



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CARACTERIZAÇÃO 3D DE MOVIMENTOS DE MASSA EM TERRENOS  
COM *PERMAFROST* NAS ILHAS SHETLAND DO SUL (1956-2010) ATRAVÉS  
DE DETECÇÃO REMOTA, NA BANDA DO VISÍVEL**

**Cláudio António Vieira Calado Martins de Sousa**

**Dissertação de Mestrado em Geomática**

**Trabalho realizado sob orientação do Doutor Gonçalo Prates e Doutor Gonçalo Vieira**

**2015**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**CARACTERIZAÇÃO 3D DE MOVIMENTOS DE MASSA EM TERRENOS  
COM *PERMAFROST* NAS ILHAS SHETLAND DO SUL (1956-2010) ATRAVÉS  
DE DETECÇÃO REMOTA, NA BANDA DO VISÍVEL**

**Cláudio António Vieira Calado Martins de Sousa**

**Dissertação de Mestrado em Geomática**

**Trabalho realizado sob orientação do Doutor Gonçalo Prates e Doutor Gonçalo Vieira**

**2015**

**Caracterização 3D de movimentos de massa em terrenos com *permafrost* nas Ilhas Shetland do Sul (1956 - 2010) através de detecção remota, na banda do visível**

**Declaração de autoria de trabalho**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

Cláudio António Vieira Calado Martins de Sousa



---

**Direitos de cópia ou *Copyright***

© *Copyright* Cláudio Sousa

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicitar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

## AGRADECIMENTOS

O percurso para chegar a esta dissertação de mestrado iniciou-se também na Universidade do Algarve, no curso de Engenharia Topográfica, uma vez que a formação adquirida ali, permitiu a aquisição de práticas e conhecimentos necessários à continuidade dos estudos num nível mais alto de exigência; por isso, a preparação deste trabalho não teria sido possível sem essa experiência gratificante. O entusiasmo pela continuidade dos estudos, muito se deveu à forma como aquelas aulas eram dadas, aos conteúdos abordados, e à disponibilidade dos professores para explicações mais longas, em algumas vezes ultrapassando o programa da disciplina, mas satisfazendo a curiosidade de todos aqueles alunos que vinham em busca de algo mais. Boa parte desses professores são os mesmos do curso de Mestrado em Geomática; pela sua conduta e pelo que proporcionaram é devido aqui um agradecimento.

A todos os colegas do curso de 2013-2014 é devido também um agradecimento; e porque eram tão poucos, acabou por formar-se uma equipa que trabalhou sempre em conjunto e segundo a mesma direção. Com o Marcos Rosa, Sérgio Leitão e a Tatiana Neves foi muito mais fácil chegar até aqui.

Um agradecimento à equipa da Agisoft, pela licença de utilização de *software* e ao Stewart Wyseman (PCI Geomatics), pela assistência técnica e licenças de utilização de *software*.

Um agradecimento também ao CEG-UL pela disponibilização de informação geográfica e à equipa do projeto PERMANTAR-3, particularmente ao Doutor Gonçalo Vieira; a sua disponibilidade foi importante para poder esclarecer assuntos relativos à geodinâmica na Península Antártida e avançar com todo este trabalho.

Um destaque para o Doutor Gonçalo Prates; praticamente ofereceu a oportunidade de trabalho que proporcionou um conjunto de novas experiências, e além disso, esteve sempre presente no aconselhamento de estratégias e técnicas, enfim, na orientação de toda a pesquisa científica que conduziu a esta dissertação; por tudo isso, um agradecimento especial.

## RESUMO

A fotografia aérea e as imagens de satélite são amplamente reconhecidas como uma fonte de dados para produção de cartografia de áreas de grande extensão. A utilização de técnicas fotogramétricas adequadas pode fornecer mapas representativos da geomorfologia de um lugar e quantificação do movimento de massas (Kääb e Vollmer, 2000). Nas regiões com *permafrost*, as deformações da camada activa visível em glaciares rochosos são induzidas pelo clima, revelando-se assim, um geo-indicador-chave de mudanças ambientais. A movimentação desses glaciares pode atingir velocidades à superfície, desde poucos centímetros até alguns metros por ano, dependendo das propriedades do solo e das condições térmicas. No continente Antártico, as taxas de movimento de massa ainda são pouco estudadas, especialmente na região da Península Antártica, onde podem ser observados glaciares rochosos em zonas livres de gelo (Ilhas Shetland do Sul). A capacidade actual de medir movimentos de massa anteriores ao advento das tecnologias de posicionamento global ou detecção remota, é possível, através da análise de colecções dos fotogramas existentes. O objectivo deste estudo é medir os deslocamentos da camada activa do *permafrost* nas Ilhas Shetland do Sul, com recurso a imagens de alta resolução (fotogramas e imagens de satélite - banda visível) e através de técnicas fotogramétricas e de processamento digital de imagem. Foram analisados vários fotogramas da década de 1950 da Península de Hurd (Ilha Livingston) e comparados com imagens de satélite de 2010. Com base nos dois conjuntos de dados foram produzidas imagens ortorrectificadas a partir das quais foram inferidos movimentos de massa horizontais dos glaciares rochosos, na ordem dos decímetros por ano, variando de acordo com a inclinação dos mesmos. O contraste das velocidades inferidas com velocidades medidas recentemente por sistemas de posicionamento global em estacas assentes em todo o glaciar rochoso forneceu perspectivas para uma evolução ambiental desta região.

**Palavras-chave:** *Permafrost*, Glaciar Rochoso, Fotogrametria, Detecção Remota.

## **ABSTRACT**

Aerial photography and satellite images are widely recognized as a source of data for the production of maps of large areas of extension. The use of appropriate photogrammetric techniques can provide representative maps of the geomorphology of a place and through them the quantification of mass movement (Kääb & Vollmer, 2000). In mountain permafrost the active layer deformation visible in rock glaciers are induced by climate, revealing thus a geo-indicator of environmental modification. Changes in these glaciers can reach surface velocities from a few centimeters to a few meters per year, depending on soil properties and thermal conditions. In Antarctica, mass movement velocities are still little studied, especially in the Antarctic Peninsula region, where particularly in the ice free areas of the South Shetland Islands several rock glaciers can be identified. Today's capability to measure mass movement previous to satellite based remote sensing and global navigation satellite systems is possible by re-analyzing available photogrammetric frames. This study's objective is to measure the active layer of permafrost mass movement in the South Shetland Islands, made with the use of high-resolution images (frames and satellite images - visible band) and applying photogrammetry and digital image processing. Frames from the 1950's of the Hurd Peninsula (Livingston Island) were analyzed and compared to 2010's satellite images. From both data sets, orthorectified images were produced from which, horizontal mass movement of the rock glacier was inferred to a few decimeters per year, varying with the rock glacier steepness. Contrasting these inferred velocities with recently measured velocities by differential global positioning systems at staves deployed throughout the rock glacier provide an outlook to this region environmental evolution.

**Keywords:** Permafrost, Rock-glacier, Photogrammetry, Remote Sensing.

## ÍNDICE GERAL

|  |      |
|--|------|
| RESUMO   | V    |
| ABSTRACT   | VI   |
| ÍNDICE DE FIGURAS  | IX   |
| ÍNDICE DE TABELAS  | XII  |
| LISTA DE ABREVIATURAS  | XIII |
| Capítulo 1. INTRODUÇÃO   | 1    |
| Capítulo 2. REVISÃO DA LITERATURA                              | 3    |
| 2.1 Permafrost e alterações climáticas                         | 3    |
| 2.2 Movimentação de massas em glaciares rochosos               | 5    |
| 2.3 Observação de movimentos de massa na Península de Hurd     | 5    |
| 2.4. Fotogrametria tipo “ <i>Structure-from-Motion</i> ”       | 6    |
| Capítulo 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA                              | 7    |
| 3.1 Fotogrametria tradicional                                  | 7    |
| 3.2 Detecção Remota  | 12   |
| 3.3 Ortorrectificação de imagens aéreas e orbitais             | 13   |
| 3.4. <i>Structure-from-Motion</i>                              | 15   |
| Capítulo 3. METODOLOGIA E RESULTADOS                           | 16   |
| 4.1 Península de Hurd (1956 - 1957)                            | 16   |
| 4.1.1 Restituição fotogramétrica - Modelo 1 (Dezembro de 1956) | 21   |
|  | VII  |

|  |    |
|--|----|
| 4.1.2 Restituição fotogramétrica - Modelo 2 (Janeiro de 1957)                | 23 |
| 4.1.3 Restituição fotogramétrica - Modelo 3 (Dezembro de 1956)               | 25 |
| 4.1.4 Comparação de ortoimagens (1956 - 1957)                                | 26 |
| 4.1.5 Ortorrectificação de imagens de satélite Quickbird                     | 30 |
| 4.1.6 Caracterização de movimentos de massa na Península de Hurd (1956-2010) | 33 |
| 4.2 Península de Keller (1956)   | 34 |
| 4.3 Península de Keller (2009)   | 39 |
| Capítulo 6. CONCLUSÕES   | 42 |
| BIBLIOGRAFIA   | 43 |
| ANEXOS   | 45 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| 1 Corte transversal de uma secção de terreno com <i>permafrost</i>                  | 1  |
| 2 Ilhas Shetland do Sul, na Antártica   | 2  |
| 3 Efeitos do <i>thermokarst</i> numa linha ferroviária                              | 3  |
| 4 Degradação de terrenos com <i>permafrost</i> , no Estado do Alasca do Norte - EUA | 4  |
| 5 Taxa de deformação (metros) em todas as estacas (GNSS)                            | 6  |
| 6 Geometria de aquisição de fotografias aéreas                                      | 8  |
| 7 Escala média de vôo   | 9  |
| 8 Marcas fiduciais de um fotograma  | 10 |
| 9 Espectro electromagnético   | 12 |
| 10 Efeitos da selecção de <i>keypoints</i> numa imagem original de baixa resolução  | 16 |
| 11 Glaciar rochoso de Hurd - Ilha de Livingston                                     | 17 |
| 12 Extracto da cartografia 1:25000 da Ilha de Livingston                            | 19 |
| 13 Fotograma X26FID0026147 - Península de Hurd                                      | 21 |
| 14 Fotograma X26FID0026148 - Península de Hurd                                      | 21 |
| 15 Glaciar rochoso de Hurd  | 22 |
| 16 Localização dos pontos de controlo fotogramétricos, sobre o modelo 3D            | 22 |
| 17 Fotograma X26FID0093070 - Península de Hurd                                      | 23 |
| 18 Fotograma X26FID0093071 - Península de Hurd                                      | 23 |
| 19 Glaciar rochoso de Hurd  | 24 |

|    |   |    |
|----|---|----|
| 20 | Fotograma X26FID0052160 - Península de Hurd                               | 25 |
| 21 | Fotograma X26FID0052161 - Península de Hurd                               | 25 |
| 22 | Glaciar rochoso de Hurd   | 25 |
| 23 | Representação dos pontos críticos sobre a ortoimagem derivada do modelo 1 | 27 |
| 24 | Representação dos pontos críticos sobre a ortoimagem derivada do modelo 3 | 27 |
| 25 | MDE derivado do modelo 1  | 28 |
| 26 | MDE derivado do modelo 3  | 28 |
| 27 | MDE derivado do modelo 2  | 29 |
| 28 | Reclassificação de imagem (MDE derivado do modelo 3)                      | 29 |
| 29 | Imagem de satélite Quickbird pancromática (Península de Hurd, Out - 2010) | 30 |
| 30 | Imagem de satélite Quickbird pancromática (Península de Hurd, Out - 2012) | 30 |
| 31 | Representação do <i>shapefile</i> de pontos sobre a ortoimagem de 2010    | 32 |
| 32 | Representação do <i>shapefile</i> de pontos sobre a ortoimagem de 2012    | 32 |
| 33 | Glaciar rochoso de Hurd em Dezembro de 1956                               | 33 |
| 34 | O Glaciar rochoso de Hurd, em Outubro de 2010                             | 34 |
| 35 | Fotogramas da Península de Keller   | 35 |
| 36 | Excerto do ortofotomapa 1:5000 da Península de Keller                     | 36 |
| 37 | Glaciar rochoso de Tyrell (Ortoimagem da Península de Keller, Dez - 1956) | 37 |
| 38 | Glaciar rochoso de Spiel (Ortoimagem da Península de Keller, Dez - 1956)  | 38 |
| 39 | Glaciar rochoso de Tyrell em Janeiro de 2003                              | 38 |
| 40 | Glaciar rochoso de Spiel em Janeiro de 2003                               | 39 |

|    |  |    |
|----|--|----|
| 41 | Imagens digitais oblíquas da Península de Keller | 40 |
| 42 | Glaciar rochoso de Ferguson em Janeiro de 2003   | 41 |
| 43 | Glaciar rochoso de Ferguson em Março de 2009     | 42 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| 1 Resultados da Orientação Absoluta (modelo 1)                                  | 23 |
| 2 Resultados da Orientação Absoluta (modelo 2)                                  | 24 |
| 3 Resultados da Orientação Absoluta (modelo 3)                                  | 26 |
| 4 Resultados da Orientação Absoluta (modelo da Península de Keller, Dez - 1956) | 37 |
| 5 Resultados da Orientação Absoluta (modelo da Península de Keller, Mar - 2009) | 41 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

BAS - British Antarctic Survey

*DGPS - Differential Global Positioning System*

*DPI - dots per inch*

EMQ - Erro Médio Quadrático

*GPS - Global Positioning System*

*LiDAR - Light Detecting and Ranging*

MDE - Modelo Digital de Elevação

PROPOLAR - PROgrama POLAR Português

*RTK - Real Time Kinetic*

SIG - Sistema de Informação Geográfica

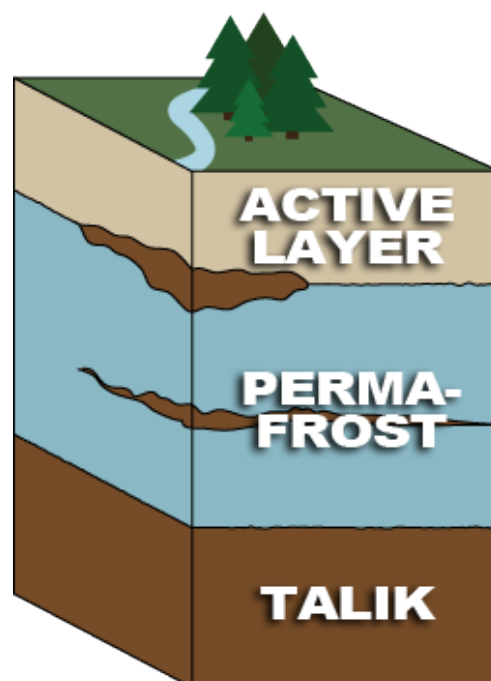
*SfM - Structure From Motion*

USGS - United States Geological Service

UTM - Universal Transversa de Mercator

## Capítulo 1 - INTRODUÇÃO

Em termos geológicos, o *permafrost* ou pergelissolo é o solo que se encontra abaixo, ou no ponto de congelação da água durante um período não inferior a dois anos. Ele existe sob uma camada de solo, rocha ou sedimentos que congela e descongela anualmente, denominada por "camada activa". Essa camada (Figura 1) está a tornar-se mais espessa em muitas regiões e, conseqüentemente, verifica-se também o aquecimento do *permafrost*, sendo as suas conseqüências climáticas ainda desconhecidas, mas esperando-se mudanças na hidrologia, armazenamento de carbono e dinâmicas geomorfológicas. Segundo Romanovsky (2008), a principal característica que distingue o *permafrost* de um solo não congelado é a presença de gelo, que pode variar em quantidade, entre 10 a 90% do volume total do solo. A resistência mecânica do solo congelado com gelo no seu interior é semelhante à de uma rocha firme, enquanto que a de um solo não congelado é muito menor. A estabilidade dos ecossistemas em regiões com *permafrost* depende da estabilidade do gelo no solo; a perda do *permafrost* implica uma perda de estabilidade no sistema.

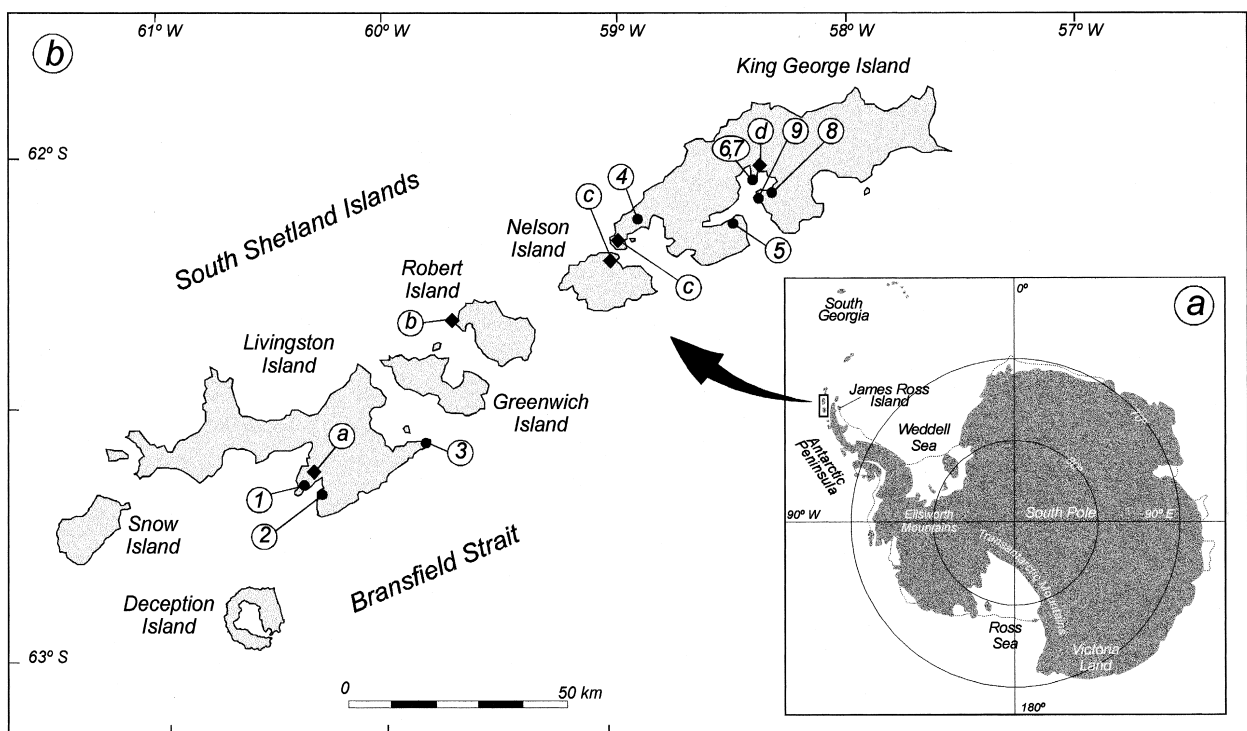


**Figura 1** - Corte transversal de uma secção de terreno com *permafrost*. Fonte: Wunderground, 2014.

Os estudos actuais mostram que as regiões em que existe *permafrost*, são, e continuarão a ser, aquelas com maiores mudanças climáticas (Romanovsky, 2008). A presença de *permafrost* num glaciário rochoso em movimento, por exemplo, é indicadora de um clima relativamente

frio; desta forma, os glaciares rochosos fósseis ou inactivos apontam para climas gelados, no passado.

O *permafrost* ocupa praticamente todas as áreas não glaciares da Antártida, e nas Ilhas *Shetland* do Sul (Figura 2), onde as temperaturas daquele se encontram ligeiramente abaixo de 0°C, há condições potenciais para a sua degradação. A região apresenta-se por isso, bastante atractiva para o estudo das reacções do *permafrost* às mudanças climáticas; particularmente os glaciares rochosos<sup>1</sup>, que são indicadores de condições periglaciárias.



**Figura 2** - Ilhas Shetland do Sul (b) na Antártica (a). Hurd ① , Keller ④. Fonte: Serrano e Martínez, 2000.

Dos vários glaciares rochosos ali existentes, foram objecto de estudo, preferencialmente, aqueles que se encontram na Península de Hurd (Ilha de Livingston) e na Península de Keller (Ilha de King George), localizados a latitudes diferentes.

Assim sendo, e procurando dar resposta a questões essenciais, o presente estudo envolveu a compilação de imagens obtidas de plataformas aéreas e espaciais de interesse para a investigação, e o teste de metodologias fotogramétricas 2D/3D para detecção de alterações geomorfológicas, pretendendo-se identificar a mais eficiente para posterior aplicação a outras regiões periglaciárias. Este trabalho foi realizado no contexto do projecto PERMANTAR-3: *Permafrost* e Alterações Climáticas na Península Antártica, financiado por capitais nacionais

<sup>1</sup> Glaciar rochoso - acidente geomorfológico constituído por sedimentos rochosos congelados.

através da FCT/MEC, na área científica das geociências, e com recurso a dados disponibilizados por organizações nacionais e internacionais que desenvolvem estudos na Antártida. O conjunto de tarefas realizadas envolveu a aquisição de material (fotogramas, imagens de satélite e cartografia) e a utilização de técnicas fotogramétricas e de processamento de imagem para produção de modelos digitais de elevação e ortoimagens. A partir desses produtos e através da utilização de ferramentas SIG, foi possível estabelecer comparações entre diferentes épocas e avaliar a dinâmica do *permafrost* na Península Antártida desde o período mais remoto de que há registos fotogramétricos, até à actualidade, especificamente quanto ao movimento de massas.

## Capítulo 2 - REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 *Permafrost* e alterações climáticas

Tem-se registado um aumento rápido da temperatura média anual na Península Antártica, desde há 50 anos. Com os novos aumentos da temperatura do ar previstos para o século XXI, estima-se que haja um descongelamento generalizado do *permafrost* no sub-ártico e/ou nas regiões montanhosas, em ambos os hemisférios. Tal facto, poderá acelerar a decomposição de matéria orgânica anteriormente retida no *permafrost*, emitindo grandes quantidades de gases de efeito-estufa para a atmosfera. Ainda, o descongelamento do *permafrost* rico em gelo pode traduzir-se num impacto negativo para os ecossistemas e/ou infra-estruturas (Figura 3), e nas regiões montanhosas, pode reduzir-se a estabilidade das vertentes e aumentar o perigo de queda de rochas e/ou movimentação de massas (Romanovsky, 2008).



**Figura 3** - Efeitos do *thermokarst* numa linha ferroviária. Fonte: Romanovsky, 2008.

O *permafrost* pode ser usado como um paleo-termómetro — as oscilações da temperatura do ar entre os séculos XIX - XX podem ser inferidas através de medições da temperatura em poços profundos de *permafrost*. O aquecimento tem sido observado nos perfis de temperatura obtidos a partir de terra congelada em muitos locais, desde 1960. Recentemente, a temperatura do *permafrost* tem subido, tanto em planícies como em regiões de montanha. O descongelamento do *permafrost* em muitos locais, não é observado directamente. A maior parte das evidências é indirecta; baseia-se em alterações na floresta e vegetação de tundra, fenómenos de subsidência e perda de lagos.

Uma das consequências mais significativas da degradação do *permafrost* é a formação do *thermokarst*, uma superfície em que parte do terreno foi sujeita a fenómenos de subsidência. O *thermokarst* forma-se quando o solo congelado derrete; a água daí resultante flui e o solo remanescente cai no espaço anteriormente ocupado pelo gelo. Além do impacto sobre os ecossistemas e infra-estruturas, o *thermokarst* leva muitas das vezes à formação de lagos (Figura 4) e erosão das superfícies, o que pode acelerar ainda mais a degradação do *permafrost* (Romanovsky, 2008).



**Figura 4** - Degradação de terrenos com *permafrost*, no Estado do Alasca do Norte - EUA.  
Fonte: UNAVCO, 2009.

A previsão a partir de modelos, das alterações na distribuição do *permafrost*, exige complementação com estudos no terreno, ou observação a partir de sensores distantes (detecção remota) com base em períodos de tempo prolongados (intervalos de décadas).

Nas Ilhas Shetland do Sul, o ambiente de *permafrost* encontra-se actualmente num limiar crítico e pode passar por mudanças extremas se, mantida uma tendência de aquecimento. Considerando-se uma perspectiva temporal, a representação regular destas regiões através de mapas pode ser realizada através de técnicas de detecção remota. A disponibilidade de imagens de áreas livres de gelo, com resoluções mais altas (tanto espacial como espectral e radiométrica) do que as fornecidas actualmente por satélites, pode ser de grande contributo para a representação de características glaciares e ecológicas, e ainda, para o progresso das observações da crescente mudança climática em terrenos com *permafrost*. (Vieira e Bandeira, 2013)

## **2.2 Movimentos de massa em glaciares rochosos**

As técnicas de fotogrametria digital são de alta eficiência, no que respeita à determinação de alterações na geometria e/ou fenómenos de movimentação do *permafrost*. A precisão é, no mínimo, semelhante à conseguida através das técnicas fotogramétricas clássicas. No exemplo dos glaciares rochosos, muitas das medições são imprecisas e devem-se à cobertura por neve, topografia acidentada e contraste óptico abaixo da resolução das imagens. De forma a eliminar esses erros, é essencial seguir procedimentos que incluam a visão-estereoscópica e edição de um MDE derivado automaticamente, de forma a obter um outro de alta qualidade e poder revelar pequenas alterações da movimentação do *permafrost* (Kääb e Vollmer, 2000).

## **2.3 Observação de movimentos de massa no glaciar rochoso de *Hurd***

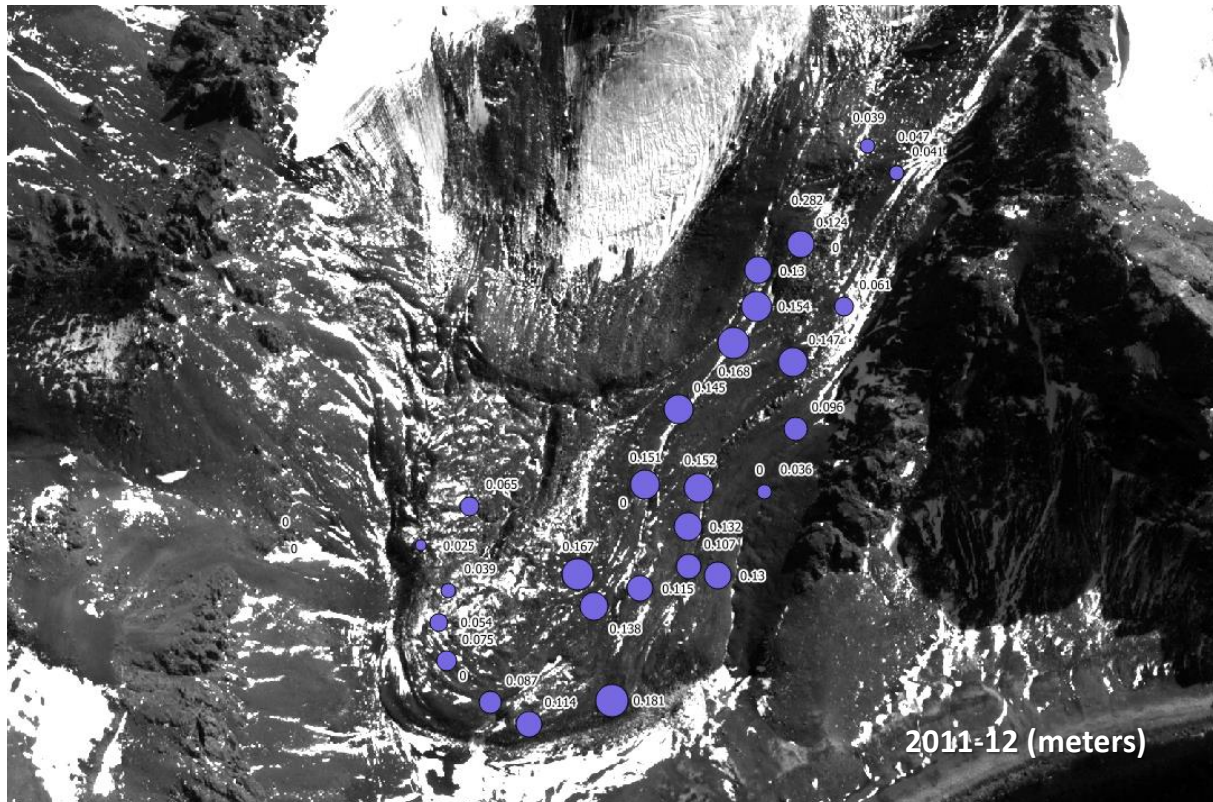
A equipa do PROPOLAR<sup>2</sup> apresentou em 2014 dados relativos á deformação da superfície, resultantes do descongelamento do *permafrost* e deformação da camada activa. Durante um período de três anos foi observada a movimentação de estacas assentes no solo através de técnicas *DGPS*. As medições em modo *RTK*<sup>3</sup> permitiram alcançar precisão milimétrica. Os valores do movimento descendente variaram entre 3 a 35 cm/ano, com valores médios de 11 a

---

<sup>2</sup> O PROPOLAR é uma iniciativa coordenada pelo CEG/IGOT-UL, que pretende manter as condições logísticas para a realização das missões científicas portuguesas na Antárctida e no Ártico.

<sup>3</sup> *Real Time Kinematic (RTK)* - técnica de posicionamento relativo que envolve estações de referência *GNSS*. A estação de referência provê correções instantâneas para o receptor móvel, o que faz com que a precisão obtida chegue ao nível centimétrico.

15 cm/ano sobre o glaciário rochoso (Figura 5). A variabilidade inter-anual foi pequena. As taxas mais rápidas de deslocamento ( $> 15$  cm/ano) observaram-se na parte oriental do glaciário rochoso, enquanto que as mais lentas ( $< 8$  cm/ano) foram observadas na parte oposta. (Vieira, Prates, Catalão e Correia, 2014)



**Figura 5** - Taxas de deformação (metros) em todas as estacas (GNSS). Fonte: Vieira *et al*, 2014.

#### 2.4 Fotogrametria tipo “*Structure-from-Motion*”

Os levantamentos topográficos de alta resolução, estão geralmente associados a custos elevados, devido aos equipamentos utilizados e à logística associada às operações. A requisição desse tipo de serviços a empresas especializadas em fotogrametria e/ou *LiDAR* é por isso, comum. Para muitas aplicações nas ciências da terra, o afastamento e/ou inacessibilidade de muitos locais pode aumentar ainda mais esses custos. Recentemente, tem sido utilizada uma técnica de baixo custo para obtenção de conjuntos de dados de alta resolução numa variedade de escalas, denominada *SfM*. Por contraste com os métodos de fotogrametria digital, onde são necessários os parâmetros da imagem e pontos fotogramétricos, de modo a facilitar a triangulação e restituição, a tecnologia *SfM* permite -

usando algoritmos - a captura de imagens com uma combinação de lentes e câmaras não calibradas. Os pontos homólogos são encontrados nas imagens com sobreposição, obtidas a partir de posições e orientações relativas a um objecto ou conjunto de objectos. A calibração da câmara, parâmetros da imagem e pontos homólogos 3D são resolvidos simultaneamente. Esta característica separa a tecnologia *SfM* de outros algoritmos fotogramétricos que requerem câmaras calibradas. A partir de um conjunto de imagens obtidas com uma câmara digital de baixo custo é possível gerar modelos digitais de elevação de alta resolução; comparações realizadas entre modelos obtidos por *SfM* e *LiDAR* revelaram que pode ser alcançada uma precisão vertical de ordem decimétrica, mesmo para locais de topografia complexa (Westoby *et al*, 2012).

## Capítulo 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Fotogrametria Tradicional

A fotogrametria pode ser definida como a técnica e a arte de obter informações de confiança sobre objectos e meio ambiente, através de processos de registo, medições e interpretações de imagens fotográficas. A fotografia aérea com finalidades fotogramétricas é realizada com câmaras métricas aero-transportadas. Nestas câmaras, os cones são rígidos, isto é, a distância focal<sup>4</sup> é constante. O cone contém ainda, processos de imprimir no filme algumas indicações importantes como as marcas fiduciais<sup>5</sup>, o valor da distância focal, o número de série da fotografia, o mostrador do altímetro, etc. Para fotogrametria de alta precisão, onde o objectivo principal é a medição precisa de coordenadas na fotografia, é comum utilizar-se filme preto e branco, de grão fino, com maior definição que o colorido. Podem distinguir-se dois tipos de filmes preto e branco: o ortocromático, sensível apenas ao azul e verde, e o pancromático, sensível ao verde, azul e vermelho. O conhecimento das características da câmara, que podem provocar determinadas distorções, permite efectuar correcções, tidas em consideração na fotogrametria de alta precisão. Para se conhecerem estas distorções, utilizam-se métodos de

---

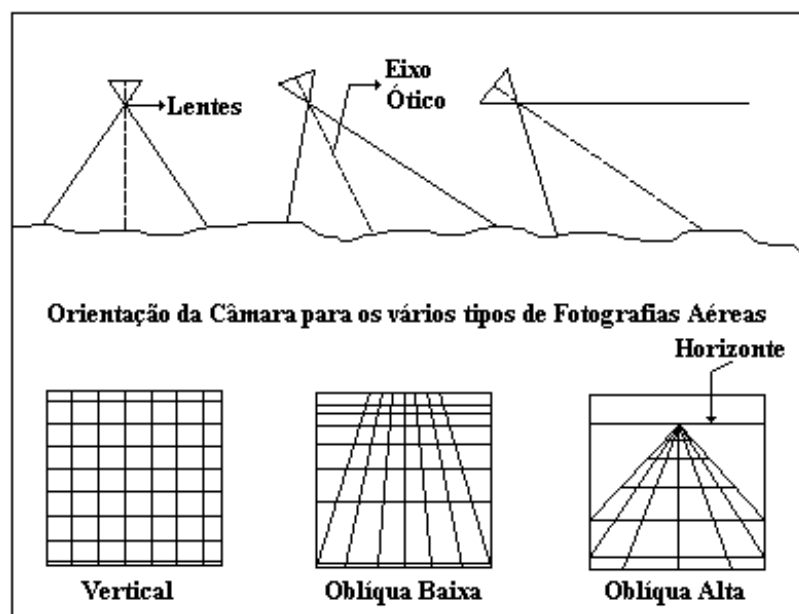
<sup>4</sup> Distância focal - característica de um sistema óptico; é a partir dela que se define a maior ou menor aproximação de uma imagem.

<sup>5</sup> Marcas fiduciais - conjunto de marcas existentes nas margens de uma fotografia aérea vertical, que permitem materializar o sistema de coordenadas foto; servem para localização do ponto principal em cada fotografia.

calibração que fornecem alguns elementos, que devem depois constituir um relatório, ou certificado de calibração, que deve acompanhar as imagens obtidas, quando estas se destinam a restituição fotogramétrica. O emprego da fotogrametria em relação a outros métodos de medição, como a topografia, traduz-se em inúmeras vantagens, tais como:

- recolha de fotografias relativamente rápida;
- relação custo/tempo;
- disponibilização de um registo denso de informação, com a cobertura de grandes áreas;
- avaliação de fenómenos dinâmicos e objectos inacessíveis;
- permite efectuar medições de objectos em zonas de difícil acesso;
- actualização de cartografia em tempo reduzido.

A fotografia aérea classifica-se em vertical ou oblíqua. Nas aplicações fotogramétricas para elaboração de cartografia, a fotografia geralmente utilizada é a vertical (Figura 6), isto é, o eixo óptico da câmara coincide com a vertical do lugar no momento em que é tirada a fotografia.

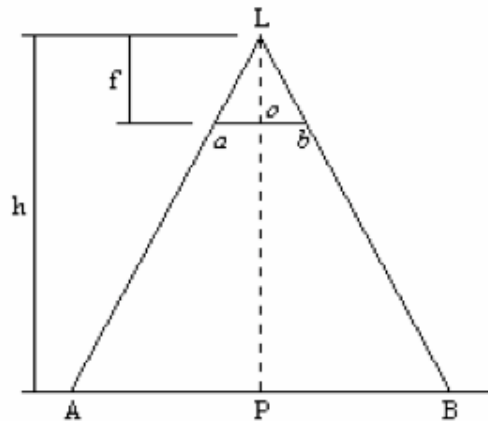


**Figura 6** - Geometria de aquisição de fotografias aéreas. Fonte: UEFS, 2015.

Outro conceito importante em fotogrametria é o de escala da fotografia. O valor da escala  $E$  de uma fotografia aérea vertical em relação ao terreno plano é dado pela razão do comprimento de um objecto na imagem e a correspondente medida no solo (Figura 7). Pode

ser expressa também, em função da distância focal  $f$  e da altitude de vôo acima do terreno  $h$ , através da expressão:

$$E = ab/AB = f/h$$



**Figura 7** - Escala média de vôo. Fonte: Prates, G. et al 2007.

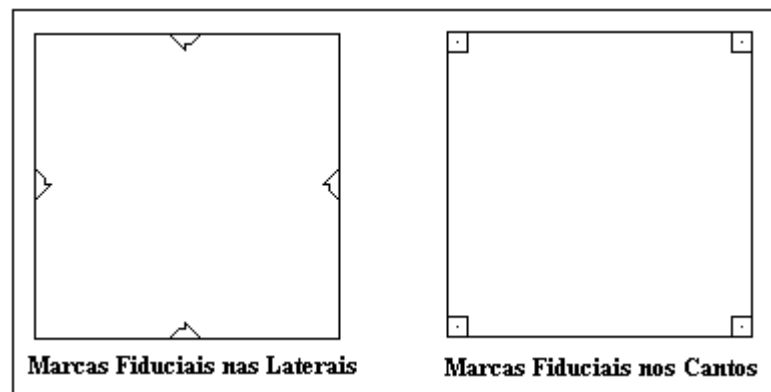
Se existir variação de cota no terreno fotografado, a altitude do vôo vai variar, e, conseqüentemente, a escala da fotografia também. Assim sendo, uma fotografia sobre terreno acidentado tem um número indeterminado de escalas diferentes, e por conveniência, adota-se uma escala média, que se define como a escala de um objecto colocado à cota média ( $C_{med}$ ) do terreno fotografado. Sendo conhecida a altitude de vôo  $H$  acima do nível médio do mar, a escala média resulta em:

$$E_{med} = f/(H - C_{med})$$

Quando a escala é determinada a partir da razão entre distâncias medidas na fotografia, e as suas correspondentes no terreno ou carta, a escala calculada é referente à cota média entre os dois pontos utilizados para essa medição.

O sistema de referência que geralmente se adopta para as coordenadas foto, é formado pelos eixos ortogonais (linhas fiduciais) que resultam da união de marcas fiduciais opostas (Figura 8), isto quando as marcas fiduciais assinalam o ponto médio de cada um dos lados da fotografia. Quando estas marcas estão localizadas nos cantos, o resultado da sua união são

linhas oblíquas. Em qualquer dos casos, a origem do sistema de coordenadas é a intersecção das linhas fiduciais (centro de colimação).



**Figura 8** - Marcas fiduciais de um fotograma Fonte: UEFS, 2015.

A definição das coordenadas foto é importante, pois é a partir destas que se determina a distância entre pontos e a medição de ângulos entre direcções. Quando no instante da exposição fotográfica, um ponto do terreno, a sua imagem fotográfica e o centro do sistema óptico da câmara se encontram sobre uma mesma recta, é possível estabelecer uma relação geométrica entre as coordenadas topográficas desse ponto e as suas coordenadas foto, e isto é conhecido como relação de colinearidade, que pode ser expressa matematicamente.

Explorando a relação entre as coordenadas topográficas com as coordenadas foto, através do cálculo matricial, é possível definir os parâmetros da imagem, e o conhecimento destes permite determinar as coordenadas foto de um ponto do terreno cujas coordenadas topográficas sejam já conhecidas. A determinação das coordenadas topográficas de um ponto, a partir das suas coordenadas foto e dos parâmetros da imagem, resolve-se, em fotogrametria, com recurso a um par de imagens do mesmo elemento da superfície do terreno, obtidas em duas posições próximas, ao longo da linha de vôo. Esse par designa-se como par estereoscópico e permite determinar a posição topográfica de um ponto X do terreno, a partir das coordenadas foto e parâmetros de orientação do feixe perspectivo no sistema de referência terreno, das duas imagens. A reconstituição da geometria de aquisição das imagens de um par estereoscópico e geração de um MDE, a que se pode chamar modelo estereoscópico, é feita com restituidores analíticos ou digitais (estações fotogramétricas digitais). Os restituidores convencionais ou analógicos, possuem dois projectores onde são colocados os diapositivos do par estereoscópico. A geometria interna dos projectores é tornada semelhante à geometria da

câmara métrica que adquiriu o par, numa operação designada por Orientação Interna (OI). Após essa operação, os dois projectores são colocados numa posição relativa semelhante à da câmara aerofotogramétrica, no instante de aquisição do par de imagens, posição essa que é adequada à formação de um par estereoscópico. Esta operação designa-se por Orientação Relativa (OR). Em seguida é necessário proceder à Orientação Absoluta (OA) do modelo estereoscópico. Esta operação permite determinar os parâmetros de escala, rotação e translação, que permitem orientar, nivelar e definir a escala do modelo estereoscópico. Desta forma, é possível medir as coordenadas de pontos bem identificados no modelo estereoscópico, relativas a um referencial cartesiano tridimensional, associado a esse mesmo modelo. A fotogrametria digital integra os conceitos da fotogrametria clássica, substituindo porém, os métodos analógicos (restituidores), por computadores (*hardware* e *software*). Neste caso, as imagens *raster*<sup>6</sup> obtidas por câmaras digitais, ou convertidas através de *scanner*, são processadas em computador, utilizando *software* específico (*software* fotogramétrico). Estes sistemas realizam a OI e OR de um par estereoscópico, de modo automático ou interactivo. Após essas orientações, as imagens do par são apresentadas num *display*, em sistema de visão estereoscópica, o que permite ao operador ver o modelo tridimensional, e realizar medições sobre o mesmo.

No caso deste projecto, utilizou-se um *software* fotogramétrico do tipo *SfM* (Agisoft PhotoScanPro v1.0 - 30 day trial), que reúne um conjunto de características muito interessantes, entre as quais se destacam:

- utilização de fotografias não necessariamente obtidas por câmaras métricas;
- processamento de imagens verticais e oblíquas;
- orientações interna e relativa substituídas por funções automatizadas (geração de “nuvem” de pontos);
- orientação absoluta semi-automática;
- produção de ortoimagens;
- possibilidade de exportação de dados 2D e 3D em diversos formatos.

---

<sup>6</sup> Imagem *raster* - forma de apresentação de uma imagem, através de matrizes de células, cada uma contendo um atributo, neste caso será a cor ou tonalidade de cinzento.

### 3.2 Detecção Remota

A Detecção Remota é o processo que permite extrair informação de um objecto, área ou fenómeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não esteja em contacto directo com o objecto, área ou fenómeno em estudo. Esses dispositivos são designados por sensores remotos e distinguem-se de acordo com o tipo de informação que é captada, que pode ser na forma de ondas acústicas, ondas electromagnéticas ou outras formas de energia, sendo as segundas particularmente interessantes no âmbito deste projecto, pois que a radiação electromagnética reflectida ou emitida pela Terra, é captada pelos sensores de plataformas aéreas ou orbitais e traduzida em imagens multiespectrais. Pode-se definir uma imagem multiespectral de um objecto na superfície da Terra, como o registo, em várias bandas espectrais, da radiância desse objecto. Em cada elemento da área do terreno, a informação registada, por banda espectral, é um número inteiro proporcional à radiância desse elemento de área. A imagem numérica que o utilizador recebe para processamento consiste num conjunto de matrizes inteiras, tantas quantas as bandas espectrais em que a imagem foi registada. Cada elemento da matriz é designado por *pixel*, e o número inteiro atribuído a cada um é designado por nível de intensidade de brilho ou nível de cinzento. Os comprimentos de onda que não são filtrados pela atmosfera, são os utilizados na detecção remota, e a qualidade dos dados obtidos (imagens), consiste na sua resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. A energia electromagnética (Figura 9) é o suporte de informação da detecção remota, e propaga-se em linha recta com uma velocidade constante e igual a  $C_0 = 299792456$  metros por segundo, velocidade da luz no vácuo.

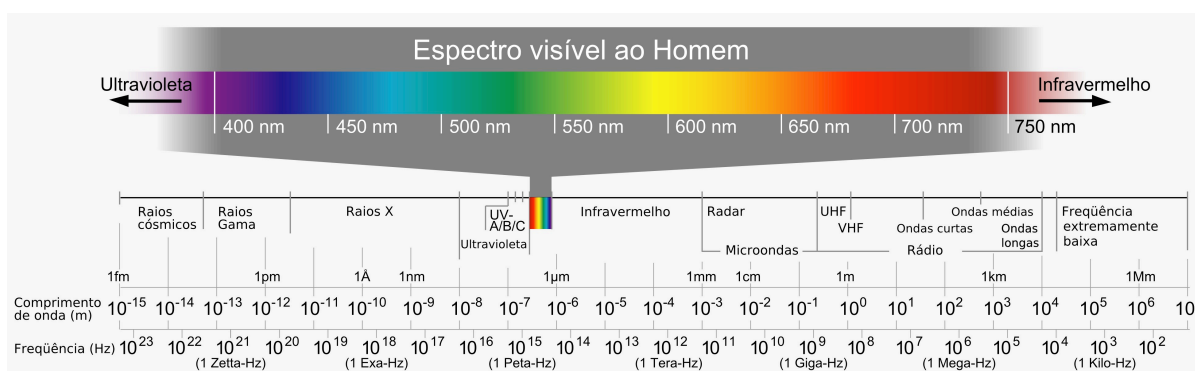


Figura 9 - Espectro electromagnético.

Um sistema de detecção remota é composto por quatro componentes:

- fontes de luz natural ou artificial: estas produzem diferentes comprimentos de onda electromagnéticos no tempo e espaço;
- interacções com a atmosfera, o que influencia a recepção de energia electromagnética no sensor e modifica a informação espectral dos objectos;
- interacções com a superfície terrestre, que refletem os diferentes comprimentos de onda electromagnéticos, permitindo assim a diferenciação espectral dos objectos;
- sensor: regista os diferentes comprimentos de onda que são reflectidos ou emitidos pelos objectos.

Entre os sensores mais conhecidos estão o Landsat, o Ikonos e o Quickbird. Este último, possui um sistema de *scanner along-track/across-track* e capta imagens na banda do visível (pancromáticas - preto e branco) e multiespectrais com resoluções espaciais de 61 e 244 cm, respectivamente. Estas imagens podem ser utilizadas em *software* de processamento digital de imagem ou SIG. Em resumo, a detecção remota permite identificar os objectos espacialmente, em termos de posição e dimensão, e consegue caracterizar os seus atributos a partir das respectivas assinaturas espectrais. Com esta informação torna-se possível criar elementos cartográficos de extrema importância e utilidade, em vários domínios.

### **3.3 Ortorrectificação de imagens aéreas e orbitais**

A realização de medições rigorosas em imagens, implica um processo prévio de orrorrectificação que tem como finalidade, a correcção geométrica das mesmas. Só no final deste processo é que uma imagem pode ser considerada como tendo as propriedades geométricas adequadas, idênticas às de uma projecção paralela cartográfica de um modo geométrico, para utilização de forma mais precisa no cálculo exacto de áreas e distâncias. Mas para tal, é necessário dispor de informação sobre o relevo da área, que pode ser obtida através de um MDE; para a produção destes, e também de ortoimagens são utilizadas técnicas fotogramétricas.

A fonte de informação para a produção da cartografia essencial para este estudo, são as fotografias aéreas e imagens de satélite. Enquanto no primeiro caso, e a partir de um par estereoscópico, um *software* do tipo *SfM* permite realizar automaticamente a orrorrectificação,

e obter ortoimagens cuja melhor ou pior qualidade dependerá tanto da exactidão das coordenadas dos pontos fotogramétricos como da sua correcta distribuição nas imagens, para a ortorrectificação de imagens orbitais é necessário utilizar um *software* e conjunto de procedimentos específico. Entre outros métodos, destaca-se o processo de ortorrectificação de imagens de satélite com recurso ao *software* PCI Geomatica - 30 day trial, desenvolvido pela Digital Globe<sup>7</sup>, e utilizado neste trabalho.

A ortorrectificação consiste, além da correcção geométrica com pontos de controlo, na eliminação de um deslocamento radial dos elementos de imagem ao longo de cada linha. Este deslocamento radial, que se verifica ao longo das linhas da imagem, é devido ao facto da mesma ser obtida por um sistema de projecção que utiliza uma geometria projectiva central ou não paralela (Fonseca, A., Fernandes, J., 2004). Esse deslocamento é corrigido, reposicionando os elementos da imagem, ao longo de cada linha (linha da matriz), e introduzindo um deslocamento no sentido do traço da órbita, onde é necessário conhecer a altitude  $H$  do elemento de terreno correspondente, e o ângulo  $\alpha$  em relação ao nadir com que a imagem foi adquirida. As imagens Quickbird são constituídas por grupos de linhas, adquiridas à medida que o satélite avança na sua órbita. Assim, diferentes partes da mesma imagem são adquiridas a partir de diferentes posições do sensor. De forma a descrever, de forma rigorosa, a transformação de coordenadas da imagem em coordenadas da superfície da Terra, utilizam-se modelos matemáticos denominados por Coeficientes Polinomiais Racionais, que relacionam a imagem (posição das linhas e colunas) com a latitude, longitude e elevação da superfície. Uma única imagem envolve dois desses polinómios racionais, um para calcular a posição da linha e outro para a posição da coluna. Os coeficientes destes dois polinómios racionais são calculados pela DigitalGlobe a partir da posição e orientação orbital do satélite, e do modelo de sensor físico rigoroso. Utilizando uma imagem de satélite georreferenciada, os respectivos coeficientes polinomiais racionais e um MDE para fornecer valores de elevação, um *software* específico permite calcular a posição geográfica adequada para cada célula da imagem, produzindo uma imagem ortorrectificada.

---

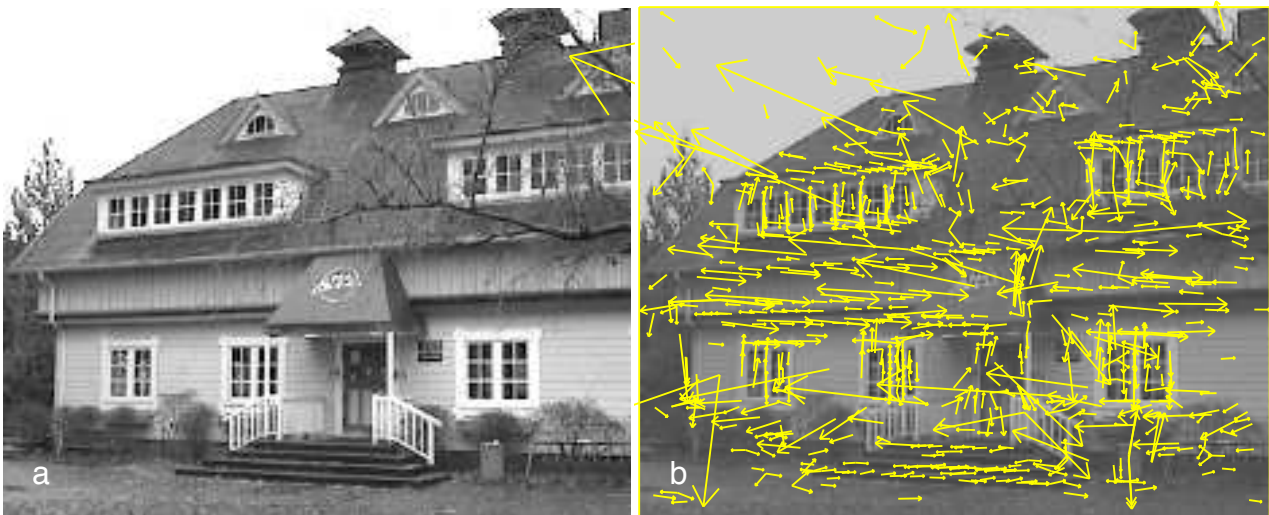
<sup>7</sup> DigitalGlobe - empresa americana que fornece imagens comerciais do espaço e conteúdo geoespacial.

### 3.4 Structure-from-Motion

A técnica *SfM* baseia-se nos mesmos princípios básicos da estereoscopia, ou seja, que uma estrutura tridimensional pode ser resolvida a partir de uma série de sobreposições de imagens (Westoby *et al.*, 2012). A diferença fundamental desta técnica, em relação à fotogrametria tradicional, é que a geometria dos objectos, posições da câmara fotográfica e orientação, são resolvidas automaticamente sem a necessidade prévia de uma rede de pontos de controlo coordenados num sistema de referência 3D. Esses parâmetros são determinados à custa de procedimentos de cálculo iterativo suportados numa base de dados de características, extraídas automaticamente das imagens sobrepostas (Westoby *et al.*, 2012). A geometria dos objectos e a posição da câmara são reconstruídos em simultâneo através de uma identificação automática de características equivalentes, nas várias imagens. Contrariamente à fotogrametria tradicional, as posições da câmara derivadas do *SfM* são desprovidas da escala e orientação, usualmente fornecidas por uma rede de pontos de controlo. A “nuvem” de pontos 3D é obtida num sistema de coordenadas relativo, que deverá ser “alinhado” com um referencial absoluto; esta transformação é conseguida utilizando-se um pequeno número de pontos de controlo com posição 3D conhecida.

A problemática essencial do *SfM* é a determinação 3D das características equivalentes em múltiplas imagens, obtidas a partir de ângulos diferentes. Isto é conseguido em três fases. Na primeira, uma das soluções é o sistema de reconhecimento de objectos, método conhecido por *Scale Invariant Feature Transform (SIFT)*. Este algoritmo identifica características que não variam com a escala e rotação da imagem. Os pontos de interesse (*keypoints*) são automaticamente identificados em cada imagem, e seguidos por um descritor de características, calculado através de uma transformação local dos gradientes da imagem, em uma representação não sensível à luminosidade e orientação (Figura 10). Estes descritores exibem características únicas o suficiente, para permitir que se estabeleça correspondência, mesmo num grande número de imagens. Na segunda fase, e após a identificação de *keypoints* e atribuição dos descritores, é utilizado um sistema de ajustamento para estimar a posição da câmara e extrair uma “nuvem” de pontos dispersa. Assim, são determinados os parâmetros de orientação intrínsecos (distância focal, ponto principal e distorção radial) e extrínsecos (localização do centro de projecção e seis parâmetros de orientação exteriores, que definem a imagem). Finalmente, é utilizada uma triangulação para estimar a posição 3D dos pontos e

reconstruir a geometria do cenário, fixado a um sistema de coordenadas relativo. Nesta terceira fase, são utilizados os parâmetros determinados, uma reconstrução estereoscópica e todos os píxeis das imagens, para produzir uma “nuvem” densa de pontos e uma representação densa da superfície, designada por *mesh* (Agisoft, 2014). A vantagem evidente do método *SfM* sobre a fotogrametria digital convencional, é a automatização de todo o processo, desde a extracção de *keypoints* à reconstrução precisa do cenário.



**Figura 10** - Efeitos da selecção de *keypoints* numa imagem original (a) de baixa resolução. A orientação, escala e localização de cada *keypoint*, são dados por um vector (b). Fonte: Lowe, 2004

## Capítulo 4. Metodologia e resultados

### 4.1 Península de Hurd (1956 - 1957)

Através do USGS, foi possível adquirir um conjunto de fotogramas históricos da Península de Hurd (Ilha de Livingston), obtidos em 1956 e 1957 com uma câmara métrica Fairchild, num vôo da responsabilidade do BAS, tendo sido posteriormente digitalizados pelo USGS através de um *scanner* de alta resolução. Entre fotografias verticais e oblíquas, estas devem ser as imagens mais antigas de que se tem conhecimento, obtidas em vôo fotogramétrico na região da Península Antártica.

O glaciário rochoso de Hurd está localizado na parte Sudeste da Península de Hurd, num círculo glacial no sopé de um conjunto de picos rochosos que se elevam até aos 301 metros de altitude, sendo formado por arenitos, xistos finos e grauvaques (Figura 11).



**Figura 11** - Glaciar rochoso de Hurd - Ilha Livingston. Fonte: Serrano e Martínez, 2000.

Este glaciar rochoso de tamanho médio e que termina em frente a uma praia, tem um formato estreito e comprido, apresenta sulcos profundos e depressões de características glacio-cársicas (Serrano e Martínez, 2000). Para esta área de interesse, e do conjunto total de imagens (apenas verticais), foram identificadas seis que constituem três fiadas distintas e relativas às épocas de Dezembro - 1956, Janeiro -1957 e Dezembro - 1957.

Considerou-se a restituição destas imagens da seguinte forma: três fiadas independentes, de modo a poder obter-se dali três modelos estereoscópicos. Os três modelos permitiriam produzir três ortoimagens que seriam sujeitas a comparação e análise. Com auxílio de um *software* SIG, seria necessário realizar observações/medições sobre as três ortoimagens e verificar que não existiam desvios em alguns pontos críticos comuns, previamente definidos (zonas estáticas). Este conjunto de observações permitiria verificar a precisão e consequente qualidade do método utilizado.

Apesar dos metadados disponíveis, não existe informação relativa ao certificado de calibração da máquina fotográfica utilizada nem do tipo ou marca da película, mas através da pesquisa bibliográfica efectuada, verificou-se que na década de 1950 eram utilizados essencialmente filmes da marca Kodak: o Verichrome e Plus-X, ambos pancromáticos e

específicos para fotografia aérea, representavam o melhor da tecnologia, para aquela época (ver Anexo A). Segundo as informações, poderia ter sido utilizado um destes filmes, que possuem características semelhantes. As especificações indicam um poder de resolução<sup>8</sup> 55 *lp/mm* para o Plus-X. Não se sabendo ao certo qual o tipo de filme utilizado, considerou-se que teria um poder de resolução 40 *lp/mm*, uma vez que este é o valor de referência mais baixo dos filmes utilizados nessa época (Lillesand, 1994). Os efeitos de escala e resolução são combinados para expressar a qualidade da imagem em termos de Resolução de Distância no Terreno (inglês: *GRD - Ground Resolution Distance*); esse valor exprime a resolução do sistema dinâmico de um filme, em distância no terreno (Lillesand, 1994):

$$GRD = 26000/40 = 650 \text{ mm} = 0,65 \text{ m}$$

Este resultado assume que se está a lidar com um filme original, à escala a que foi exposto, e por isso, esta estimacão deve ser utilizada com precaucão, atendendo a uma srie de variáveis desconhecidas. Desta forma, não se pode esperar que a resolucão geométrica das imagens tenha um valor melhor que 0,65 m (considerou-se a escala 1:26000), que foi, contudo, garantido pelo processo de digitalizacão.

Os pontos fotogramétricos foram obtidos exclusivamente de cartografia 1:25000 oficial, da Ilha de Livingston, produzida pelo Servicio Geográfico del Ejército (Espanha), em 1991 (Figura 11). Essa cartografia foi cedida pelo CEG-UL, no formato de um arquivo *raster* não georreferenciado e com uma resolucão 200 *DPI*. Utilizando um *software SIG open source*<sup>9</sup> (Qgis), procedeu-se à georreferenciacão da imagem, utilizando para isso as coordenadas das quadrículas UTM lidas a partir das referências indicadas nas margens (consultar Anexo B). O sistema de referência utilizado foi o WGS84/UTM - zona 20S.

Nas imagens da Península de Hurd, e atendendo a que se pretendia estudar a dinâmica do *permafrost*, observaram-se locais não sujeitos a alteracões significativas ao longo do tempo, portanto, estruturas imóveis ou locais considerados estáticos, tais como rochas firmes ao longo da enseada e cumes rochosos, evitando-se zonas cobertas por neve. Foi possível

---

<sup>8</sup> Poder de resolucão - a determinacão da resolucão de um filme a partir da distincão de linhas numa imagem-teste traduz-se em poder de resolucão e expressa-se em pares de linhas por milímetro (inglês: *lp/mm - line pairs per milimeter*)

<sup>9</sup> *Open source software* - programa de código aberto (inglês: *open source*), deve garantir a sua distribuicão livre, incluir o código fonte e licenca não específica a um produto, entre outros.

identificar esses mesmos locais na cartografia e fazer uma leitura das suas coordenadas planimétricas e altimétricas. Estes locais constituíram, portanto, os pontos fotogramétricos.



**Figura 12** - Extracto da cartografia 1:25000 da Ilha de Livingston. Fonte: SGE, 1991.

O objectivo da restituição seria obter modelos digitais de elevação e ortomagens, ambos de alta resolução. O facto de se pretender produzir ortomagens com resolução geométrica de 0,65 metros, utilizando para isso, pontos fotogramétricos lidos numa carta com erro de graficismo<sup>10</sup> de  $\pm 5$  metros, associado à escala, não pode considerar-se desadequado, uma vez que o objectivo não era a produção de cartografia oficial, mas sim, a medição de deslocamentos superiores a 5 metros. Segundo Vieira *et al.* (2014), as medições realizadas

<sup>10</sup> Erro de graficismo ou precisão gráfica - nome dado ao raio de menor círculo, no interior do qual se pode marcar um ponto com os recursos do desenho técnico. Este valor é de 0,2mm para os desenhos manuais de topografia.

com GNSS<sup>11</sup> na temporada 2012-2103, permitiram observar movimentos superficiais do glacial rochoso de Hurd (camada activa + *permafrost creep*<sup>12</sup>), com uma velocidade média de  $\pm 15$  cm/ano. Entre as épocas de 1956 e 2010, considerando-se a velocidade de 15 cm sem variação inter-anual, seria de esperar um deslocamento total de 8,10 metros, portanto, observável nas ortoimagens produzidas.

A restituição foi realizada com recurso ao *software* Agisoft PhotoscanPro v1.0 - 30 day trial, que possui um conjunto de características muito interessante, e atendendo à tecnologia *SfM*, boa parte das funções são automáticas, o que facilitou imenso as tarefas. As operações são realizadas segundo um fluxo de trabalho (*workflow*):

- importação das imagens para o *software*;
- introdução de alguns parâmetros dos fotogramas: distância focal e tamanho (*pixel size*, em milímetros);
- *aligning photos* - função automática que procura pontos comuns nas imagens e estabelece correspondência entre eles, assim como define a posição da câmara para cada imagem; daqui resulta uma “nuvem” de pontos dispersa;
- *build dense cloud* (função automática que permite construir uma “nuvem” densa de pontos tridimensional, baseada nas posições estimadas da câmara, e nas próprias imagens. A utilização desta ferramenta permite obter um modelo 3D, porém, sem escala e não georreferenciado, o que implica alguma falta de rigor nas proporções;
- Optimização ou Orientação Absoluta: nesta fase foi necessário introduzir pontos de controlo (*ground control points* - Ver Anexos C, D e E) e definir um sistema de coordenadas (WGS84/UTM - zona 20S). O ajustamento dos pontos de coordenadas relativas e parâmetros da câmara é feito através de uma ferramenta de optimização. No final desta operação foi possível aceder a um relatório, que informa, entre outros, sobre os resultados da OA (Tabelas 1, 2 e 3). A avaliação da qualidade da OA foi feita com base no EMQ, como medida de exactidão.

---

<sup>11</sup> *Global Navigation Satellite System (GNSS)* - denominação que contempla sistemas de navegação com cobertura global, além de uma série de infraestruturas espaciais (*SBAS - Satellite Based Augmentation System*) e terrestres (*GBAS - Ground Based Augmentation System*) que associadas, proporcionam um posicionamento com maior precisão e confiança.

<sup>12</sup> *Permafrost creep* - expressão de língua inglesa que pode traduzir-se como deformação do *permafrost*.

#### 4.1.1 Restituição fotogramétrica - Modelo 1 (Dezembro de 1956)

As imagens de Dezembro de 1956 (Figuras 13 e 14) apresentam um bom contraste entre o mar e terra firme; apesar da densa cobertura de gelo e neve é possível identificar o glaciário rochoso de Hurd (Figura 15).



**Figura 13** - Fotografia X26FID0026147 - Península de Hurd. Fonte: USGS, 2014.



**Figura 14** - Fotografia X26FID0026148 - Península de Hurd. Fonte: USGS, 2014.

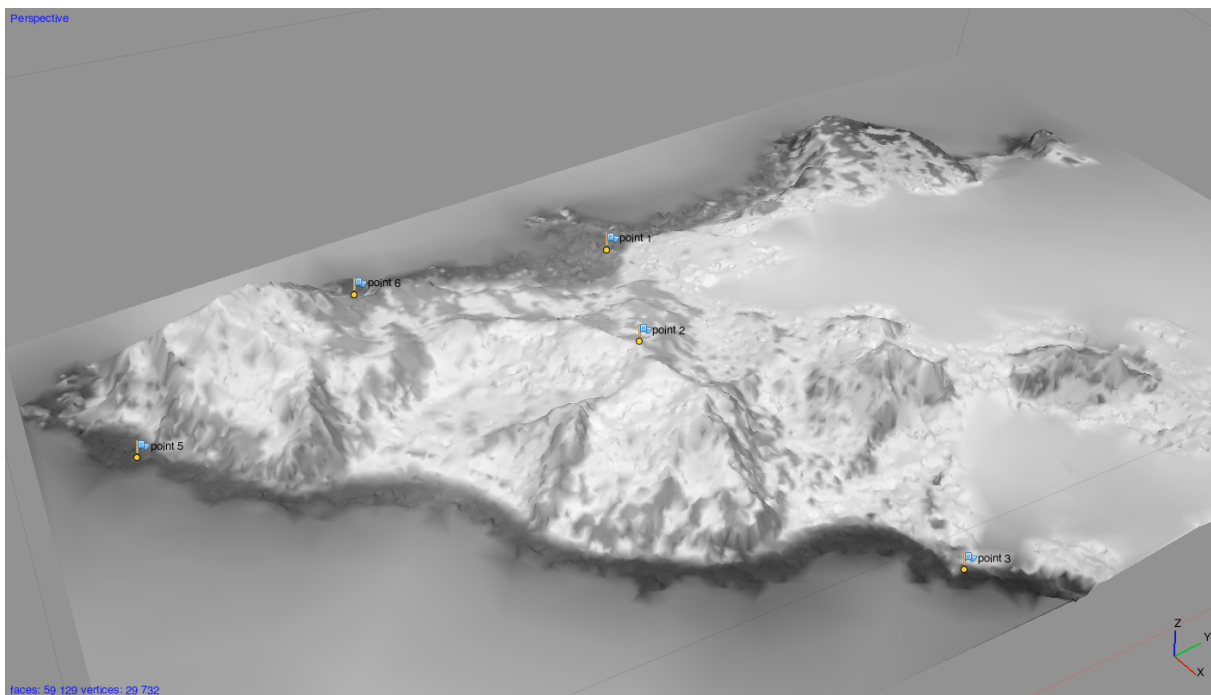
As características dos fotogramas originais são as seguintes: data 17/12/1956, sobreposição de 60%, distância focal 152,87 mm, filme 229 x 229 mm, escala média de vôo 1:26000 e altitude de vôo  $\pm 3960$  m; apresentam uma cobertura de nuvens de 30 a 39%. A resolução das imagens digitais é 1016 *DPI*, o que garante a resolução original dos fotogramas. A resolução espacial é traduzida pelo tamanho de um píxel multiplicado pelo módulo da escala:

$$\text{resolução espacial} = (0,0254/1016) \times 26000 = 0,65 \text{ m}$$

Do alinhamento das imagens e construção de uma “nuvem” de pontos, resulta um modelo 3D adimensional; após a distribuição de cinco pontos fotogramétricos para realização da OA (Anexo C) e otimização do processo (Figura 16) foi possível produzir um MDE (Anexo D), o que possibilitou a exportação automática de uma ortoimagem (Anexo E).



**Figura 15** - Glaciar rochoso de Hurd. Fonte: USGS, 2014.



**Figura 16** - Localização dos pontos de controlo fotogramétricos, sobre o modelo 3D. Na optimização, o sistema de coordenadas relativo é ajustado ao referencial absoluto.

No ajustamento dos resíduos da OA, os valores obtidos foram 0,186 e 0,143 metros, para a planimetria e altimetria, respectivamente (Tabela 1).

| Nº                               | Coordenadas (m) |              |        | Resíduos (m)  |           |              |
|----------------------------------|-----------------|--------------|--------|---------------|-----------|--------------|
|                                  | X               | Y            | Z      | X             | Y         | Z            |
| 1                                | 631834.00       | 3045065.00   | 0.2    | -0.135068     | 0.037304  | -0.333285    |
| 2                                | 632655.00       | 3044570.00   | 276.00 | -0.01099      | 0.006879  | -0.094842    |
| 3                                | 634015.00       | 3044918.00   | 0.1    | -0.027659     | -0.020493 | -0.178187    |
| 5                                | 631821.00       | 3042888.00   | 0.4    | -0.152129     | -0.151372 | -0.381425    |
| 6                                | 631451.00       | 3044006.00   | 0.5    | 0.313633      | 0.085229  | 0.648119     |
| <b>Estatísticas dos resíduos</b> |                 |              |        |               |           |              |
| EMQx = 0,028                     |                 | EMQy = 0,064 |        | EMQxy = 0,186 |           | EMQz = 0,143 |

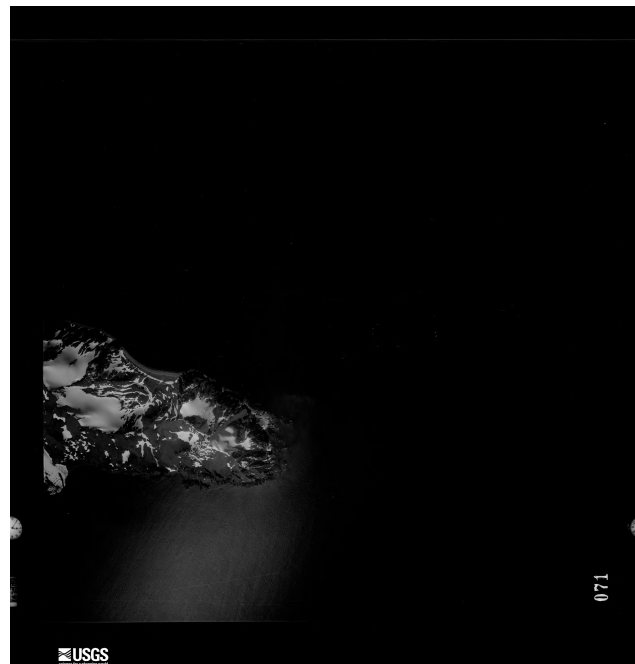
**Tabela 1** - Resultados da Orientação Absoluta (modelo 1).

#### 4.1.2 Restituição fotogramétrica - Modelo 2 (Janeiro de 1957)

O conjunto de imagens de Janeiro de 1957 (Figuras 17 e 18) é o que tem pior contraste. No entanto, esse facto não prejudica a identificação do glaciário rochoso de Hurd; aliás, nestas imagens os seus contornos são mais evidentes, uma vez que a cobertura de gelo e neve é menos densa que nos outros dois modelos (Figura 19). Esta condição, permitirá produzir o melhor MDE de todos os modelos estereoscópicos (Anexo G).

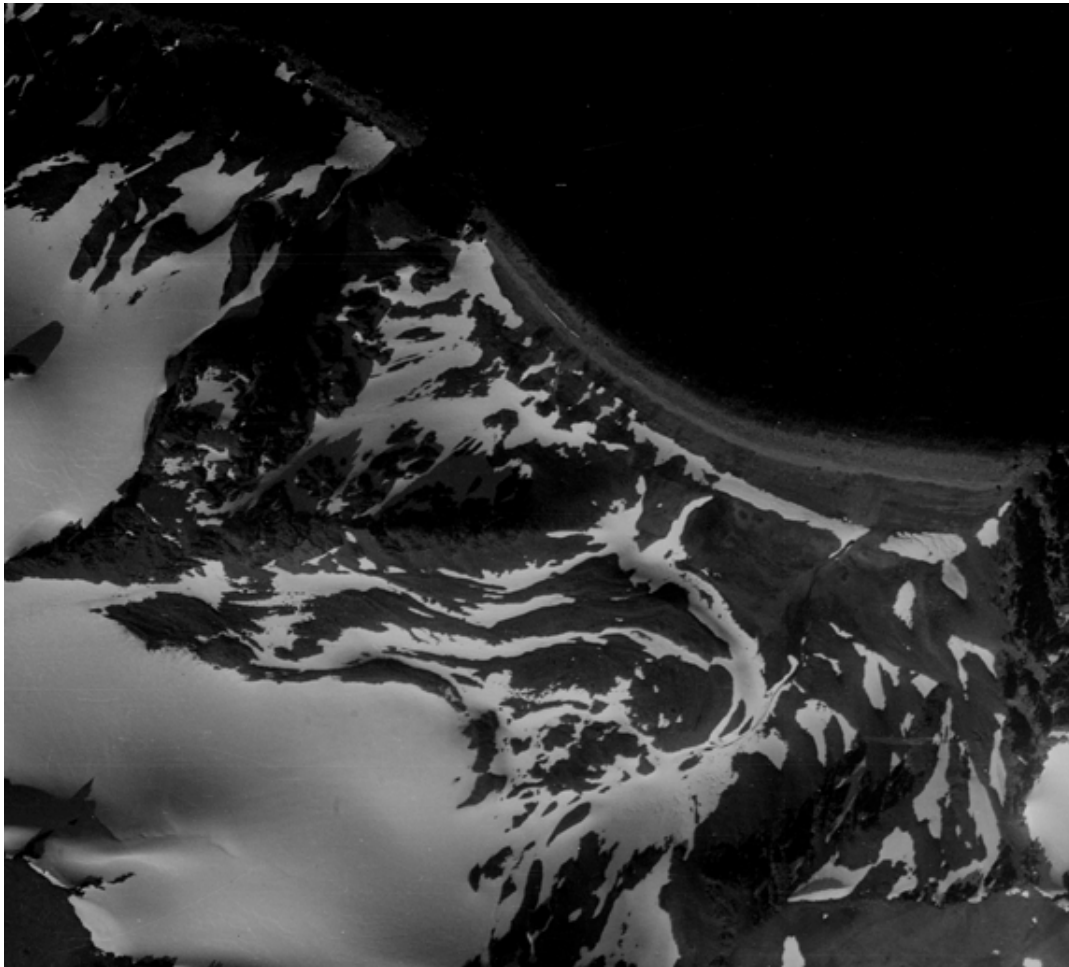


**Figura 17** - Fotografia X26FID0093070 - Península de Hurd. Fonte: USGS, 2014.



**Figura 18** - Fotografia X26FID0093071 - Península de Hurd. Fonte: USGS, 2014.

As características dos fotogramas originais são as seguintes: data 19/01/1957, sobreposição de 60%, distância focal 153,19 mm, filme 229 x 229 mm, escala média de vôo 1:27000 e altitude de vôo  $\pm 4115$  m; apresentam uma cobertura de nuvens de 0 a 9%. A resolução das imagens digitais é 1016 *DPI*.



**Figura 19** - Glaciar rochoso de Hurd. Fonte: USGS, 2014.

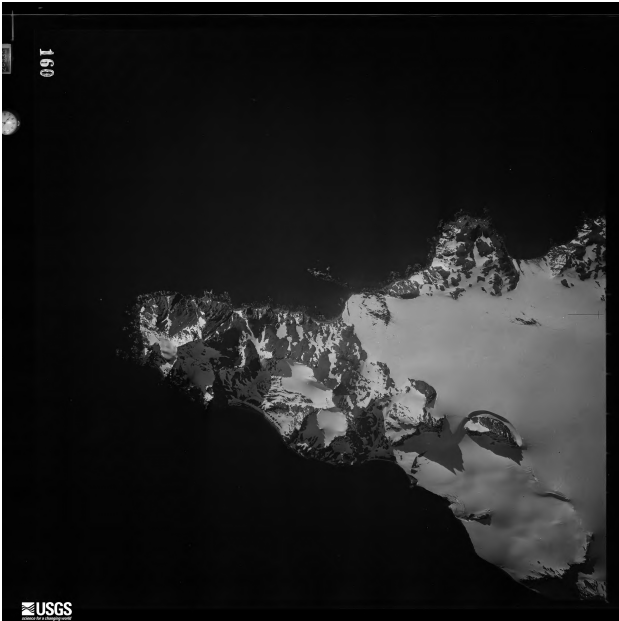
A restituição fotogramétrica foi realizada com quatro pontos fotogramétricos (Anexo F). No ajustamento dos resíduos da OA, o EMQ planimétrico é igual a 0,0012 m e o altimétrico é próximo de zero (Tabela 2). No final do processo foi produzida uma ortoimagem (Anexo H).

| N°                               | Coordenadas (m) |                  |        | Resíduos (m)   |           |                 |
|----------------------------------|-----------------|------------------|--------|----------------|-----------|-----------------|
|                                  | X               | Y                | Z      | X              | Y         | Z               |
| 1                                | 631589.00       | 3043379.00       | 392.00 | -0.000418      | -0.000670 | 0.001875        |
| 2                                | 631167.00       | 3043836.00       | 2.00   | 0.000435       | 0.000669  | -0.001146       |
| 3                                | 632493.00       | 3044480.00       | 276.00 | -0.000982      | -0.000607 | 0.001401        |
| 4                                | 632593.00       | 3043712.00       | 1.00   | 0.001494       | 0.0007850 | -0.003203       |
| <b>Estatísticas dos resíduos</b> |                 |                  |        |                |           |                 |
| EMQx = 0,0000009                 |                 | EMQy = 0,0000005 |        | EMQxy = 0,0012 |           | EMQz = 0.000004 |

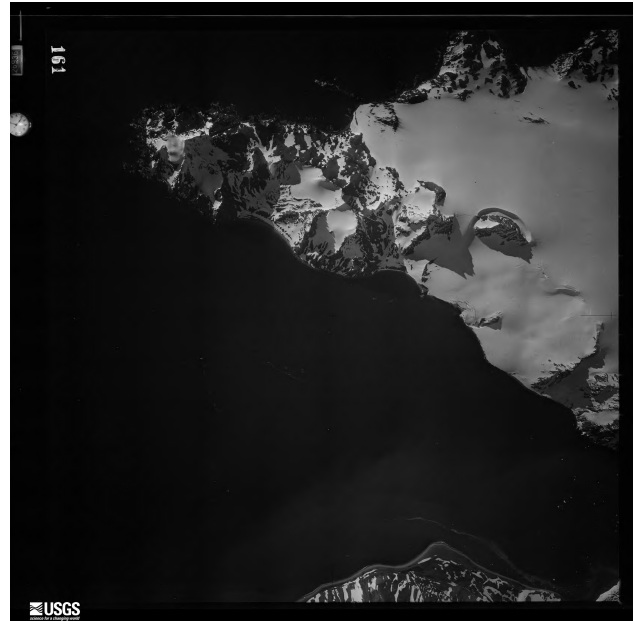
**Tabela 2** - Resultados da Orientação Absoluta (modelo 2).

### 4.1.3 Restituição fotogramétrica - Modelo 3 (Dezembro de 1957)

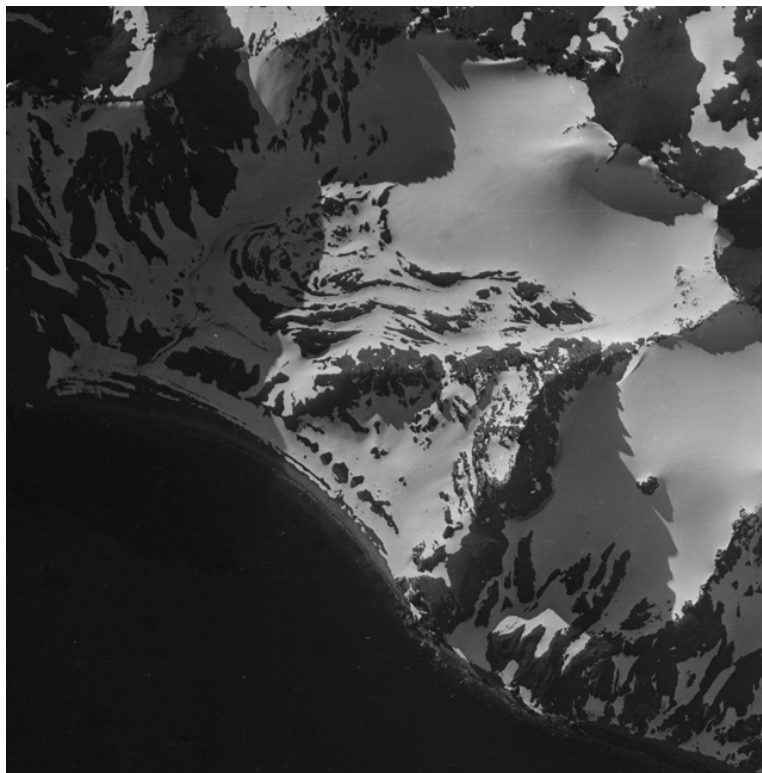
Devido à direcção dos raios solares, as imagens de Dezembro de 1957 (Figuras 20 e 21) apresentam bastante projecção de sombras (Figura 22). Em comparação com o modelo 1, existe menos gelo sobre o glaciário rochoso, o que permite identificar melhor o seu contorno.



**Figura 20** - Fotografia X26FID0052160 - Península de Hurd. Fonte: USGS, 2014.



**Figura 21** - Fotografia X26FID0052161 - Península de Hurd. Fonte: USGS, 2014.



**Figura 22** - Glaciário rochoso de Hurd. Fonte: USGS, 2014.

As características dos fotogramas originais são as seguintes: data 26/12/1957, sobreposição de 60%, distância focal 153,19 mm, filme 229 x 229 mm, escala média de vôo 1:27000 e altitude de vôo  $\pm 4115$  m; apresentam uma cobertura de nuvens de 0 a 9%. A resolução das imagens digitais é 1016 *DPI*. A OA foi feita com o apoio de quatro pontos fotogramétricos (Anexo I); a otimização deste processo permitiu produzir um MDE (Anexo J), e no final, uma ortoimagem (Anexo K). No ajustamento dos resíduos da OA, o EMQ planimétrico é igual a 0,0007 m e o altimétrico é próximo de zero (Tabela 3).

| Nº                               | Coordenadas (m) |                  |        | Resíduos (m)   |           |                 |
|----------------------------------|-----------------|------------------|--------|----------------|-----------|-----------------|
|                                  | X               | Y                | Z      | X              | Y         | Z               |
| 1                                | 631589.00       | 3043379.00       | 392.00 | -0.000149      | -0.000042 | -0.000668       |
| 2                                | 632655.00       | 3044569.00       | 276.00 | 0.000337       | 0.000233  | 0.001157        |
| 3                                | 631170.00       | 3043836.00       | 1.50   | -0.000981      | -0.000647 | -0.001919       |
| 4                                | 634041.00       | 3044864.00       | 1.50   | -0.000641      | -0.000279 | 0.001358        |
| <b>Estatísticas dos resíduos</b> |                 |                  |        |                |           |                 |
| EMQx = 0,0000004                 |                 | EMQy = 0,0000001 |        | EMQxy = 0,0007 |           | EMQz = 0.000002 |

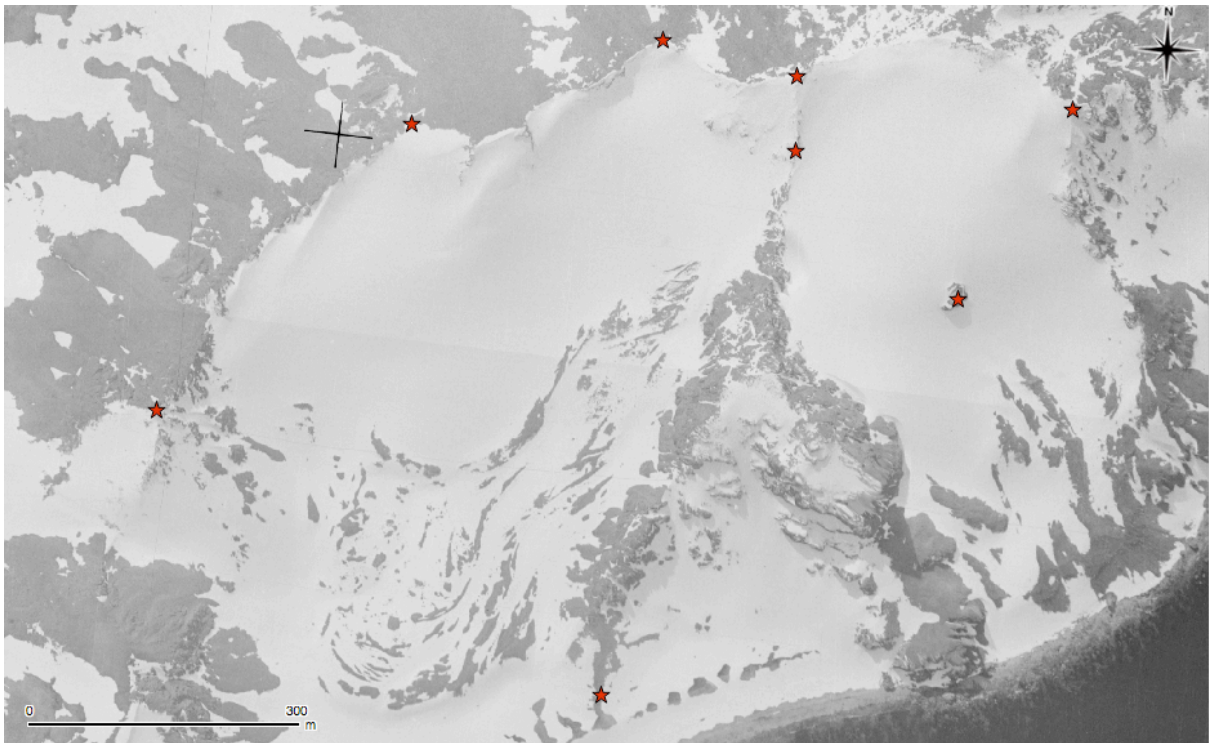
**Tabela 3** - Resultados da Orientação Absoluta (Modelo 3).

#### 4.1.4 Comparação de ortoimagens

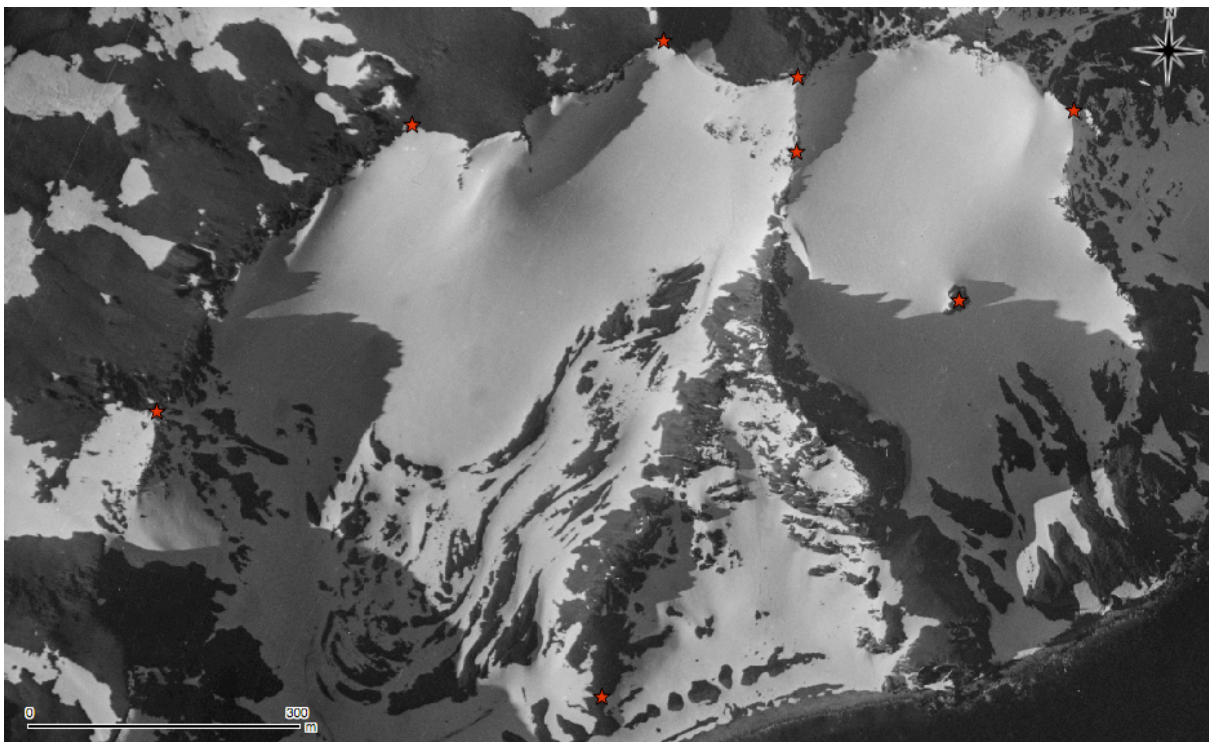
Como medida de controlo da qualidade dos produtos obtidos (MDE e ortoimagens), foram realizadas comparações que permitiram avaliar a sua precisão. As três ortoimagens foram obtidas a partir de modelos diferentes, constituídos por imagens de épocas, perspectivas e escalas diferentes, e sabendo-se que são esperadas diferenças, esta comparação é importante de modo a avaliar a precisão do método utilizado para restituição. Foram utilizadas ferramentas SIG para quantificar os desvios dos pontos críticos nos modelos produzidos, em relação à cartografia 1:25000. Para realizar este estudo, e utilizando o *software* QGIS, todas as ortoimagens foram sobrepostas e foi criado um *shapefile*<sup>13</sup> que representa alguns pontos críticos da cartografia 1:25000 (linhas de cumeeira, cumes ou rochas na enseada). Foram observadas as representações desses pontos sobre as ortoimagens, e medidos os desvios. Em todas as situações, os desvios medidos foram inferiores ao tamanho do píxel da cartografia 1:25000 (Figuras 23 e 24). Através da observação visual dos MDE produzidos, percebe-se que existem diferenças mínimas (Figuras 25 e 26). Após uma reclassificação das imagens *raster*

<sup>13</sup> *Shapefile* - formato de arquivo geoespacial na forma vectorial usado por sistemas de informação geográfica.

verificou-se que o MDE derivado do modelo 2 (Figura 27), é o que representa melhor a superfície do glaciar rochoso, pois exibe maior relevo (Figura 28).



**Figura 23** - Representação dos pontos críticos sobre a ortofotografia derivada do modelo 1.



**Figura 24** - Representação dos pontos críticos sobre a ortofotografia derivada do modelo 3.

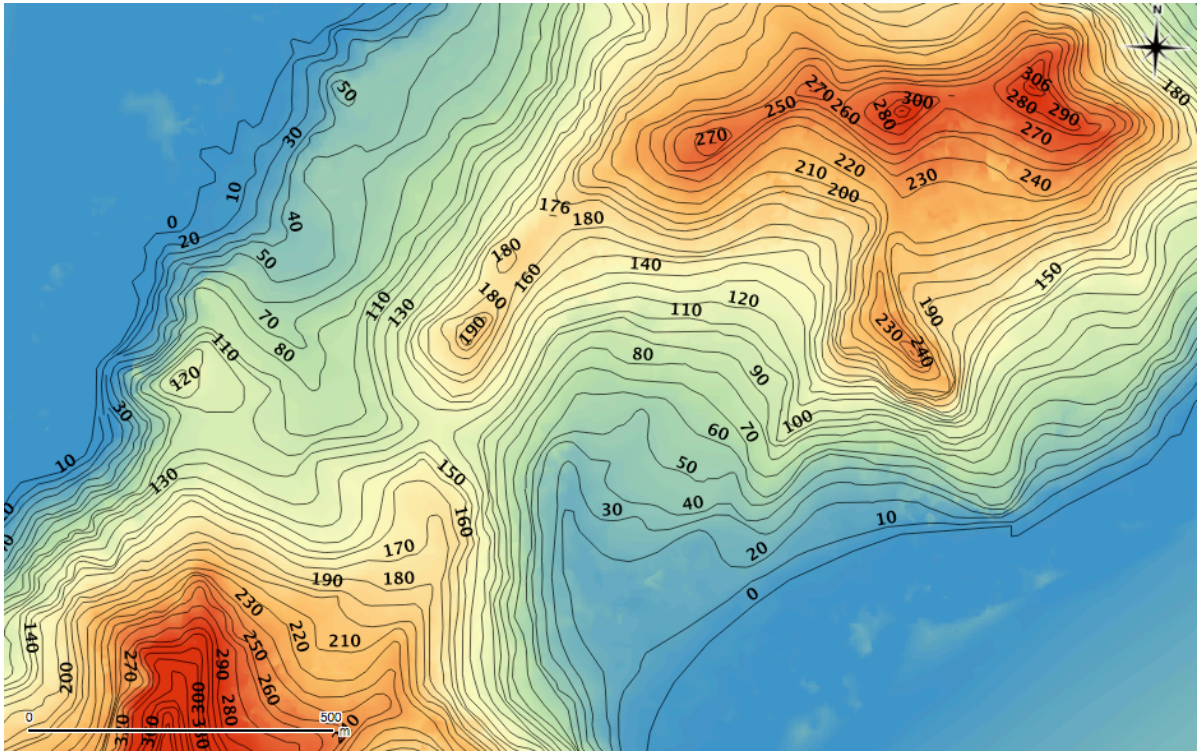


Figura 25 - MDE derivado do modelo 1 (curvas de nível de 10 metros e resolução espacial = 2,60 m).

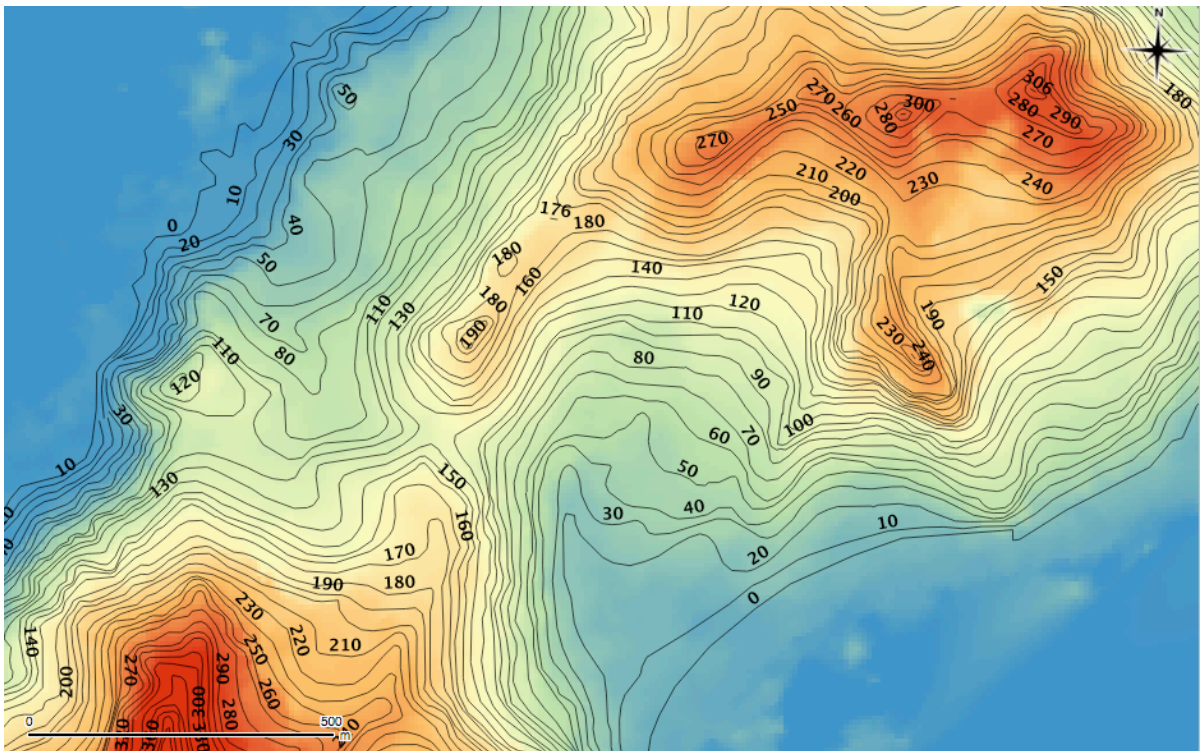
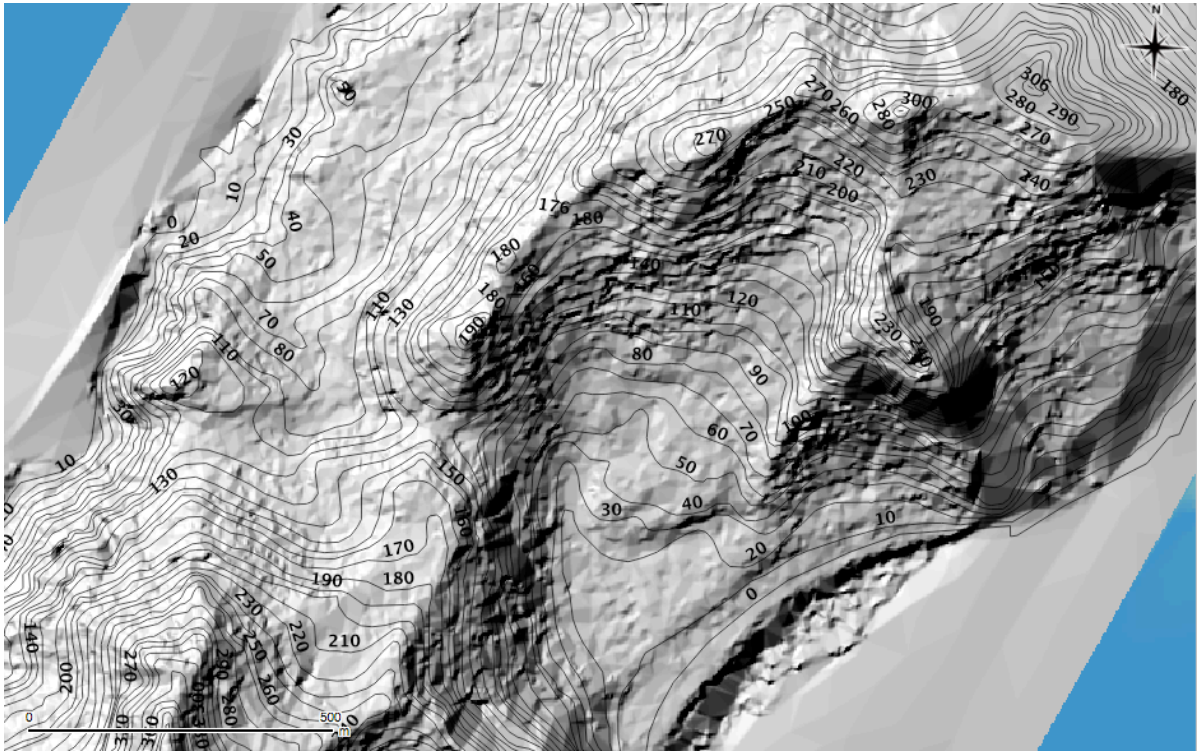
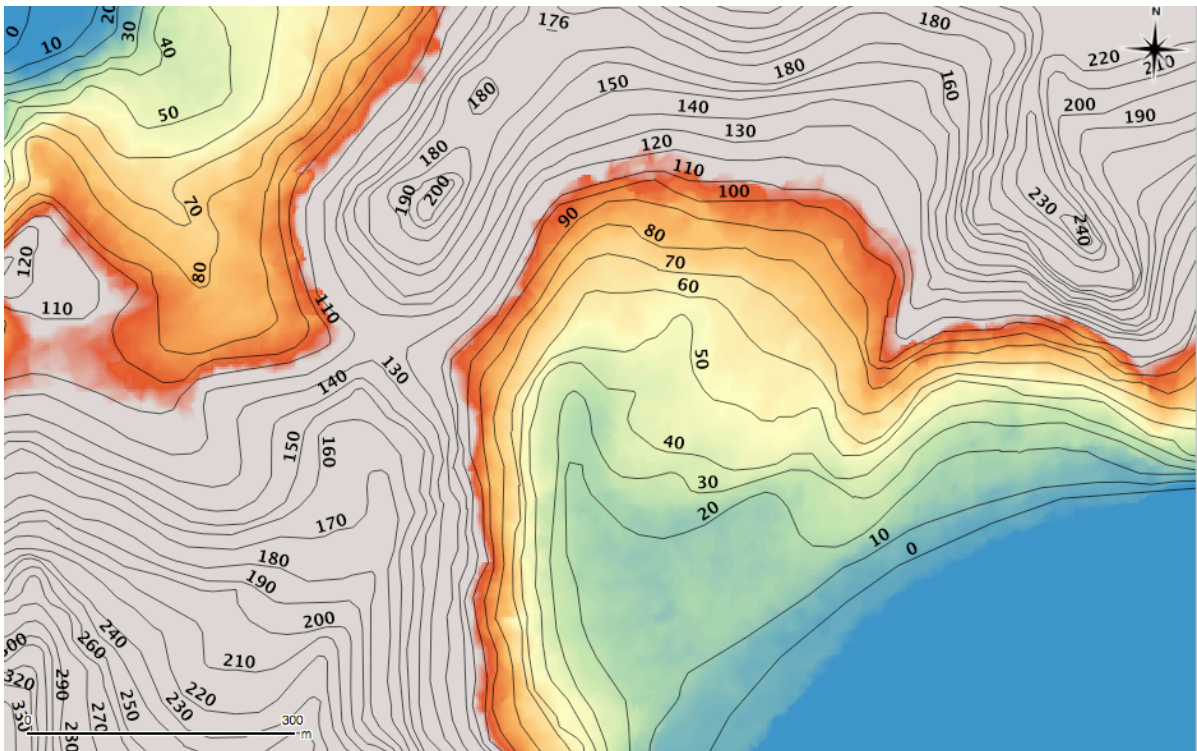


Figura 26 - MDE derivado do modelo 3 (curvas de nível de 10 metros e resolução espacial = 2,90 m).



**Figura 27** - MDE (sombra) derivado do modelo 2 (curvas de nível de 10 metros e resolução espacial = 2,60 m).



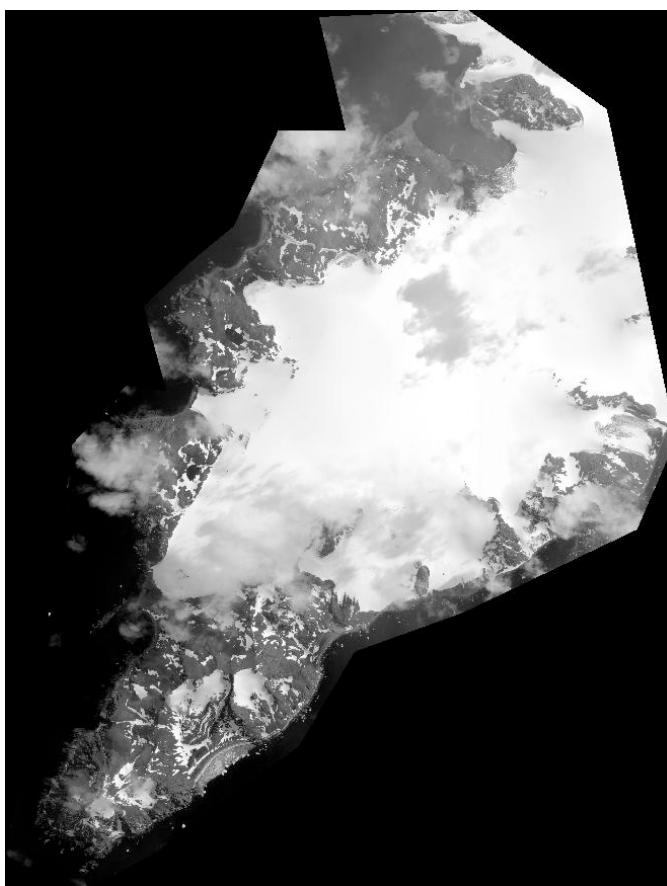
**Figura 28** - Reclassificação de imagem (MDE derivado do modelo 2) para 15 classes (cores) com intervalos de 7 metros, numa escala de 0 - 110m.

#### 4.1.5 Ortorrectificação de imagens de satélite

O recurso a imagens de satélite foi fundamental para a realização deste estudo, uma vez que constituem a referência actual de imagens de alta resolução da região Antártica. Através do CEG-UL foi possível aceder a um conjunto de imagens de satélite Quickbird da zona de estudo, imagens referentes às épocas 2010 e 2012. As suas características são idênticas: imagens pancromáticas, georreferenciadas (WGS84/UTM - zona 20S), resolução espacial = 0,61 m (nadir), altitude da órbita do sensor = 450 km. Estas imagens, capturadas em épocas diferentes, exibem diferenças no que diz respeito à cobertura de neve e gelo. A primeira, com data de 25/10/2010 (Figura 29), apresenta um excelente contraste e é possível identificar com bastante pormenor o glaciar rochoso de Hurd. A segunda, com data de 21/10/2012 (Figura 30), apresenta maior quantidade de gelo e neve, o que não é obstáculo para se conseguir definir o relevo do glaciar rochoso. As duas possuem excelente resolução espacial, no entanto seria escolhida a primeira como referência actual para este estudo, uma vez que a ausência de gelo e neve sobre o glaciar rochoso, permite identificar melhor o seu relevo.



**Figura 29** - Imagem de satélite Quickbird pancromática (Península de Hurd, Out - 2010). Fonte: CEG - UL, 2014.

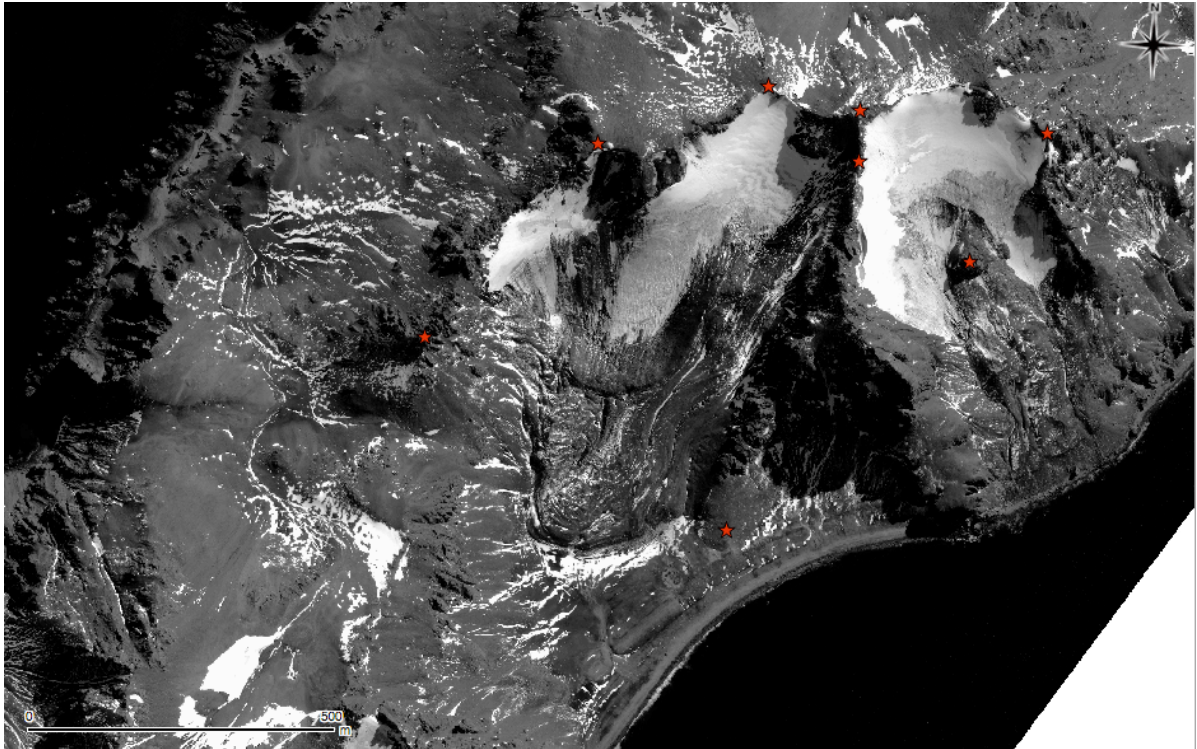


**Figura 30** - Imagem de satélite Quickbird pancromática (Península de Hurd, Out - 2012). Fonte: CEG - UL, 2014.

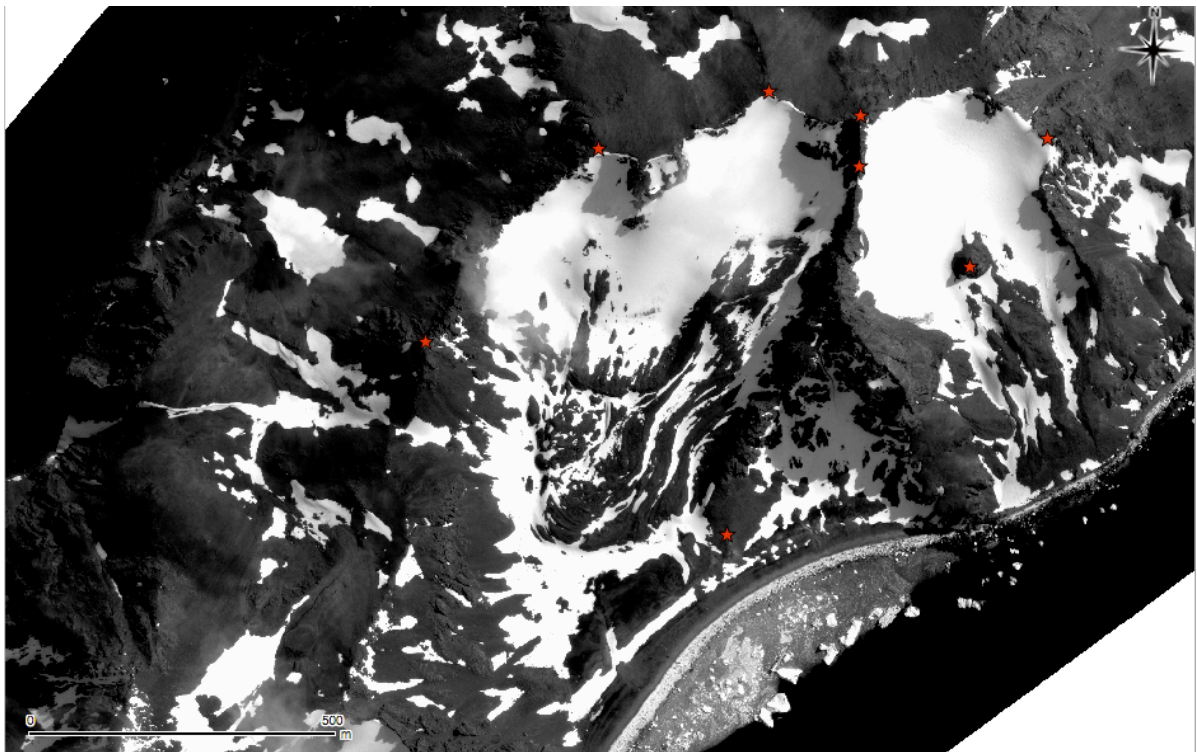
A utilidade destas imagens no âmbito deste projecto, dependia da ortorrectificação, e essa necessidade implicou o uso do *software* PCI Geomatica - 30 day trial; este inclui um módulo específico para imagens orbitais, o OrthoEngine v10, que permite corrigir geometricamente imagens de vários tipos de sensores, desde que nesse procedimento sejam utilizados os ficheiros de metadados que as acompanham – com a finalidade de se aplicar o modelo de Coeficientes Polinomiais Racionais – e um MDE georreferenciado, correspondente à área geográfica da imagem. A inexistência de um MDE actual, para a realização deste procedimento, implicou a utilização do MDE derivado do modelo 2 (Jan - 1957). A justificação para esta escolha deve-se à semelhança entre imagens; o modelo 2 é o que tem menor cobertura de gelo e neve dos três, e é o que se assemelha mais à imagem de satélite de 2010. Por isso, o MDE dali derivado é o que permite caracterizar melhor o relevo do glaciar rochoso. Qualquer das duas imagens de satélite é georreferenciada, e por isso a utilização de pontos de controlo é opcional, assim, optou-se por não os utilizar durante o processo. O procedimento para as duas imagens foi idêntico:

- importação da imagem;
- identificação do tipo de sensor;
- definição do sistema de referência;
- importação do MDE.

A introdução deste último elemento permite concluir a tarefa e obter uma imagem ortorrectificada. Como medida de ajuste, as ortoimagens produzidas foram depois georreferenciadas com recurso à cartografia 1:25000, utilizando-se um conjunto de pontos dispersos (ver Anexos N e O). A avaliação da qualidade dos produtos obtidos seguiu a mesma metodologia do capítulo anterior. As ortoimagens foram sobrepostas no software QGis, em conjunto com um ficheiro de pontos do tipo *shapefile*, que representa alguns pontos críticos da cartografia 1:25000. Em todas as situações, os desvios medidos foram inferiores ao tamanho do píxel da cartografia (Figuras 31 e 32). A comparação entre as duas imagens, serviu apenas como garantia da qualidade do método de ortorrectificação utilizado, uma vez que para o prosseguimento do estudo seria apenas utilizada a ortoimagem referente ao ano 2010.



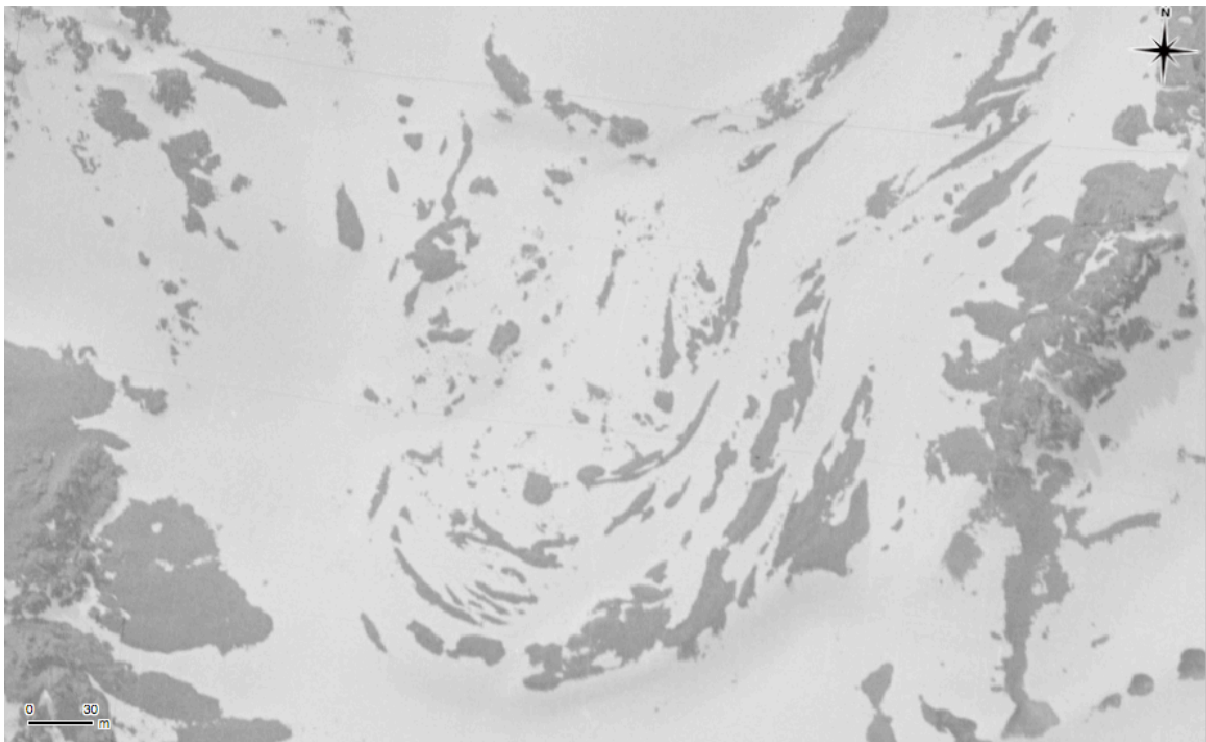
**Figura 31** - Representação do *shapefile* de pontos sobre a ortoimagem de 2010.



**Figura 32** - Representação do *shapefile* de pontos sobre a ortoimagem de 2012.

#### 4.1.6 Caracterização de movimentos de massa na Península de Hurd (1956-2010)

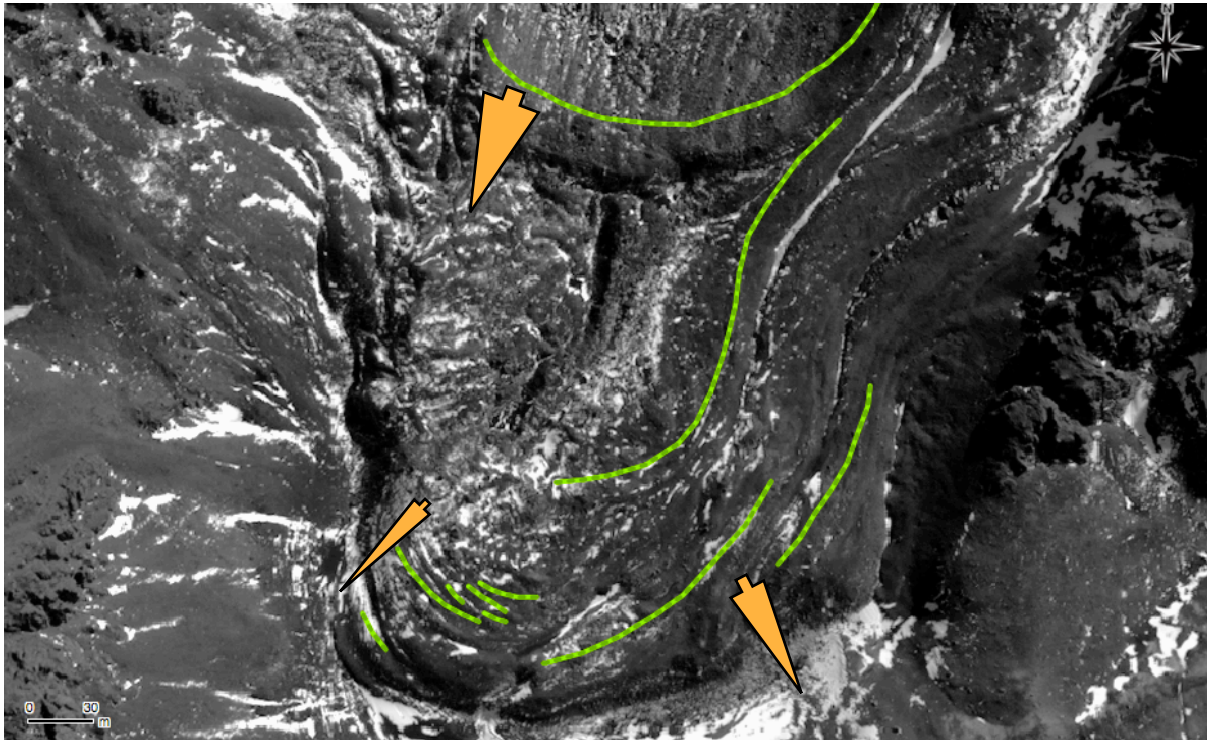
O principal objectivo deste trabalho é a caracterização de movimentos superficiais do glaciário rochoso de Hurd (camada activa + *permafrost creep*), com recurso a ortoimagens de épocas distintas. Estes tipo de movimentos tem uma componente horizontal e uma componente vertical, que geralmente é observada com recurso a tecnologias *GNSS*. Neste estudo será abordada apenas a componente horizontal, uma vez que não há elementos 3D actuais que possam ser comparados aos MDE derivados das imagens históricas. A referência histórica para a realização deste estudo é a ortoimagem do glaciário rochoso de Hurd, de Dezembro de 1956 (Figura 33), e a ortoimagem de Outubro de 2010 constituiu a referência actual (Figura 34).



**Figura 33** - Glaciário rochoso de Hurd, em Dezembro de 1956.

O recurso ao *software* QGis permitiu avaliar os movimentos superficiais do glaciário rochoso de Hurd, através da sobreposição destas ortoimagens e utilizando-se ferramentas de medição. Através da vectorização, foi feita uma representação das saliências não cobertas do glaciário rochoso na ortoimagem mais antiga, sobre a imagem mais moderna (*shapefile* de linhas - Figura 34). Os glaciares rochosos são massas de gelo e detritos, cobertos por pedra solta, que fluem pela vertente abaixo sob a força da gravidade (Kääb e Vollmer, 2000). A Figura 34 sugere um movimento descendente, e os desvios medidos não são uniformes, ou seja, existe

variação dos valores ao longo do glaciário rochoso. A movimentação desses glaciares é dependente das propriedades do solo e da estabilidade do gelo (Kääb e Vollmer, 2000).



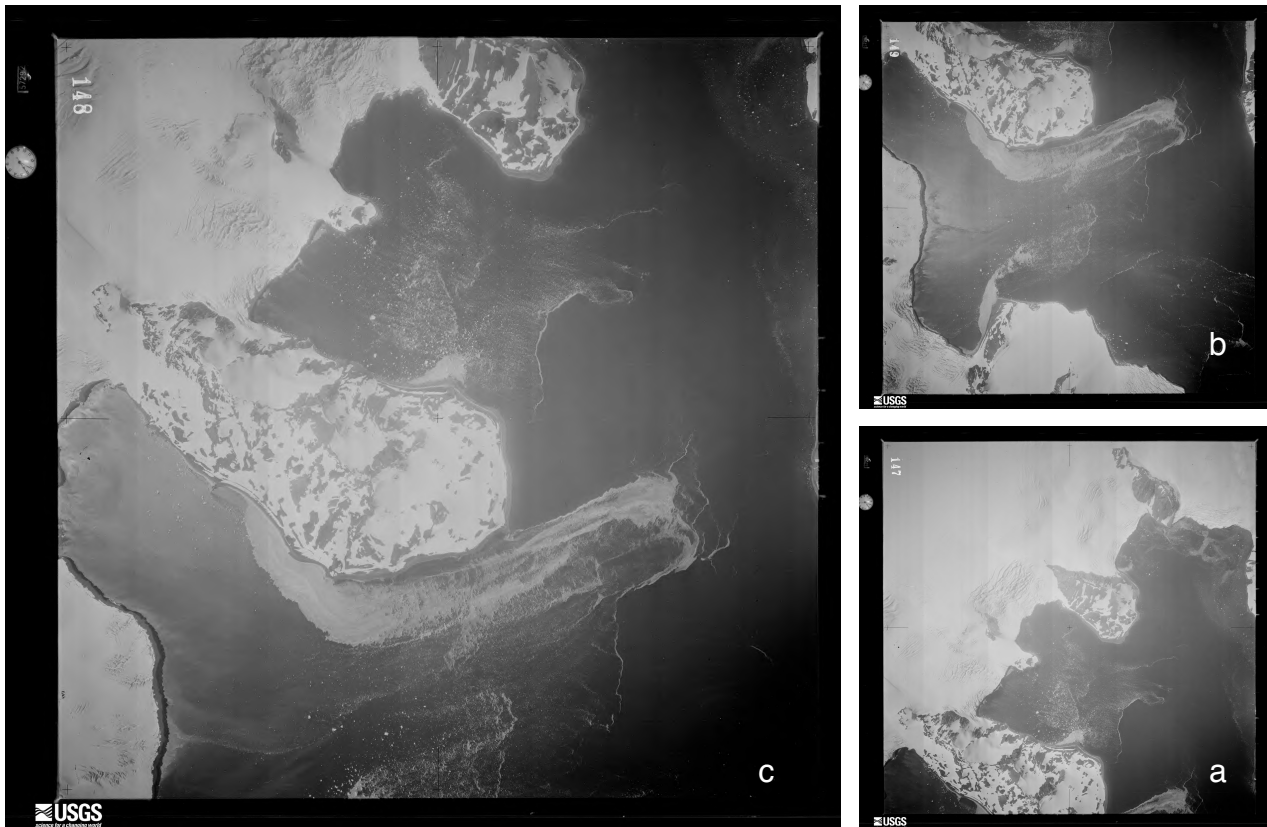
**Figura 34** - O Glaciário rochoso de Hurd, em Outubro de 2010. As linhas representam as saliências do glaciário rochoso em Dezembro de 1956. O movimento descendente não é uniforme; as velocidades à superfície variam entre 10 e 37 cm/ano. O tamanho das setas é proporcional aos deslocamentos medidos.

As medições realizadas sobre a imagem variam entre 5.0 e 20.30 metros, sendo o valor médio igual a 13.5 metros. Considerando-se um intervalo de 54 anos entre as duas imagens, obtêm-se os valores 10,0 cm (mínimo), 37,0 cm (máximo) e 21,0 cm (médio), como medidas de velocidade anual. Estes valores estão próximos daqueles medidos no mesmo local, entre 2011 e 2014, com a utilização de técnicas muito mais rigorosas (*GNSS*). Segundo Vieira *et al.*, a variação máxima é 3 - 35 cm/ano e a média 11 - 15 cm/ano, durante esse período.

#### 4.2 Península de Keller - 1956

O arquivo do USGS possui um conjunto bastante vasto de imagens históricas da Antártida, digitalizadas com *scanner* de alta resolução a partir de um conjunto de fotogramas do BAS, entre elas, uma série de imagens da Península de Keller (Ilha de King George), do ano 1956. As características técnicas destas imagens são semelhantes aquelas da Península de Hurd,

tendo sido obtidas pelos mesmos meios e com a mesma câmara. Do conjunto de quatro imagens da época de Dezembro de 1956 considerou-se a restituição de apenas três (Figura 35), o que permitiu obter um modelo estereoscópico, e posteriormente, uma ortoimagem.

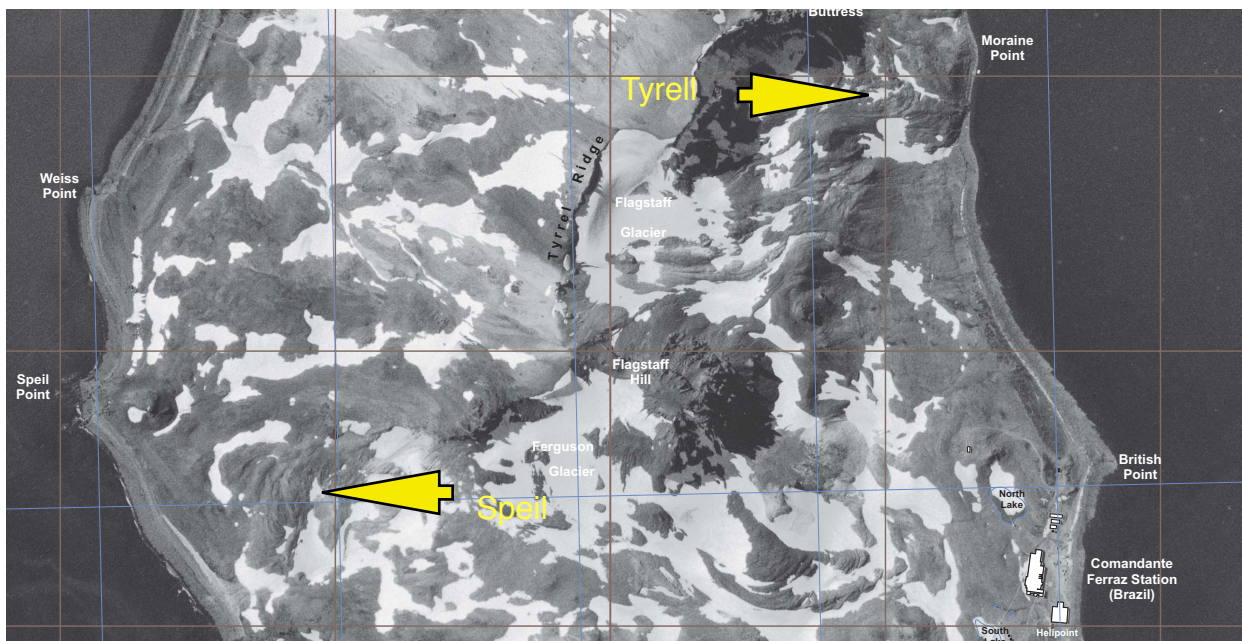


**Figura 35** - Fotogramas da Península de Keller. X26FID0039147 (a), X26FID0039148 (b), X26FID0039149. Fonte: USGS, 2014.

O objectivo seria fazer um estudo idêntico ao que foi realizado com as imagens da Península de Hurd. Considerando que a Península de Keller está localizada a uma latitude mais baixa, seria interessante estudar ali a dinâmica do *permafrost* através da observação de três glaciares rochosos existentes. Contudo, a densa cobertura de gelo e neve, só permitiria a observação de dois desses pequenos glaciares rochosos, um deles localizado a Este da cumeeira de Tyrell (Figura 36), em frente ao mar e a cerca de 150 m da Ponta de Moraine, e o outro, 330 metros a Sudeste da Ponta de Speil (Figura 36). Seria feita uma comparação da ortoimagem produzida com um ortofotomapa 1:5000 de Janeiro de 2003.

Os pontos fotogramétricos necessários para a restituição foram obtidos desse mesmo ortofotomapa, publicado pelo Núcleo de Pesquisas Antárticas e Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Segundo as informações, esta cartografia foi produzida com recurso a dois fotogramas verticais obtidos num vôo da responsabilidade do Serviço

Aerofotogramétrico de la Fuerza Aerea del Chile, com uma câmara Wild RC10 (Júnior, Dani e Arigony-Neto, 2012).



**Figura 36** - Excerto do ortofotomapa 1:5000 da Península de Keller. Fonte: CPC - UFRGS, 2014.

O arquivo *raster* não georreferenciado e com uma resolução 150 *DPI* foi sujeito a uma reprojeção no *software* QGis, utilizando-se as coordenadas das quadrículas UTM, lidas nas margens (ver Anexo P). O sistema de referência é o WGS84/UTM - zona 20S. Os pontos fotogramétricos foram escolhidos segundo os mesmos critérios do estudo anterior, portanto, a partir da observação de zonas estáticas (Anexo Q).

Os fotogramas da Península de Keller são os melhores de todo o conjunto apresentado neste estudo; têm bom contraste e pouca projecção de sombras, o que permitiu produzir um MDE (ver Anexo R) e uma ortoimagem isenta de distorções (consultar Anexo S).

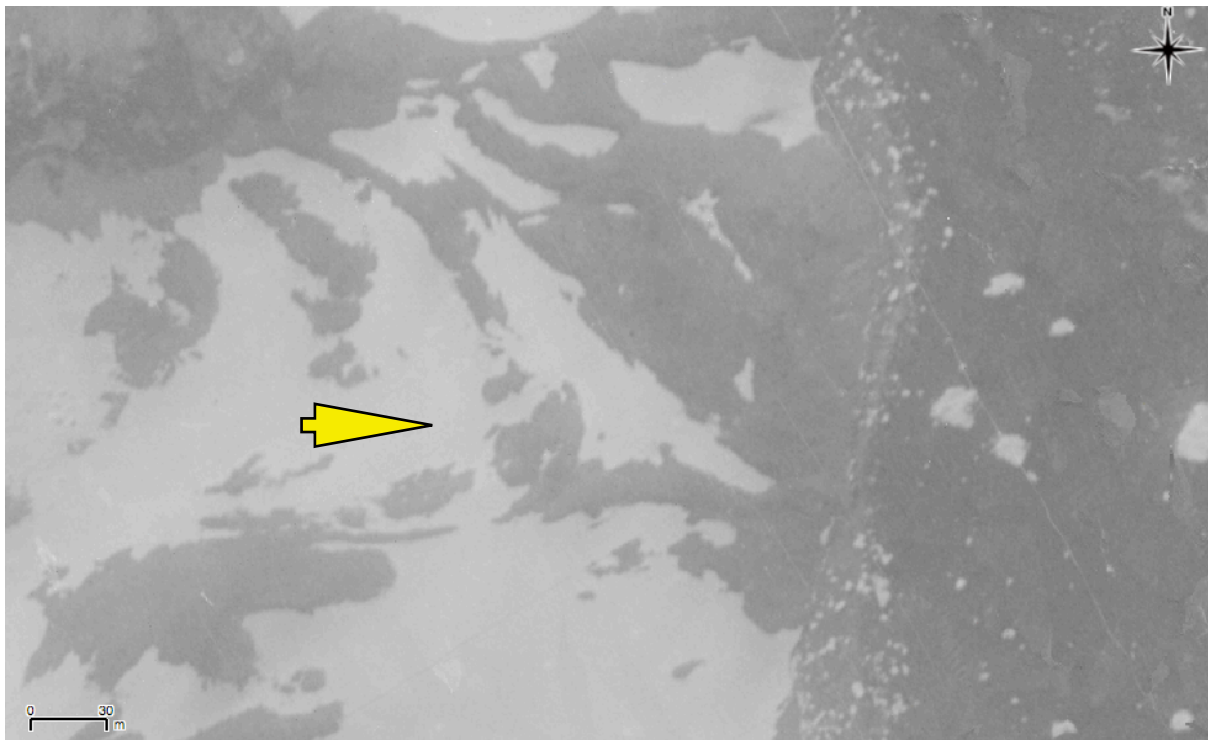
As características dos fotogramas originais são as seguintes: data 20/12/1956, sobreposição de 60%, distância focal 152 mm, filme 229 x 229 mm, escala média de vôo 1:27000 e altitude de vôo  $\pm 4115$  m; apresentam uma cobertura de nuvens de 0 a 9%. A resolução das imagens digitais é 1016 *DPI*.

A restituição das imagens, realizada com o *software*, seguiu a mesma metodologia do estudo anterior; a OA foi feita com o apoio de quatro pontos fotogramétricos e no ajustamento dos resíduos, os valores obtidos foram 0,026 e 0,003 metros, para a planimetria e altimetria, respectivamente (Tabela 4).

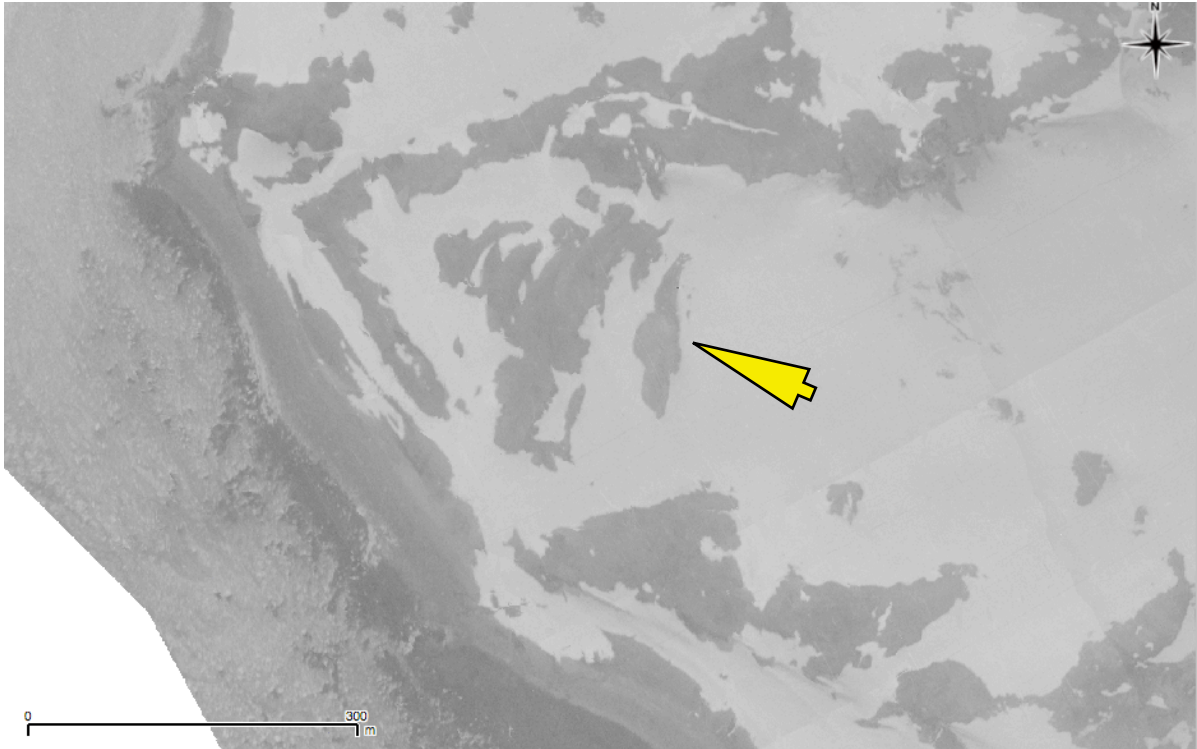
| Nº                               | Coordenadas (m) |               |        | Resíduos (m)  |           |              |
|----------------------------------|-----------------|---------------|--------|---------------|-----------|--------------|
|                                  | X               | Y             | Z      | X             | Y         | Z            |
| 1                                | 427339.00       | 3115754.00    | 5.00   | -0.005855     | -0.001650 | 0.024739     |
| 2                                | 427094.00       | 3117040.00    | 15.00  | 0.012271      | 0.036833  | -0.081881    |
| 3                                | 426590.00       | 3117376.00    | 305.00 | -0.002665     | -0.032391 | 0.051817     |
| 4                                | 425755.00       | 3117077.00    | 0.10   | 0.000727      | 0.004670  | -0.006800    |
| <b>Estatísticas dos resíduos</b> |                 |               |        |               |           |              |
| EMQx = 0,00004                   |                 | EMQy = 0,0006 |        | EMQxy = 0,026 |           | EMQz = 0.003 |

**Tabela 4** - Resultados da Orientação Absoluta (Modelo da Península de Keller, Dez - 1956).

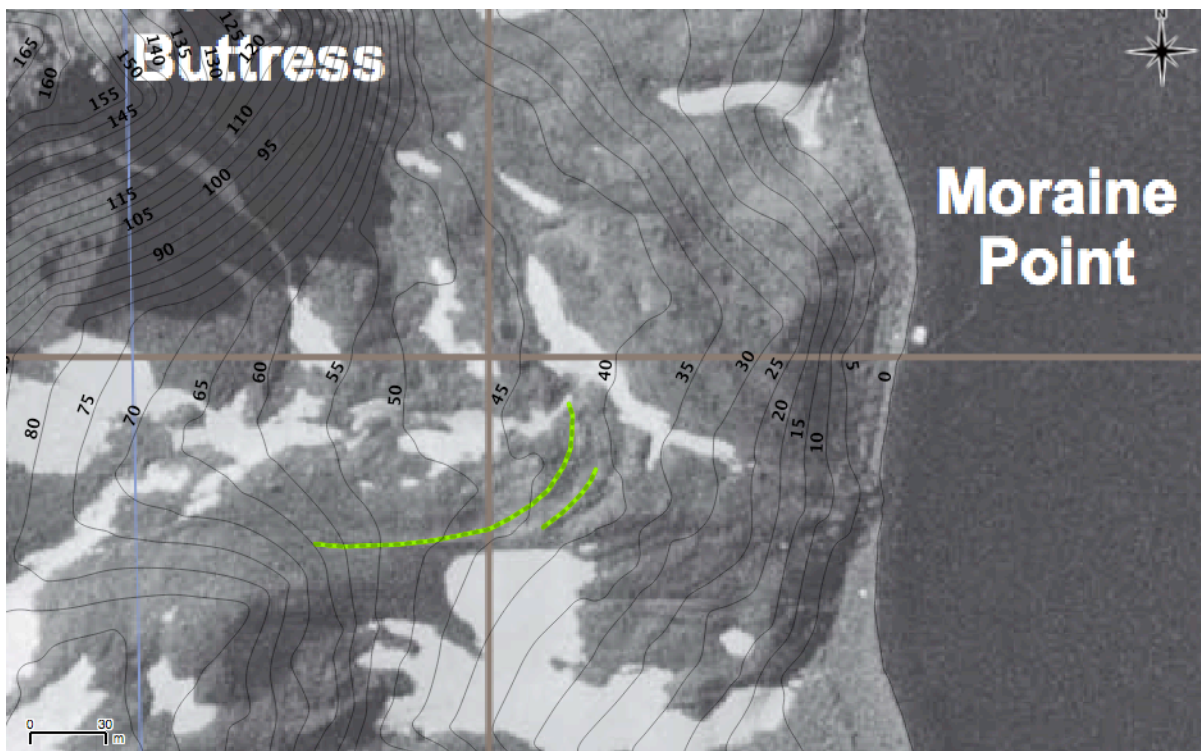
Seguindo a mesma metodologia do capítulo anterior, recorreu-se ao *software* QGis para avaliar os movimentos superficiais dos Glaciares Rochosos de Tyrell (Figura 37) e Spiel (Figura 38). Através da vectorização, foi feita uma representação das saliências não cobertas por gelo dos glaciares rochosos da ortoimagem de 1956, sobre a ortoimagem de 2003 (*shapefile* de linhas - Figuras 39 e 40). Estas figuras sugerem um movimento no sentido descendente (curvas de nível), e os desvios medidos variam conforme o local. As medições realizadas sobre a ortoimagem de 2003 variam entre 11,0 e 16,0 metros, sendo o valor médio igual a 12,9 metros. Considerando-se um intervalo de 47 anos entre as duas imagens, obtêm-se os valores 22,0 cm (mínimo), 34,0 cm (máximo) e 27,0 cm (médio), como medidas de velocidade anual. Estes valores não são muito distantes daqueles obtidos no estudo anterior.



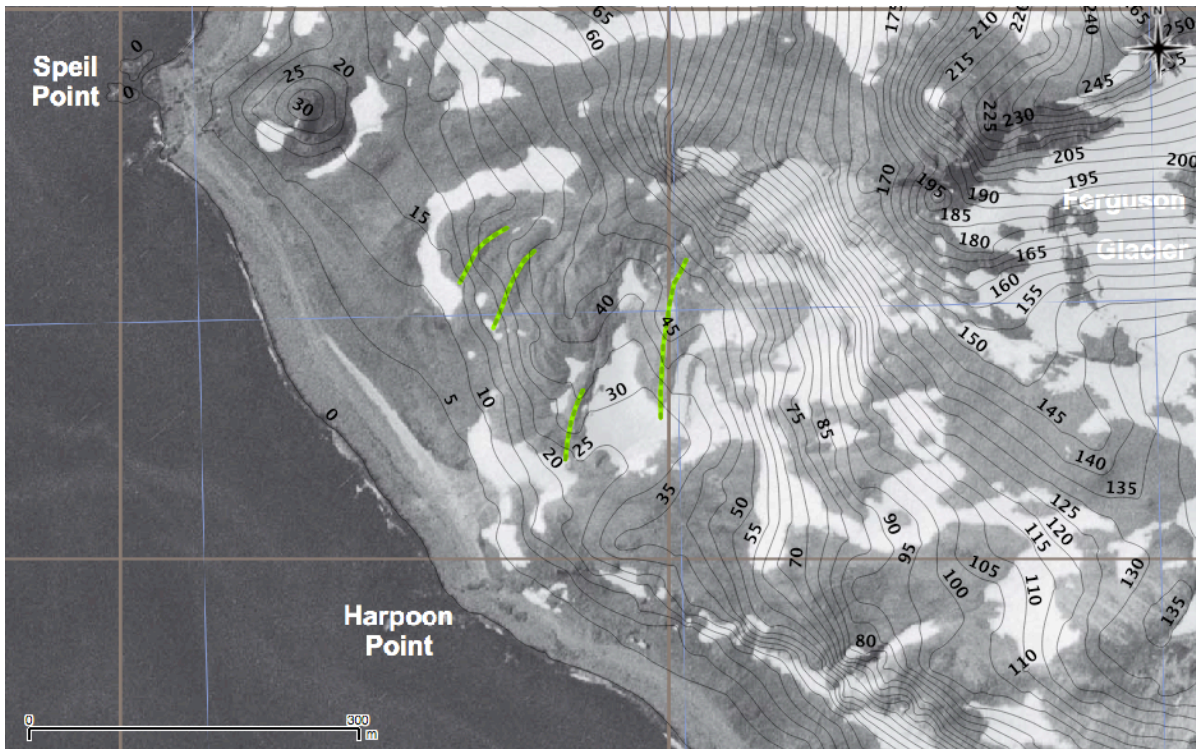
**Figura 37** - Glaciar Rochoso de Tyrell (Ortoimagem da Península de Keller, Dez - 1956).



**Figura 38** - Glaciar Rochoso de Spiel (Ortoimagem da Península de Keller, Dez - 1956).



**Figura 39** - Glaciar Rochoso de Tyrell em Janeiro de 2003. As linhas representam as saliências do Glaciar Rochoso em Dezembro de 1956. O movimento descendente segue a orientação das curvas de nível; as velocidades à superfície variam entre 23,0 e 25,0 cm/ano.



**Figura 40** - Glaciar Rochoso de Speil em Janeiro de 2003. As linhas representam as saliências do glaciar rochoso em Dezembro de 1956. Os deslocamentos à superfície variam entre 22,0 e 34,0 cm/ano e segundo a orientação das curvas de nível (sentido descendente).

### 4.3 Península de Keller - 2009

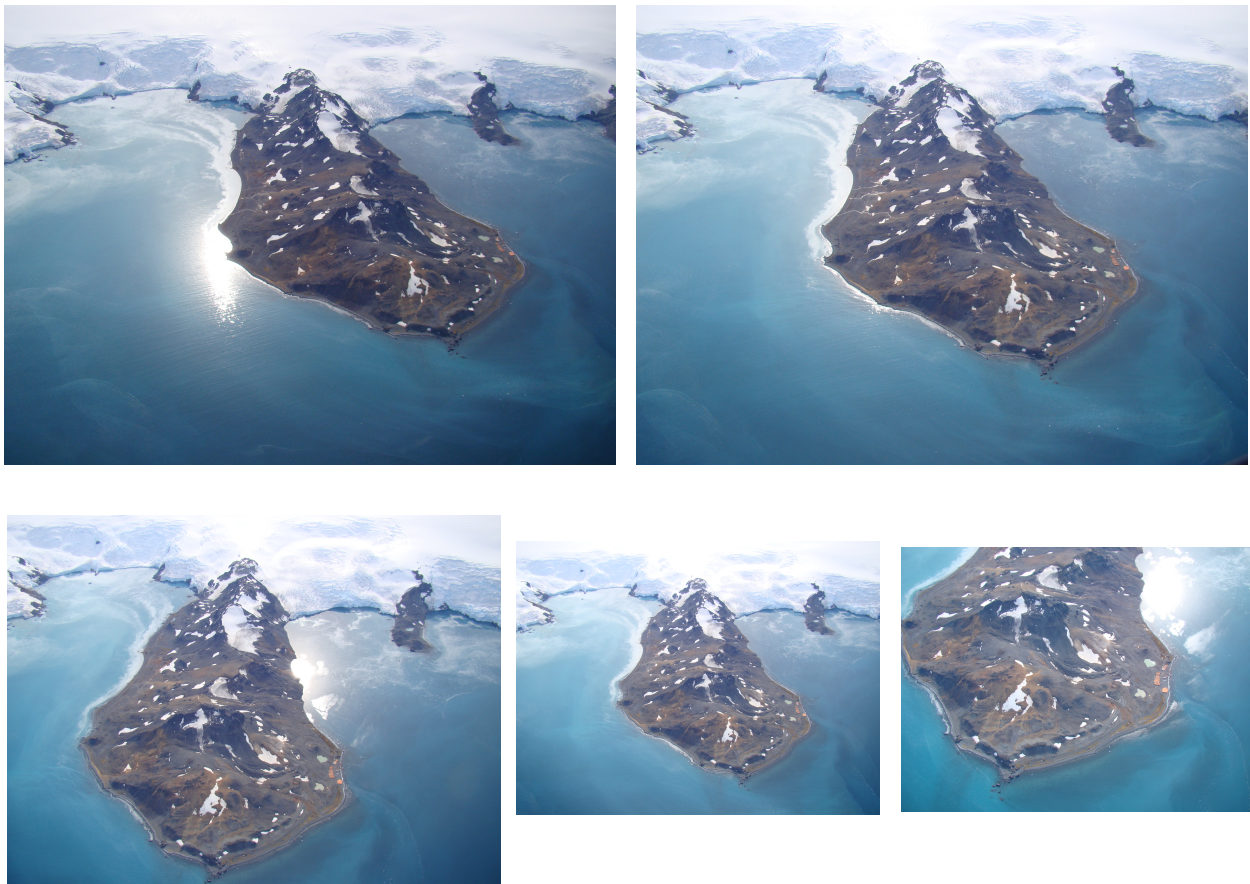
Uma equipa de investigação científica da Antártica obteve, em Março de 2009, cinco imagens oblíquas, a partir de um helicóptero e utilizando apenas uma câmara digital Sony DSC-H50 (Figura 41). Estas imagens digitais foram cedidas pelo CEG-UL, para a realização deste trabalho. O maior glaciar rochoso da Península de Keller não é visível nas imagens de 1956 devido à densa cobertura de gelo e neve; pelo contrário, a baixa altitude a que as imagens de helicóptero foram adquiridas, e a quase inexistência de gelo sobre o terreno, em Março de 2009, permitiram captar excelentes imagens desta área de interesse. Seria um desafio portanto, fazer uma restituição de imagens oblíquas obtidas a partir de uma câmara não calibrada, testando assim as capacidades do *software* e analisando os produtos obtidos.

O *software* Agisoft PhotoscanPro permite a utilização de imagens obtidas com câmaras não calibradas; tratando-se de imagens digitais, estas incluem já informações<sup>14</sup> como a distância

<sup>14</sup> Ao fazer a captura da imagem, a câmara digital regista num arquivo *Exif* (*Exchangeable image file format*) todos os parâmetros da fotografia: características da lente, abertura do diafragma e data, entre outras, são armazenadas junto à imagens.

focal e tamanho, entre outras, que são lidas automaticamente pelo programa, não sendo necessário inserir esses dados manualmente.

O Glaciar Rochoso de Ferguson localiza-se a Sudoeste do Monte Flagstaff (267 m), na Península de Keller, Ilha de King George. Tem um tamanho relativamente pequeno, formato comprido e estreito e apresenta sinais de movimentos de massa (Serrano e Martínez, 2000). Escolheram-se quatro pontos fotogramétricos, visíveis nas cinco imagens e também no ortofotomapa de 2003 (Anexo T). Os seus critérios de selecção foram os mesmos dos estudos anteriores.



**Figura 41** - Imagens digitais oblíquas da Península de Keller. Fonte: CEG-UL, 2014.

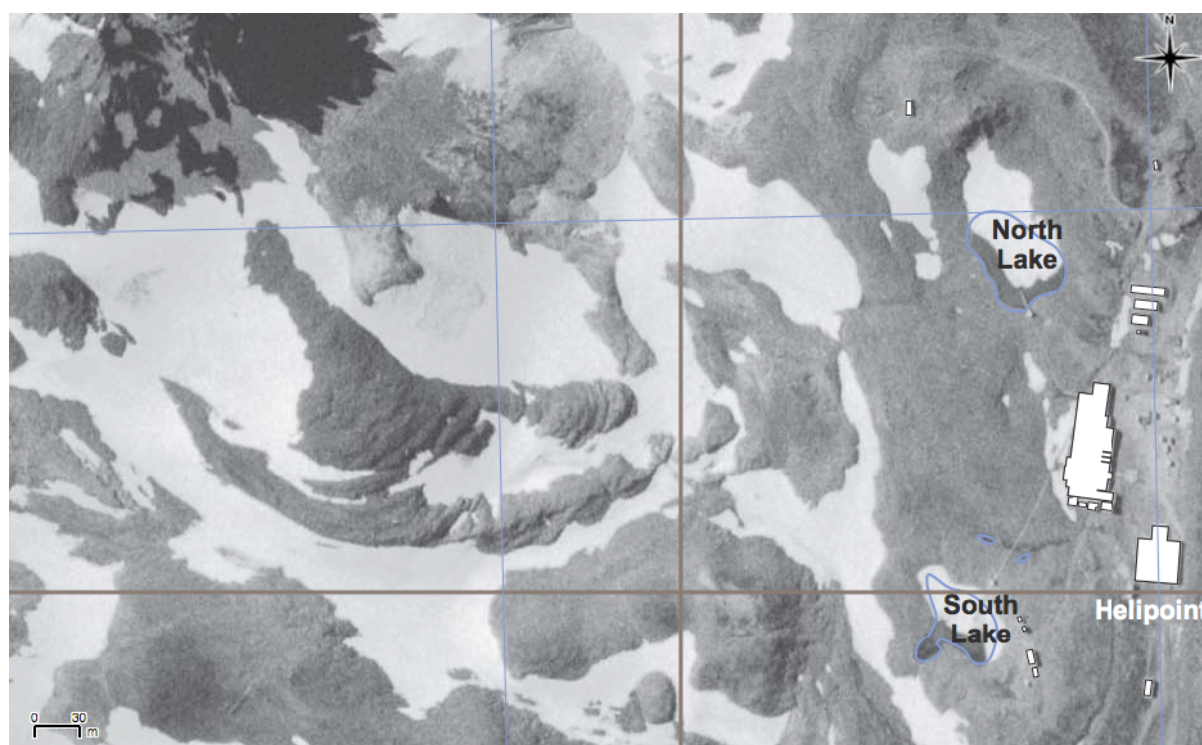
Estas imagens têm data de 1 de Março de 2009 e uma resolução de 72 *DPI*. A distância focal da máquina era 5,5 mm. Para a restituição das imagens, seguiu-se a mesma metodologia dos estudos anteriores. No ajustamento dos resíduos da OA, os valores obtidos foram 0,049 e 0,004 metros, para a planimetria e altimetria, respectivamente (Tabela 5). Este procedimento, permitiu obter, além de um MDE, uma ortoimagem com resolução espacial = 1,10 metros (Anexo U). O uso de imagens oblíquas em fotogrametria é limitado, atendendo a que a maioria das medições não pode ser realizada devido às grandes variações de escala e

distorções associadas. A localização central nas imagens, da zona de interesse (Glaciar Rochoso de Ferguson) possibilitou o estudo.

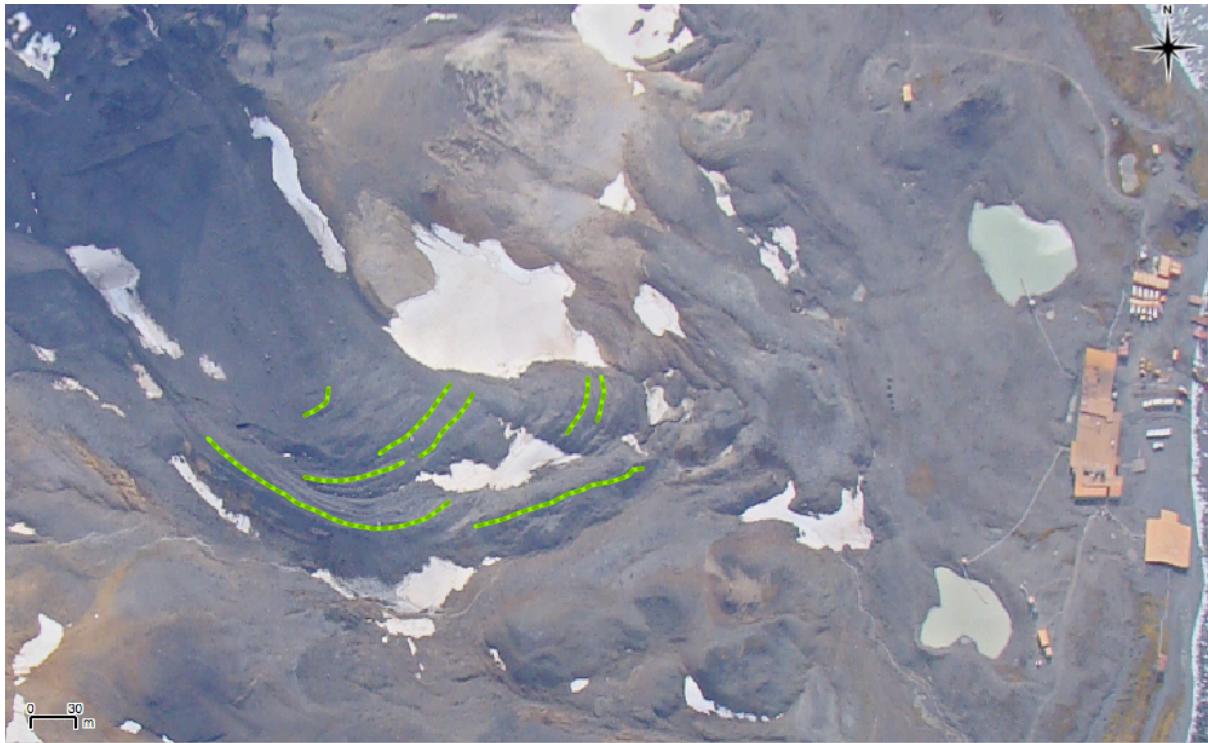
| Nº                               | Coordenadas (m) |              |        | Resíduos (m)  |           |              |
|----------------------------------|-----------------|--------------|--------|---------------|-----------|--------------|
|                                  | X               | Y            | Z      | X             | Y         | Z            |
| 1                                | 427341.00       | 3115751.00   | 5.00   | -0.006999     | -0.018156 | 0.032995     |
| 2                                | 426420.00       | 3116000.00   | 267.00 | -0.010199     | 0.088588  | 0.113403     |
| 3                                | 425814.00       | 3115474.00   | 0.30   | 0.017454      | -0.030582 | 0.052712     |
| 4                                | 426614.00       | 3114889.00   | 2.50   | -0.001835     | -0.006232 | 0.006694     |
| <b>Estatísticas dos resíduos</b> |                 |              |        |               |           |              |
| EMQx = 0,0001                    |                 | EMQy = 0,002 |        | EMQxy = 0,049 |           | EMQz = 0.004 |

**Tabela 5** - Resultados da Orientação Absoluta (Modelo da Península de Keller, Mar - 2009).

Seguindo a mesma metodologia do capítulo anterior, e através da vectorização, foi feita uma representação das saliências do glaciar rochoso da ortoimagem de 2003 (Figura 42), sobre a ortoimagem de 2009 (*shapefile* de linhas - Figura 43). Esta figura sugere ausência de movimento em qualquer dos sentidos, e na prática, não foi possível medir quaisquer deslocamentos. Tendo em conta o estudo do capítulo anterior, e considerando-se o valor de 27,0 cm/ano para o deslocamento médio observado à superfície do terreno, poder-se-ia estimar um valor de 1,62 m para o espaço de seis anos (2003-2009). Atendendo à resolução da ortoimagem de 2009, essa quantidade de movimento seria difícil de medir, e tal foi verificado. A ausência de deslocamento observado nessa ortoimagem sugere confiança nas metodologias utilizadas neste trabalho e nos produtos obtidos.



**Figura 42** - Glaciar Rochoso de Ferguson em Janeiro de 2003.



**Figura 43** - Glaciar Rochoso de Ferguson em Março de 2009. As linhas representam as saliências do glaciar rochoso em Janeiro de 2003. Não foram observados deslocamentos à superfície.

#### Capítulo 4. CONCLUSÃO

Como consequência do aquecimento atmosférico, desde há 50 anos tem sido observada a degradação do *permafrost* em várias regiões. A reacção dos diversos ecossistemas será diferente e conforme a vegetação e solos existentes. A distribuição, quantidade e composição da matéria orgânica em áreas com *permafrost* são importantes como forma de se determinar os seus efeitos na libertação de gases (Wunderground, 2014). Tem havido um esforço para aumentar o número de programas de observação e ampliar o seu alcance. Nas Ilhas Shetland do Sul foram observados movimentos de massa em glaciares rochosos, através de técnicas de alta precisão (*GNSS*). Os deslocamentos médios medidos variam entre 11-15 cm/ano (Vieira *et al.*, 2014), conforme as propriedades do solo e estabilidade do gelo. As técnicas de fotogrametria *SfM* permitem obter bons modelos estereoscópicos a partir de fotografias captadas por câmaras calibradas ou não calibradas e produzir ortoimagens. As medições realizadas em ortoimagens do Arquipélago Antártico sugerem deslocamentos com uma velocidade média anual de  $\pm 21$  cm (Península de Hurd) e  $\pm 27$  cm (Península de Keller -  $0.5^\circ$  a

Norte de Hurd); taxas muito próximas das observadas através de técnicas muito mais rigorosas.

Não existem dados de medições anteriores a 2011 e não se sabe se estas velocidades têm sido constantes no tempo.

A exactidão de medições realizadas sobre ortoimagens dependerá da fase de aquisição das imagens – para a qual são importantes a escala média de voo (fotogramas) ou a resolução espacial (imagens digitais) – e da utilização de pontos fotogramétricos obtidos através de técnicas de levantamento topográfico rigorosas, como o *GNSS*.

A ortorrectificação de imagens de satélite necessita de modelos digitais de elevação de alta resolução e actuais, de forma a aumentar a qualidade métrica dos produtos obtidos.

Os resultados promissores demonstram que a metodologia pode ser empregue a outras regiões periglaciárias, para estudos no âmbito das ciências da terra e entrando em conta com uma série de outras variáveis conhecidas (temperaturas anuais, etc).

## **BIBLIOGRAFIA**

Agisoft (2014) *Agisoft PhotoScan User Manual v1.0.*, St Petersburg, Agisoft.

Anbazhagan, S. (2011) *Geoinformatics in Applied Geomorphology*, USA, CRC Press.

Casaca, J., Matos, J., Baio, M. (2005) *Topografia Geral, 5ª edição*, Lisboa, Lidel

Cossart, E. and Perrier, R. (2008) *Mapping permafrost at a regional scale: interpolation of field data by GIS application in the upper durance catchment (Southern French Alps)*, Paris, Université Paris 1.

*Dicionário da Língua Portuguesa*, 6ª edição, Porto Editora.

DigitalGlobe (2014) *Orthorectifying DigitalGlobe imagery in PCI Geomatica v10.3 using the Rigorous Model and Rational Polynomial Coefficients*, LongMont, DigitalGlobe.

Fonseca, A., Fernandes, J. (2004) *Detecção Remota*, Lisboa, Lidel.

Fountain, A., Krimme, R., Trabant, C. (1997) *A Strategy for Monitoring Glaciers*, EUA, US Geological Survey.

Gaspar, J. (2004) *Dicionário de Ciências Cartográficas*, Lisboa, Lidel.

Kääb, A. and Haeberli, W. (1997) *Analysing the Creep of Mountain Permafrost using High Precision Aerial Photogrammetry: 25 Years of Monitoring Gruben Rock Glacier, Swiss Alps*,

Zurich, University of Zurich.

Kääb, A. and Vollmer, M. (2000) *Surface Geometry, Thickness Changes and Flow Fields on Creeping Mountain Permafrost: Automatic Extraction by Digital Image Analysis*, Switzerland, Department of Geography - University of Zurich.

Lillesand, T., Kiefer, R. (1994) *Remote Sensing and Image Interpretation, 3rd edition*, New York, John Wiley & Sons, Inc.

Lowe, D. (2004) *Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints*, Vancouver - Canada, University of British Columbia.

Navarro, F. et al. (2013) *Decelerated mass loss of Hurd and Johnsons glaciers, Livingston Island, Antarctic Peninsula*, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid.

*Página oficial de International Permafrost Association*, website: <http://ipa.arcticportal.org>. (acesso em 11/11/2014).

*Página oficial de KODAK Alaris*, website: <http://kodakalaris.com/ek/US/en/>

*Kodak\_Alaris.htm* (acesso em 27/09/2015).

*Página oficial de Weather Underground*, website: <http://www.wunderground.com> (acesso em 11/11/2014).

*Página oficial de UNAVCO*, website: <http://www.wunderground.com> (acesso em 11/11/2014).

Júnior, C., Dani, N., Aragon-Neto, J. (2012) *A new topography map for Keller Peninsula*, Porto Alegre, CPC - UFRGS.

Prates, G., Rebelo, C., Rodrigues, J. (2007) *Fotogrametria*, Faro, Ualg.

Petsch, C., Simões, J. (2014) *Georreferenciamento e uso de projeções cartográficas na Península Antártica*, Porto Alegre, UFRGS.

Romanovsky, V., Gruber, S. (2008) *Frozen ground*, Switzerland, University of Zurich.

Serrano, E. and Martinez, J. (2000) *Rock glaciers in the South Shetland Islands, Western Antarctica*, Madrid, Universidad Autónoma de Madrid.

Shroder Jr, J. (2004) *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*, United Kingdom, Springer.

Vieira, G., Prates, G., Catalão, J., Correia, A. (2014) *Monitoring the surface deformation of Hurd rockglacier using D-GPS measurements and D-INSAR: first results (Livingston Island, Antarctica)*, Lisboa, CEG-UL.

Westoby et al. (2012) *Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for*

**ANEXO A**  
**KODAK PLUS-X AEROGRAPHIC - Technical Data**



## KODAK PLUS-X AEROGRAPHIC Film 2402

KODAK PLUS-X AEROGRAPHIC Film 2402 is a panchromatic, negative camera film with medium speed, medium-high contrast, and extended red sensitivity for the reduction of atmospheric-haze effects.

The ESTAR Base provides flexibility, moisture resistance, high tear resistance, and excellent dimensional stability. This film has a thin, highly-hardened emulsion for high-temperature rapid processing in modern continuous-processing machines.

This film can be processed in the KODAK VERSAMAT Film Processor, Model 11 or 1140, with KODAK VERSAMAT 885 Chemicals, KODAK VERSAMAT 641 Chemicals, or KODAK VERSAMAT Chemicals, Type A. It can also be processed at normal temperatures in conventional rewind equipment, such as the Gordon/Morse M-10 Developing Outfit (Military Designator: B-5) using a variety of Kodak black-and-white developers.

### APPLICATIONS

KODAK PLUS-X AEROGRAPHIC Film 2402 is for general use in reconnaissance aerial photography at medium to high altitudes. Because of the dimensional stability of the ESTAR Base this film can also be used for mapping purposes. It can also be used in multispectral aerial photography. This film is capable of providing sharp negatives that are particularly suitable for first-order printing.

### BASE

**3.9-mil** (0.10 mm) ESTAR Base with dyed-gel backing

### TOTAL FILM THICKNESS

The nominal total thickness (unprocessed) of this film is **4.40 mils** (0.112 mm). This includes emulsion—0.30 mil (0.007 mm), base—3.9 mils (0.10 mm), and dyed-gel backing—0.20 mil (0.005 mm).

### WEIGHT

The weight of 2402 Film (unprocessed), conditioned in equilibrium with 50 percent relative humidity, is **0.035 lbs/ft<sup>2</sup>** (0.0159 kg/ft<sup>2</sup>).

### SPECTRAL SENSITIVITY

Panchromatic, with extended red sensitivity.

### SAFELIGHT

Total darkness is required.

### EXPOSURE

Aerial film speeds (ISO A or EAFS) should not be confused with conventional film speeds which are designed for roll and sheet films used in pictorial photography. The characteristics of aerial scenes differ markedly from those of ordinary pictorial or ground scenes because of the smaller range in subject luminances, atmospheric haze conditions, and other factors. Therefore, different film-speed parameters are used to relate aerial-scene characteristics to practical exposure recommendations. The *KODAK Aerial Exposure Computer*, KODAK Publication AS-10, has been published based on the aerial film speed criterion.

**Nominal speed**, daylight (no filter): EAFS or ISO A **200**

Other suggested aerial film speeds for processing these films in the KODAK VERSAMAT Film Processor, Models 11 or 1140, using VERSAMAT 885 Chemicals, 641 Chemicals, and Type A Chemicals can be found in the sensitometric data tables.

**Note:** The aerial film speeds given in this publication were obtained by rounding the calculated values to the nearest cube root of 2 step (equivalent to 1/3 stop).

### Filters

| KODAK WRATTEN Gelatin Filter | Filter Factor |
|------------------------------|---------------|
| No.3                         | 1.5           |
| No. 8                        | 2             |
| No. 12                       | 2             |
| No. 15                       | 2             |
| No. 25                       | 4             |
| No. 47                       | 8             |
| No. 58                       | 8             |
| No. 70                       | 12            |

## Typical Camera Exposure

A typical exposure for this film is approximately 1/500 second at f/11. This exposure is based on a solar altitude of 40 degrees, a clear day, an aircraft altitude of 5,000 feet, and a speed of ISO A 160 (no filter).

When using an aerial camera equipped with an antivignetting filter, or other filter, it is important to increase this typical exposure by the filter factor of the filter used.

## Reciprocity Characteristics

No exposure or development time adjustments are required for exposure times from 1,000 second to 1/100 second. At 1/10,000 second, adjust the lens aperture by +1/2 stop and increase the development time by 10 percent. At 1/10 second, adjust the lens aperture by +1/2 stop.

## IMAGE STRUCTURE

The following data are based on processing in a KODAK VERSAMAT Film Processor using KODAK VERSAMAT Chemicals.

| Resolving Power (line pairs/mm) |            | rms Granularity* |
|---------------------------------|------------|------------------|
| TOC 1.6:1                       | TOC 1000:1 |                  |
| 55                              | 130        | 20               |

\*Granularity values read at a net diffuse density of 1.0 with a 48-micrometre aperture.

## STORAGE

For consistent results, all aerial films should be stored under fairly constant conditions. Kodak aerial films are “usually” packaged in equilibrium with 40 to 50 percent relative humidity. High temperatures or high humidity may produce undesirable changes in the film.

## Unexposed Film

Store unexposed film in a refrigerator at 55°F (13°C) or lower, or freezer at 0 to -10°F (-18 to -23°C), in the original sealed container. If the film is stored in a refrigerator, remove it about 2 hours before opening; if stored in a freezer, remove it about 8 hours before opening. A sufficient warm-up time is necessary to prevent moisture condensation on cold film—otherwise, moisture spotting, ferrotyping, or sticking may occur.

## Exposed Film

Keep exposed film cool and dry. Process the film as soon as possible after exposure to avoid undesirable changes in the latent image. If it is necessary to hold exposed but unprocessed film for several days (such as over a weekend), it should be resealed and refrigerated at 40°F (4°C) or lower. Before unsealing and processing exposed film that has been held in cold storage, follow the warm-up procedures described for unexposed film described above.

## Processed Film

For best keeping, store processed film in a dark, dust-free area at 50 to 70°F (10 to 21°C) and 30 to 50 percent relative humidity. Preferably, store negatives on the spool or in individual KODAK Sleeves. High relative humidity promotes the growth of mold and causes ferrotyping. Very low relative humidity causes excessive curl and brittleness. Avoid storage temperatures over 80°F (27°C).

## PROCESSING

KODAK VERSAMAT Processor, Models 11 and 1140  
KODAK PLUS-X AEROGRAPHIC Film 2402 can be processed in the KODAK VERSAMAT Film Processor, Model 11 or 1140 with KODAK VERSAMAT 885 Chemicals, KODAK VERSAMAT 641 Chemicals, or KODAK VERSAMAT Chemicals, Type A.

Mechanized processing in roller-transport processors offers the advantages of uniform treatment of all portions of the roll, freedom from banding, and absence of significant density variations from ends of the roll to the center. Refer to the operator's manual for the processor set-up information, but in all cases, the fixer replenisher should be introduced into tank No. 5 of the processor with a countercurrent flow to tank No. 3, where it overflows to a collection or recovery system.

General instructions for setting the machine dryer temperature are included in these pages. However, the temperature of the dryer may require some further adjustment, depending upon the ambient temperature conditions in the processing area. Usually it is best to set the temperature approximately 3°F (2°C) above that required to dry unexposed, processed film.

## Chemicals

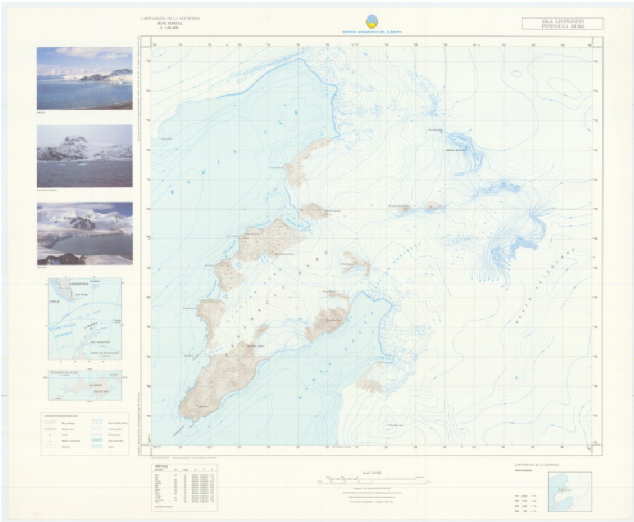
The following KODAK VERSAMAT Chemicals may be used in both the Model 11 and Model 1140 VERSAMAT Processors.

- KODAK VERSAMAT 885 Developer Starter
- KODAK VERSAMAT 885 Developer Replenisher
- KODAK VERSAMAT 885 Fixer and Replenisher
- KODAK VERSAMAT 641 Developer Starter
- KODAK VERSAMAT 641 Developer Replenisher
- KODAK VERSAMAT 641 Fixer and Replenisher
- KODAK VERSAMAT Developer Starter, Type A
- KODAK VERSAMAT Developer Replenisher, Type A
- KODAK VERSAMAT Fixer and Replenisher, Type A

**Notice:** Observe precautionary information on product labels and Material Safety Data Sheets.

## **ANEXO B**

### **Relatório de resíduos da georreferenciação do arquivo *raster* (Cartografia da Ilha Livingston 1:25000)**



Transformation parameters (Helmert)

| Translation x | Translation y | Scale x | Scale y | Rotation [degrees] | Mean error [pixels] |
|---------------|---------------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 624891.395    | 3057013.955   | 3.17293 | 3.17293 | 0.0234808          | 3.12319             |

Residuals



| ID | Enabled | Pixel X | Pixel Y | Map X      | Map Y       | Res X (pixels) | Res Y (pixels) | Res Total (pixels) |
|----|---------|---------|---------|------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|
| 0  | yes     | 1926    | -4419   | 631000.000 | 3043000.000 | -2.11491       | -1.9646        | 2.88661            |
| 1  | yes     | 6019    | -4418   | 644000.000 | 3043000.000 | 2.03165        | 0.725046       | 2.15715            |
| 2  | yes     | 1924    | -633    | 631000.000 | 3055000.000 | 0.965948       | 2.04145        | 2.25845            |
| 3  | yes     | 6023    | -638    | 644000.000 | 3055000.000 | -0.88269       | -0.801898      | 1.19255            |

## ANEXO C

### Distribuição de pontos fotogramétricos - Modelo 1



## **ANEXO D**

### **MDE da Península de Hurd (Dez - 1956)**

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m



3047000 m

3047000 m

3046000 m

3046000 m

3045000 m

3045000 m

3044000 m

3044000 m

3043000 m

3043000 m



**Península de Hurd (Dez 1956)**

Modelo Digital de Elevação  
Escala 1:20000  
Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

Altitudes  
392

0

631000 m

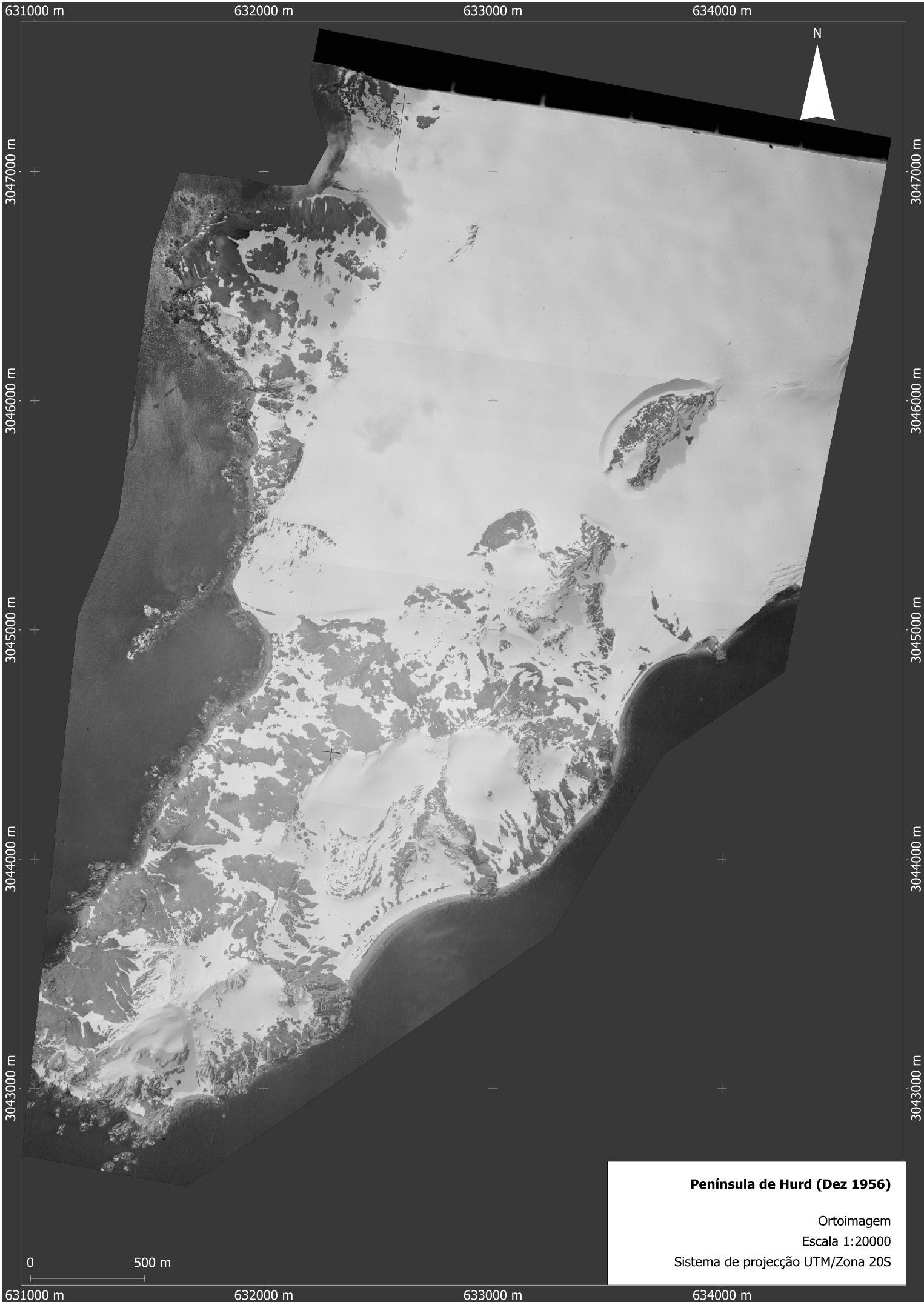
632000 m

633000 m

634000 m

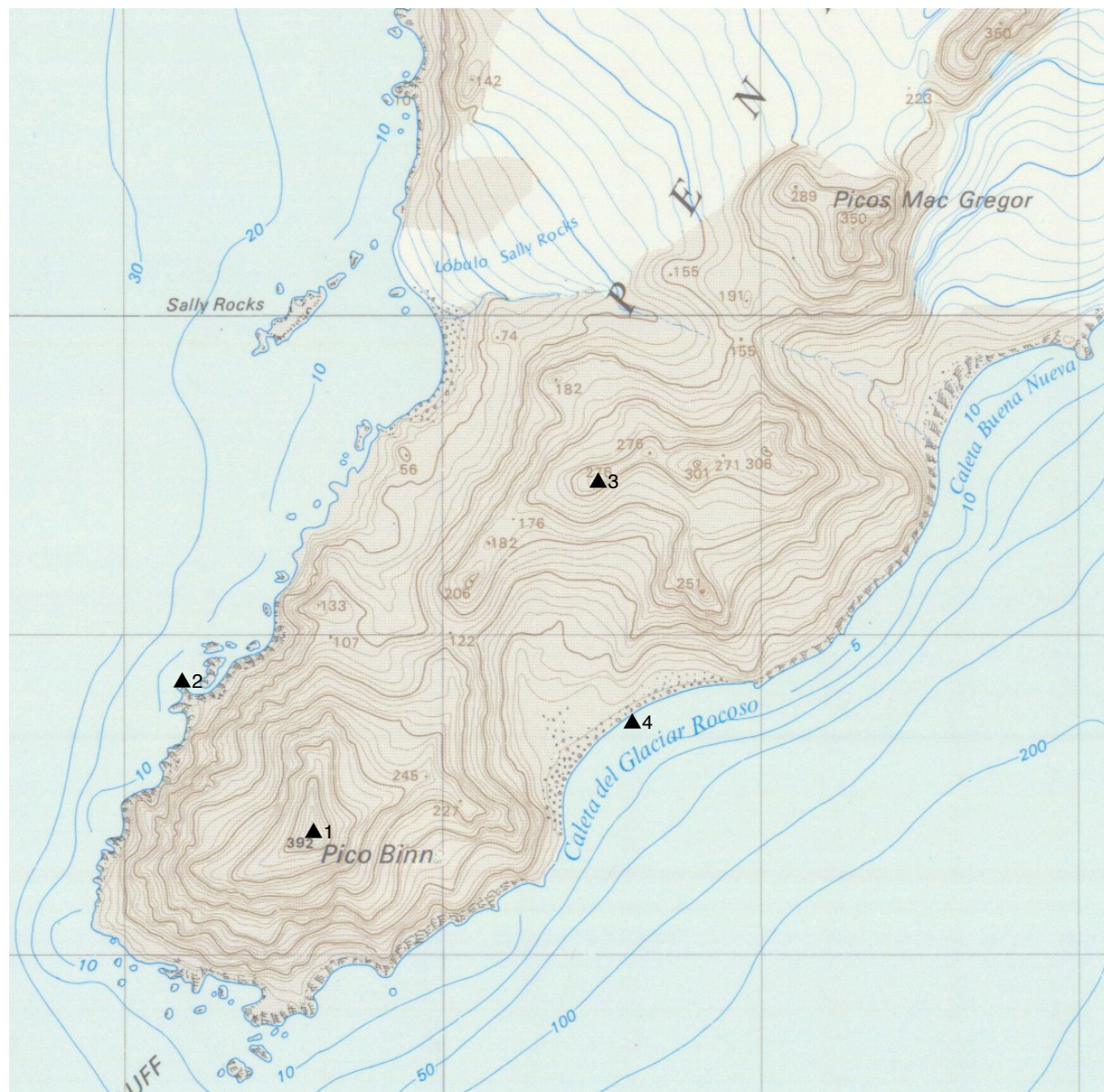
## **ANEXO E**

### **Ortoimagem da Península de Hurd (Dez - 1956)**



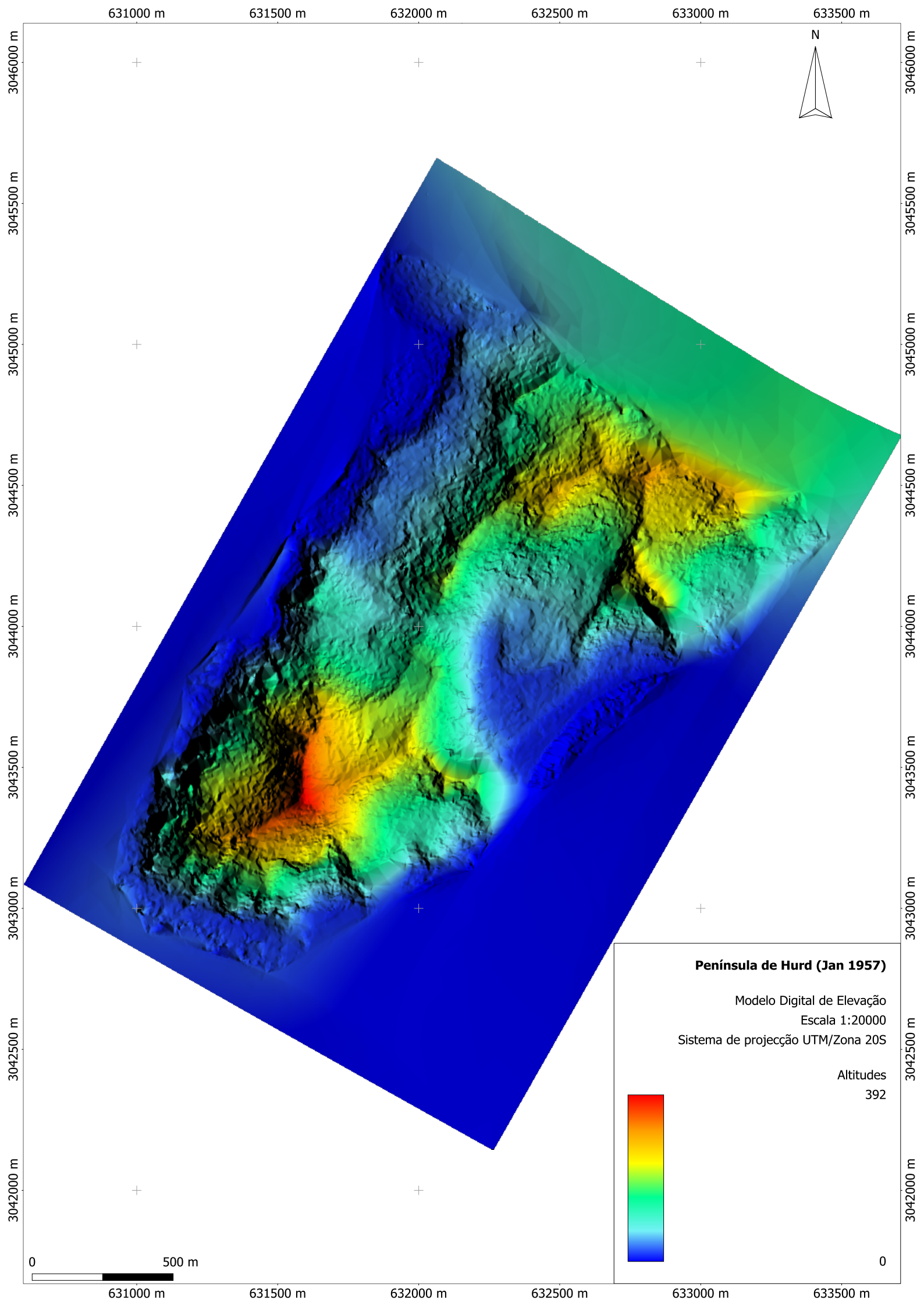
## ANEXO F

### Distribuição de pontos fotogramétricos - Modelo 2



## **ANEXO G**

### **MDE da Península de Hurd (Jan - 1957)**



## **ANEXO H**

### **Ortoimagem da Península de Hurd (Jan - 1957)**

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m



3046000 m

3045000 m

3044000 m

3043000 m

3042000 m

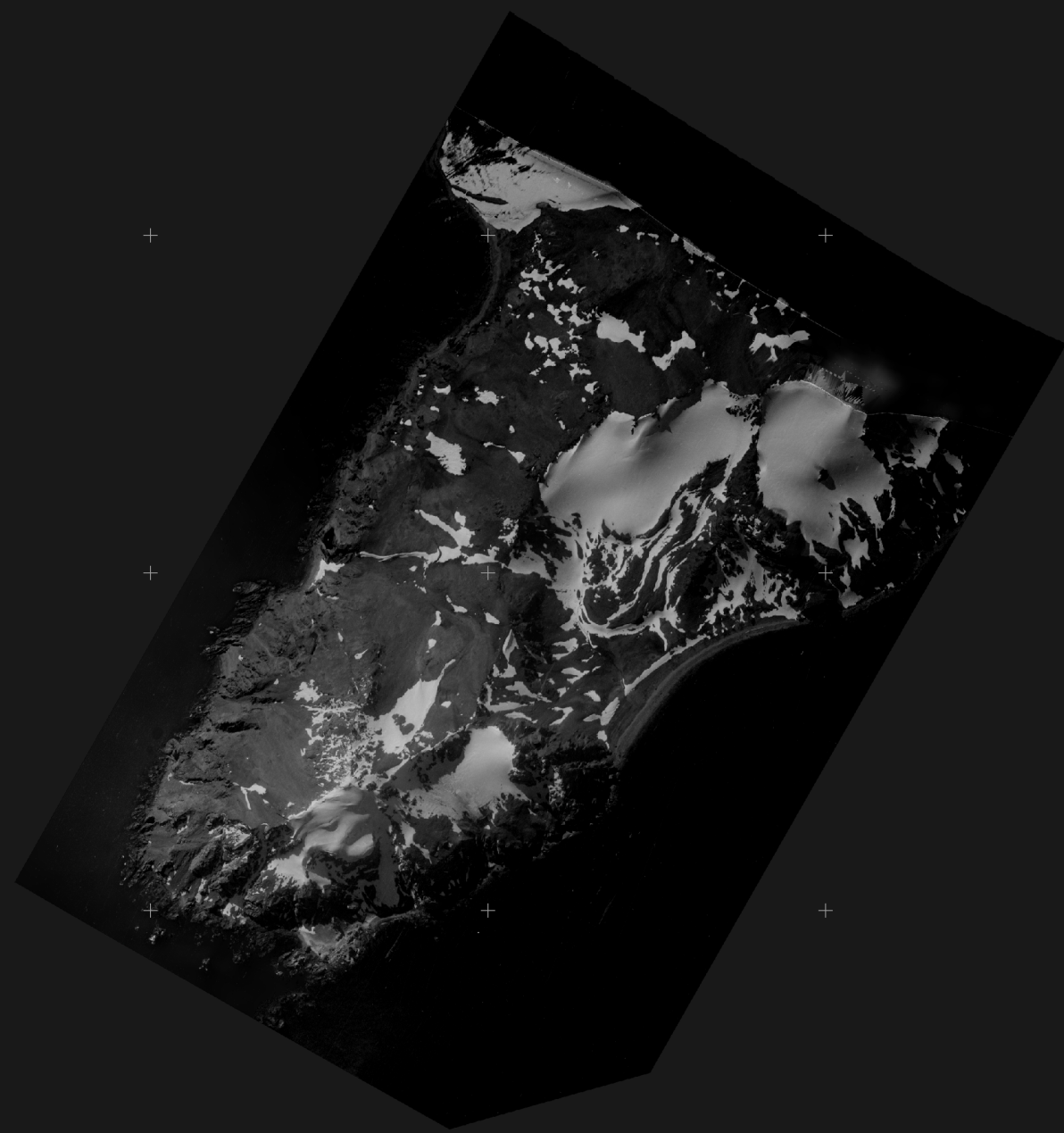
3046000 m

3045000 m

3044000 m

3043000 m

3042000 m



631000 m

632000 m

633000 m

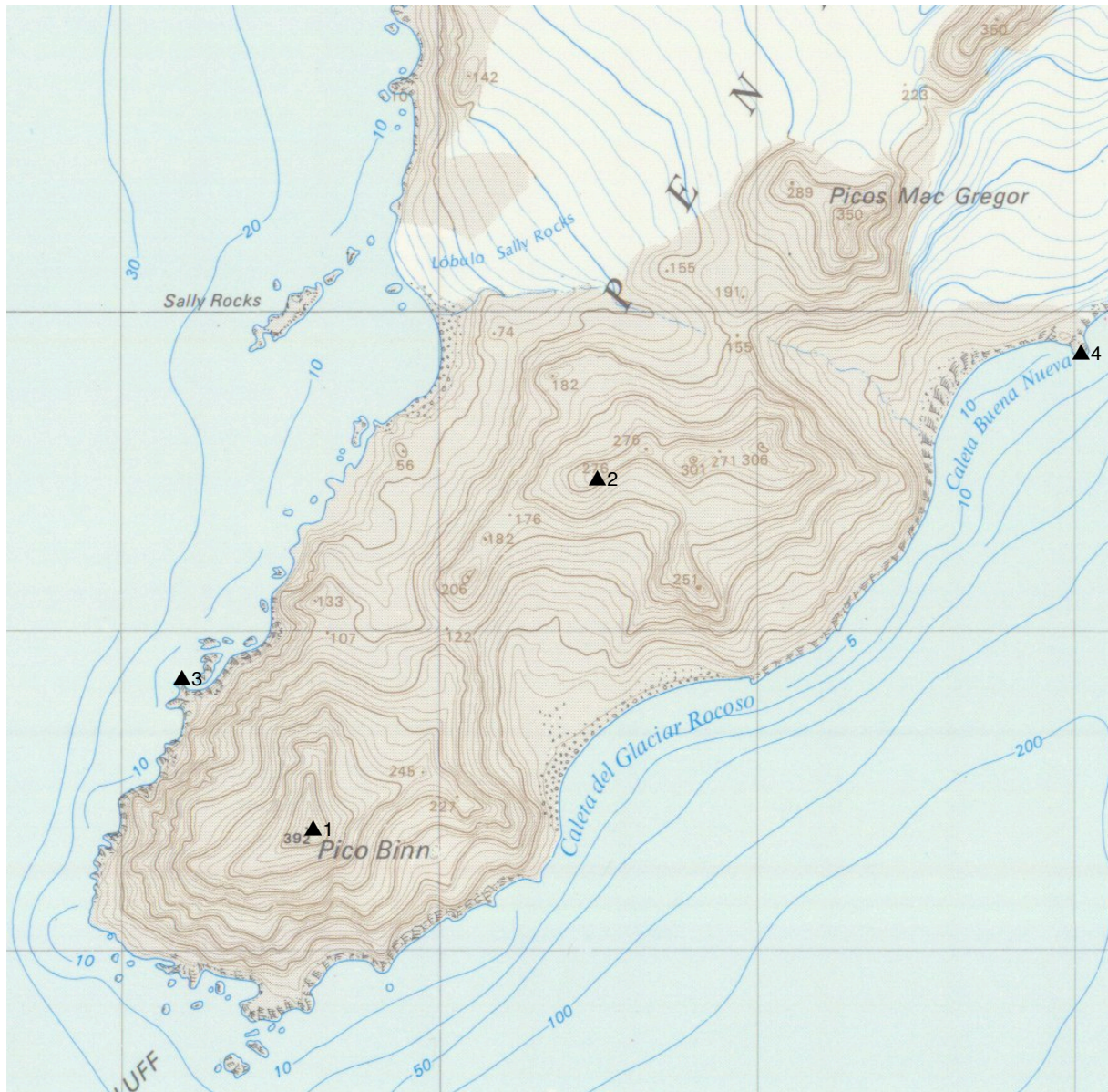
634000 m

**Península de Hurd (Jan - 1957)**

Ortoimagem  
Escala 1:20000  
Sistema de projecção UTM/Zona 20S

# ANEXO I

## Distribuição de pontos fotogramétricos - Modelo 3



## **ANEXO J**

### **MDE da Península de Hurd (Dez - 1957)**

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m

3047000 m

3046000 m

3045000 m

3044000 m

3043000 m

3047000 m

3046000 m

3045000 m

3044000 m

3043000 m

**Península de Hurd (Dez 1957)**

Modelo Digital de Elevação

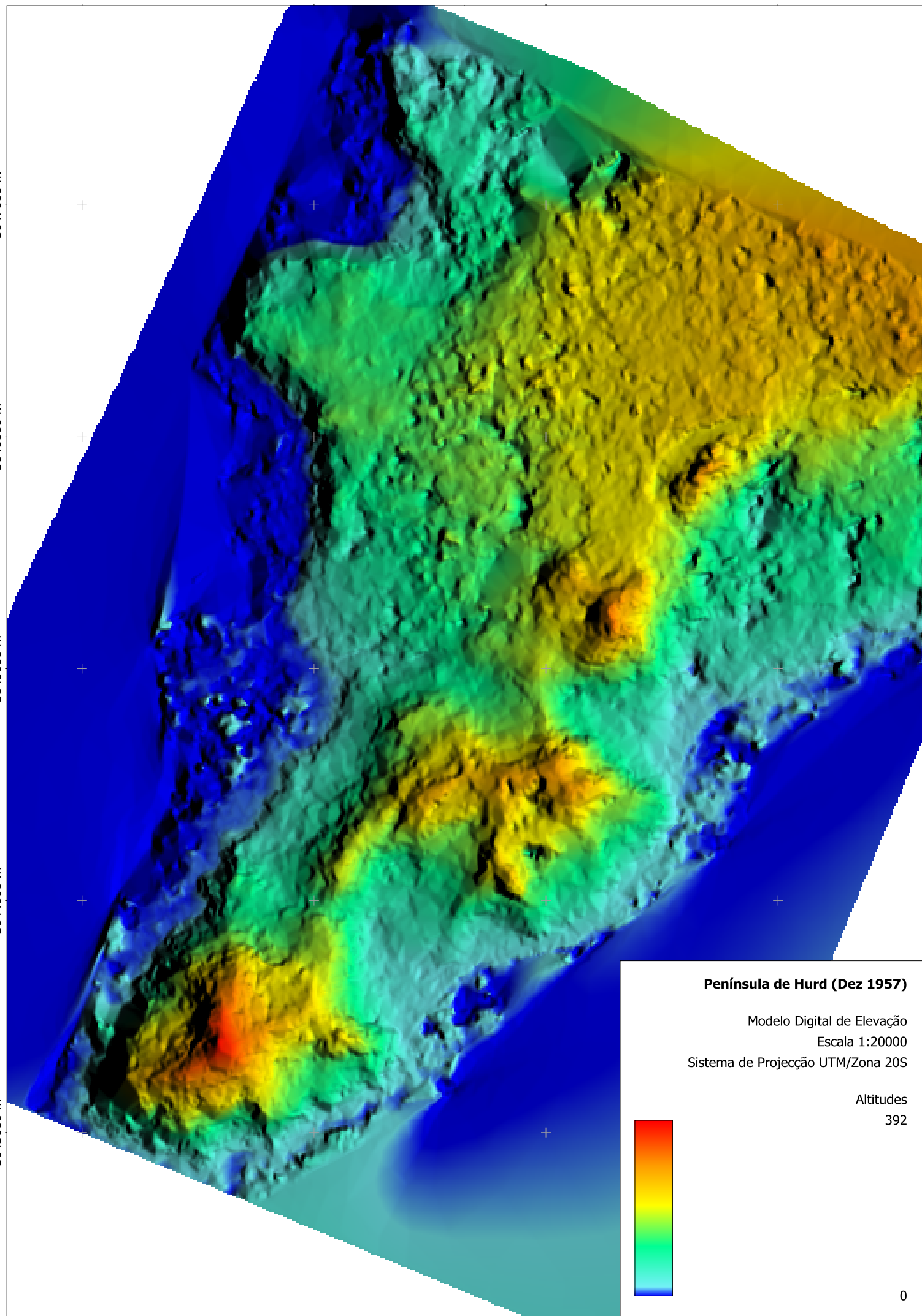
Escala 1:20000

Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

Altitudes

392

0



## **ANEXO K**

### **Ortoimagem da Península de Hurd (Dez - 1957)**

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m

N



3047000 m

3047000 m

3046000 m

3046000 m

3045000 m

3045000 m

3044000 m

3044000 m

3043000 m

3043000 m

3042000 m

3042000 m

0 500 m

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m

**Península de Hurd (Dez 1957)**

Ortoimagem

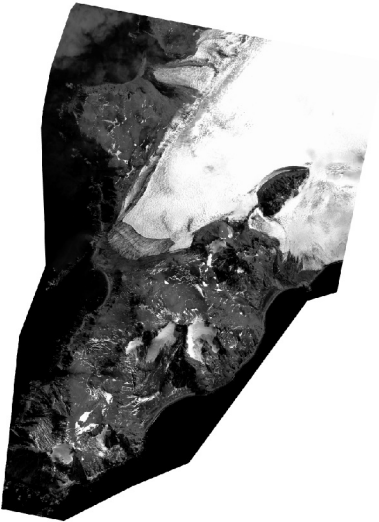
Escala 1:20000

Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

## **ANEXO L**

**Relatório de resíduos da georreferenciação de um  
arquivo *raster* (Ortoimagem da Península de Hurd, Out -  
2010)**

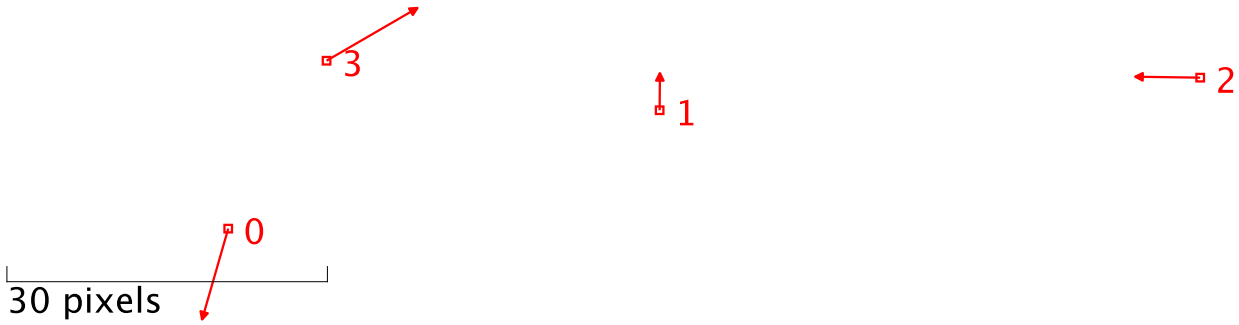
quick\_2010\_orto.jpg



Transformation parameters (Helmert)

| Translation x | Translation y | Scale x  | Scale y  | Rotation [degrees] | Mean error [pixels] |
|---------------|---------------|----------|----------|--------------------|---------------------|
| 630946.711    | 3047756.568   | 0.628101 | 0.628101 | 0.0336109          | 10.5892             |

Residuals



| ID | Enabled | Pixel X | Pixel Y | Map X      | Map Y       | Res X (pixels) | Res Y (pixels) | Res Total (pixels) |
|----|---------|---------|---------|------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|
| 0  | yes     | 1020    | -6961   | 631588.172 | 3043379.237 | -2.44867       | 8.50574        | 8.8512             |
| 1  | yes     | 2717    | -5080   | 632655.285 | 3044569.248 | 0.025189       | -3.47657       | 3.47666            |
| 2  | yes     | 4844    | -4562   | 633987.321 | 3044893.051 | -6.08481       | -0.0885824     | 6.08546            |
| 3  | yes     | 1407    | -4293   | 631837.091 | 3045063.898 | 8.5083         | -4.9406        | 9.83873            |

## **ANEXO M**

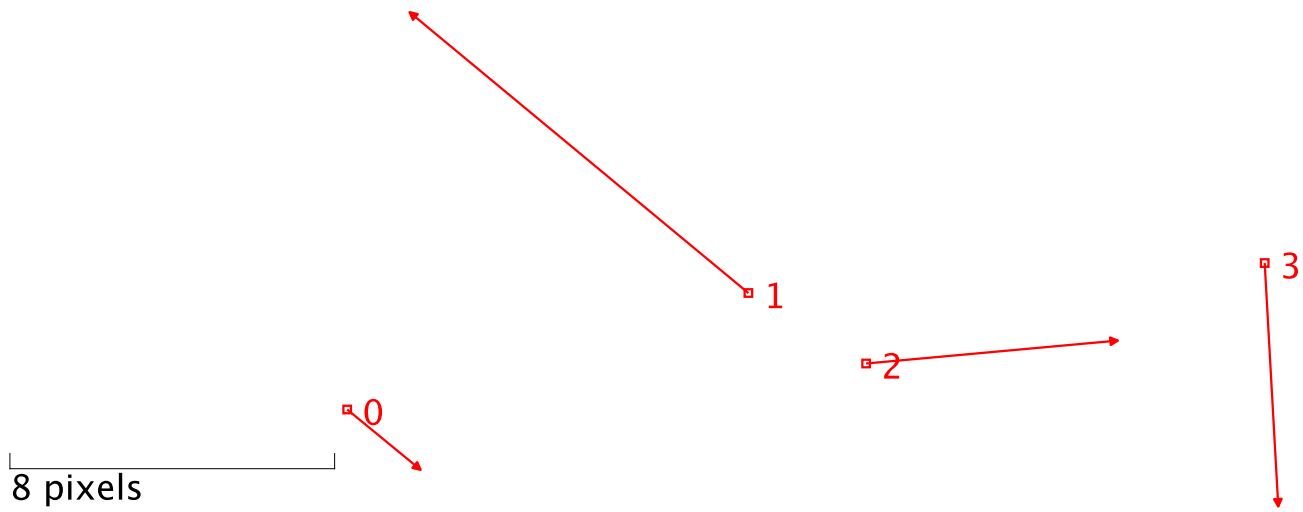
**Relatório de resíduos da georreferenciação de um  
arquivo *raster* (Ortoimagem da Península de Hurd, Out -  
2012)**



Transformation parameters (Helmert)

| Translation x | Translation y | Scale x | Scale y | Rotation [degrees] | Mean error [pixels] |
|---------------|---------------|---------|---------|--------------------|---------------------|
| 630592.755    | 3047759.686   | 0.64918 | 0.64918 | -0.080838          | 9.9485              |

Residuals



| ID | Enabled | Pixel X | Pixel Y | Map X      | Map Y       | Res X (pixels) | Res Y (pixels) | Res Total (pixels) |
|----|---------|---------|---------|------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|
| 0  | yes     | 1009    | -6973   | 631589.181 | 3043379.465 | 1.81017        | 1.48604        | 2.34201            |
| 1  | yes     | 2716    | -5083   | 632655.480 | 3044569.866 | -8.34852       | -6.91907       | 10.843             |
| 2  | yes     | 3217    | -6226   | 632978.307 | 3043847.441 | 6.20366        | -0.564718      | 6.22931            |
| 3  | yes     | 4913    | -4596   | 634040.085 | 3044864.718 | 0.334686       | 5.99775        | 6.00708            |

## **ANEXO N**

### **Ortoimagem da Península de Hurd, Out - 2010**

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m

3048000 m

3048000 m

3047000 m

3047000 m

3046000 m

3046000 m

3045000 m

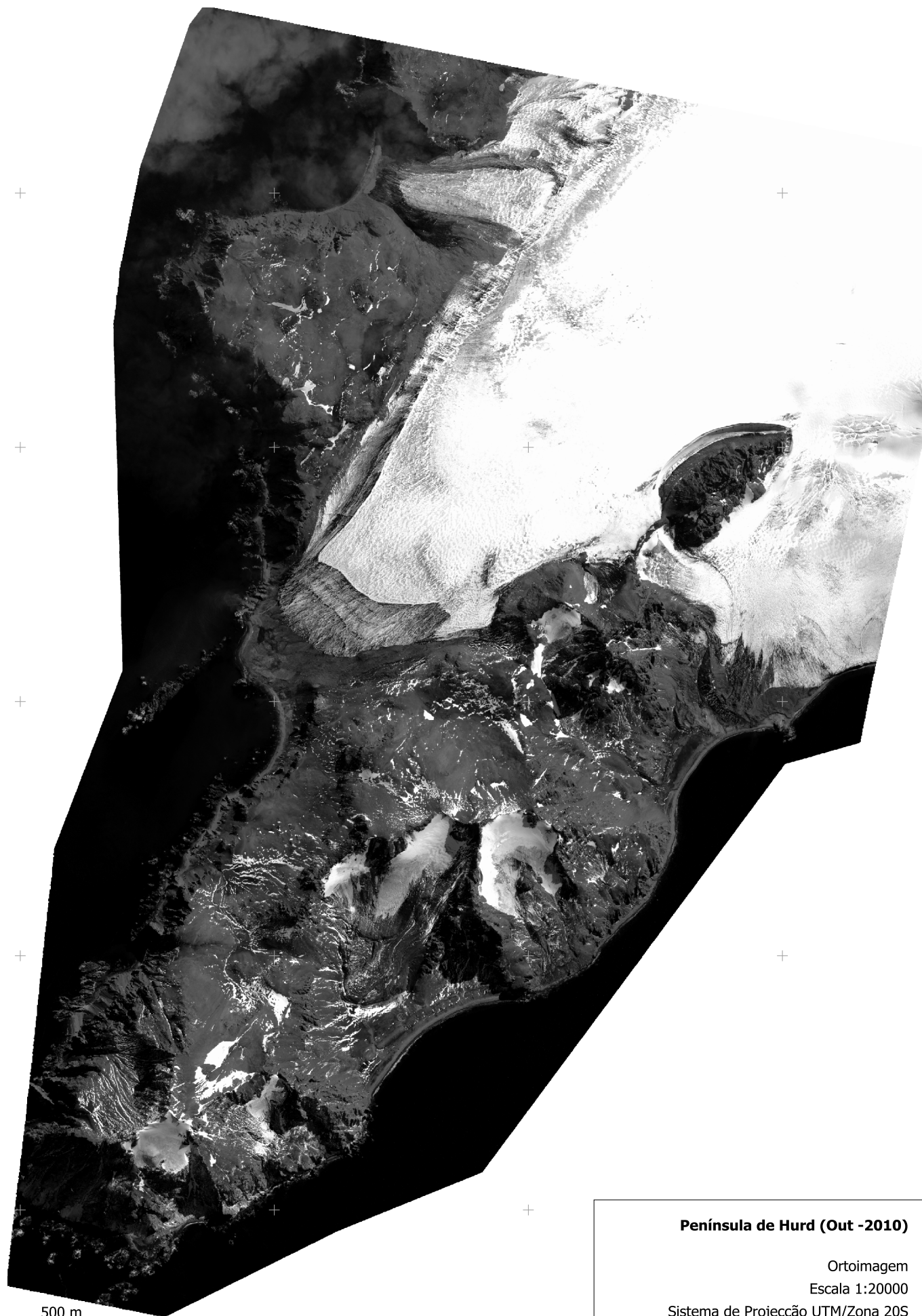
3045000 m

3044000 m

3044000 m

3043000 m

3043000 m



631000 m

632000 m

633000 m

634000 m

**Península de Hurd (Out -2010)**

Ortoimagem

Escala 1:20000

Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

## **ANEXO O**

### **Ortoimagem da Península de Hurd, Out - 2012**

631000 m

632000 m

633000 m

634000 m

3048000 m

3048000 m

3047000 m

3047000 m

3046000 m

3046000 m

3045000 m

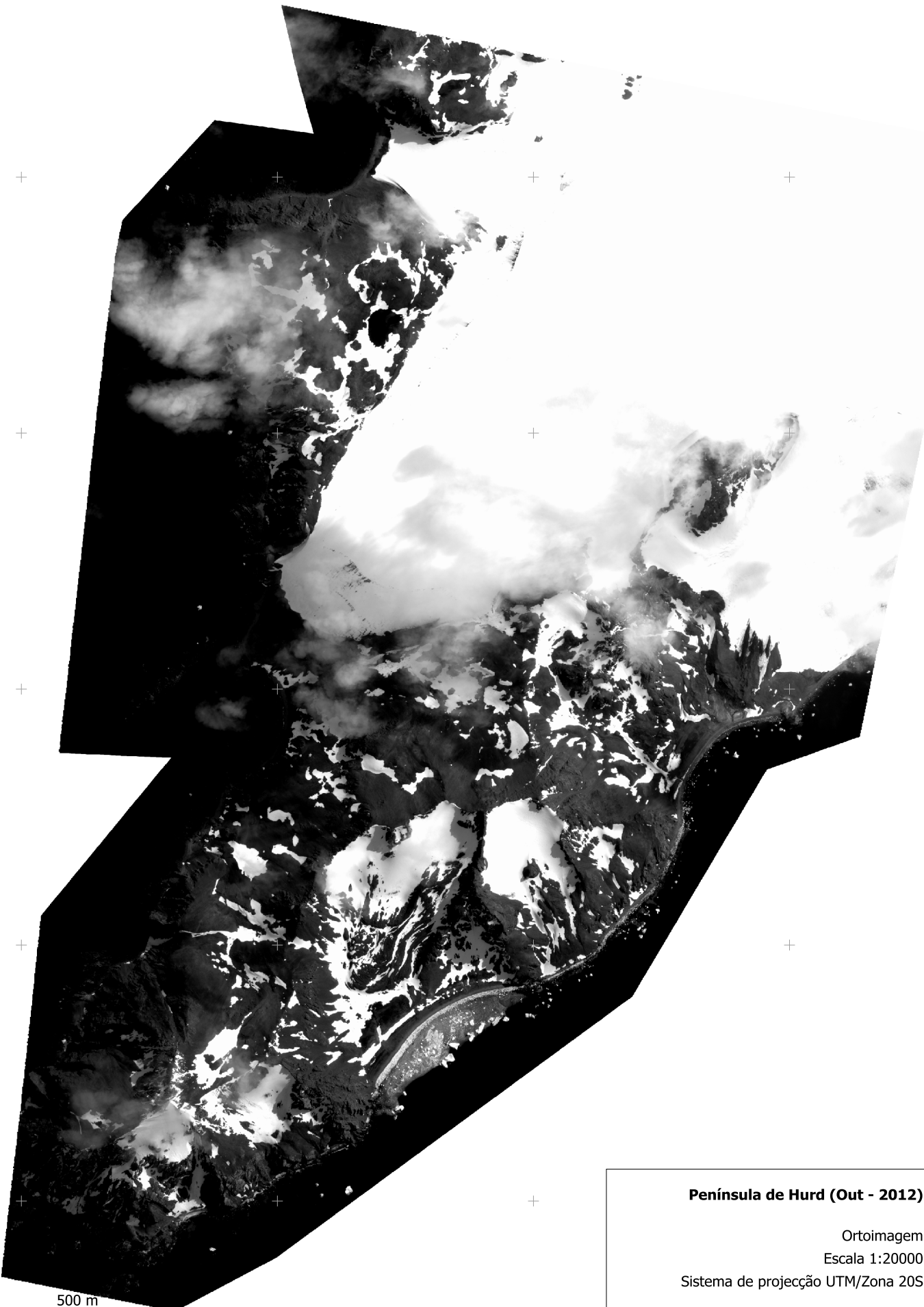
3045000 m

3044000 m

3044000 m

3043000 m

3043000 m



**Península de Hurd (Out - 2012)**  
Ortoimagem  
Escala 1:20000  
Sistema de projecção UTM/Zona 20S

631000 m

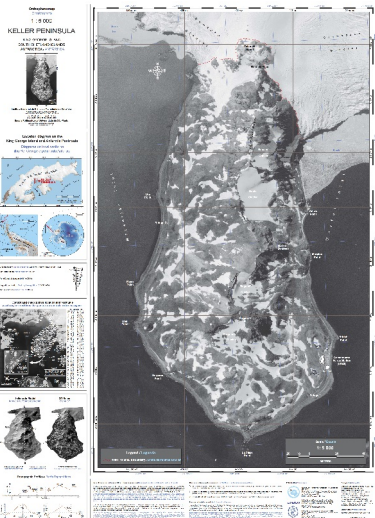
632000 m

633000 m

634000 m

## **ANEXO P**

**Relatório de resíduos da georreferenciação de um  
arquivo *raster* (Ortofotomapa da Península de Keller, Jan  
- 2003)**



Transformation parameters (Helmert)

| Translation x | Translation y | Scale x  | Scale y  | Rotation [degrees] | Mean error [pixels] |
|---------------|---------------|----------|----------|--------------------|---------------------|
| 424235.730    | 3118899.433   | 0.846698 | 0.846698 | -0.0024642         | 0.428819            |

Residuals



2 pixels

| ID | Enabled | Pixel X | Pixel Y | Map X      | Map Y       | Res X (pixels) | Res Y (pixels) | Res Total (pixels) |
|----|---------|---------|---------|------------|-------------|----------------|----------------|--------------------|
| 0  | yes     | 1493    | -4605   | 425500.000 | 3115000.000 | 0.270442       | -0.0553259     | 0.276043           |
| 1  | yes     | 1493    | -472    | 425500.000 | 3118500.000 | 0.12756        | -0.286335      | 0.313463           |
| 2  | yes     | 3856    | -4605   | 427500.000 | 3115000.000 | -0.0752074     | 0.282845       | 0.292673           |
| 3  | yes     | 3856    | -472    | 427500.000 | 3118500.000 | -0.322795      | 0.0588161      | 0.328109           |

# ANEXO Q

## Distribuição de pontos fotogramétricos - Península de Keller, Dez -1956



## **ANEXO R**

### **MDE da Península de Keller, Dez - 1956**

425000 m

426000 m

427000 m

428000 m

N



3119000 m

3119000 m

3118000 m

3118000 m

3117000 m

3117000 m

3116000 m

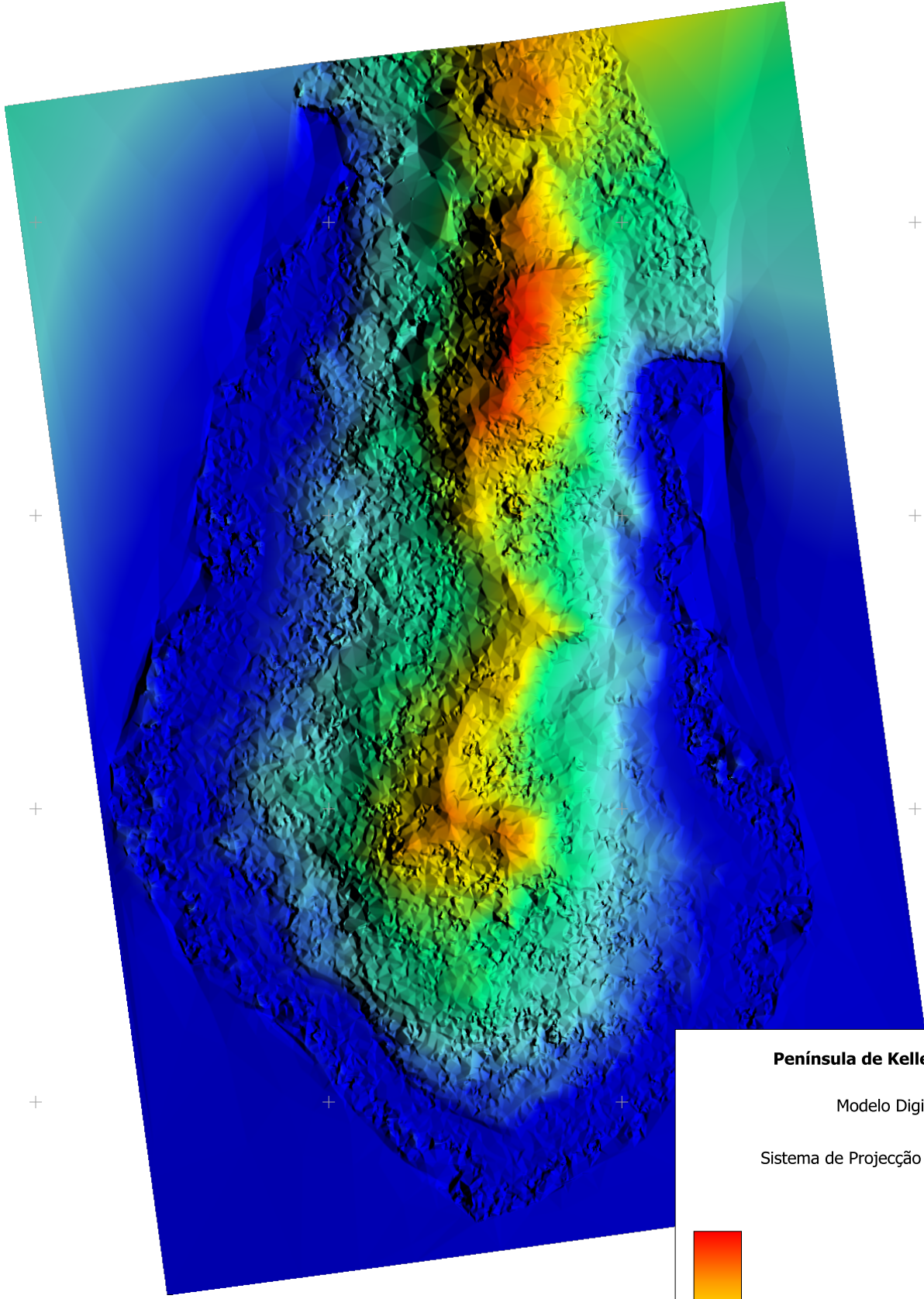
3116000 m

3115000 m

3115000 m

3114000 m

3114000 m



0 500 m



425000 m

426000 m

427000 m

428000 m

**Península de Keller (Dez 1956)**

Modelo Digital de Elevação  
Escala 1:20000  
Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

Altitudes  
333



0

## **ANEXO S**

**Ortoimagem da Península de Keller, Dez - 1956**

425000 m

426000 m

427000 m

428000 m

N



3119000 m

3119000 m

3118000 m

3118000 m

3117000 m

3117000 m

3116000 m

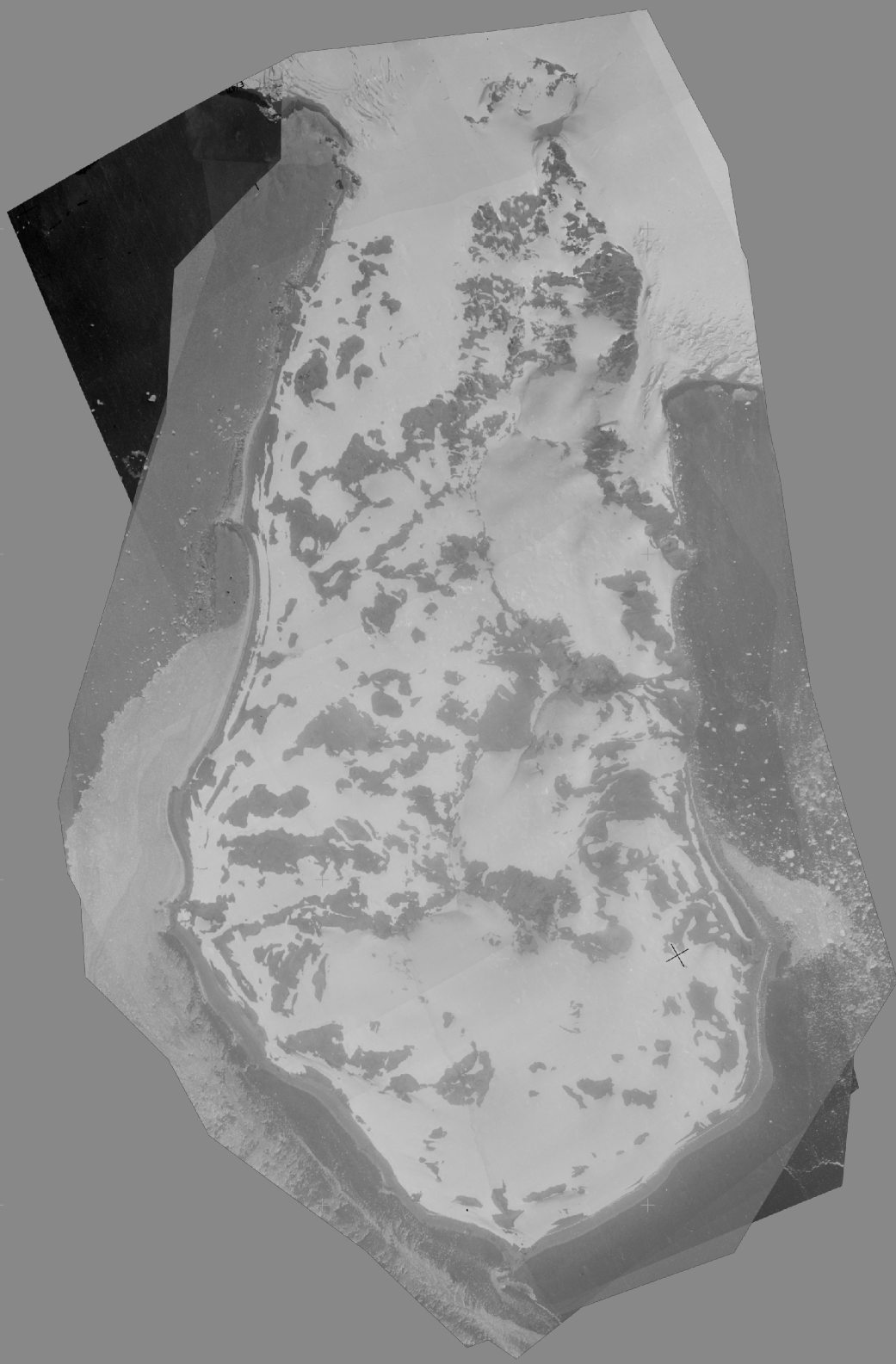
3116000 m

3115000 m

3115000 m

3114000 m

3114000 m



0 1 km

425000 m

426000 m

427000 m

428000 m

**Península de Keller**

Ortoimagem

Escala 1:20000

Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

# ANEXO T

## Distribuição de pontos fotogramétricos - Península de Keller, Mar - 2009



## **ANEXO U**

**Ortoimagem da Península de Keller, Mar - 2009**

425000 m

426000 m

427000 m

428000 m



3119000 m

3119000 m

3118000 m

3118000 m

3117000 m

3117000 m

3116000 m

3116000 m

3115000 m

3115000 m

3114000 m

3114000 m



425000 m

426000 m

427000 m

428000 m

**Península de Keller (Mar - 2009)**

Ortoimagem

Escala 1:20000

Sistema de Projecção UTM/Zona 20S

**ANEXO V**  
**Licença de utilização Agisoft**

## END-USER LICENSE AGREEMENT FOR AGISOFT PHOTOSCAN PROFESSIONAL VERSION 1.1

IMPORTANT! PLEASE READ THE TERMS AND CONDITIONS OF THIS LICENSE AGREEMENT CAREFULLY BEFORE CONTINUING WITH THIS PROGRAM INSTALLATION:

AgiSoft End-User License Agreement ("EULA") is a legal agreement between you (either an individual or a legal entity) and AgiSoft LLC (referred to as "LICENSOR") for the AgiSoft's proprietary computer program (identified above) and related documentation, printed materials and/or "online" or electronic documentation, (this program and documentation, as well as any updates which may at LICENSOR'S sole discretion be provided to you from time to time, are referred to in this Agreement as "PROGRAM"). By installing, copying, or otherwise using the PROGRAM, you agree to be bound by the terms of this EULA. This license agreement represents the entire agreement concerning the PROGRAM between you and AgiSoft LLC, and it supersedes any prior proposal, representation, or understanding between the parties. If you do not agree to the terms of this EULA, do not install and/or use the PROGRAM.

### 1. GRANT OF LICENSE

LICENSOR hereby grants to you a non-exclusive, non-transferable right to install and use the PROGRAM: (a) worldwide, (b) during the term of the license in compliance with your license type, (c) within the license scope relevant to your license type, (d) subject to the terms and conditions of this EULA.

### 2. LICENSE TYPES

1) Stand-Alone License. With stand-alone license Licensor grants to you a non-exclusive, non-transferable right to install and use the PROGRAM: (a) worldwide; (b) during a non-limited period of time unless otherwise indicated by Licensor on providing the license key; the term of the license mentioned above can be terminated on conditions stated in the Section 8 of this EULA; (c) for commercial and non-commercial purposes; (d) subject to the terms and conditions of this EULA. You may activate the PROGRAM on only one device at a time and use it in executable form only.

2) Educational License. With educational license Licensor grants to you a non-exclusive, non-transferable right to install and use the PROGRAM: (a) worldwide; (b) during a non-limited period of time unless otherwise indicated by Licensor on providing the license key; the term of the license mentioned above can be terminated on conditions stated in the Section 8 of this EULA; (c) for educational and research purposes; the PROGRAM, executed under educational license, including any materials created with the help of it shall not be used for commercial purposes; (d) subject to the terms and conditions of this EULA. You may activate the program on only one device at a time and use it in executable form only.

3) Trial License. With trial license Licensor grants to you a non-exclusive, non-transferable right to install and use the PROGRAM: (a) worldwide; (b) during 30 (thirty) days after the first activation of the PROGRAM with the trial license key; the term of the license mentioned above can be terminated on conditions stated in the Section 8 of this EULA; (c) for evaluation purposes; the PROGRAM, executed under trial license, including any materials created with the help of it shall not be used for commercial purposes; (d) subject to the terms and conditions of this EULA. You may activate the program on only one device and use it in executable form only.

## **ANEXO W**

### **Licença de utilização PCI Geomatics**



### PCI Case Study Agreement

The goal of this program is to generate case studies, descriptions of end-user experiences and other materials related to the deployment of PCI’s technology. These materials will be used by PCI to promote the use of its technology by the academic / end user community.

In recognition of your efforts to help generate these materials, PCI Geomatics is pleased to provide you, Cláudio Sousa with a 30 day trial license of all modules, included within the trial license.

In exchange, you agree that you will provide a written case study within 2 months of software installation. PCI marketing may contact you for additional information and clarification about regarding the case study.

Nothing herein shall be construed as an obligation of PCI Geomatics to create such case study, press release, or testimonial advertisement, nor to use the final case study, press release or testimonial advertisement in any manner. PCI Geomatics will own all copyrights to the case study.

Offer in effect until November 30<sup>th</sup>, 2015.

Signed and agreed:

\_\_\_\_\_ Date: Sept 29<sup>th</sup>, 2015

Cláudio Sousa

  
\_\_\_\_\_ Date: Sept 29<sup>th</sup>, 2015

Stewart Wyseman  
Territory Sales Manager – Africa & Europe  
PCI Geomatics Inc.