

## **Tema A3**

### **Componentes técnicas do Processo de Produção Cartográfica**

Planeamento e recepção do vôo

Apoio fotogramétrico + Triangulação aérea

Restituição fotogramétrica

Completagem

Edição cartográfica (geração do MNT e do MNC)

Impressão e reprodução

# Componentes Técnicas e a escala de representação

## Escala de Representação Cartográfica

> 1:1,000

Levantamento  
Topográfico

Levantamento  
com UAV

Apoio Topográfico

Restituição  
monoscópica

Completagem

Edição

Impressão

< 1:1,000 e  
> 1:25,000

Vôo

Apoio Topográfico

Restituição Fotogramétrica

Completagem

Edição

Impressão

< 1:25,000

Cartografia de  
maior escala

Imagem  
Satélite

Apoio Topográfico

Generalização

Restituição  
monoscópica

Completagem

Edição

Impressão

# Fases da produção Cartográfica

---

**Escala < 1/1,000**

- **Realização do Voo**
- **Apoio de Campo**
- **(Digitalização fotográfica)**
- **Triangulação Aérea**
- **Restituição Fotogramétrica**
- **Completagem**
- **Edição e Impressão**

# Realização do voo

---

As normas de execução de um voo fotogramétrico estão definidas no **Regulamento Técnico para as Coberturas Aerofotográficas a executar em Portugal (RTCAP)**

Este regulamento refere os requisitos técnicos, características de equipamento e processos a utilizar na execução de fotografia aérea destinada a fins cartográficos e fotointerpretativos em geral, englobando-se toda a cartografia temática para avaliação e inventariação de recursos naturais e planeamento.

As especificações são aplicáveis à fotografia pancromática, infra-vermelha, infra-vermelha a cores (falsa cor) e a cor natural, com características métricas e de qualidade adequada a aplicações cartográficas em geral.

# Especificações técnicas (RTCAP)

## 1. REQUISITOS OPERACIONAIS

### 1.1 Direções de voo

As fiadas deverão ser voadas norte-sul ou este-oeste, com a tolerância de 5 graus em relação à direção cardinal respetiva, salvo se especificada outra direção nas condições especiais.



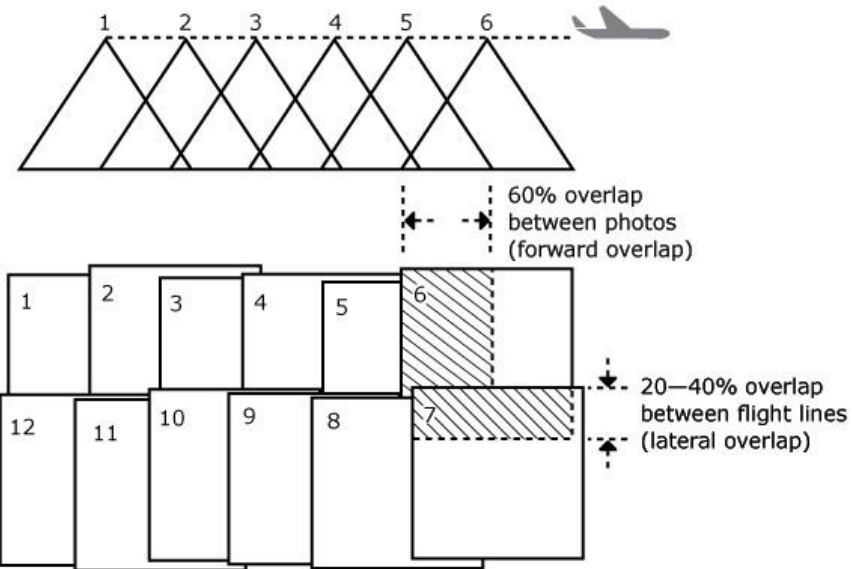
A cobertura fotográfica, deverá exceder os limites da zona a cobrir paralelos à direção de voo, em pelo menos 15% da largura da fiada. O primeiro e o último negativos de cada fiada que abranja os limites da área a fotografar deverão cobrir zonas situadas fora dessa área.

# Especificações técnicas (RTCAP)

## 1.2 Sobreposições

### 1.2.1 Longitudinal

A sobreposição longitudinal deverá ser, em média, de aproximadamente 60% e qualquer sobreposição inferior a 55% ou superior a 65% constituirá razão suficiente para a rejeição de todas as fotografias dessa fiada.



### 1.2.2 Lateral

A sobreposição lateral entre fiadas paralelas e adjacentes da fotografia deve ser, regra geral e em média, salvo se de outro modo especificado nas condições técnicas especiais do projecto:

- Em voos acima dos 1500 m e em terreno plano 15% a 30%
- Em voos abaixo dos 1500 m e em terreno acidentado 15%

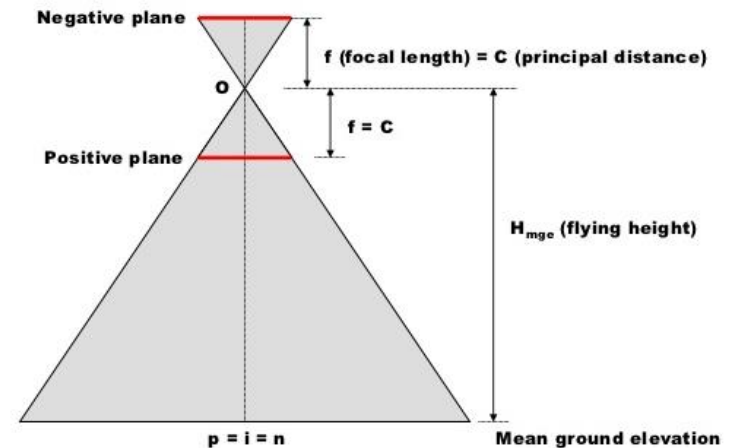
# Especificações técnicas (RTCAP)

## 1.3 Altitude de voo

A altitude de voo acima da cota média do terreno, |  
será calculada pela fórmula:

$$H = f \cdot s$$

$f$  é a distância focal calibrada da câmara aérea e  $s$  o  
denominador da fração representativa da escala  
fotográfica média pretendida.



## 1.4 Época de fotografia

Na latitude de Portugal, a época própria para fotografia aérea destinada a estereorestituição poderá **estender-se de princípios de Fevereiro a meados de Novembro** (incluindo as Regiões Autónomas). As coberturas fotográficas de zonas densamente arborizadas por espécies de folhagem caduca **deverão ser executadas até fins de Abril**, sempre que se destinem a fins cartográficos.

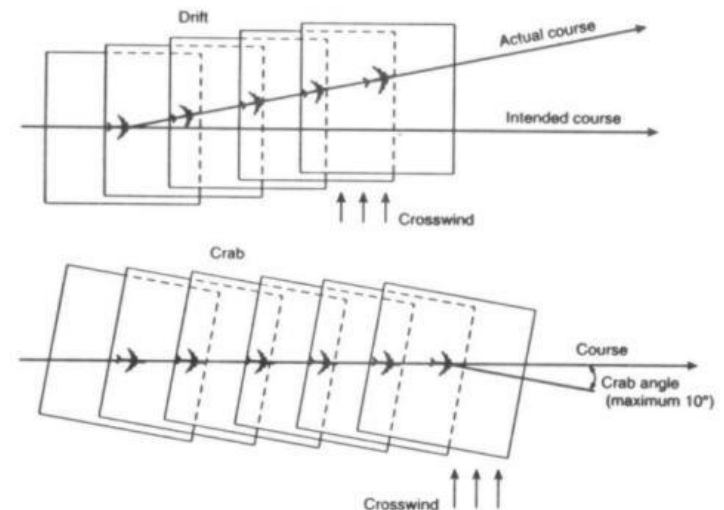
# Especificações técnicas (RTCAP)

## 1.5 Altura solar

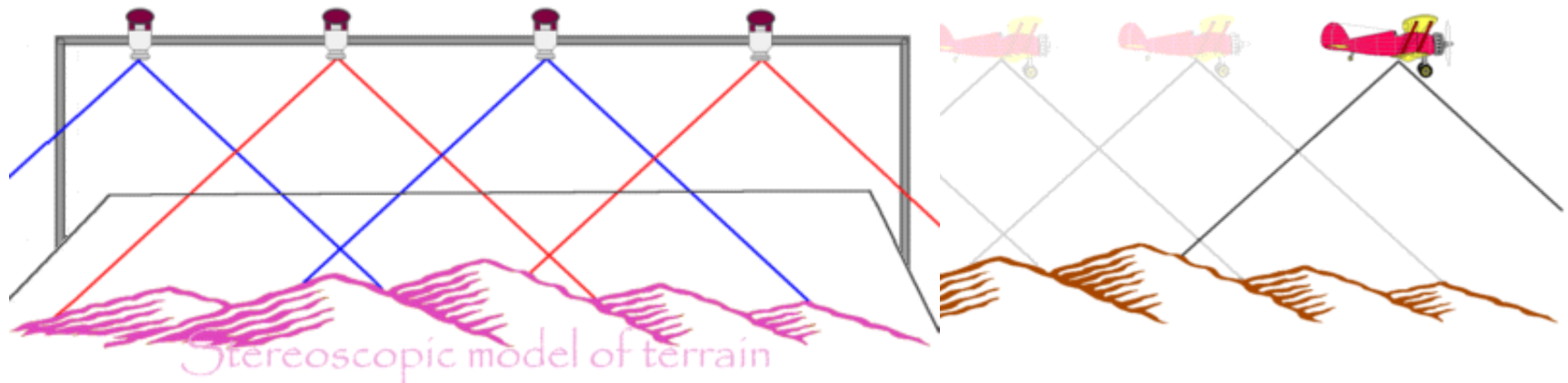
A altura do sol deve ser de pelo menos  $30^\circ$ , salvo se se tratar de aplicações especiais em que sejam requeridos outros limites mormente para que o ponto de reflexão directa do sol caia fora das fotografias, os quais constarão das condições específicas do projecto em questão.

## 1.6 Deriva

A câmara aérea deverá ser orientada durante o voo fotográfico por forma a que os lados da fotografia segundo a linha de voo sejam paralelos ao eixo da fiada dentro de 5 graus (desvio máximo), não devendo, em caso algum, comprometer as tolerâncias especificadas para a sobreposição lateral.



# Realização do voo fotogramétrico



| Escala do voo |        | Escala da Carta |
|---------------|--------|-----------------|
| 1:4000        | —————→ | 1:1000          |
| 1:7500        | —————→ | 1:2000          |
| 1:15000       | —————→ | 1:5000          |
| 1:22500       | —————→ | 1:10000         |
| 1:30000       | —————→ | 1:25000         |

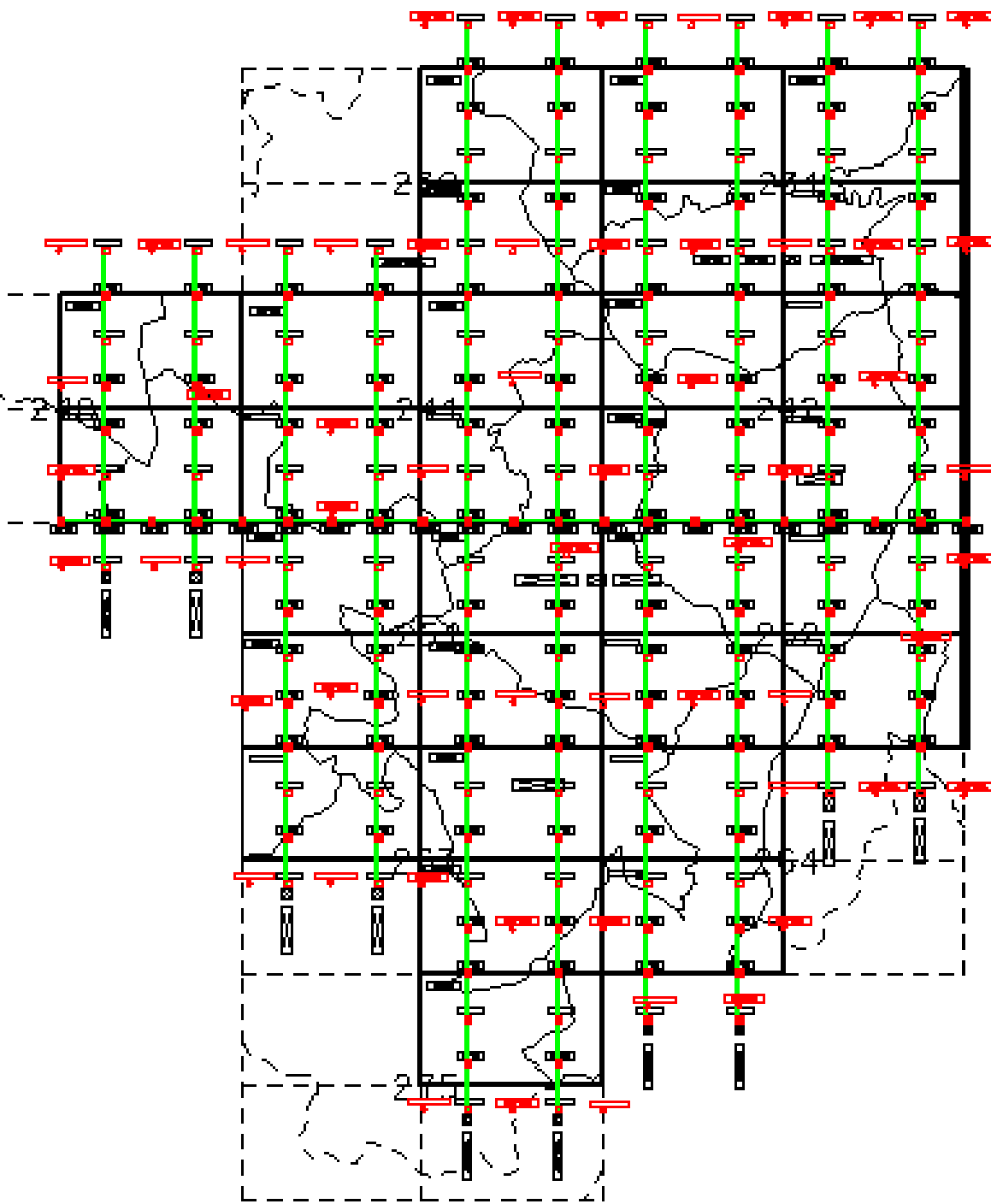
# Planeamento do Voo Fotogramétrico

---

A escala do voo é por norma um dado do caderno de encargos.

Em situações não regulamentadas a escala do voo deverá obedecer aos critérios anteriores, contemplando a solução que otimize o compromisso entre a precisão exigida, tempo de execução e custos do projeto.

Um incorreto planeamento do voo poderá ditar desde o primeiro momento o insucesso de um projeto cartográfico.

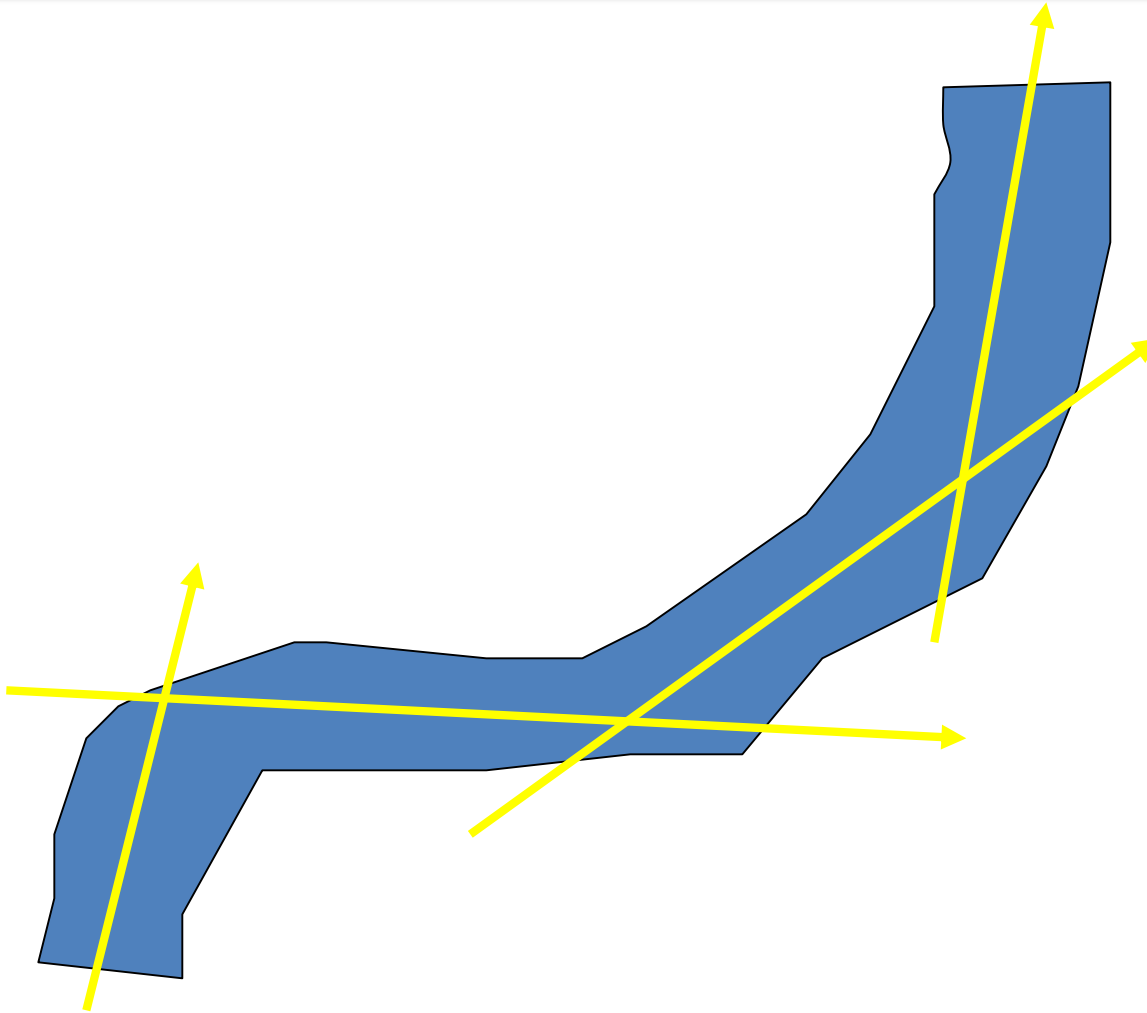


---

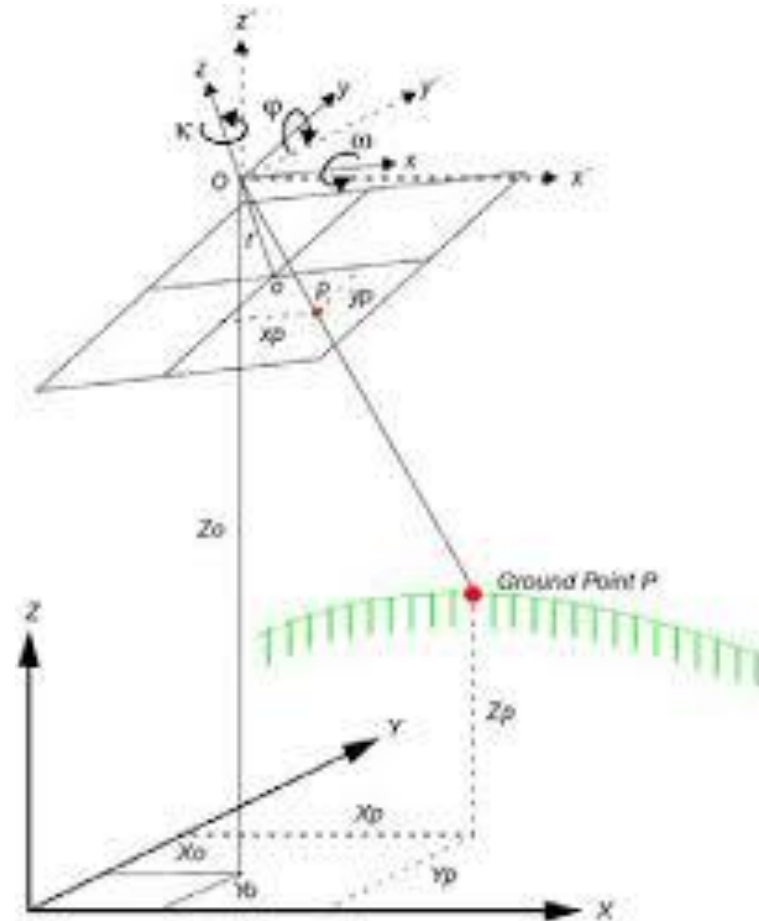
## Planeamento do Voo Fotogramétrico

---

# Planeamento do Voo Fotogramétrico



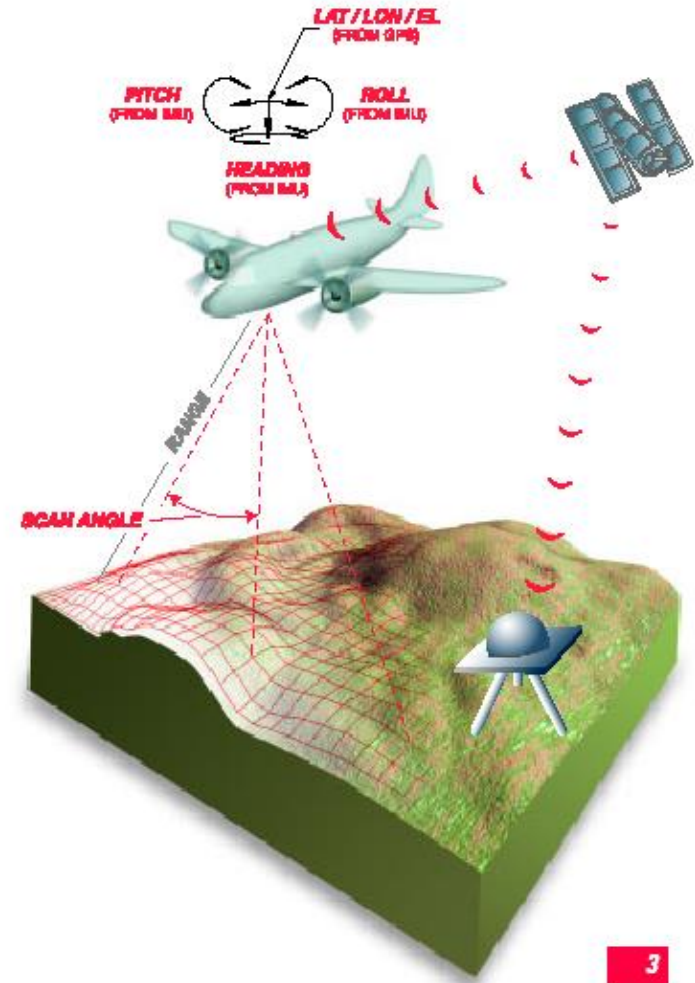
No processo de produção cartográfico, o apoio de campo (topográfico) e a triangulação aérea têm como principal objetivo a obtenção da posição e orientação da câmara fotográfica no instante da tomada da fotografia.



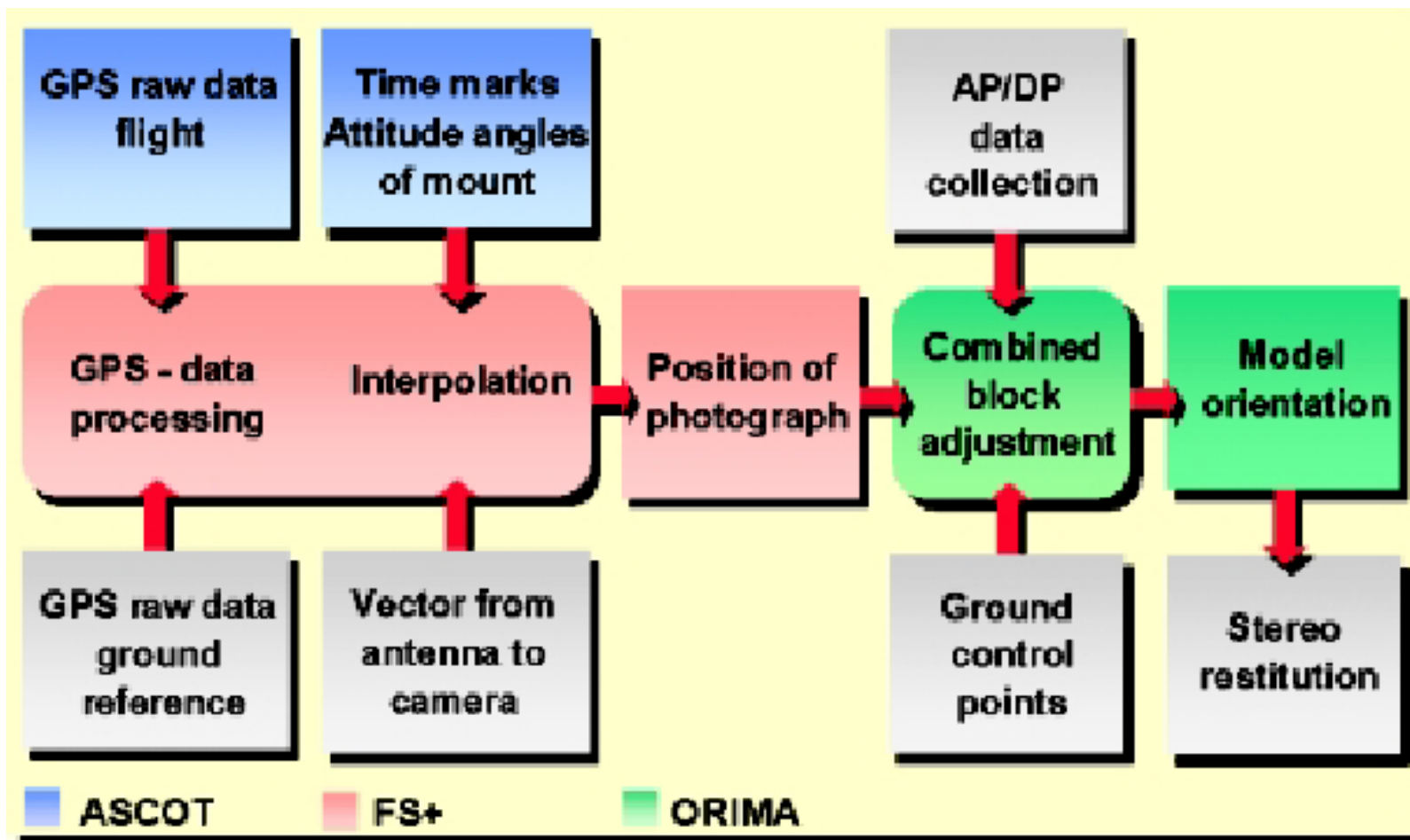
# Voo com apoio de GPS a bordo

Obtenção das coordenadas do centro de perspectiva da câmara aérea em simultâneo com o registo fotográfico

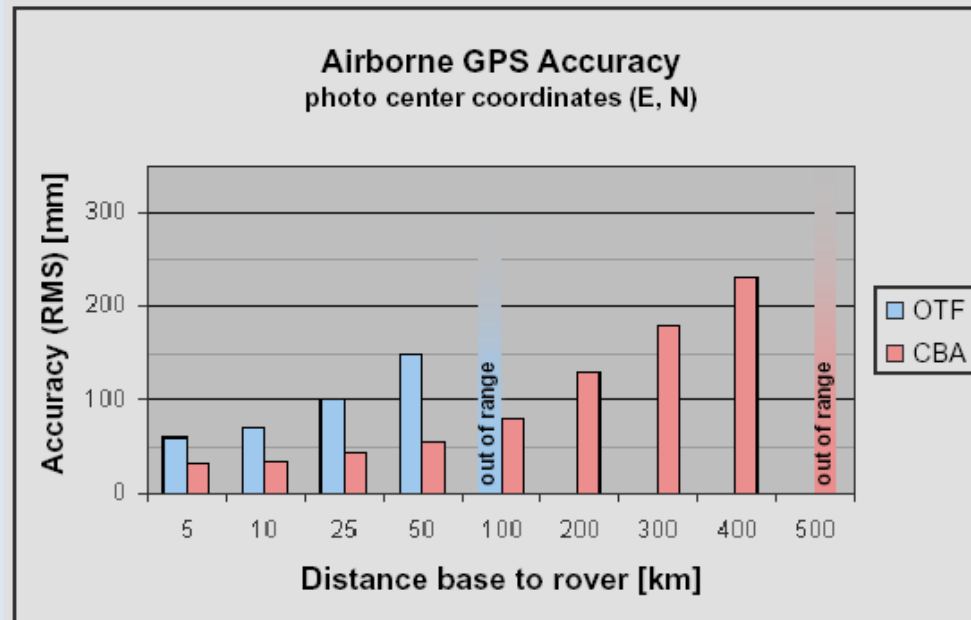
Facilidade no planeamento do voo e na automatização da realização do voo



# Voo com apoio de GPS a bordo



# Voo com apoio de GPS e INS



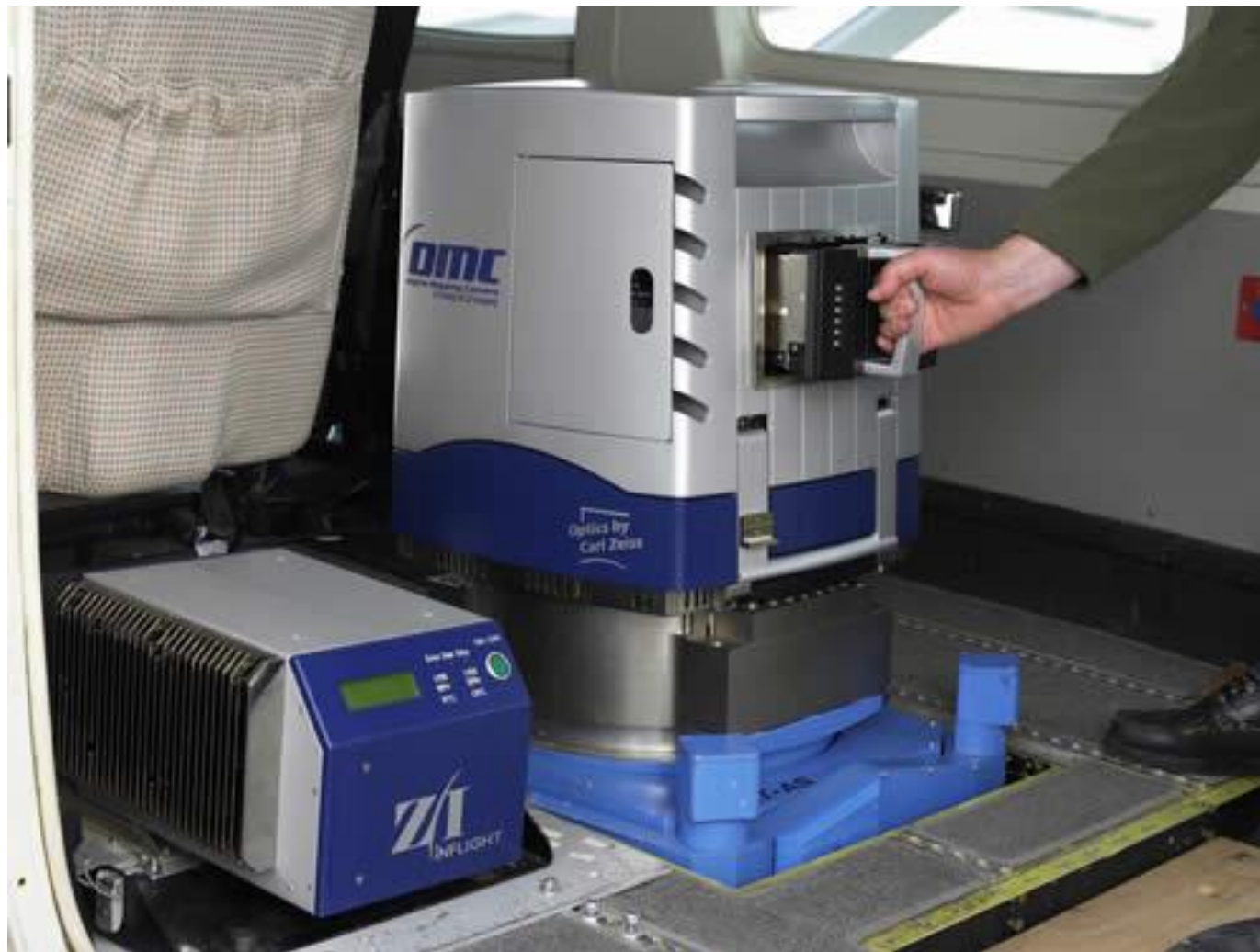
(On-The-Fly)

Combined Block  
Adjustment)

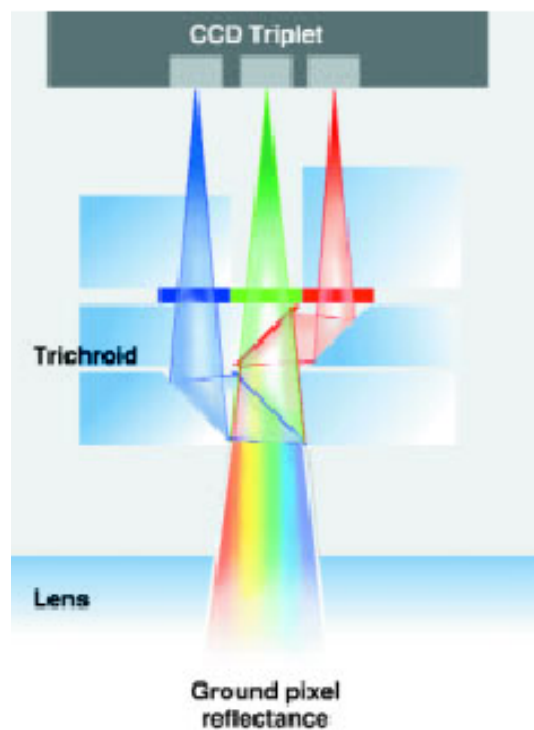
|         | E [m]  | N [m]  | H [m]  | along [m] | across [m] |
|---------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| average | -0.001 | -0.002 | 0.000  | 0.056     | -0.051     |
| minimum | -0.193 | -0.253 | -0.170 | -0.128    | -0.241     |
| maximum | 0.156  | 0.200  | 0.174  | 0.211     | 0.228      |
| RMS     | 0.094  | 0.128  | 0.089  | 0.094     | 0.102      |

Practical accuracy for projection centers (example) as observed in a three strips, 32 photos project, OTF method, distance base to rover 20 km. OTF accuracy is absolute; CBA is relative.

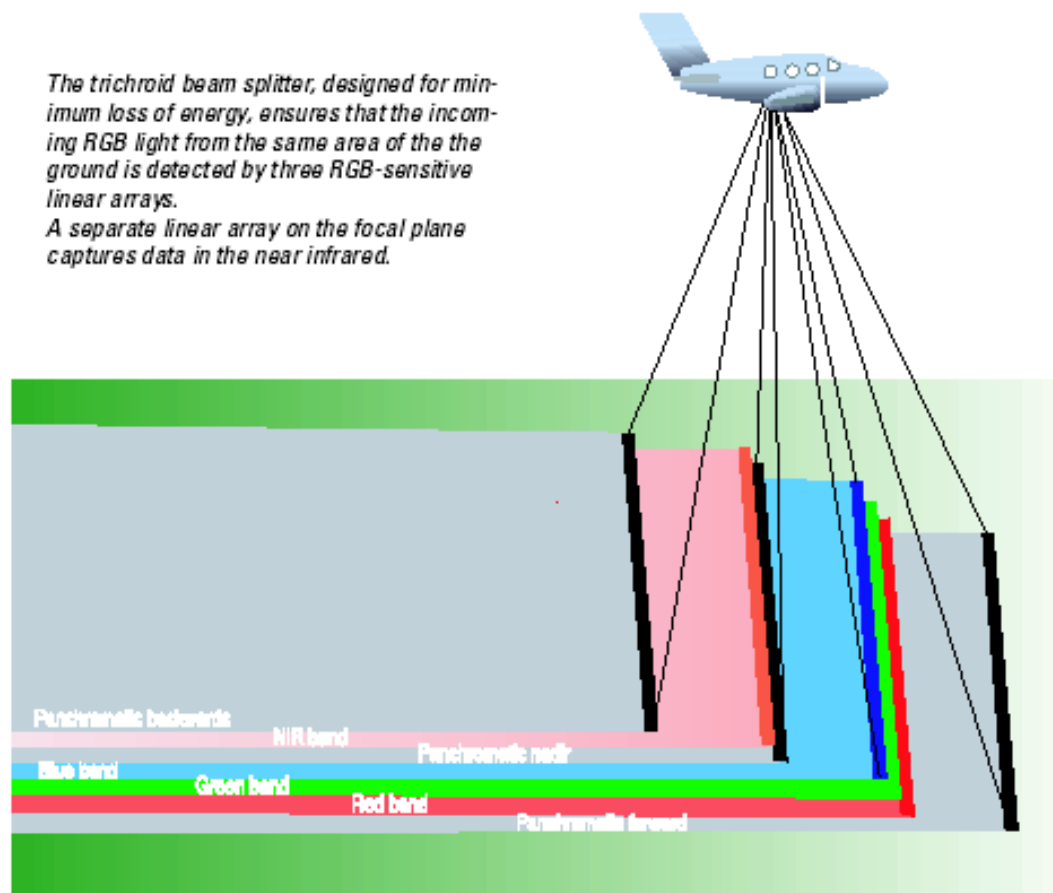
# Câmara aérea Digital



# Câmara aérea Digital



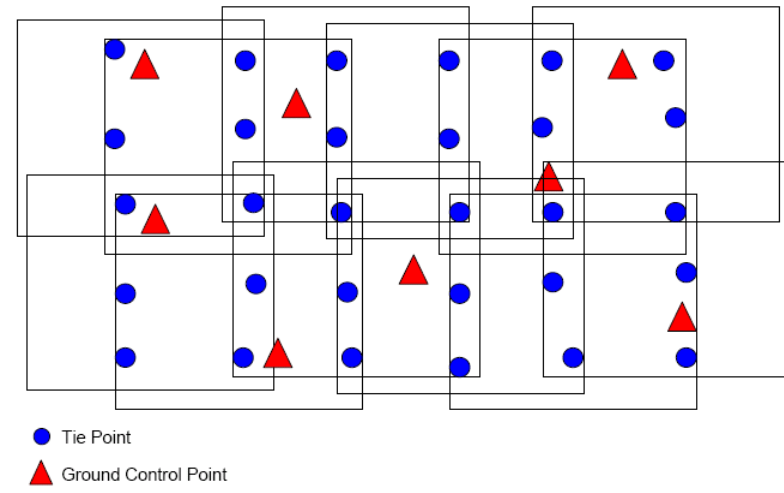
*The trichroid beam splitter, designed for minimum loss of energy, ensures that the incoming RGB light from the same area of the ground is detected by three RGB-sensitive linear arrays.*  
*A separate linear array on the focal plane captures data in the near infrared.*



# Apoio de Campo e TA

**A seleção do número de pontos fotogramétricos é função da estratégia adotada para a realização do trabalho garantindo sempre o compromisso de qualidade posicional consentâneo com a escala de representação. O número de pontos fotogramétricos decresce com os seguintes procedimentos:**

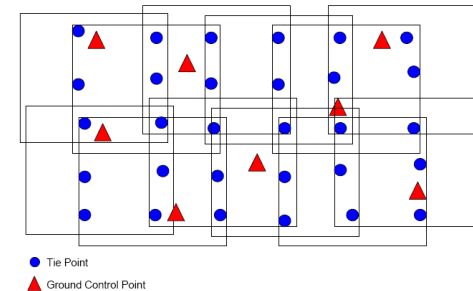
- Apoio total, apoio para triangulação aérea com voo simples,
- Apoio para triangulação aérea com voo assistido com GPS,
- Apoio para triangulação aérea com voo assistido com GPS e INS.



## Pontos Fotogramétricos

No caso de se realizar um voo simples, haverá pontos de apoio fotogramétrico de campo tridimensionais na periferia da área a triangular, com espaçamento máximo de 1 ponto de 3 em 3 bases fotográficas.

Deverão ser coordenados, de forma independente, 2 pontos fotogramétricos de campo em cada canto da área a triangular.



## Leitura e marcação de pontos de triangulação

Em cada fotograma triangulado deverão figurar, pelo menos, 9 pontos coordenados por qualquer dos processos (pontos de apoio fotogramétrico ou pontos determinados por triangulação aérea), 3 em cada lado do fotograma perpendicular à linha de voo e 3 na linha central.

# Apoio de Campo e TA

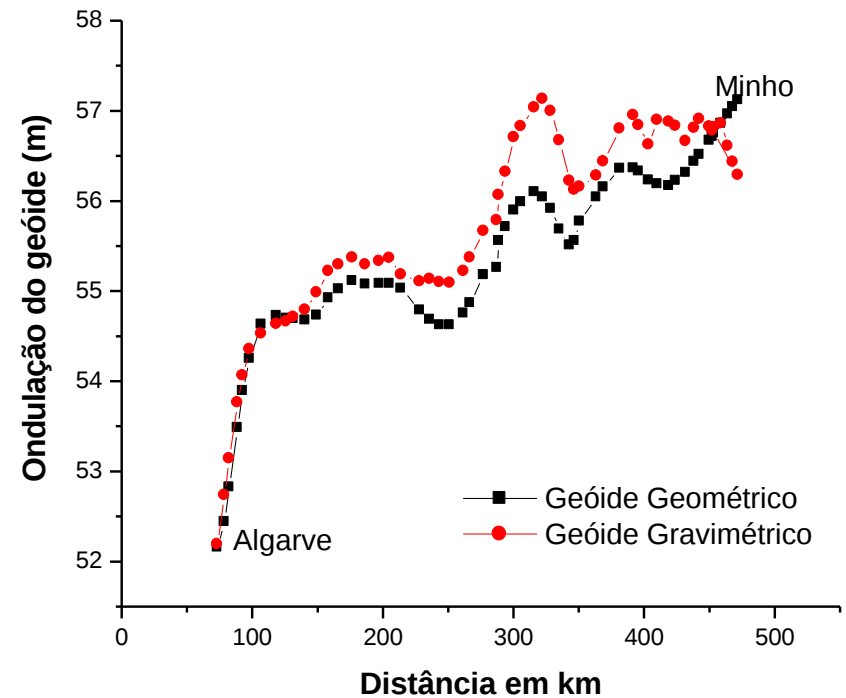
---

Os pontos de apoio fotogramétrico deverão ser apoiados na **rede geodésica** para coordenadas planimétricas e, sempre que possível, na rede de nivelamento de precisão ou alta precisão para coordenadas altimétricas.

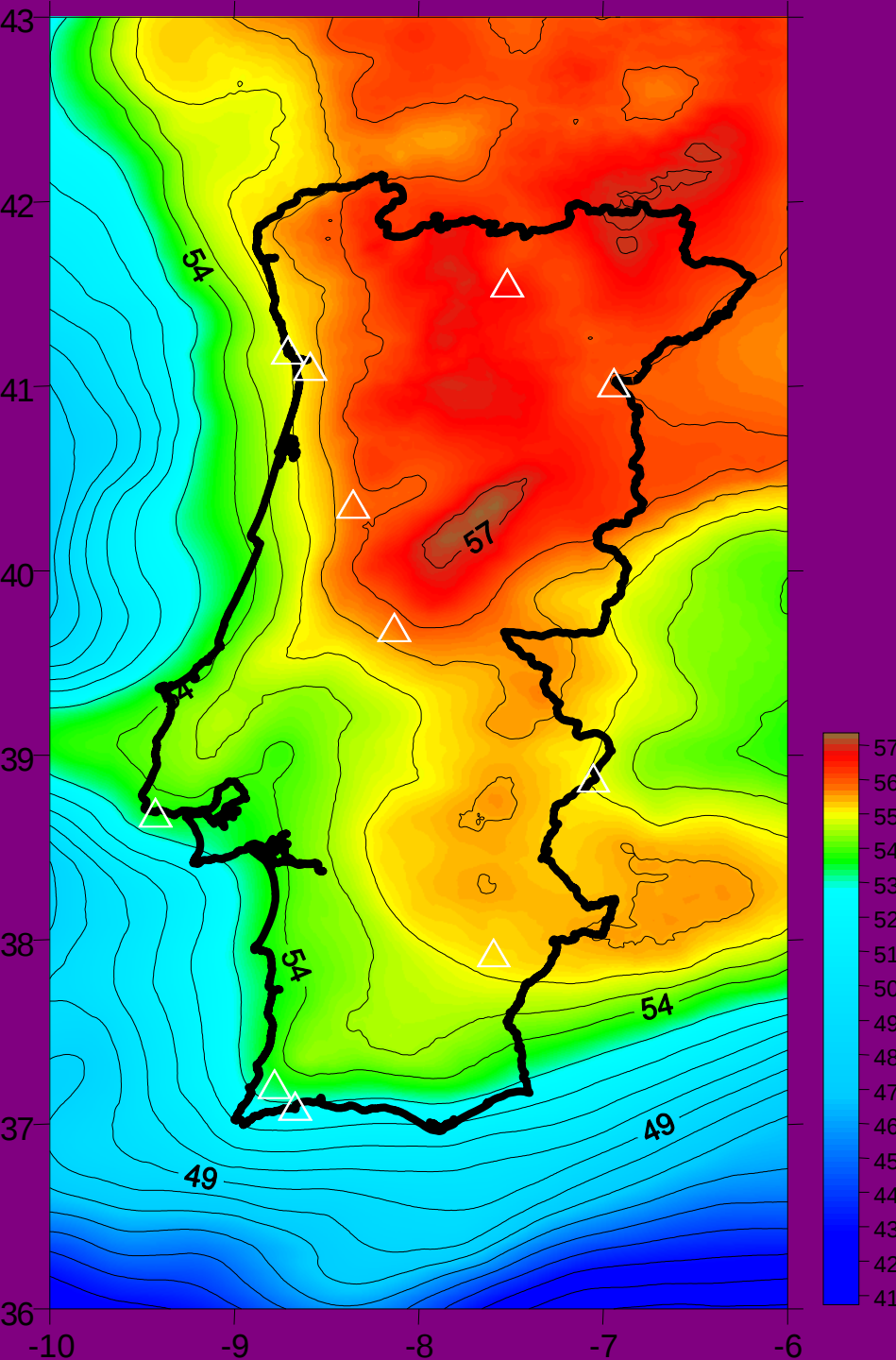
Usando o GPS (em modo estático) o recetor base deverá ser sempre estacionado num vértice geodésico e o recetor rover não se deverá afastar mais de 10 a 15 km do recetor base. O tempo de aquisição de dados no recetor móvel não deverá ser inferior a 10 minutos com 6 satélites visíveis na totalidade do tempo de aquisição.

# Geóide em Portugal

## Perfil Norte – Sul do Geóide



Modelo do Geóide para Portugal:  
**GeodPT**



## Precisão do Apoio de Campo

- 1 - Os valores das coordenadas planimétricas de pontos fotogramétricos de campo deverão ser determinadas com um e.m.q inferior a 0.04 mm à escala do levantamento. (escala 1000 : 4 cm)
- 2 - 90% de uma amostra representativa destas coordenadas não deverá ter discrepâncias com pontos de verificação maiores que 0.07 mm à escala do levantamento.
- 3 - As cotas dos pontos fotogramétricos de campo deverão ter uma discrepância com pontos de verificação menor que 1/10 da equidistância das curvas de nível.
- 4 - 90% de uma amostra representativa das cotas não deverá ter discrepâncias com pontos de verificação maiores que 1/5 da equidistância das curvas de nível.

PF nº 776801

Coordenadas Rectangulares

M = -15554.044

P = 62166.220

H = 382.136

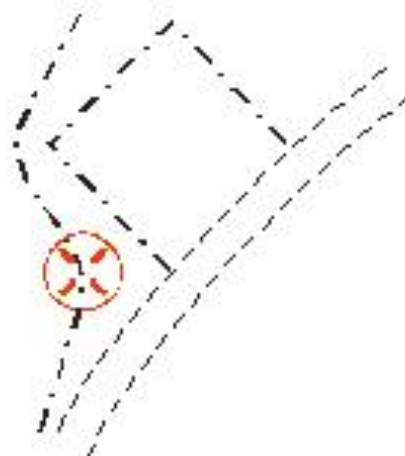
H' = 382.136

Descrição:

Canto de limite de eucaliptos.

Cota no terreno.

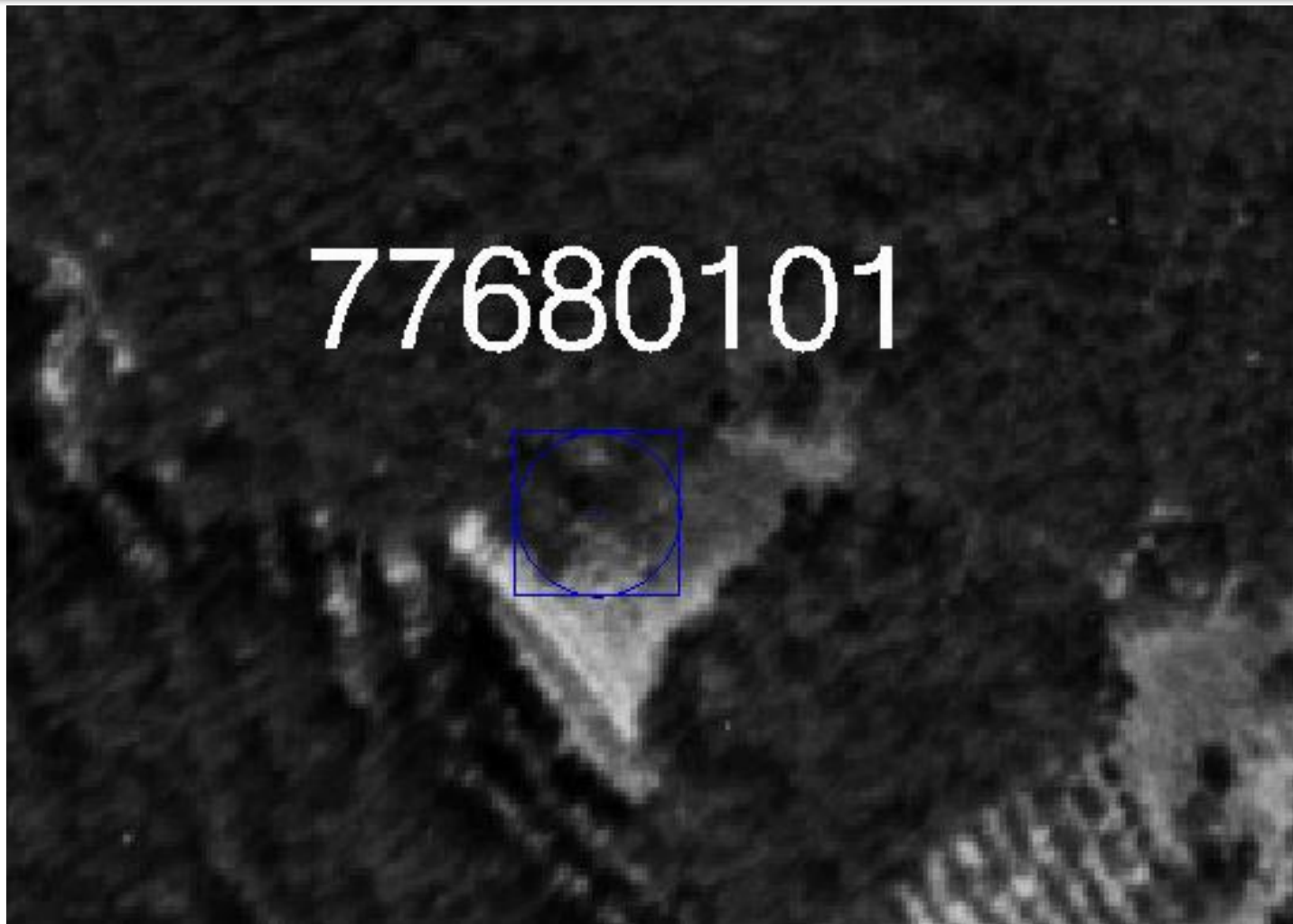
Esboço



Fotografia



# Pontos Fotogramétricos



PF nº 802301

Coordenadas Rectangulares

$M = -12033.737$

$P = 61737.328$

$H = 142.623$

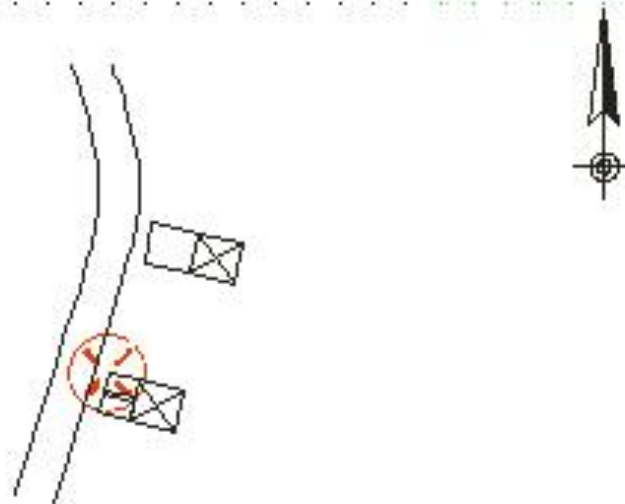
$H' = 143.523$

Descrição

Pilar na esquina de canteiro.

Cota no terreno.

Altura do pilar é de 0.90m.

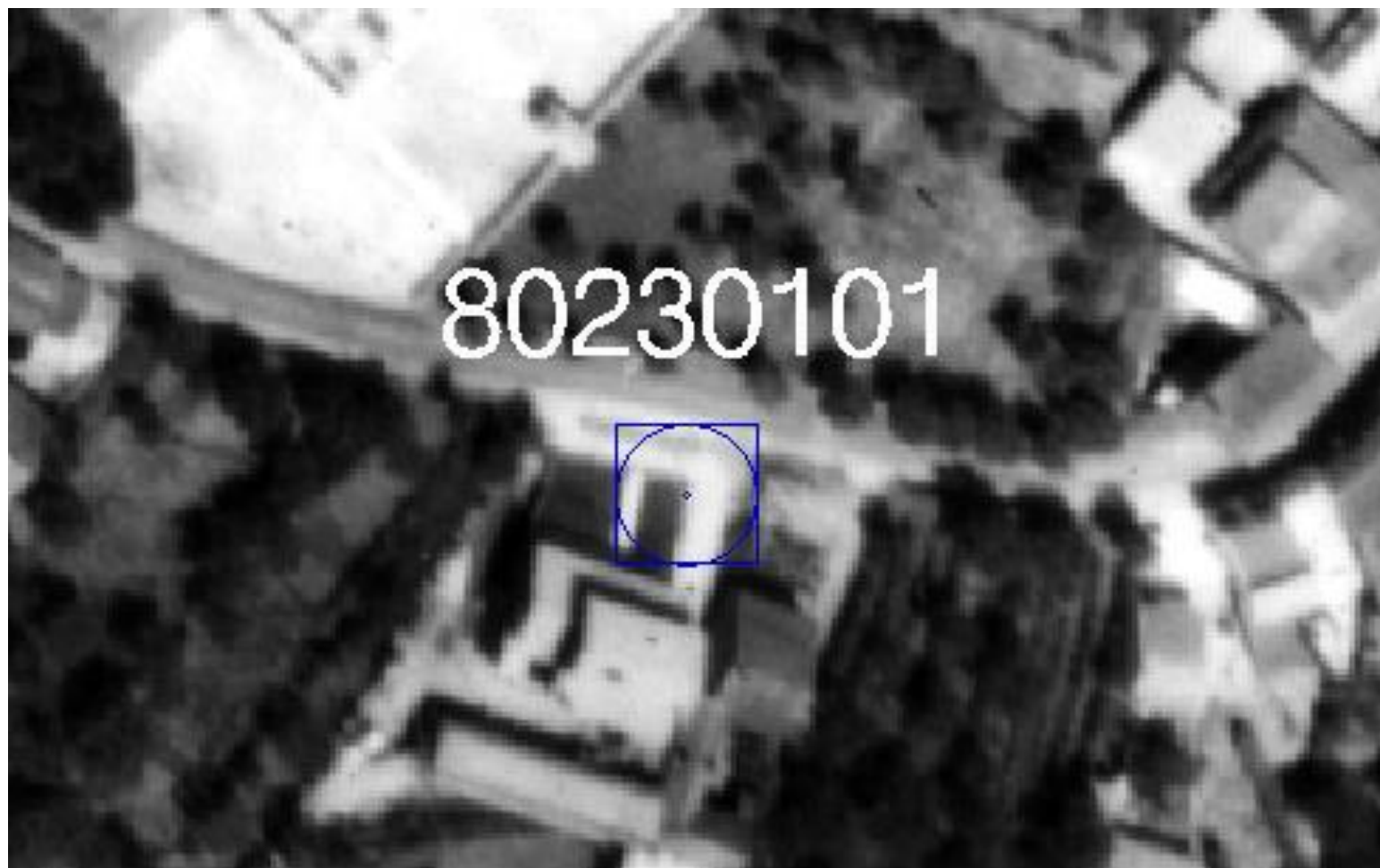


Esboço



Fotografia

# Pontos Fotogramétricos

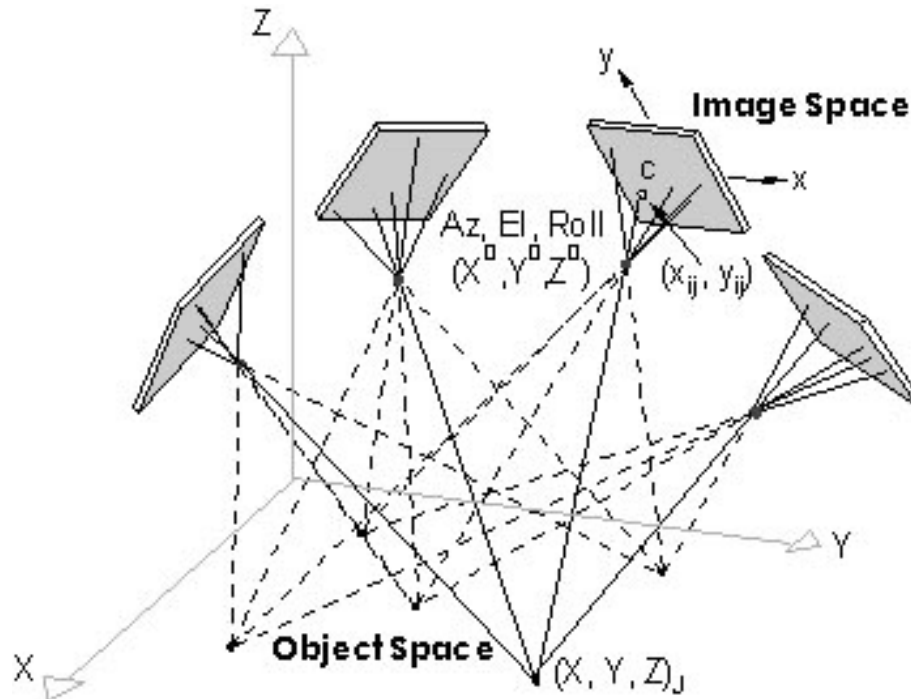


# Pontos Fotogramétricos



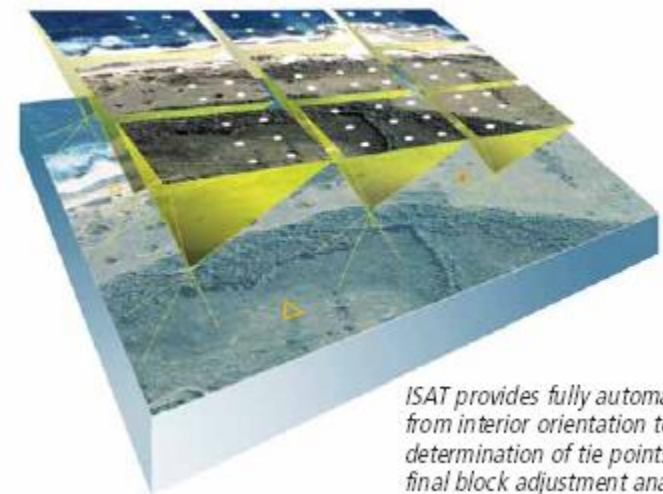


# Triangulação Aérea

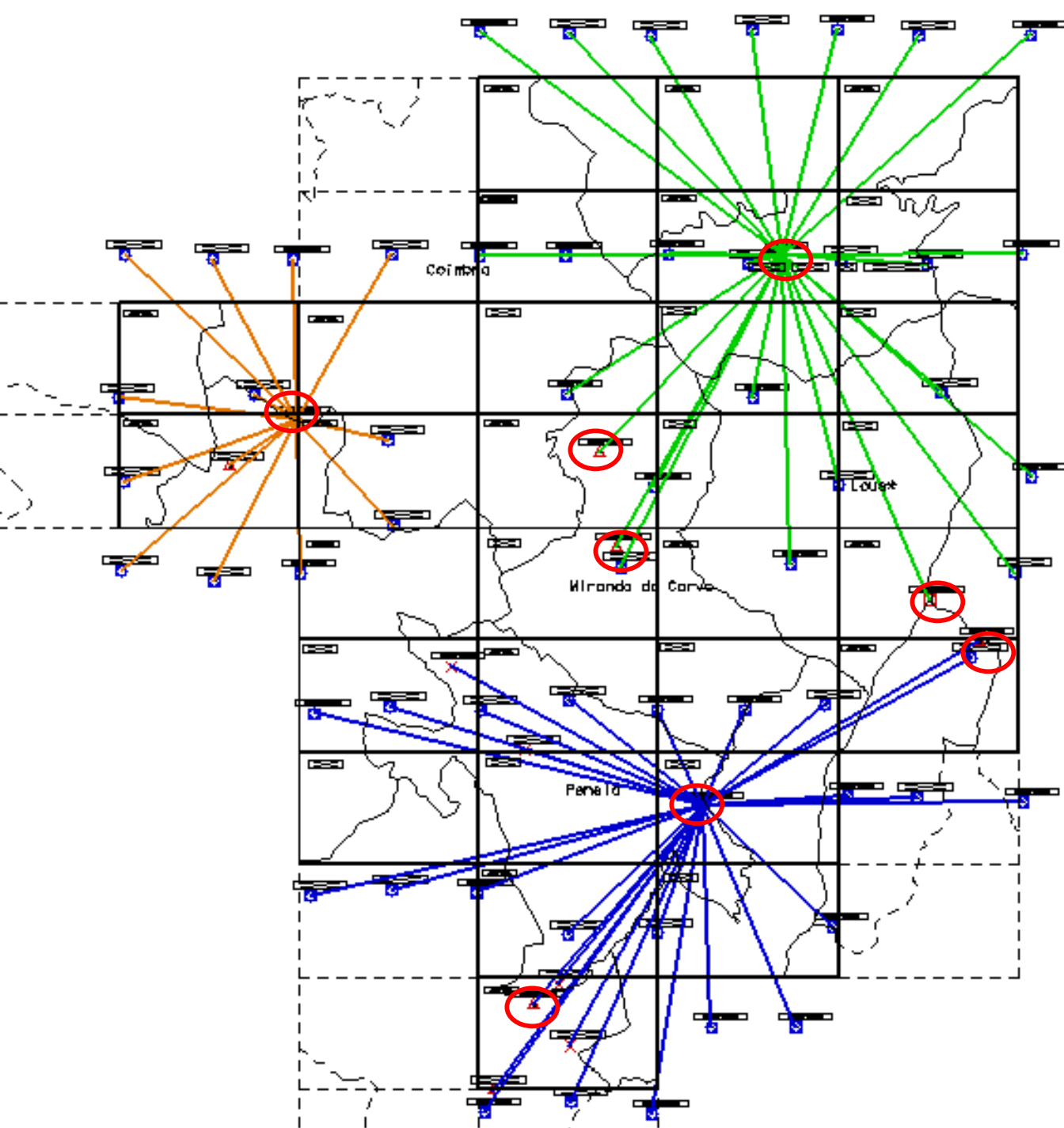


## Geometria da Triangulação Aérea

Objetivo:  
Reduzir o número de pontos fotogramétricos



*ISAT provides fully automated AT from interior orientation to the determination of tie points to final block adjustment analysis.*



Geodésicos

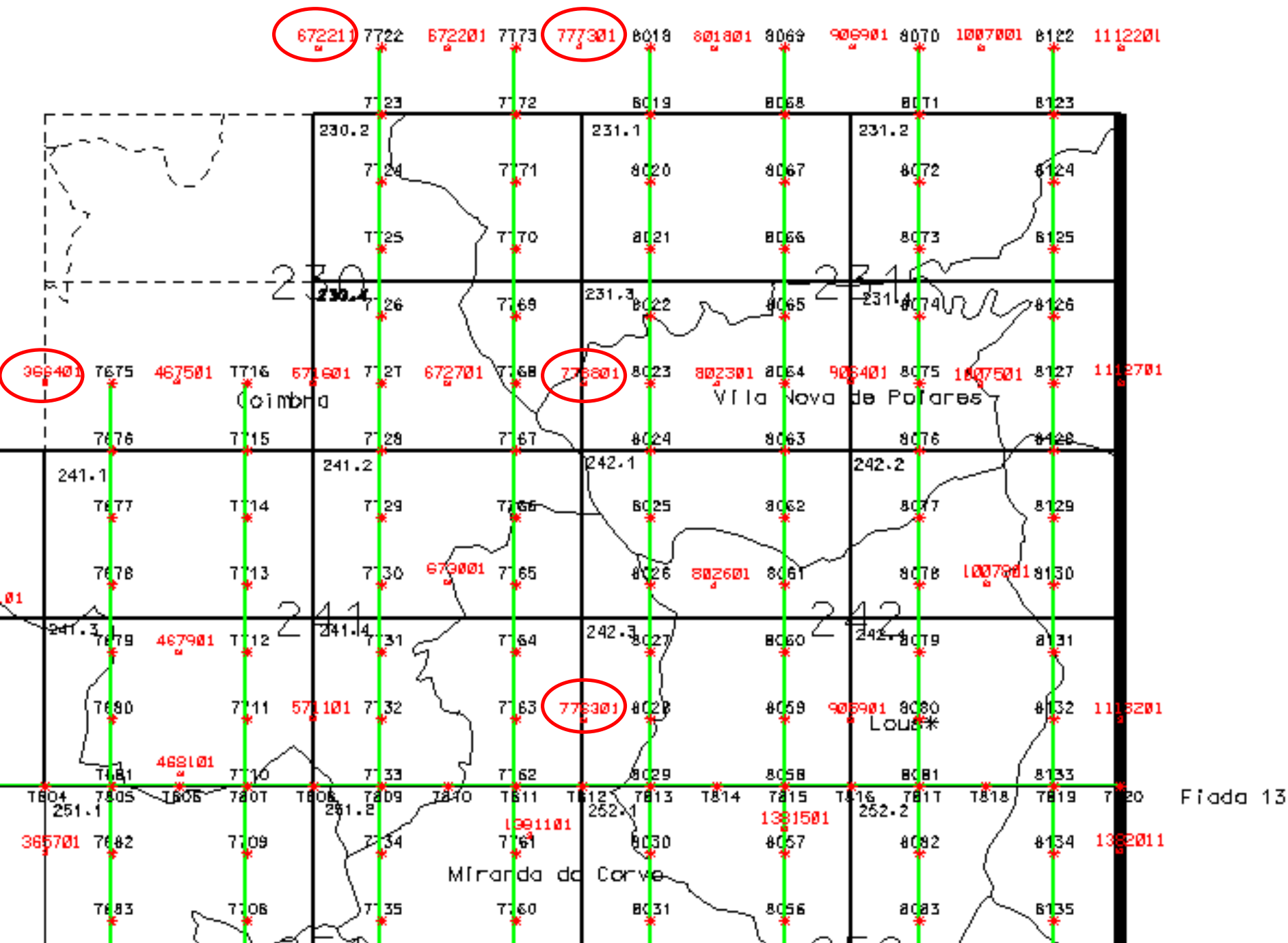
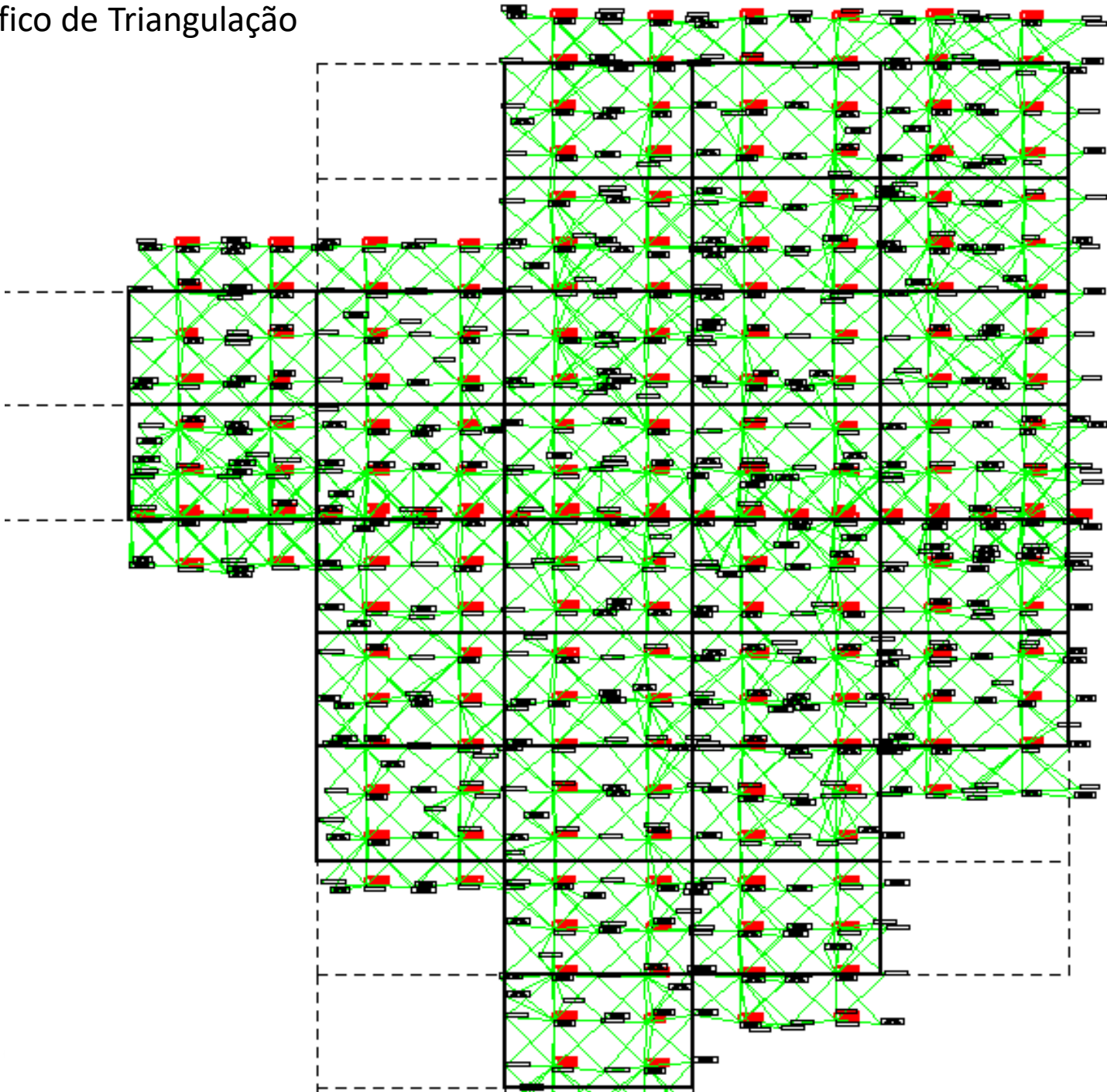
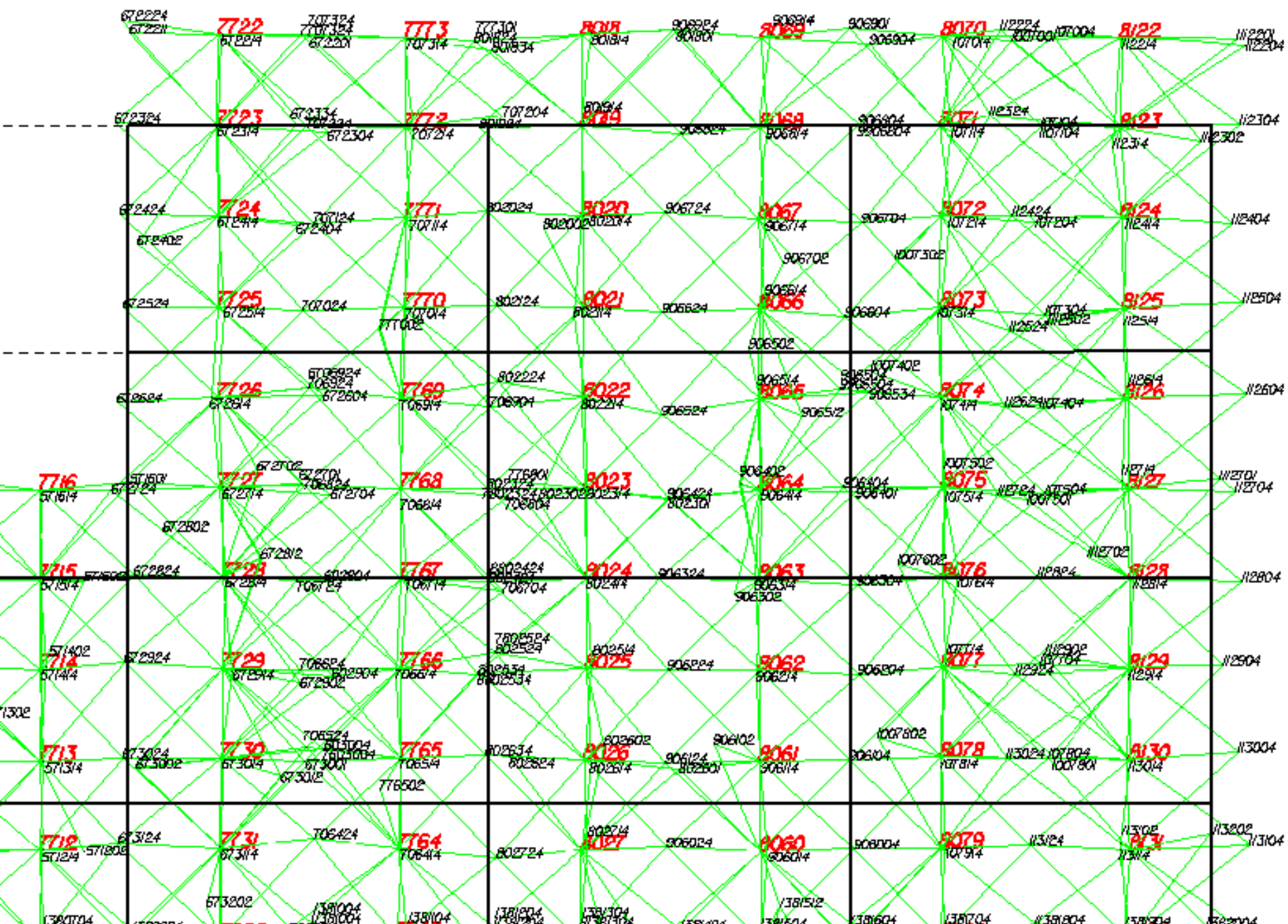


Gráfico de Triangulação





# Restituição Fotogramétrica



# Restituição Fotogramétrica

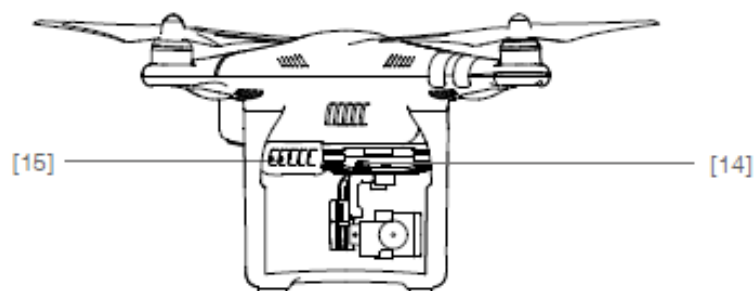
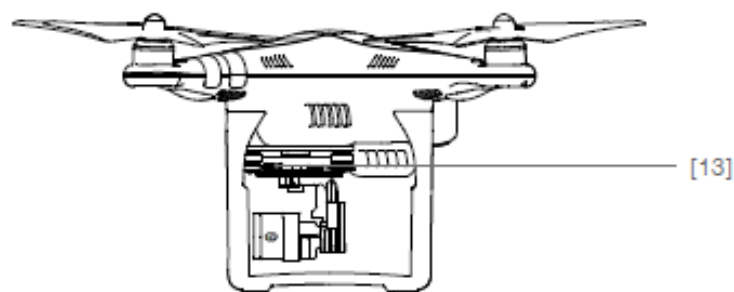
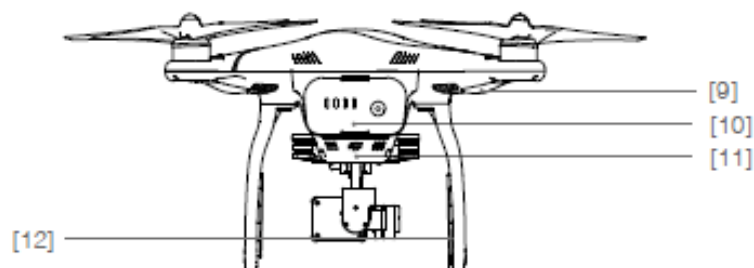
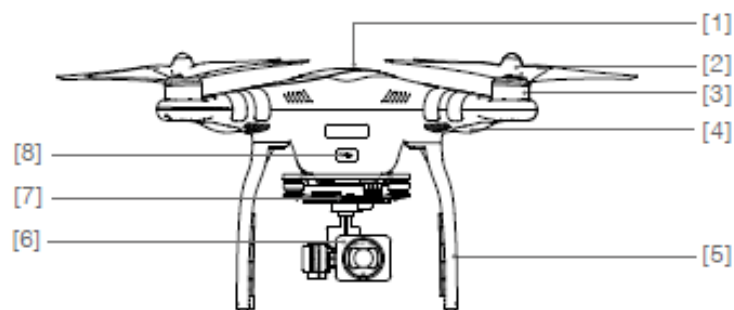
---

A restituição fotogramétrica estereoscópica tem como objectivo a aquisição de dados tridimensionais georeferenciados e é presentemente efectuada em estações digitais por técnicos com habilitação específica para este fim.

Os dados de entrada são um par de imagens em formato digital, as coordenadas cartográficas dos pontos fotogramétricos e as coordenadas cartográficas dos pontos de trinagulação.

# DJI Phantom 3 Professional





- [1] GPS
- [2] Propeller
- [3] Motor
- [4] Front LED Indicator
- [5] Landing gear
- [6] Gimbal and Camera
- [7] Camera Status Indicator
- [8] Aircraft Micro-USB Port
- [9] Aircraft Status Indicator
- [10] Intelligent Flight Battery
- [11] Vision Positioning Sensors
- [12] Antennas
- [13] Camera Micro-SD Card Slot
- [14] Camera Micro-USB Port
- [15] Link Button

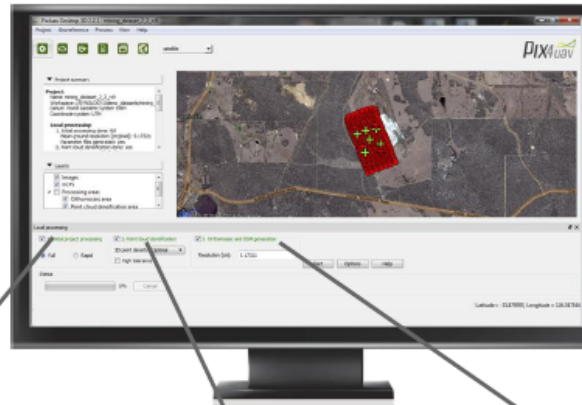
# Processamento dados UAV

Pix4D converts thousands of images into

- 3D Point Cloud
- 3D Digital Surface Model
- Orthomosaic



# Processamento dados UAV



## Step 1: initial processing

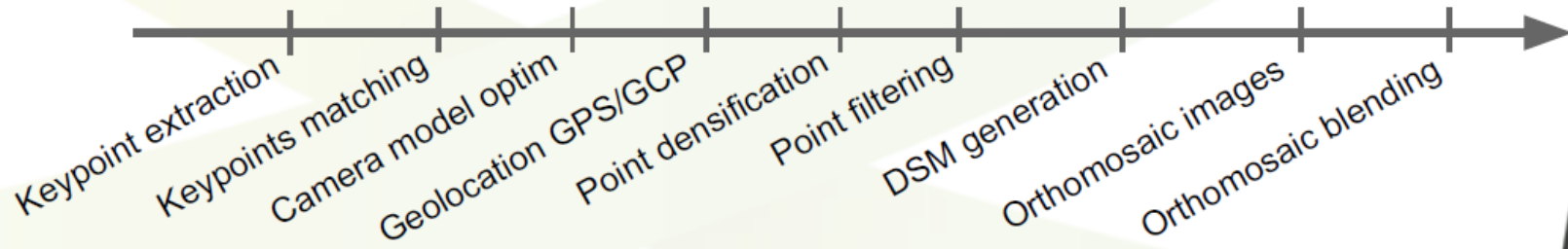
Images  
=> calibrate cameras +  
exterior orientation

## Step 2: point densification

Calibrated cameras  
=> point clouds

## Step 3: DSM and orthomosaic

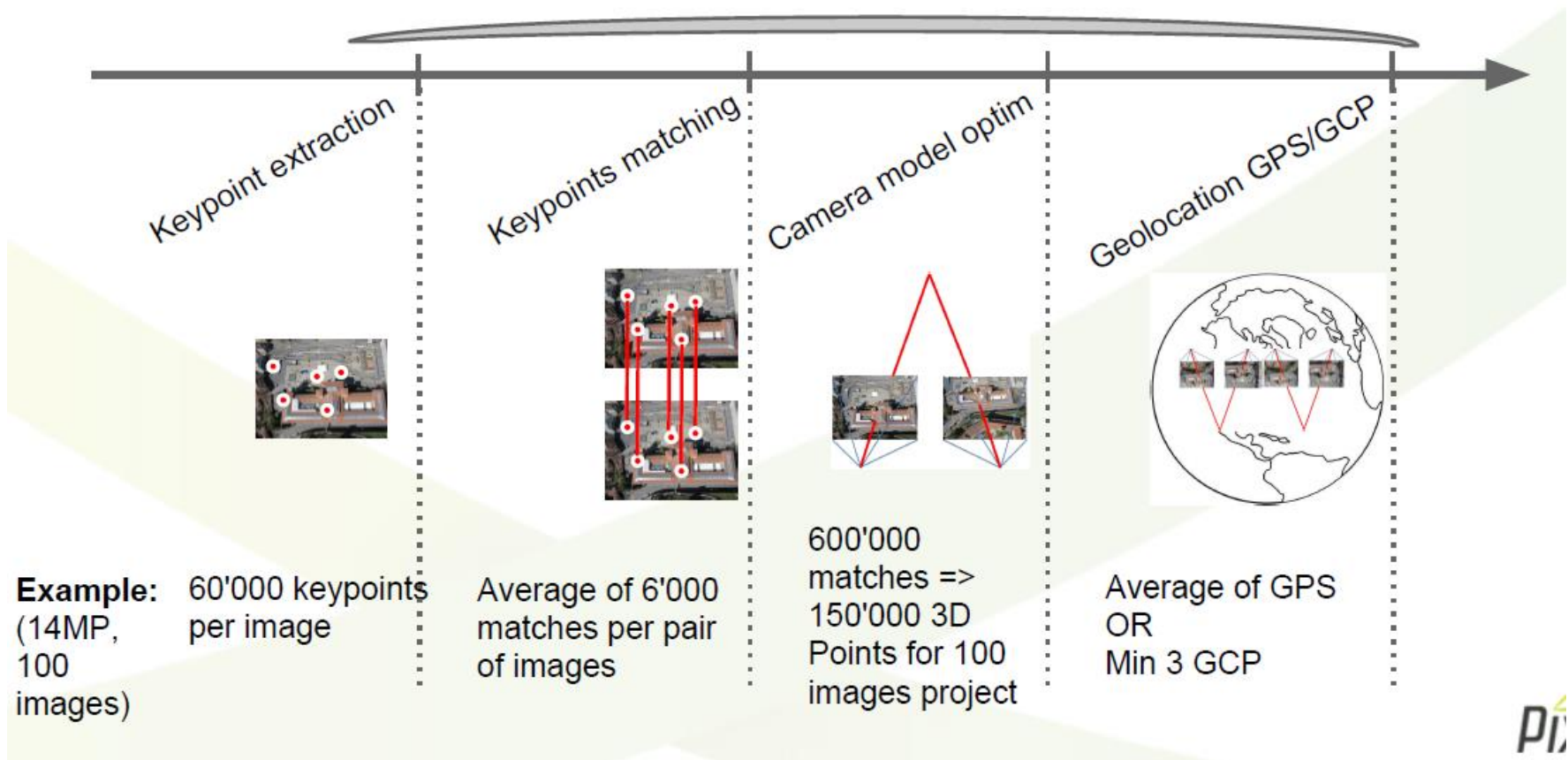
Point clouds  
=> DSM and orthomosaic



# Processamento dados UAV

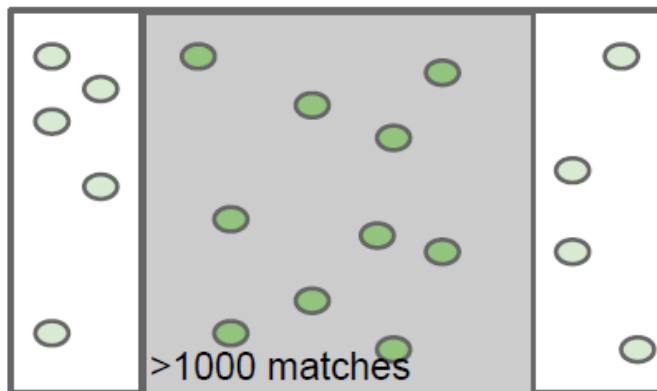
## Step 1: initial processing

Images => calibration + exterior orientation

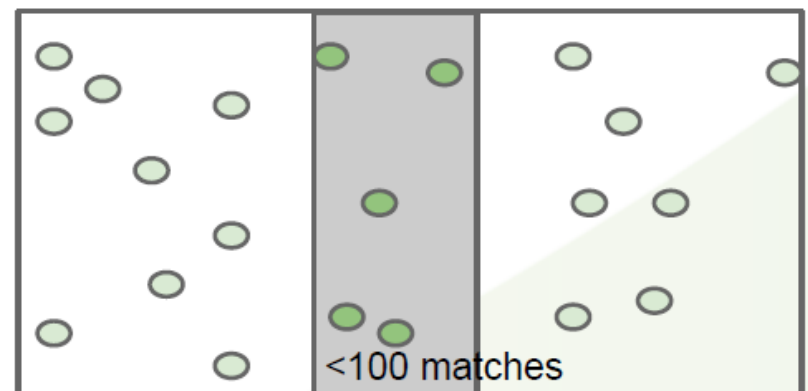


# Pontos triangulação aérea

Enough matches:



75% overlap  
enough matches



20% overlap  
not enough matches



# Pontos triangulação aérea

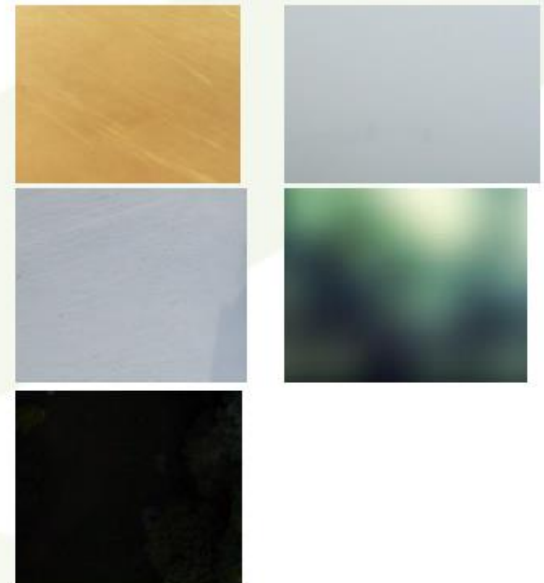
## Good image:

- rocks, bushes, dirt
- buildings, urban
- more than 10MP
- extract > 10'000 keypoints



## Difficult images:

- sand, snow, fog
- blurry, out of focus
- Overexposed, underexposed
- less than 3MP
- extract < 100 keypoints



# Pontos triangulação aérea

## Easy to match

- images with high # keypoints
- images with high overlap



## Hard to match

- images with low # keypoints
- trees at low altitude
- extreme angle with no transition
- low overlap



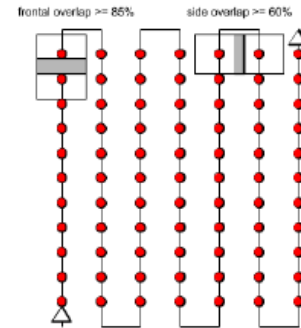
## Impossible to match

- Reflective surface like water
- Moving objects



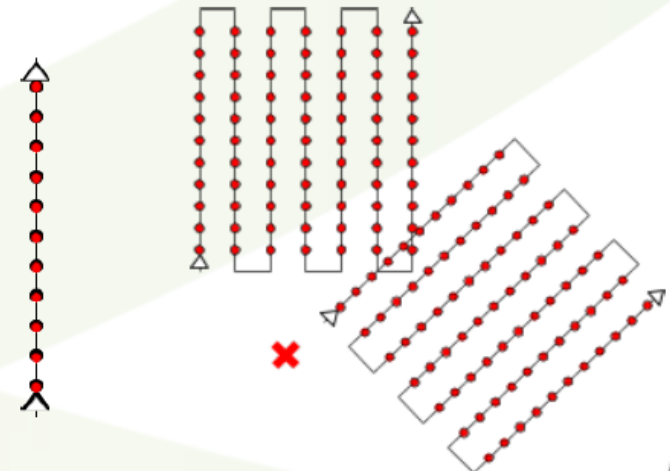
## Ideal flight plan

- regular grid flight plan
- easy terrain: 75% frontal, 50% side
- difficult terrain: 85% frontal, 60% side



## Difficult flight plan

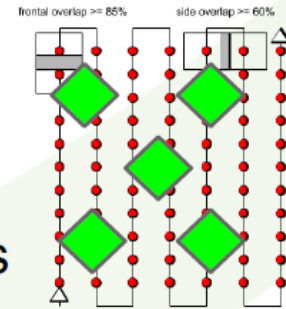
- low overlap
- multiple images at same location
- corridor mapping
- high difference in altitude ( $>2 \times \text{GSD}$ )



# Pontos Fotogramétricos

## GCPs

- well distributed in dataset, visible on the images (GSD)
- 5-8 usually enough for 1000 images
- Quality report shows reprojection error
- Good calibration + GCP: error at most 1-2 times the GSD



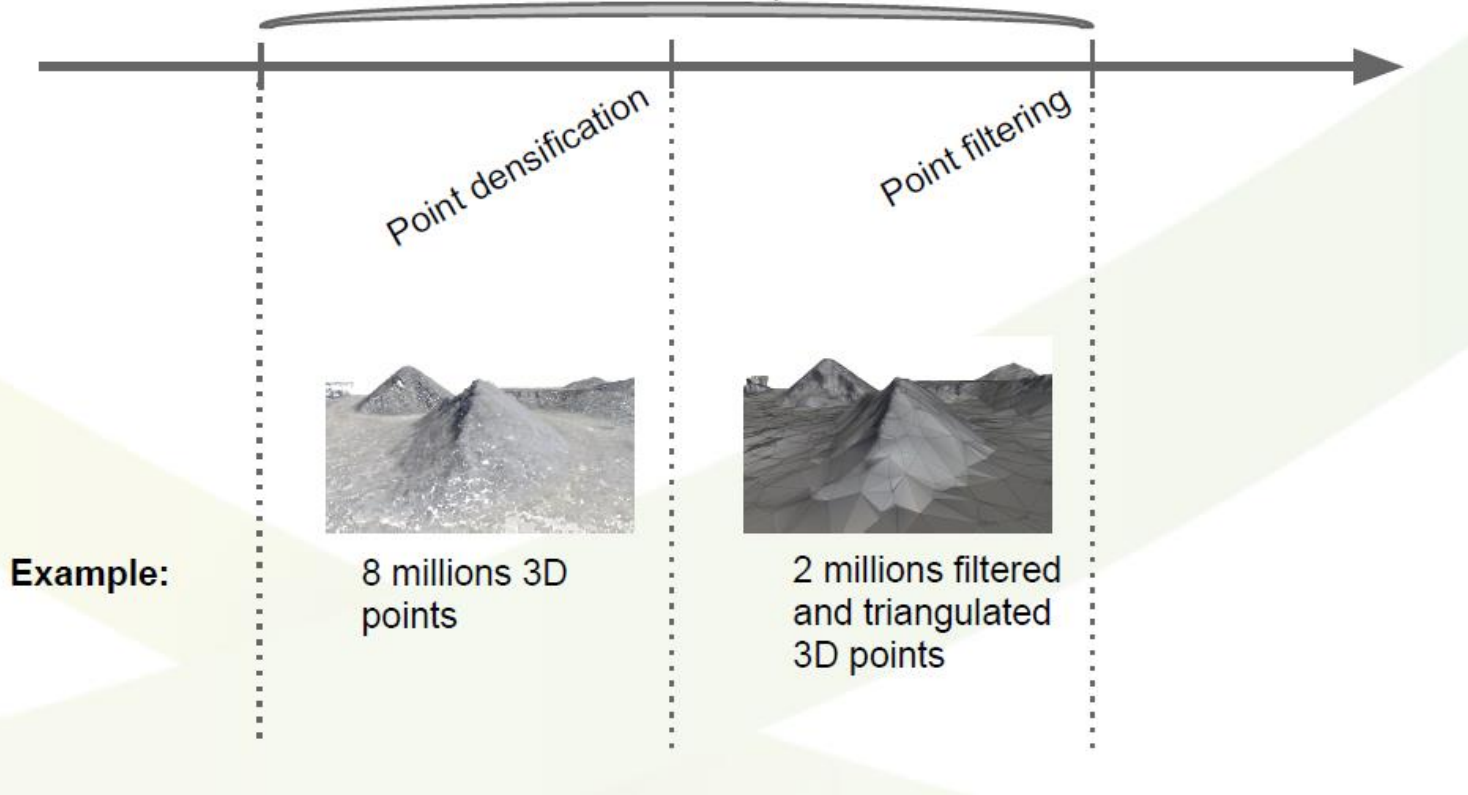
## Verification points

- Error is minimized at GCPs: not optimal to assess global accuracy
- Verification points are not used during optimization

# Nuvem de pontos

## Step 2: point densification

Calibrated cameras + exterior orientation => cloud of points



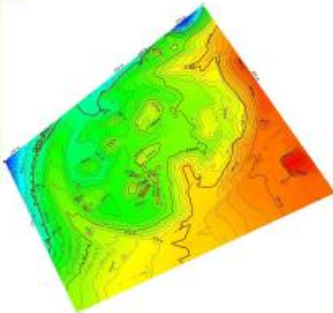
# DSM e Ortoimagem

## Step 3: DSM and orthomosaic

Point cloud

=> DSM and orthomosaic

DSM generation



Orthomosaic images



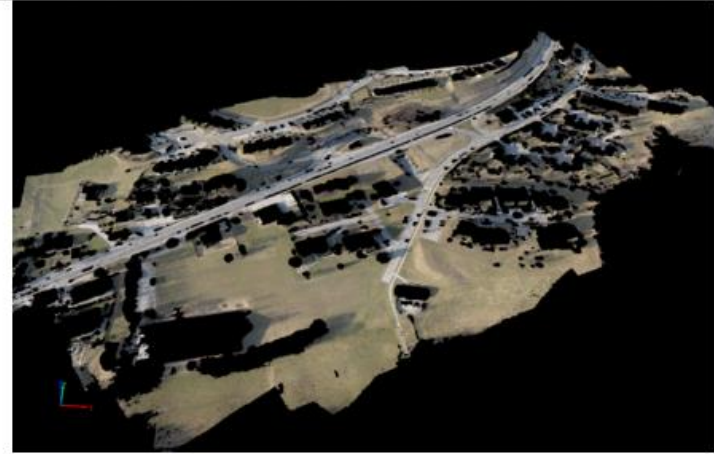
Orthomosaic blending



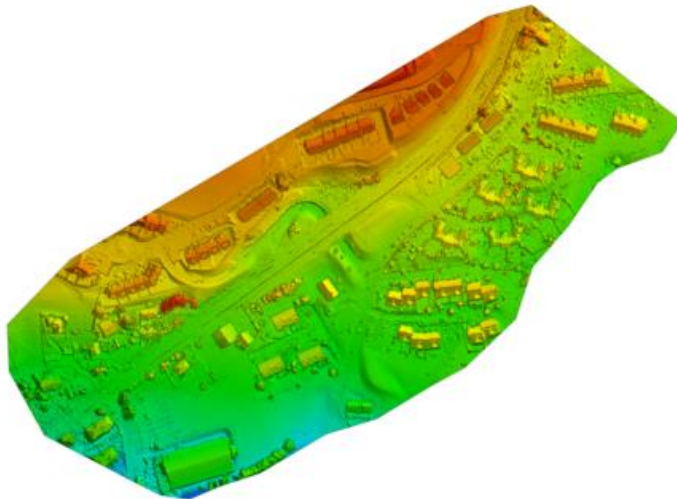
# DSM vs DTM



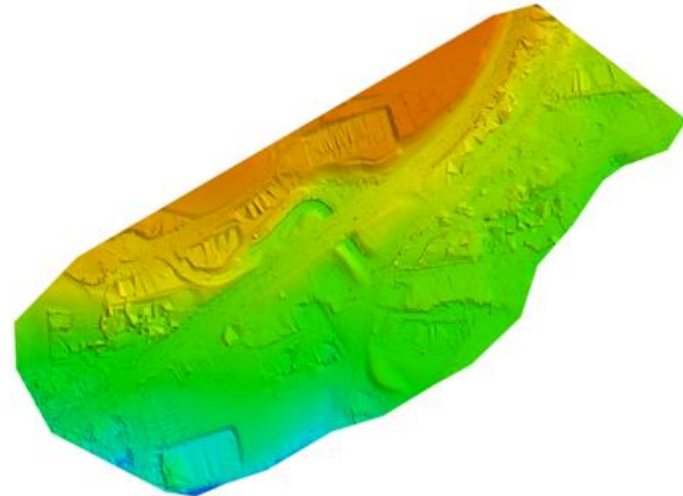
Objects Point Cloud



Terrain Point Cloud



Original DSM



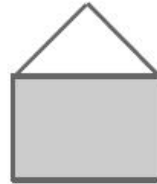
Terrain DTM

# Orto-retificação

UAV image  
with  
perspective



Orthorectify image  
1) calibrate camera  
2) project image on 3D model  
3) generate ortho image by looking from above



## UAV image with perspective

- Facade
- Roof not correct size



## Computed 3D model



## Undistorted orthoimage

- Same as satellite
- Roof correct size



# Ortorectificação - Artefactos

## 3D model not always perfect

- Edges of buildings
- Small details
  - trees (branches smaller than pixels)
  - lamppost, fences

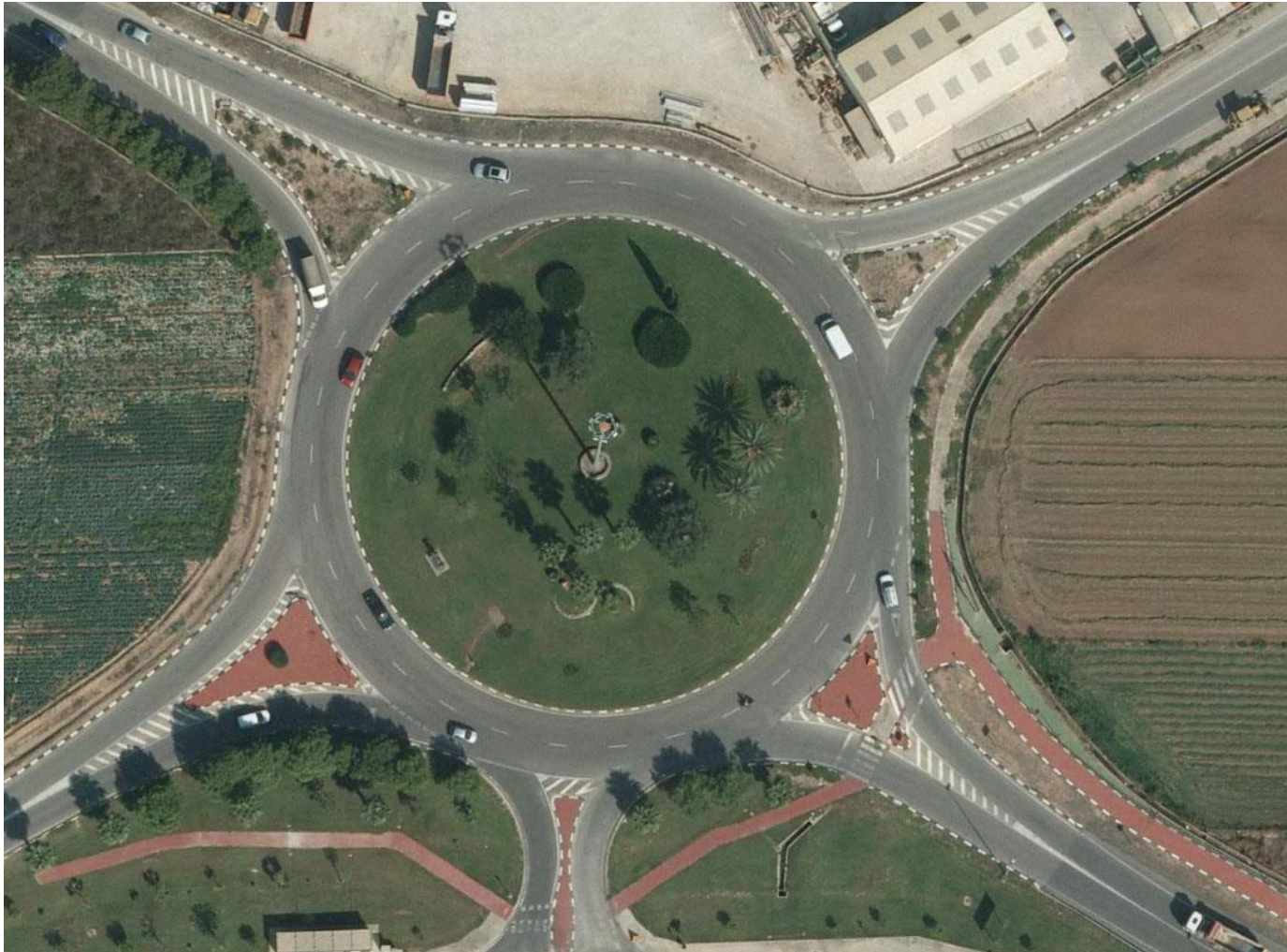
Orthorectification depends on surface model =>  
artifacts at 3D model errors

Original image tilted: area not  
visible producing artefacts

3D model not as precise as  
texture, leading to "wobbly"  
edges



# Restituição na Ortoimagem



# Completagem

---

Após a restituição fotogramétrica os dados adquiridos deverão ser confrontados com a verdade terreno procedendo-se ao seu completamento de campo no qual se validam os dados adquiridos e se introduzem novos elementos não adquiridos. Nesta fase são também recolhidos os topónimos e procede-se á identificação de edifícios e lugares susceptíveis de ser representados nessa escala (Câmara, escolas, institutos, bombeiros, etc.)

Após o completamento de campo, toda a informação é integrada num único ficheiro procedendo-se á sua edição com o objectivo de produzir o MNT e posteriormente o MNC

