quadro A.3 – Parâmetros de orientação externa .....	29
Quadro A.4 – Controlo de qualidade da ortofoto e nuvem de pontos <i>Postflight Terra 3D</i> .....	30
Quadro A.5 – Controlo de qualidade da ortofoto e DSM <i>LISA</i> (Processamento 1) .....	31
Quadro A.6 – Controlo de qualidade da ortofoto e DSM <i>LISA</i> (Processamento 2) .....	32

# 1 | Introdução

## 1.1 Generalidades

Os veículos aéreos não tripulados (VANT) conhecidos pelo acrónimo em inglês UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*), ou UAS (*Unmanned Aerial System*), designação que inclui a plataforma e os sistemas de controlo, constituem uma tecnologia em grande expansão, com diversas utilizações, que vão desde o transporte de câmaras de filmar para vigilância e para cinema ou televisão, até aplicações de engenharia, tais como recolha de informação geográfica (IG) para diversos fins e a monitorização de infraestruturas e da ocupação do solo. A partir da IG recolhida podem ser produzidos ortofotomapas e modelos numéricos de superfície (MNS) (Habib et al., 2007).

No que diz respeito à recolha de IG, a utilização destes equipamentos justifica-se em zonas do território demasiado extensas para uma recolha com métodos topográficos convencionais ou demasiado pequenas para fazer levantar um avião convencional com câmaras fotogramétricas ou em zonas onde as capacidades convencionais não estejam disponíveis.

O LNEC tem acompanhado o desenvolvimento desta tecnologia e teve oportunidade, em fevereiro de 2012, de realizar testes em colaboração com a empresa SINFIC, SA – Sistemas de Informação Industriais e Consultoria, que iniciou em 2012 estudos conducentes à utilização de VANT como sistemas de aquisição de IG, na forma de levantamentos aerofotogramétricos.

## 1.2 Âmbito e objetivos

Por solicitação do LNEC foram realizadas pela SINFIC campanhas de aquisição de fotografia aérea em locais selecionados, sendo um deles o quebra-mar da Ericeira, que é uma infraestrutura que pode beneficiar destes dados para uma monitorização temporal do impacto destrutivo do mar. Este relatório descreve a campanha realizada, o processamento dos dados, os produtos gerados e a avaliação da qualidade.

## 1.3 Organização do relatório

O presente relatório encontra-se organizado em cinco capítulos, nomeadamente um capítulo de introdução, onde se estabelecem o âmbito e os objetivos do trabalho e se apresenta o VANT utilizado, seguido de capítulos onde se descreve a campanha realizada, o

processamento para produção de ortofotos e MNS, as considerações finais e as referências bibliográficas.

#### 1.4 Características do VANT utilizado

O VANT utilizado neste levantamento foi fornecido à SINFIC pela empresa *senseFly* e designa-se *swingleT* CAM (Figura 1.1). Tem uma envergadura (entre as pontas das asas) de 80 cm e o peso de 500 gr e está equipado com uma bateria de lítio e uma câmara fotográfica digital com 12 megapixels que recolhe imagens com resoluções de 3 a 30 cm (pixel no terreno). Tem uma autonomia de voo de 30 minutos, com uma velocidade de cruzeiro de 36 km/h, e opera com velocidades de vento até 25 km/h. É lançado e aterrado numa zona circular com um raio de 20 m e pode cobrir áreas entre 1,5 a 6 km<sup>2</sup>.



Figura 1.1 – VANT *swingleT* CAM e estação de controlo terrestre

O VANT funciona com ligação a uma estação de controlo terrestre (ECT) constituída por um computador portátil onde está instalado o *software*, propriedade da *senseFly*, de planeamento, simulação, monitorização e controlo do voo, designado *eMotion*. O VANT é fornecido com vários acessórios cuja relação está disponível na internet no endereço: <http://www.sensefly.com/drones/swingleT-cam.html>.



## 2 | Campanha de recolha de fotografias aéreas

### 2.1 Enquadramento

A preparação da campanha incluiu a caracterização da zona a levantar, a obtenção de autorizações por parte das entidades responsáveis, a seleção de uma data com condições de vento adequadas e o planeamento do voo.

O quebra-mar da Ericeira (Figura 2.1) é uma estrutura que protege o porto de abrigo da Ericeira, com cerca de 450 m de comprimento e 35 m de largura; é constituído por dois trechos que fazem entre si um ângulo de cerca de  $147^\circ$  e é protegido do impacto do mar por blocos e tetrápodes de betão cujos movimentos é importante monitorizar.

Nestas zonas de costa, de grande variação térmica entre o mar e a terra, o regime de ventos é difícil de prever, sendo esse um aspeto crítico pelo facto do VANT ser muito leve. Foram consultadas as previsões de vento do Instituto do Mar e da Atmosfera para o mês de fevereiro, tendo sido selecionados os dias 8 e 9 como os que apresentavam melhores condições. A campanha realizou-se no dia 9 de fevereiro, com o voo a iniciar-se às 12h08m.



Figura 2.1 – Imagem do quebra-mar da Ericeira (Google Earth)

A campanha foi acompanhada por dois engenheiros da SINFIC e por investigadores do Núcleo de Geodesia Aplicada do Departamento de Barragens de Betão e do Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas do Departamento de Hidráulica e Ambiente (Figura 2.2).



Figura 2.2 – Parte da equipa envolvida na campanha LNEC-SINFIC

## 2.2 Realização do plano de voo

O plano de voo é realizado pelo *software* fornecido com a plataforma e instalado na ECT, tendo como *input* as coordenadas aproximadas do ponto de partida, de pontos da zona a levantar, as especificações da sobreposição entre fotografias e a resolução no terreno. Estes elementos são carregados no programa *eMotion* através de uma interface muito cómoda, que permite delimitar a zona a levantar numa ortofoto ou no *Google Earth*.



Figura 2.3 – Esquema geral do plano de voo

Apresenta-se na Figura 2.3 o plano de voo realizado para a cobertura do quebra-mar da Ericeira e a interface do programa *eMotion*. De acordo com este plano, o VANT deveria sobrevoar a área a cobrir a uma altura de 109 m acima do local de decolagem e recolher imagens segundo quatro fiadas, com uma sobreposição transversal de 60% e longitudinal de 90%. Dado que a altitude ortométrica do ponto de decolagem é de 76 m, o voo realizou-se a uma altitude de 185 m, o que dá origem a uma cobertura do terreno com uma resolução de 6 cm.

### 2.3 Execução do voo e recolha de informação de referência

As condições da zona a levantar introduziram constrangimentos que afetaram a campanha, nomeadamente a proximidade do mar, que poderia levar à perda ou danificação da plataforma se a aterragem se fizesse na água, e a escassez de zonas descampadas com linha de vista para a zona a levantar (necessária por causa das comunicações radio entre o VANT e a ECT). Foi finalmente selecionada uma zona descampada a 1,5 km do quebra-mar, no limite do alcance das comunicações entre a plataforma e a ECT.

O VANT foi lançado (Figura 2.4), realizou uma trajetória ascendente em círculos até atingir a altitude predefinida no plano de voo, e dirigiu-se para a zona do quebra-mar, sendo o voo monitorizado em tempo real na ECT, no que diz respeito aos parâmetros de voo e autonomia da bateria.

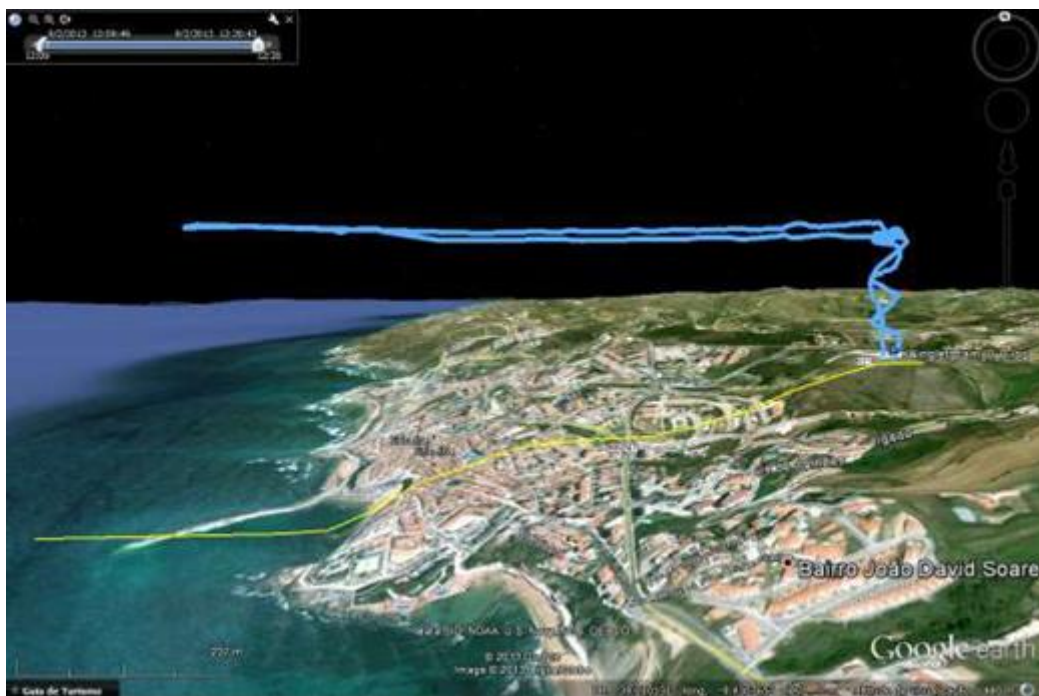


Figura 2.4 – Perfil do plano de voo

No instante definido no plano de voo foi iniciada a aquisição das fotografias e o VANT iniciou a transmissão para a ECT dos parâmetros de posição e atitude referentes a cada fotografia. Uma parte dessa informação perdeu-se e não foi registada na ECT. O diagnóstico deste problema é de que houve interferências de outros sistemas de comunicação ativos na zona (Polícia e GNR). Na ausência dos parâmetros de posição e atitude de algumas fotografias só ficou disponível para processamento fotogramétrico e para a geração de produtos como ortos ou MNS um subconjunto das fotografias adquiridas.

Enquanto se realizava o voo, uma equipa do LNEC coordenou pontos no quebra-mar (Figura 2.5) que iriam servir como informação de referência e controlo. Foram utilizados dois recetores GNSS Topcon GB-1000, sendo um deles a estação de referência, que foi estacionada de forma permanente num ponto previamente escolhido no quebra-mar (Figura 2.6), durante a aquisição das observações.



**Figura 2.5 – Coordenação com GNSS de pontos de controlo**

O segundo recetor GNSS percorreu os pontos notáveis que poderiam ser identificados nas fotografias aéreas (como, por exemplo, vértices das tampas das caixas de visita do quebra-mar, conforme se apresenta na Figura 2.5), permanecendo estático em cada ponto durante três minutos, registando as observações com uma frequência de amostragem de 1 Hz. As observações GNSS foram processadas pelo *software* Pinnacle da Topcon e obtiveram-se as coordenadas geodésicas dos pontos notáveis no referencial europeu ETRS89 e as correspondentes coordenadas cartográficas no referencial nacional PT-TM06, através da

utilização da estação GNSS permanente de Cascais da Rede Nacional de Estações Permanentes da Direção Geral do Território. Estes pontos notáveis foram usados como pontos de controlo e são apresentadas no Quadro A.1 do Anexo a este relatório (h – altitude elipsoidal) .



**Figura 2.6 – Estação de referência GNSS**

## 3 | Processamento das fotografias

### 3.1 Generalidades

O VANT recolheu um total de setenta e duas fotografias distribuídas por quatro fiadas, com um número variável de fotografias por fiada, mas, dada a dificuldade de comunicações, só ficaram registados os valores de posicionamento e atitude da câmara para quinze fotografias (Figura 3.1).



Figura 3.1 – Prismas de aquisição das quinze fotografias disponíveis

### 3.2 Processamento realizado pela SINFIC

O VANT é fornecido, para além do *software eMotion*, com outros dois pacotes de *software*, nomeadamente o *PostFlight Terra LT*, que executa a orientação externa das fotografias a partir dos parâmetros de posição e atitude da câmara, e o *software Postflight Terra 3D*, que processa os pares estereoscópicos e gera produtos cartográficos 2D e 3D.

A primeira fase do processamento consiste na determinação dos parâmetros de orientação externa das fotografias, através da ligação entre as fotografias e os ficheiros com os parâmetros de posição e atitude da câmara (os *log\_files* teletransmitidos para a ECT), de forma a que as fotografias constituam pares estereoscópicos, a partir dos quais se podem gerar modelos 3D da área levantada, na forma de superfície ou nuvem de pontos.

Com os parâmetros de orientação externa calculados foram processadas as 72 fotografias adquiridas, não tendo sido possível obter produtos com qualidade aceitável, pelo facto de os

modelos obtidos a partir dos pares estereoscópicos não constituírem uma cobertura adequada da zona a levantar.

Foi então necessário utilizar alguns pontos de controlo coordenados por GNSS, e identificáveis nas fotografias, inicialmente adquiridos para pontos de controlo para avaliação da qualidade, para determinar os parâmetros de orientação externa das fotografias em falta.

Dos trinta e dois pontos coordenados no quebra-mar (Quadro A.1), foram seleccionados doze para utilização como pontos fotogramétricos. Os restantes pontos ficaram reservados para o controlo da qualidade.

Realizou-se então o processamento fotogramétrico à custa de 66 das 72 fotografias adquiridas, para geração do MNS e para a ortorretificação das imagens, e gerou-se um mosaico apresentado na Figura 3.2.



**Figura 3.2 – Mosaico ortorretificado do quebra-mar com os pontos de controlo sinalizados a vermelho e respetivo MNS**

O processamento gerou relatórios da informação produzida, da qual se destacam os parâmetros de orientação interna (Quadro A.2) e os parâmetros de orientação externa (Quadro A.3); foram também produzidos relatórios da reconstrução tridimensional, com informação sobre o grau de completude da área coberta, da qualidade da georreferenciação dos centros de projeção, das zonas de potencial aparecimento de deformações (artefactos) no mosaico e da dimensão média dos pixéis; foram gerados grafos de conectividade dos pontos de ligação entre fotografias e dos deslocamentos entre as posições inicial e final (após o ajustamento) dos centros de projeção das imagens.

Depois de realizada a ortorretificação foi gerada uma nuvem de pontos 3D, a partir da qual é possível gerar MNS e produtos para visualização. A nuvem de pontos, constituída por 3144301 pontos cotados, é disponibilizada na forma de listagem de pontos coordenados

(M,P,h) em formato de texto, no sistema de coordenadas de georreferência nacional escolhido para o projeto (ETRS89-TM06).

Com os pontos da nuvem é gerado um MNS na forma de uma rede de triângulos (6288514 triângulos) no formato “ply” (*Stanford Polygon File Format*). Contudo, esta forma de apresentação não se encontra georreferenciada, pelo que não deve ser usada a não ser para gerar produtos para visualização, como se apresenta na Figura 3.3.

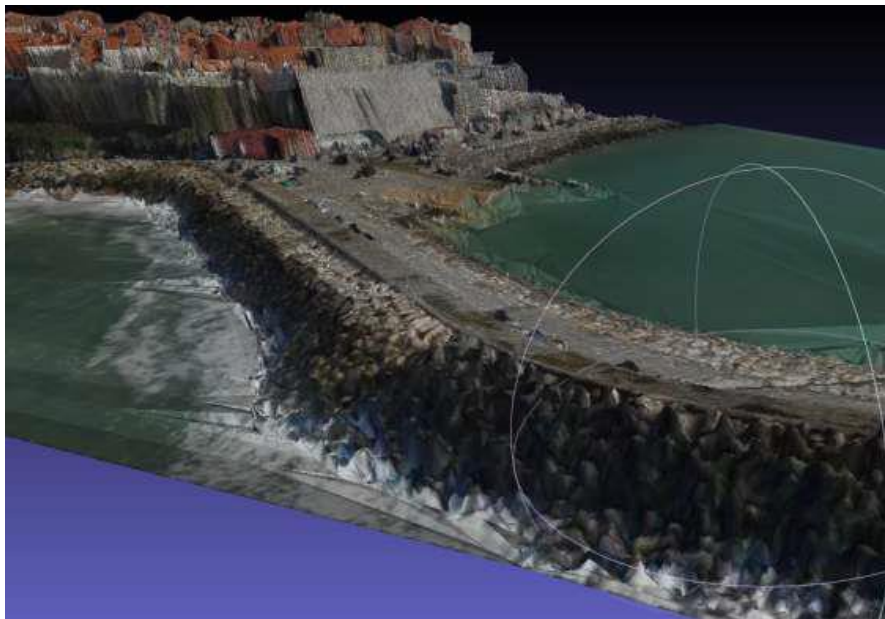


Figura 3.3 – Visualização de uma nuvem de pontos do quebra-mar da Ericeira

### 3.3 Processamento realizado no LNEC

O LNEC dispõe de um pacote de *software*, designado *LISA*, da empresa alemã *LISA Geo-Software GmbH* com dois módulos: o *LISA FOTO*, para processamento fotogramétrico digital, e o *LISA BASIC*, que funciona como um Sistema de Informação Geográfica (SIG) para dados *raster*. Em conjunto com o *software LISA* está disponível o *software BLUH*, que realiza o ajustamento em bloco por feixes perspetivos das fotografias. O processamento das fotografias adquiridas pelo VANT da SINFIC foi efetuado, numa primeira fase, no *LISA FOTO*, onde foram introduzidos os parâmetros de orientação interna e valores aproximados para os parâmetros de orientação externa das fotografias, calculados à custa dos pontos de controlo GNSS, e foram identificados os pontos fotogramétricos, os pontos de passagem entre pares de fotografias e os pontos de ligação entre fiadas. O segundo passo do processamento consistiu na realização do ajustamento em bloco por feixes perspetivos, no *BLUH*, tendo sido obtidos parâmetros de orientação externa corrigidos para todas as fotografias e coordenadas objeto para todos os pontos identificados nestas durante o passo anterior, no sistema de georreferência ETRS89-TM06. Os dados obtidos no *BLUH*



permitiram a construção, no LISA FOTO, de um MNS e de uma ortofoto da área de estudo. O controlo de qualidade dos resultados obtidos foi realizado no *LISA BASIC*.

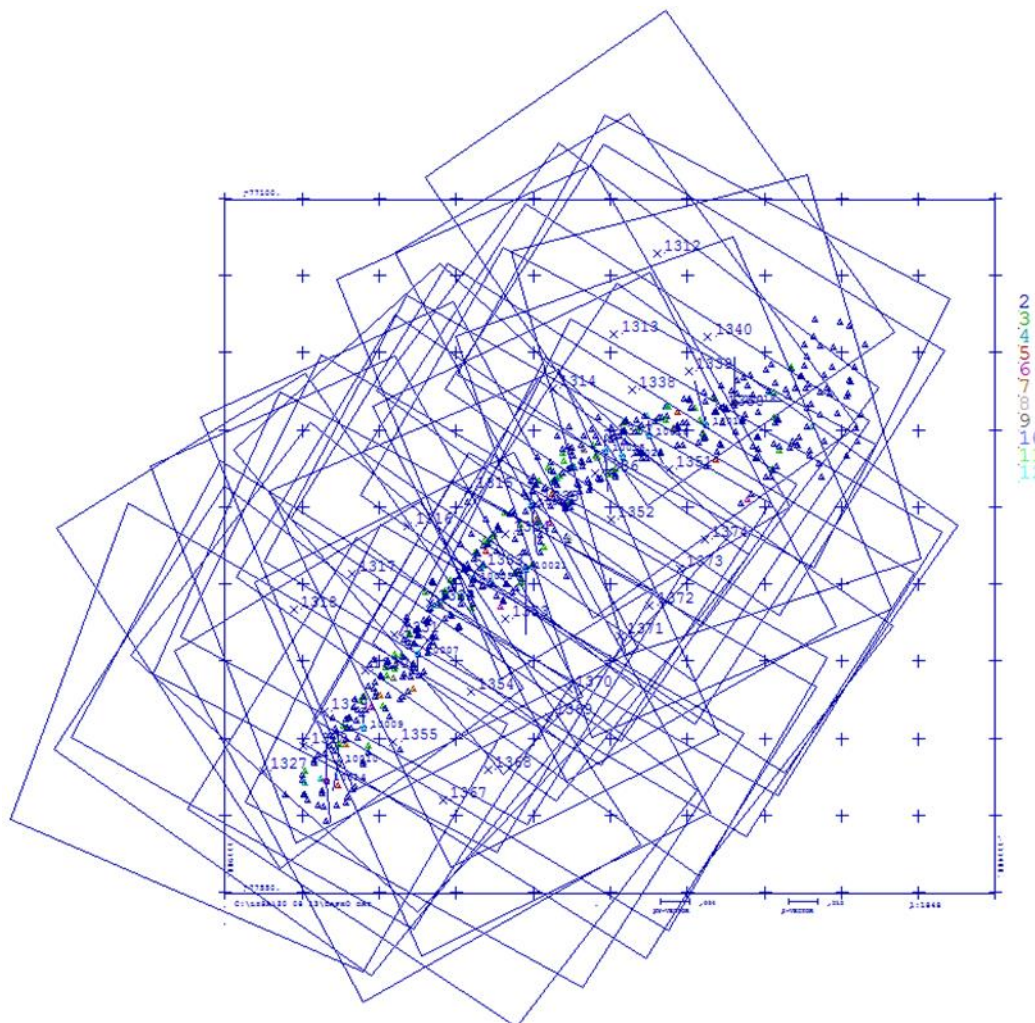
Foram realizados vários processamentos destas imagens em diferentes condições. Com o objetivo de realizar um processamento comparável ao realizado pelo *software Postflight Terra 3D*, foram processadas as mesmas 66 fotografias com os mesmos 4 pontos fotogramétricos, tendo a triangulação dado erro pelo facto de haver pontos fotogramétricos e de passagem entre fotografias com erros muito elevados, tanto no módulo de processamento de fotografias verticais, como no módulo de processamento de fotografias oblíquas. Mesmo utilizando todos os pontos de controlo como pontos fotogramétricos a triangulação não chegou ao fim. No módulo de fotografias oblíquas, a tolerância, por defeito, para os ângulos de desvio em relação à vertical para o eixo das fotografias, é de  $4^{\circ}30'$ , havendo algumas, no conjunto das 66 fotografias, com ângulos de obliquidade de  $15^{\circ}$ .

Do conjunto de fotografias fornecidas pela SINFIC, foi selecionado um subconjunto de 35 fotografias, com ângulos aceitáveis de desvio do eixo em relação à vertical e de forma a evitar a utilização de imagens que apresentassem muita água. Para além de as zonas cobertas por água não terem interesse para o estudo realizado, a presença destas pode diminuir o desempenho de alguns passos do processamento, dada a dificuldade de encontrar pontos notáveis para o cálculo da correlação entre imagens. Os parâmetros de orientação interna (distância focal, dimensão do *pixel* no sensor e coordenadas foto do ponto principal) foram fornecidos pela SINFIC. Para valores aproximados dos parâmetros de orientação externa, foram utilizados os valores calculados pela SINFIC, através dos pontos de controlo (utilizados como pontos fotogramétricos) coordenados no quebra-mar pelo LNEC.

O processamento das 35 fotografias, utilizando o módulo de fotografias oblíquas, teve sucesso. A cobertura utilizada apresenta-se na Figura 3.4, onde se pode apreciar a grande variabilidade da atitude da plataforma. Foram realizados dois processamentos com estas 35 fotografias, com o módulo de processamento de fotografias oblíquas: no primeiro foram utilizados para pontos fotogramétricos os mesmos quatro pontos utilizados pelo *software Postflight Terra 3D* e no segundo foram utilizados doze pontos. No primeiro a incerteza das coordenadas foto final é de  $9,97 \mu\text{m}$  ( $6,4 \text{ pixeis}=39 \text{ cm}$ ). No segundo a incerteza das coordenadas foto obtidas no ajustamento foi de  $4,36 \mu\text{m}$  ( $2,8 \text{ pixeis}=16,8 \text{ cm}$ ).

O segundo processamento realizado, que se descreve em seguida, foi o adotado, por ser mais preciso. Os pontos fotogramétricos e os pontos de ligação entre fiadas foram identificados manualmente em cada fotografia, sendo registadas as suas coordenadas imagem (linha e coluna na matriz imagem). Foram utilizados 12 pontos fotogramétricos (P3,

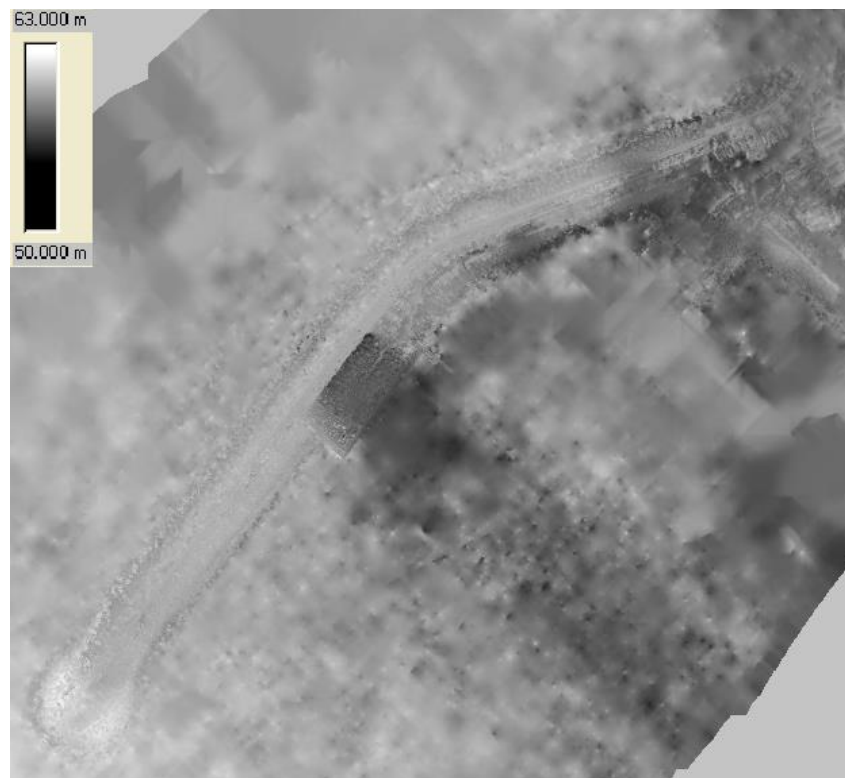
P5, P7, P9, P10, P14, P15, P16, P18, P19, P20 e P21). No entanto, os pontos de passagem entre pares de fotografias da mesma fiada foram identificados de forma automática, através de correlação de imagens. As coordenadas obtidas para os três tipos de pontos foram exportadas para o programa *BLUH*.



**Figura 3.4 – Cobertura fotográfica e localização dos pontos fotogramétricos e de passagem**

O *software BLUH* está organizado em vários módulos. A primeira fase do processamento consiste na realização de um ajustamento prévio, em que são determinados valores aproximados para as orientações das fotografias e são identificados, no módulo *BLOR*, pontos que apresentam erros elevados e que são posteriormente eliminados no módulo *BLAPP* (Jacobsen, 2005). O *BLUH* realiza o ajustamento em bloco por feixes perspetivos, com base nas equações de colinearidade, que traduzem o facto de um ponto objeto, o ponto correspondente na imagem e o centro de projeção serem colineares. Este módulo final necessita das coordenadas objeto dos pontos fotogramétricos, de valores aproximados para os parâmetros de orientação das fotografias obtidos nos módulos anteriores, das incertezas associadas às coordenadas imagem de todos os pontos registados e da incerteza das

coordenadas objeto dos pontos fotogramétricos. A fim de compensar o efeito causado por distorções das lentes, foi incluída no ajustamento a determinação de 12 parâmetros adicionais para auto-calibração. O ajustamento determinou os valores corrigidos dos parâmetros de orientação externa, que permitiram recuperar a posição do centro de projeção e a atitude da plataforma no momento de aquisição de cada fotografia.



**Figura 3.5 – Modelo numérico de superfície (altitudes elipsoidais)**

Os parâmetros de orientação externa corrigidos foram exportados para o *LISA FOTO*, a partir dos quais foram criados modelos estereoscópicos para cada par de fotografias consecutivas. As altitudes correspondentes a cada pixel foram determinadas a partir das orientações externas das duas imagens do par estereoscópico (Linder, 2005), tendo sido construído um mosaico ligando os resultados provenientes de todos os modelos num único MNS (Figura 3.5). As fotografias foram ortoretificadas utilizando o MNS, tendo sido obtida a ortofoto apresentada na Figura 3.6. Outros produtos podem ser produzidos através destes dados, nomeadamente modelos tridimensionais com o módulo ArcScene do *software open source* ArcGis-3D (Figura 3.7).



**Figura 3.6 – Ortofoto do quebra-mar**



**Figura 3.7 – Modelo tridimensional do quebra-mar**

### 3.4 Análise da qualidade dos resultados

A análise da qualidade dos produtos gerados realizou-se em duas etapas: avaliação da qualidade posicional das ortofotos e MNS gerados (Küng et al., 2011) e avaliação da qualidade radiométrica das ortofotos, nomeadamente distorções na imagem decorrentes do processo de ortorretificação.

#### 3.4.1 Controlo de qualidade posicional

O controlo de qualidade posicional fez-se determinando as diferenças (desvios) entre as coordenadas, obtidas por GNSS, de pontos de controlo independentes (que não foram utilizados como pontos fotogramétricos para geração das ortofotos e do MNS) e as suas coordenadas lidas nos produtos cartográficos gerados (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Localização dos pontos de controlo no quebra-mar

O controlo de qualidade posicional, realizado no LNEC, sobre a ortofoto e MNS gerados pelo software *Postflight Terra 3D*, deu os seguintes resultados (Quadro A.4):

- em planimetria, o erro médio quadrático ( $EMQ_{MP}$ ) obtido à custa de catorze pontos de controlo foi de 0,17 m;

- em altimetria, nos mesmos catorze pontos, foi utilizado o método de interpolação por coordenadas baricêntricas<sup>1</sup>, tendo-se obtido um erro médio quadrático ( $EMQ_h$ ) de 0,07 m. Este método, recomendado na literatura, recorre a um algoritmo que, a partir dos triângulos criados pelos pontos da nuvem próximos do ponto de controlo, determina qual o triângulo de menor área que contém o ponto de controlo e em seguida obtém a altitude deste através de uma interpolação linear usando as coordenadas tridimensionais dos vértices do triângulo.

O controlo de qualidade posicional realizado no LNEC sobre as ortofotos e MNS gerados com o *software LISA* teve duas etapas:

- no primeiro processamento realizado, com quatro pontos fotogramétricos, o EMQ foi calculado à custa de vinte e três pontos de controlo; estes pontos foram identificados na ortofoto e no MNS, tendo sido recolhidas as suas coordenadas e calculados os seus desvios para as coordenadas GNSS e os erros médios quadráticos, em planimetria e altimetria, respetivamente,  $EMQ_{MP}=0,39$  m e  $EMQ_h=0,79$  m (Quadro A.5); a altitude utilizada foi a altitude no MNS dos pontos de controlo identificados na ortofoto;
- no segundo processamento, em que foram utilizados doze pontos de controlo como pontos fotogramétricos, restaram para o controlo de qualidade posicional dezasseis pontos independentes (Quadro A.6); os desvios entre as coordenadas deram origem aos seguintes valores:  $EMQ_{MP} = 0,52$  m;  $EMQ_h = 0,79$  m.

A diferença entre os valores encontrados pelas duas equipas explica-se pelos seguintes factos:

- utilização de diferentes pacotes de *software* para o processamento;
- utilização de conjuntos diferentes de fotografias para a produção do MNS e para a geração da ortofoto; o *software LISA* processou metade das fotos relativamente ao *Postflight Terra 3D*;
- utilização de diferentes pontos de controlo para a avaliação da qualidade.

---

<sup>1</sup> as coordenadas baricêntricas são uma forma de coordenadas homogéneas; como a soma das baricêntricas é um, a interpolação linear resultante fica normalizada pelo que não é necessário dividir as componentes físicas pela soma dos pesos.

### 3.4.2 Avaliação da qualidade radiométrica

A qualidade radiométrica dos produtos imagem gerados, nomeadamente ortofotos, avalia-se em função do contraste e luminosidade, críticos para uma boa interpretação visual da ocupação do terreno, e da ausência de distorções dos objetos.

O LNEC dispõe de uma ortofoto do quebra-mar da Ericeira, gerada por métodos convencionais, produzida e gentilmente cedida pela empresa Municipia, SA. A aquisição dos dados foi realizada com uma câmara fotogramétrica digital DMC01 – 0129 instalada numa aeronave Cessna 402B-CS-DPS, que realizou uma única fiada, a uma altitude média de 510 m, tendo adquirido sete fotografias com uma sobreposição longitudinal de 60% e uma resolução no terreno de 5 cm. O relatório da Municipia referiu, para a avaliação da qualidade interna da ortofoto e da nuvem de pontos produzidos, os seguintes erros médios quadráticos dos pontos aerotriangulados:  $EMQ_{MP}=0,020$  m,  $EMQ_h=0,066$  m. Esta ortofoto foi utilizada como informação de referência para a avaliação da qualidade radiométrica das ortofotos geradas com as fotografias adquiridas pelo VANT.

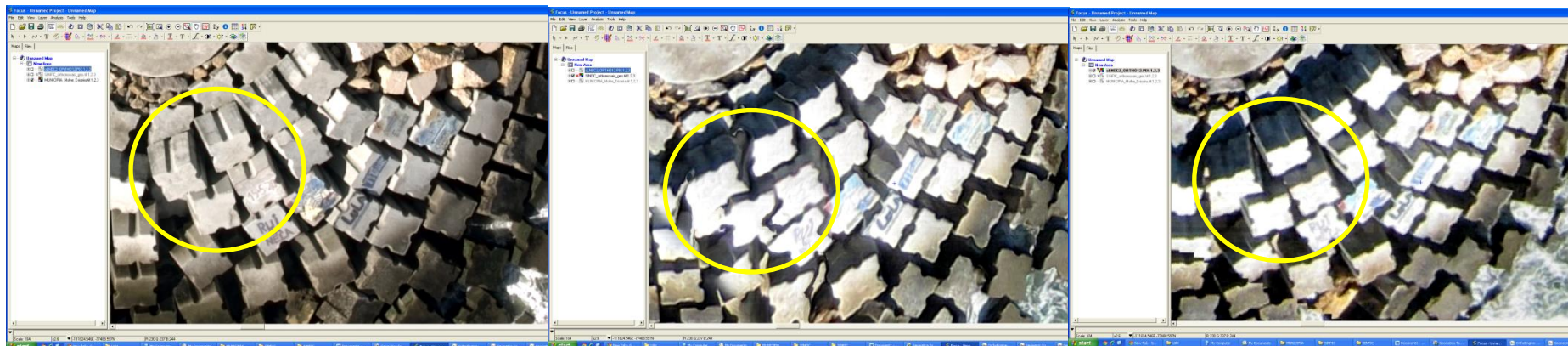
No que diz respeito à existência de deformações locais nas ortofotos, apresentam-se nas Figuras 3.9 e 3.10 algumas distorções que as ortofotos produzidas à custa das fotos adquiridas com o UAV apresentam, por comparação com a ortofoto produzida por métodos convencionais.

Na Figura 3.9 b) os blocos de proteção do quebra-mar apresentam-se deformados pelo facto de o MNS gerado ser de alta resolução espacial e pretender modelar os intervalos entre os blocos, o que não foi bem conseguido pelo facto dessas zonas serem escuras (sem pontos para autocorrelação) e com alguma variabilidade altimétrica. Já nos casos a) e c), realizados com *software* de fotogrametria convencional, o modelo gerado tem menos resolução e só foi modelada altimetricamente a superfície dos blocos, contornando o problema. Na Figura 3.10, no caso das imagens produzidas pelo *software* LISA (c), o reduzido número de fotografias (35) prejudicou a percentagem de sobreposição longitudinal das fotografias, notando-se a linha de ligação entre os modelos.

A maior instabilidade da plataforma VANT é a principal causa destas distorções dado que o modelo que suporta os métodos de processamento fotogramétricos baseia-se numa geometria de aquisição com o eixo das fotografias vertical. Um MNS produzido com fotografias com alguma obliquidade fica com distorções, que vão afetar negativamente a fase de ortorretificação. Utilizando as imagens adquiridas pelo avião da Municipia e pelo VANT podem ilustrar-se, nas Figuras 3.11 e 3.12, as alterações temporais que é possível identificar, que se pode limitar a uma análise visual das fotos, depois de co-registadas entre si, ou pode apoiar-se em produtos obtidos por processamento de imagens, como a imagem

da diferença entre as duas fotos. Na Figura 3.12 a alteração detetada na imagem da diferença, que não é relevante, tem a ver com diferentes alturas da água do mar, verificando-se em fevereiro que os tetrápodes estavam a descoberto e na imagem de abril estavam cobertos por água. Alterações relevantes, como alterações de posição dos tetrápodes, serão sinalizadas na imagem da diferença do mesmo modo, como pixels muito escuros ou muito claros, e detetadas com mais facilidade na imagem da diferença, desde que a sua amplitude seja superior à precisão posicional dos produtos gerados.



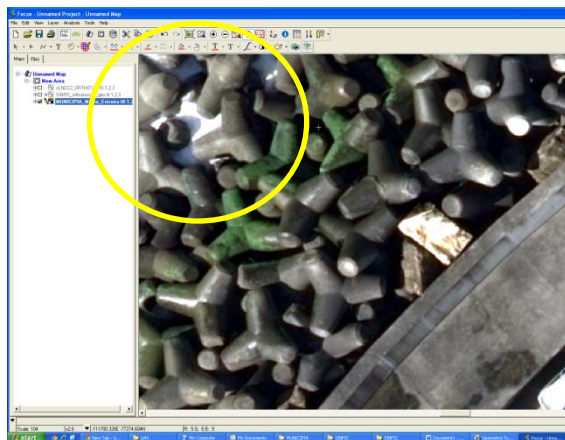


a) Ortofoto convencional

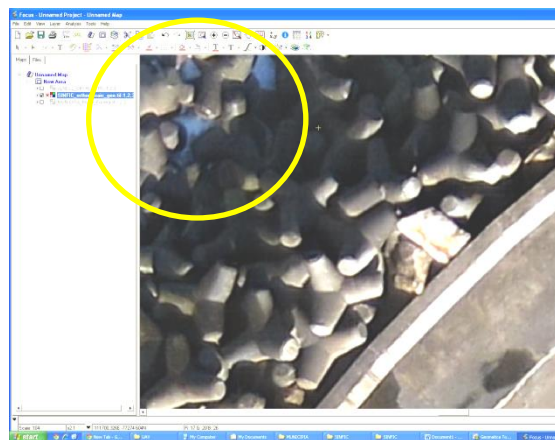
b) Ortofoto UAV/ *Postflight*

c) Ortofoto UAV/ LISA

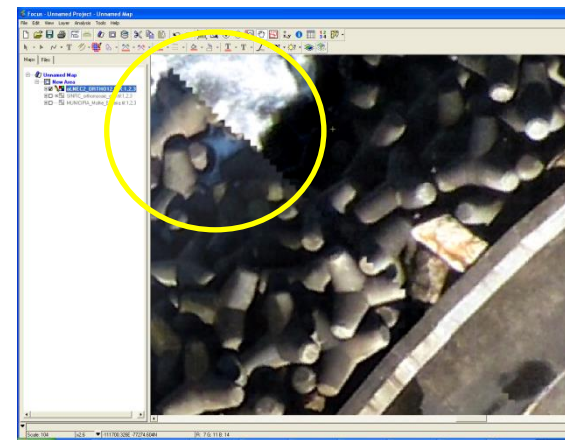
**Figura 3.9 – Extratos das ortofotos produzidas - deformações devidas a erros no MNS**



a) Ortofoto convencional

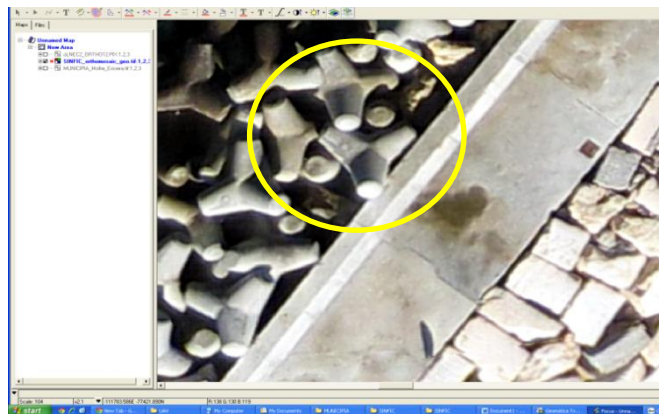


b) Ortofoto UAV/ *Postflight*

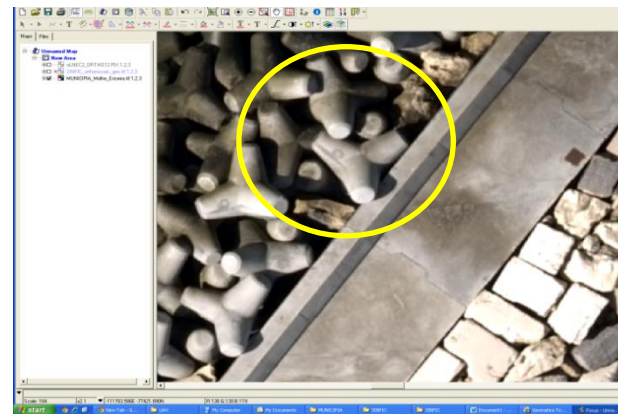


c) Ortofoto UAV/ LISA

**Figura 3.10 – Extratos das ortofotos produzidas - deformações devidas à ligação entre fotografias**

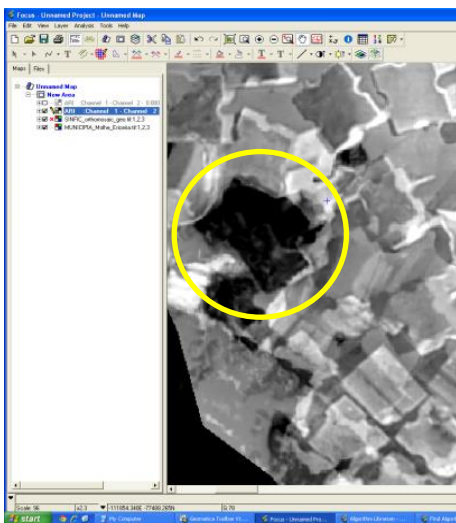


a) fevereiro/2013

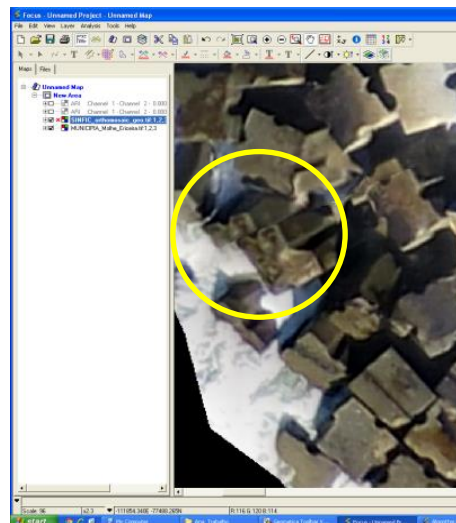


b) abril/2013

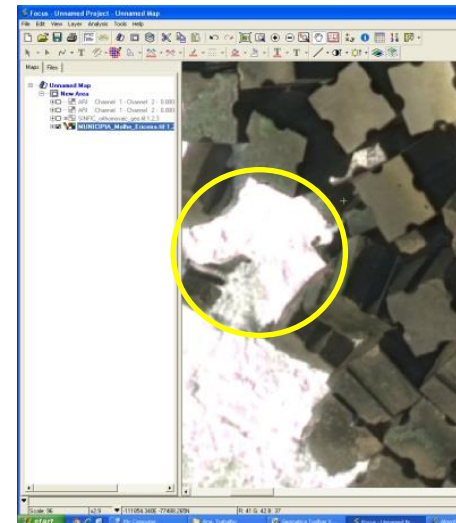
Figura 3.11 – Análise multitemporal por inspeção visual



a) Imagem diferença (fev-abr)



b) fevereiro /2013



c) abril /2013

Figura 3.12 – Análise multitemporal por inspeção visual assistida

## 4 | Considerações finais

A experiência realizada foi levada a cabo em condições muito desfavoráveis, nomeadamente pelo facto de:

- a zona costeira, com um regime de ventos difícil de prever, introduz mais instabilidade na plataforma do que se o voo tivesse sido feito sobre terra;
- a grande quantidade de zonas de água nas fotografias e a forma alongada do quebra-mar, dificultaram a obtenção de pontos fotogramétricos e de passagem entre fotografias, assim como de pontos de controlo para avaliação da qualidade com uma boa distribuição geométrica, dado que estes não deveriam estar organizados ao longo da mesma direção, mas distribuídos de forma mais regular pelas fotografias;
- as dificuldades das comunicações na zona fizeram com que se perdesse informação crucial sobre a atitude da plataforma, pelo que estes parâmetros tiveram que ser determinados à custa das coordenadas de alguns dos pontos de controlo.

Apesar destas dificuldades, foi possível obter ortofotos e MNS do quebra-mar da Ericeira, com diferentes níveis de incerteza (decimétrica), que disponibilizam informação útil para a monitorização destas infraestruturas, nomeadamente por comparação de ortofotos e MNS obtidos antes e depois de grandes temporais, nos quais será possível detetar alterações da posição de elementos da estrutura, desde que estas sejam superiores às incertezas dos produtos gerados.

As performances dos pacotes de *software* utilizados foram diferentes podendo concluir-se que os pacotes convencionais, como o *LISA*, para processamento de fotografias aéreas adquiridas por câmaras fotogramétricas instaladas em aviões, usualmente adquiridas com o eixo da câmara muito próximo da vertical, têm dificuldade em processar com sucesso as imagens adquiridas em piores condições, no que diz respeito à estabilidade da plataforma.

Pacotes de *software* desenvolvidos para imagens adquiridas por VANT apostam no processamento radiométrico mais robusto, utilizando a correlação entre imagens contíguas para detetar automaticamente um maior número pontos de ligação entre elas (Hirschmüller, 2011) e com um processamento geométrico que modela melhor a geometria de aquisição de imagens oblíquas. O planeamento adequado do voo e a escolha de condições climatéricas favoráveis permitem melhorar a precisão dos produtos gerados. Para além destes aspetos, a qualidade dos produtos pode melhorar-se, em função dos requisitos previamente impostos, eliminando fontes de erro através de uma interface com o *software*

de processamento, disponível nos *softwares* de fotogrametria e na última versão do software *Postflight Terra 3D*.

Lisboa, LNEC, dezembro de 2013

VISTOS

O Chefe do Núcleo de Geodesia Aplicada



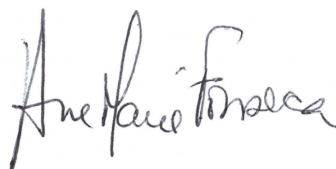
João M. Martins Casaca

O Diretor do Departamento de Barragens  
de Betão

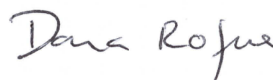


António Lopes Batista

AUTORIA



Ana Fonseca  
Investigadora Principal



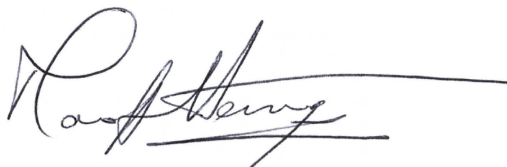
Dora Roque  
Bolseira de Iniciação  
à Investigação Científica



José Nuno Lima  
Investigador Auxiliar



João Marnoto  
SINFIC, SA



Maria João Henriques  
Investigadora Principal

## Referências Bibliográficas

Jacobsen, K. (2005). User Manual – BLUH\_WIN – Program System BLUH. Instituto de Fotogrametria e Geoinformação, Universidade de Hannover, Alemanha.

Linder, W. (2005). Programme Description LISA – Module FOTO. LISA Geo-Software GmbH, Alemanha.

Hirschmüller, H. (2011). Semi-Global Matching Motivation, Developments and Applications. Proceedins of the Invited Paper at the 54th Photogrammetric Week, Stuttgart, Germany. Pag. 5-11.

Habib, A. F., E-M. Kim and C-J. Kim (2007). New Methodologies for True Orthophoto Generation. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 1, pp. 025–036.

Küng, O, C. Strecha, A. Beyeler, J-C. Zufferey, D. Floreano, P. Fua and F. Gervais (2011) - The Accuracy of Automatic Photogrammetric Techniques on Ultra-Light UAV Imagery. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-1/C22. UAV-g 2011, Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics, Zurich, Switzerland.

## Anexos

---





### Quadro A.1 – Pontos de controlo coordenados por GNSS

Ponto	Coordenadas GNSS ETRS89-TM06		
	M_ETRS89 (m)	P_ETRS89 (m)	h (m)*
P2	-111680,599	-77276,734	59,924
P3	-111701,755	-77298,079	59,924
P4	-111720,608	-77321,917	59,906
P5	-111739,444	-77345,999	59,925
P6	-111757,213	-77370,214	59,901
P7	-111774,991	-77394,412	59,889
P9	-111810,386	-77442,617	59,917
P10	-111826,702	-77464,759	59,930
P11	-111836,980	-77475,279	60,940
P12	-111838,762	-77477,709	60,943
P13	-111836,333	-77479,544	60,943
P14	-111834,561	-77477,107	60,927
P15	-111653,781	-77263,529	59,936
P16	-111625,044	-77252,716	59,951
P17	-111597,001	-77242,113	59,971
P18	-111568,956	-77231,507	59,976
P19	-111588,442	-77246,253	57,615
P20	-111641,960	-77266,605	57,406
P21	-111704,632	-77339,600	56,932
Q00	-111837,003	-77470,907	60,914
Q01	-111832,499	-77474,314	60,913
Q05	-111832,519	-77481,418	60,955
Q10	-111820,212	-77463,717	60,073
Q12	-111816,403	-77448,152	59,927
Q44	-111667,531	-77279,023	57,448
Q48	-111615,255	-77256,428	57,547
Q49	-111551,453	-77245,490	57,312
Q70	-111836,348	-77475,805	62,423
Q81	-111492,330	-77104,916	60,774
Q83	-111515,400	-77224,050	58,255
Q85	-111536,322	-77265,105	57,052
Q92	-111486,403	-77271,169	58,082

\* Altitudes elipsoidais (diferem das altitudes ortométricas, na zona do quebra-mar da Ericeira, em cerca de 53,9 m (ondulação do Geóide)).

### Quadro A.2 – Parâmetros de orientação Interna

Nº Colunas	4000
Nº Linhas	3000
Distância focal (pixel)	2808.7478
Centro de projeção X (pixel)	2031.3172
Centro de projeção Y (pixel)	1466.2251
Distância radial 1	-0,04160
Distância radial 2	0,02171
Distância radial 3	-0,00257
Tangencial 1	-0,00312
Tangencial 2	0,00290

Quadro A.3 – Parâmetros de orientação externa

imageName	X	Y	Z	Omega	Phi	Kappa
IMG_1309.JPG	-111510.0484158062	-77046.685855103467	234.99955298207783	0.181906620480282	2.752331749442309	114.11167750452029
IMG_1310.JPG	-111543.71143272593	-77075.183670354323	236.81878650448289	0.20078219281173271	4.0163501276637597	114.97301181446234
IMG_1311.JPG	-111575.86676823563	-77106.634736692533	236.73859168465069	-1.3430399767919572	4.929781714661857	123.33920351834065
IMG_1312.JPG	-111607.79610545431	-77141.010624844916	236.05556754568329	1.934775205415427	2.9670295058429219	123.19689958332762
IMG_1313.JPG	-111641.13595762268	-77176.129005447961	235.0824197402344	-3.958240308079171	2.0840067177244568	122.67635817891714
IMG_1314.JPG	-111676.61693860577	-77206.531646332369	236.39790072904302	-5.2971677213034756	3.4550661386872323	116.77353909968755
IMG_1315.JPG	-111711.79833978209	-77235.186502794531	237.1559857229249	7.4236726658662615	5.480783566826779	121.52056323039993
IMG_1316.JPG	-111740.07525487078	-77275.738058947492	235.84624327580917	-4.2498930902849485	0.58404096245919501	133.9734391053799
IMG_1317.JPG	-111773.2417353257	-77306.546084726375	235.08731898130148	-1.9743862604779021	2.8319744912942935	115.51826291673318
IMG_1318.JPG	-111809.22958976399	-77334.384429073645	236.26280034683725	-2.824559942125898	3.2556781172508642	115.78372640765251
IMG_1319.JPG	-111843.08077585918	-77365.86820844817	236.40296586633457	-0.2839370448845791	4.5158435485498423	124.57709173049811
IMG_1320.JPG	-111873.43700800158	-77403.828486743936	236.51015788162056	-0.85103163136137183	3.7667827381174837	124.0679846713265
IMG_1321.JPG	-111908.09347361131	-77438.963079706344	236.45825709155687	-0.26373440984126306	4.0950517940261539	116.31859979749946
IMG_1325.JPG	-111916.99478116681	-77525.402957746875	235.56807732309315	1.4493179039264978	-0.86675122573589236	-33.286240237922762
IMG_1326.JPG	-111895.03570682445	-77504.202873198185	235.93229281685421	1.2598322628451737	1.3386264408527053	-31.662941253714511
IMG_1327.JPG	-111874.49552219208	-77481.411891257885	235.96064717388271	4.0286226639280214	-1.479761026419423	-25.983398574495816
IMG_1328.JPG	-111852.53904283303	-77460.427983430563	237.09831007657681	2.405419967327818	-2.8868718266397435	-36.163864323782185
IMG_1329.JPG	-111830.07970098096	-77439.03632375192	235.6634493368961	2.9999658177328379	0.03942925656158193	-30.829157309230446
IMG_1330.JPG	-111805.44322944844	-77418.388430778359	236.44002569712231	5.0007878190944117	-0.78713404990112767	-40.978655576452688
IMG_1331.JPG	-111784.30600567588	-77396.18125597958	236.31810389708971	5.1865316027587438	-0.15931896789361696	-27.860843344650341
IMG_1332.JPG	-111762.45671242701	-77373.476564185621	235.89972348820223	4.3619625773253183	-0.47027830975180424	-29.239733659975855
IMG_1333.JPG	-111739.08636459142	-77350.437698759735	235.592821730162	4.3749124982162408	-3.2272321385591973	-34.489687598254527
IMG_1334.JPG	-111716.56931179312	-77327.443435898109	235.6455922721637	4.0014934874834429	-1.4226996234365019	-30.558985392965546
IMG_1335.JPG	-111694.24671566635	-77305.252217161804	236.17952045605097	3.1186343887796206	-0.46673512348296969	-33.2549240962138
IMG_1336.JPG	-111669.6616269036	-77283.120140908344	236.92858961441348	2.2824096360652835	-4.8984239237683553	-31.298965434606401
IMG_1337.JPG	-111648.54181344495	-77260.607341393217	236.11441361163594	2.3457099894476512	-1.1542016144075675	-33.442801374587901
IMG_1338.JPG	-111625.19526393688	-77238.692201843543	235.40074100843518	5.2618691736753176	1.6826586896508555	-36.498337847595216
IMG_1339.JPG	-111599.42182744895	-77218.104918055295	236.04671572808024	2.6648872547695852	-1.9448962973289572	-32.585626762143917
IMG_1340.JPG	-111579.71828358657	-77195.662951639228	236.16913033003101	2.7137789406871167	0.46133009406260145	-28.213799244298574
IMG_1341.JPG	-111556.71854589175	-77172.281354811916	236.32472438643757	3.4492465821745277	1.0033813692814191	-32.108152770981732
IMG_1342.JPG	-111533.45022607091	-77149.655569798429	236.8307852712779	5.0166452419163337	-0.79275434828088698	-31.327991957815861
IMG_1343.JPG	-111509.70249301805	-77127.318614652322	236.02477582897109	3.3068578669581155	0.59545060666210103	-35.124302058510274
IMG_1344.JPG	-111487.28615655305	-77103.543669551771	235.67900161018468	4.5240888127534227	-0.1623829215985704	-29.857330868349866
IMG_1345.JPG	-111463.74947452832	-77079.443171959632	235.01267579374667	7.9976396339988272	-0.82987070959835507	-30.98142233603544
IMG_1346.JPG	-111427.38249377695	-77119.363289444736	232.8856422928383	0.42309032812902531	3.1976251523711872	119.0489570452211
IMG_1347.JPG	-111474.51923191048	-77143.319850784945	236.8222919004404	2.7199533134259046	7.5698382415217713	107.30755050651953
IMG_1348.JPG	-111507.43614728097	-77177.186202731682	234.61176974952835	3.3230211876248346	2.4704724188223763	133.31965777607854
IMG_1349.JPG	-111533.56025737422	-77215.800600264032	236.22273525671307	2.0093514152972576	4.7726865942310814	135.30034100865154
IMG_1350.JPG	-111566.82101805044	-77246.104962133672	237.05034655512267	3.4534554989192094	3.9497848980092107	106.28295812058685
IMG_1351.JPG	-111603.944182248	-77274.08928191461	236.73445818310546	-0.33373326833531952	2.7056209597254064	111.27576996877359
IMG_1352.JPG	-111639.95671794098	-77305.008893289691	236.27653071589867	-0.91113174985396994	3.2108152238537744	117.8297396131296
IMG_1353.JPG	-111674.04671211498	-77340.775041727131	234.86823270925629	-3.4733187432024959	3.0041784343768141	122.3828470925156
IMG_1354.JPG	-111708.73340775432	-77372.808026938015	234.97720197466728	2.00932976436239884	3.289071945492362	114.610030344727402
IMG_1355.JPG	-111743.14620582525	-77404.584200667538	235.35376172233157	-4.4973809417324295	-0.72443165386348074	116.42964962951064
IMG_1356.JPG	-111780.85940670753	-77437.674885753921	236.08419039484204	-4.5860013986027894	3.1306315270613814	121.32668657341267
IMG_1357.JPG	-111780.80878486663	-77437.625930146372	236.20898122365452	-14.72765342339557	12.147611153610073	134.98002360354167
IMG_1358.JPG	-111846.37207158122	-77495.35768420469	243.26350432362779	-5.6411045085858751	0.99361216427102206	125.7692770231904
IMG_1362.JPG	-111844.56227703548	-77592.420261016363	234.78152802454159	2.5355734755805348	-2.3776178362503653	-41.091118099135507
IMG_1363.JPG	-111824.23434482898	-77569.448757576611	235.90670552289387	3.6947514794690695	-0.10984262123885501	-28.136502432286132
IMG_1364.JPG	-111801.15034160345	-77547.698678206682	234.728405749171	4.8379128322286391	-1.1342265173393815	-36.7699304312005
IMG_1365.JPG	-111777.33441710142	-77526.342005916958	234.86670391488929	3.5188456812617943	-0.79187500478105599	-35.783422640483188
IMG_1366.JPG	-111755.12231317128	-77504.438615432358	235.95889639699578	5.0766376131004671	-0.60681571408420398	-35.581861854916582
IMG_1367.JPG	-111733.06268683878	-77481.449452538451	235.55752460952652	4.235057209075296	-3.1209629188182348	-29.492454563177365
IMG_1368.JPG	-111712.61490190985	-77459.165212001099	234.19182777051034	3.3056518383181293	0.41462515027657465	-30.357085574634564
IMG_1369.JPG	-111691.06243932337	-77439.040974668635	234.6874718743046	1.7145526822286767	-2.1376347699356764	-30.905545052809469
IMG_1370.JPG	-111670.0051037768	-77418.129851225167	234.59838237906575	0.90490254351466948	0.40715688399773681	-30.17455847384818
IMG_1371.JPG	-111646.83393770509	-77396.802135853955	235.15637913462888	4.6790896837954552	-2.8517995847095952	-35.389246041316476
IMG_1372.JPG	-111624.39134299396	-77375.456014006195	235.74568309162777	4.362219922154785	-1.7726942466862952	-30.578968179531724
IMG_1373.JPG	-111603.83072958619	-77352.680247351091	235.03584338860679	5.0270043128276454	-1.4351507068765605	-29.365392727343913
IMG_1374.JPG	-111581.90576137314	-77331.187251763258	235.1431008639882	3.9830032942170877	0.29780981413848451	-34.169938791477598
IMG_1375.JPG	-111559.18870147261	-77310.476233675756	235.79244943390589	3.8929663085573591	1.1901577394041194	-32.021266589574964
IMG_1376.JPG	-111537.0210996004	-77289.287244187581	235.98229028795507	3.7037022951186764	-0.7093316943420408	-27.28977095453968
IMG_1377.JPG	-111516.63420807601	-77266.895875874907	236.10281545883151	5.1486940342613954	-0.47164596740345421	-24.0460066633824
IMG_1378.JPG	-111495.93553023614	-77244.47386083717	235.23666126163786	5.2867375875059119	-2.2487463318393885	-27.46385308593527
IMG_1379.JPG	-111472.73251151723	-77223.493809456471	234.7453520569986	4.3987595488316096	0.26539474155666581	-33.525325596122826
IMG_1380.JPG	-111449.77210661389	-77203.534062823208	235.19334727959196	4.7130122103140906	-0.85766954256463923	-26.543163262518835

**Quadro A.4 – Controlo de qualidade da ortofoto e nuvem de pontos *Postflight Terra 3D***

Ponto	Coordenadas GNSS			DesvioM (m)	DesvioP (m)	DistMP (m)	Desvio_h (m)
	M (m)	P (m)	h (m)				
P2	-111680,599	-77276,735	59,924	0,040	-0,052	0,066	0,023
P4	-111720,608	-77321,917	59,906	0,135	0,083	0,158	0,088
P6	-111757,213	-77370,214	59,901	0,084	-0,045	0,095	0,131
P17	-111597,001	-77242,113	59,971	0,096	-0,162	0,188	0,015
Q00	-111837,003	-77470,907	60,914	0,096	-0,210	0,231	0,083
Q01	-111832,499	-77474,314	60,913	0,076	-0,250	0,261	-0,028
Q05	-111832,519	-77481,418	60,955	0,098	-0,166	0,193	-0,104
Q10	-111820,212	-77463,717	60,073	0,072	-0,122	0,141	-0,042
Q44	-111667,531	-77279,023	57,448	0,144	-0,087	0,169	0,011
Q48	-111615,255	-77256,428	57,547	-0,003	-0,063	0,063	0,096
Q49	-111551,453	-77245,490	57,312	0,221	-0,011	0,222	0,068
Q70	-111836,348	-77475,805	62,423	0,110	-0,142	0,179	0,032
Q83	-111515,444	-77224,007	58,255	-0,017	-0,068	0,070	0,076
Q85	-111536,365	-77265,062	57,052	0,040	-0,028	0,049	-0,041
<b>EMQ<sub>MP</sub> (m)</b>							<b>0,17</b>
<b>EMQ<sub>h</sub> (m)</b>							<b>0,07</b>

**Quadro A.5 – Controlo de qualidade da ortofoto e DSM LISA (Processamento 1)**

Ponto	Coordenadas GNSS			DesvioM (m)	DesvioP (m)	DistMP (m)	Desvio_h (m)
	M (m)	P (m)	h (m)				
P3	-111701,755	-77298,079	59,924	0,316	-0,203	0,375	-0,196
P4	-111720,608	-77321,917	59,906	0,249	-0,044	0,252	1,061
P5	-111739,444	-77345,999	59,925	0,017	-0,068	0,070	0,111
P6	-111757,213	-77370,214	59,901	-0,057	0,079	0,098	-0,168
P7	-111774,991	-77394,412	59,889	0,164	0,302	0,343	-0,027
P9	-111810,386	-77442,617	59,917	-0,023	0,214	0,215	-0,254
P11	-111836,980	-77475,279	60,940	-0,013	0,336	0,337	-0,148
P12	-111838,762	-77477,709	60,943	-0,038	0,573	0,574	0,008
P13	-111836,333	-77479,544	60,943	0,088	0,556	0,563	0,110
P14	-111834,561	-77477,107	60,927	-0,261	0,751	0,795	0,145
P15	-111653,781	-77263,529	59,936	-0,008	-0,014	0,016	0,020
P17	-111597,001	-77242,113	59,971	-0,131	-0,595	0,609	-0,047
P19	-111588,442	-77246,253	57,615	0,186	-0,009	0,186	-0,007
P20	-111641,960	-77266,605	57,406	-0,186	0,001	0,186	-0,470
Q00	-111837,003	-77470,907	60,914	0,024	0,224	0,225	-0,072
Q01	-111832,499	-77474,314	60,913	-0,077	0,211	0,224	0,182
Q05	-111832,519	-77481,418	60,955	0,024	0,500	0,500	0,173
Q10	-111820,212	-77463,717	60,073	0,090	0,263	0,278	-0,200
Q12	-111816,403	-77448,152	59,927	0,202	-0,352	0,406	-0,244
Q44	-111667,531	-77279,023	57,448	-0,062	-0,236	0,244	-2,009
Q48	-111615,255	-77256,428	57,547	-0,024	-0,245	0,246	-1,961
Q49	-111551,453	-77245,490	57,312	-0,215	-0,276	0,350	-1,482
Q70	-111836,348	-77475,805	62,423	-0,048	0,477	0,479	1,386
<b>EMQ<sub>MP</sub> (m)</b>							<b>0,39</b>
<b>EMQ<sub>h</sub> (m)</b>							<b>0,79</b>

**Quadro A.6 – Controlo de qualidade da ortofoto e DSM LISA (Processamento 2)**

Ponto	Coordenadas GNSS			Coordenadas na Ortofoto e MNS			Desvios		
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Dx (m)	Dy (m)	Dz (m)
P2	-111680.599	-77276.735	59.924	-111680.619	-77276.666	59.865	0,0202	-0,0685	0,0587
P4	-111720.608	-77321.917	59.906	-111720.615	-77321.813	59.916	0,0066	-0,1037	-0,0096
P6	-111757.213	-77370.214	59.901	-111757.156	-77370.293	59.865	-0,0566	0,0794	0,0355
P13	-111836.333	-77479.544	60.943	-111836.058	-77479.918	60.680	-0,2754	0,3737	0,2626
P17	-111597.001	-77242.113	59.971	-111596.748	-77241.821	59.712	-0,2527	-0,2923	0,2586
Q00	-111837,003	-77470,907	60,914	-111836,603	-77470,949	61,190	0,400	0,042	-0,276
Q01	-111832,499	-77474,314	60,913	-111832,058	-77474,403	60,375	0,441	0,089	0,538
Q05	-111832,519	-77481,418	60,955	-111832,179	-77481,675	60,731	0,340	0,257	0,224
Q10	-111820,212	-77463,717	60,073	-111820,059	-77464,041	60,069	0,153	0,324	0,004
Q44	-111667,531	-77279,023	57,448	-111667,469	-77278,968	58,998	0,062	-0,055	-1,550
Q48	-111615,255	-77256,428	57,547	-111615,231	-77256,486	59,406	0,024	0,058	-1,859
Q49	-111551,453	-77245,490	57,312	-111551,238	-77245,638	57,673	0,215	0,148	-0,361
Q70	-111836,348	-77475,805	62,423	-111835,876	-77476,100	61,190	0,472	0,295	1,233
Q83	-111515,400	-77224,050	58,255	-111515,484	-77224,065	58,488	-0,084	0,015	-0,233
Q85	-111536,322	-77265,105	57,052	-111535,967	-77265,576	58,131	0,355	0,471	-1,079
Q92	-111486,403	-77271,169	58,082	-111485,002	-77271,636	58,080	1,401	0,467	0,002
							<b>EMQ<sub>xy</sub> (m)</b>	<b>0,52</b>	
							<b>EMQ<sub>h</sub> (m)</b>	<b>0,79</b>	

