



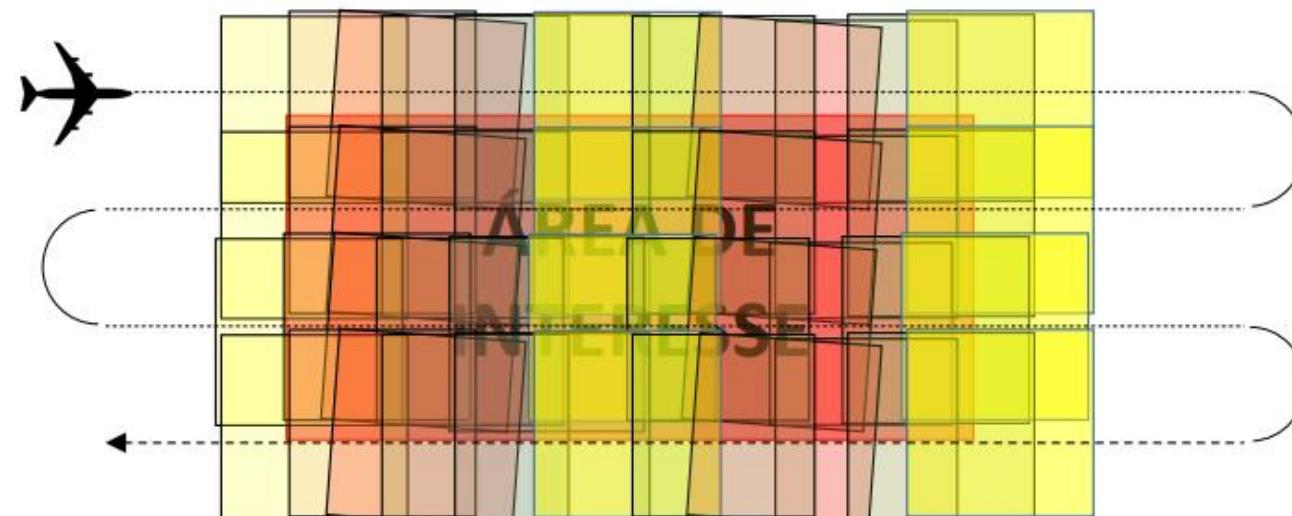
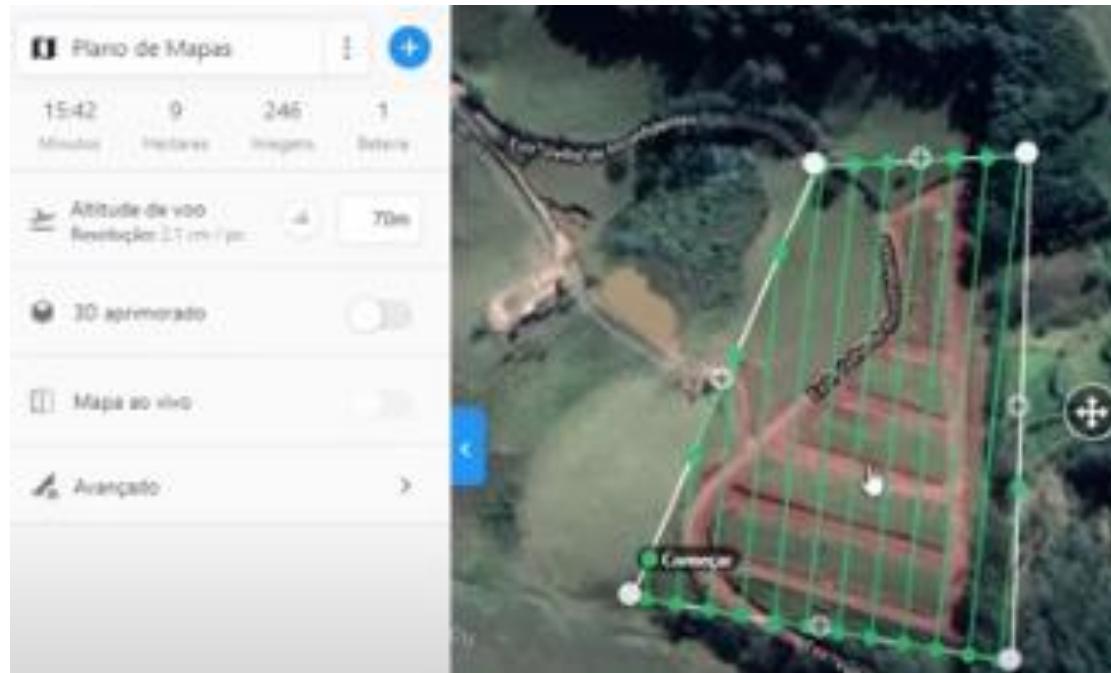
# INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO: Conceitos Fundamentais

---

Prof.<sup>a</sup> Débora Simões

Disciplina: Processamento de dados fotogramétricos obtidos com drones

Curso: Técnico em Geoprocessamento



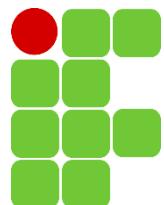
Fonte: Oliveira (2020).

Processamento de dados fotogramétricos obtidos com drones

# *O que fazer com as imagens obtidas?*



Fonte: Oliveira (2020).



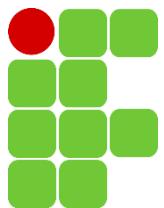
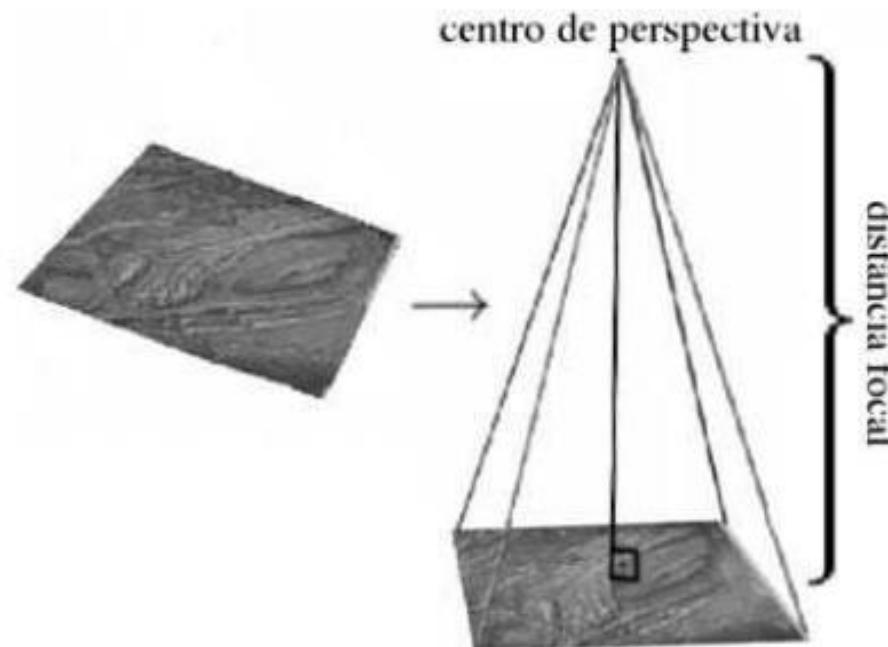
**NADA!**

*Se sua finalidade é  
medidas de  
precisão, isto é,  
para fins de  
mapeamento.*

**ESCALA NÃO UNIFORME**

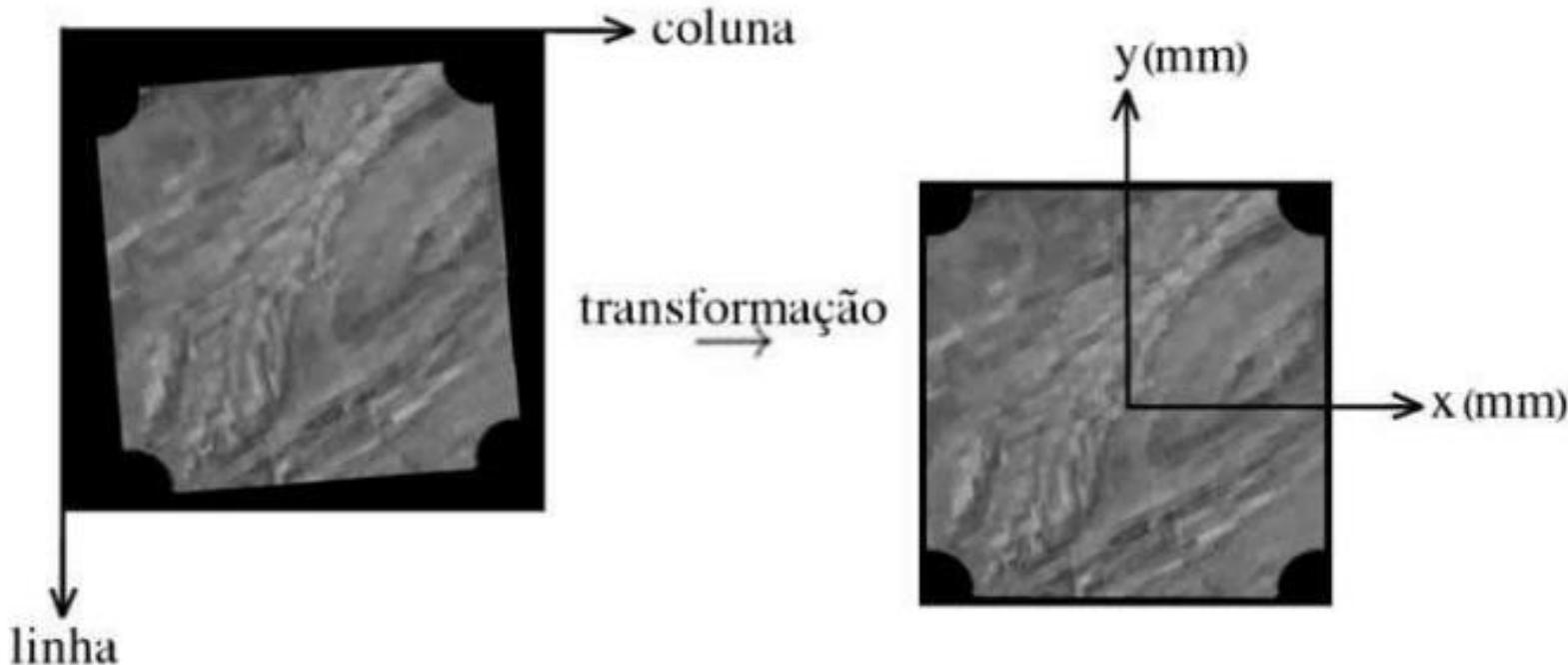
# Orientação interior

- Reconstrução da geometria do feixe perspectivo, isto é, da posição do plano de imagem em relação ao eixo óptico da câmara fotográfica (COELHO; BRITO, 2007).

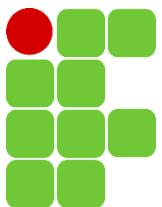


# Orientação interior

- Importância: Uniformização de unidades



Fonte: Coelho e Brito (2007).

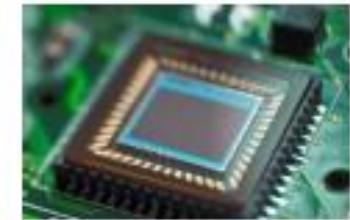


# Geometria interna da câmera

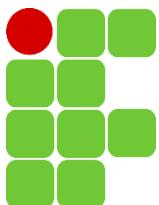
## SISTEMA DE LENTES + DIAFRAGMA



- Erros sistemáticos:
  - Deslocamento do ponto principal
  - Distorção radial simétrica
  - Distorção descentrada
  - Afinidade



Fonte: Oliveira (2020).

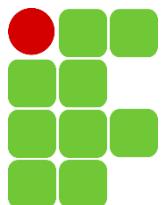


# Orientação interior

- PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO INTERIOR (POI): “Descrevem a geometria interna da câmera no instante de aquisição das imagens” (OLIVEIRA, 2020).
- POI →  $f, x_o, y_o, K_1, K_2, K_3, P_1, P_1, A, B$



**CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS**



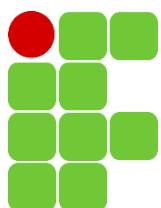
Fonte: Oliveira (2020).

# Câmeras



## MÉTRICAS

- Alta estabilidade geométrica
  - POI → valores baixos
- Não variam consideravelmente em curto espaço de tempo
  - Calibração: laboratório
  - Certificado de calibração



## NÃO-MÉTRICAS

- Baixa estabilidade geométrica
  - POI → valores altos
- Variam consideravelmente em curto espaço de tempo
  - Calibração deve ser realizada periodicamente

Fonte: Oliveira (2020).

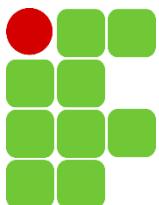
# Orientação interior

***É POSSÍVEL UTILIZAR CÂMARAS NÃO-MÉTRICAS PARA MAPEAMENTO?***

- Sim, desde que seja feita uma calibração adequada e todas as distorções significativas sejam modeladas.

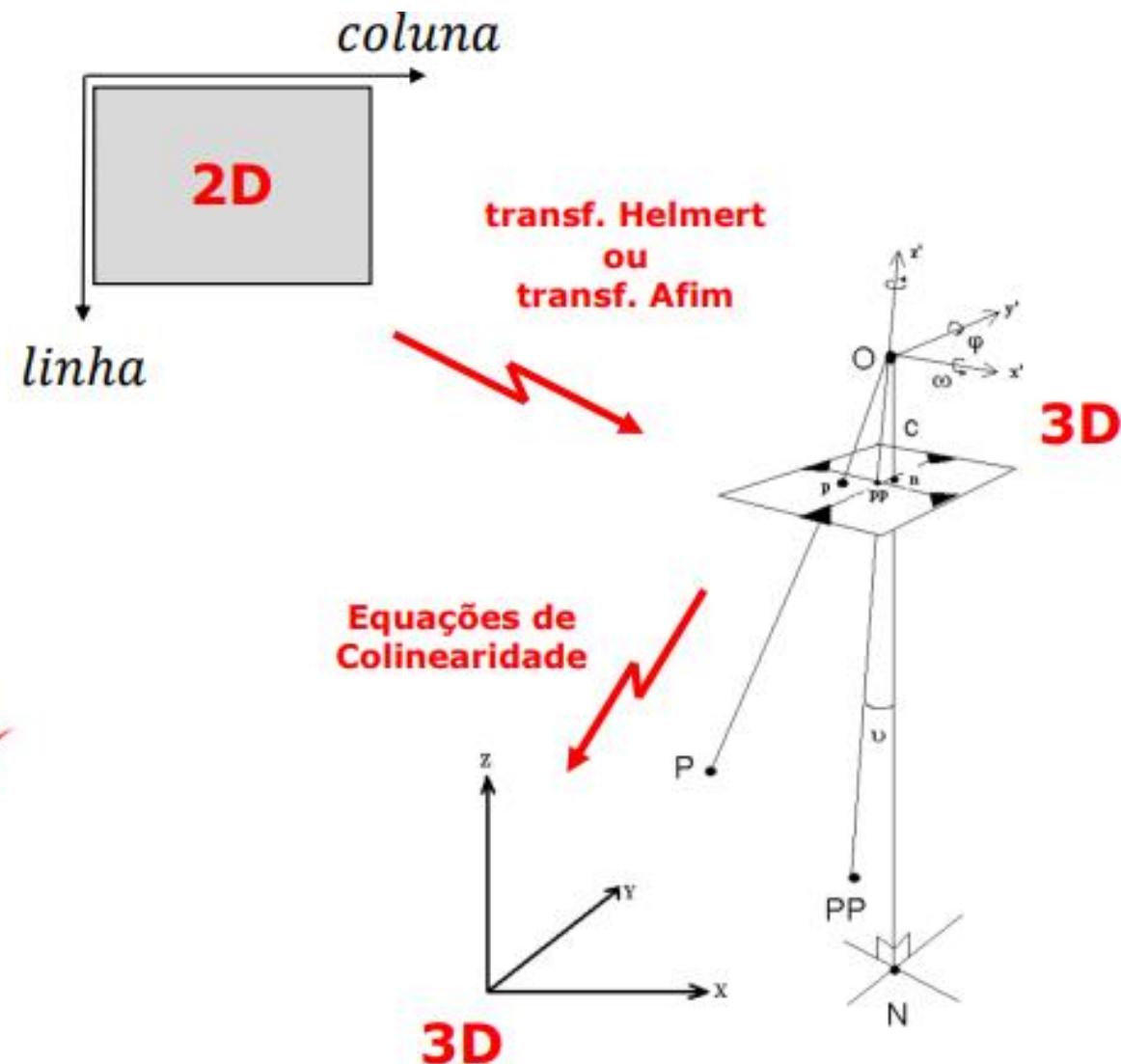
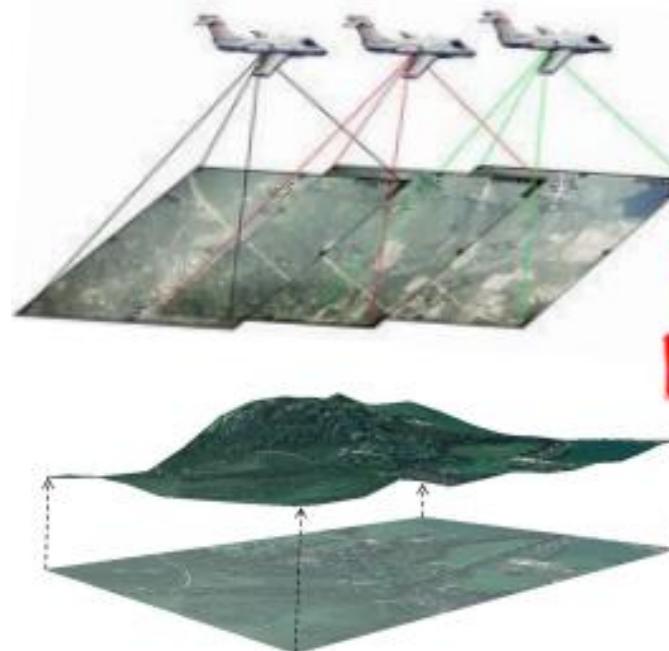


Fonte: Oliveira (2020).

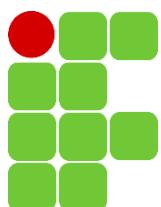


## FOTOGRAFETRIA

2D → 3D

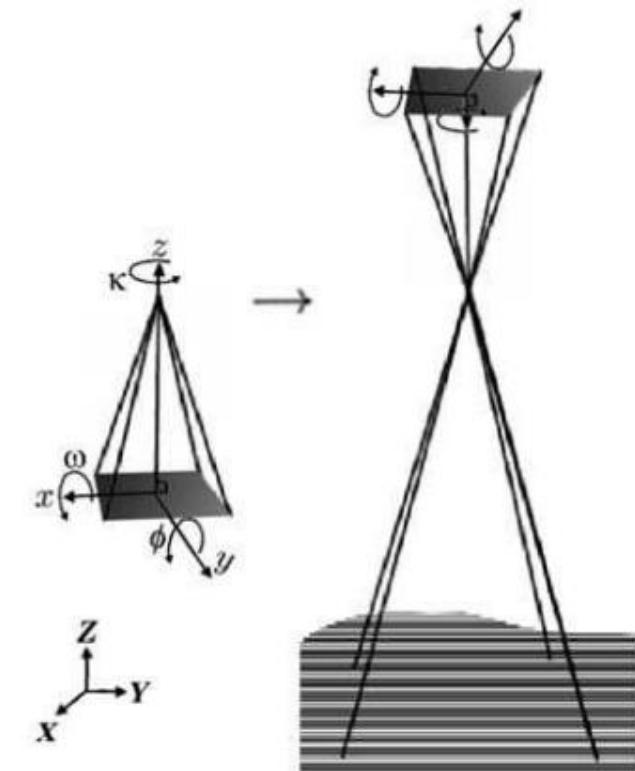
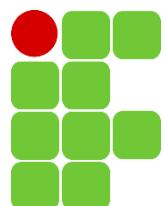


Fonte: Oliveira (2020).



# Orientação exterior

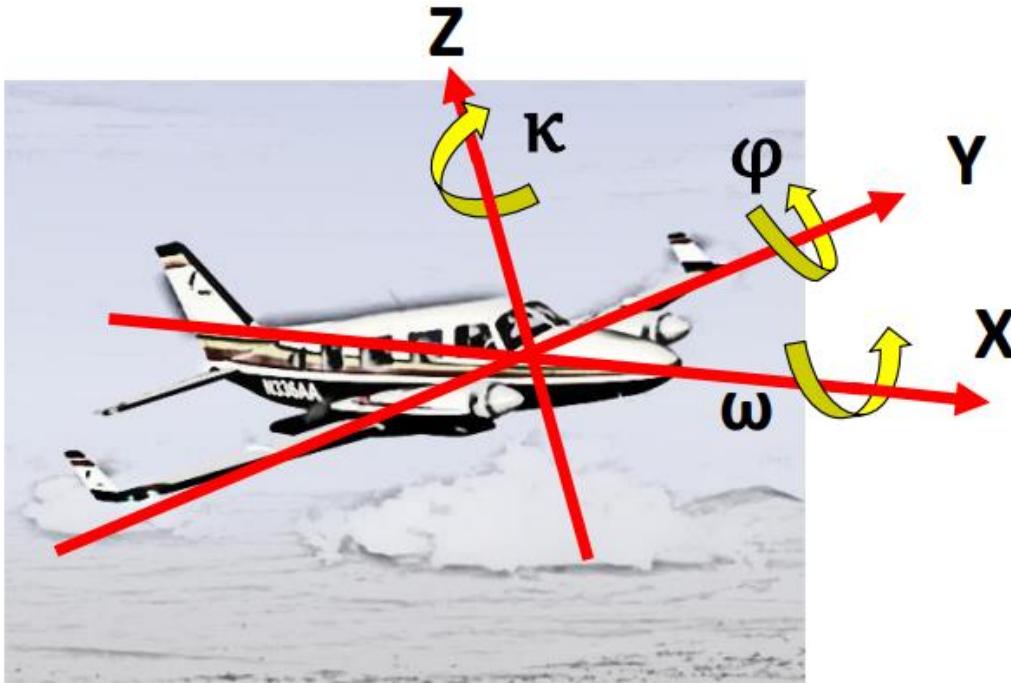
- **Objetivo:** obtenção da posição e da atitude do sensor ao coletar cada imagem fotográfica em relação ao referencial do espaço-objeto (COELHO; BRITO, 2007).
- **PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR (POE):** “Descrevem a posição e atitude da plataforma no instante de aquisição de cada imagem” (OLIVEIRA, 2020).
- **POE →  $X_o, Y_o, Z_o, \kappa, \varphi, \omega$**



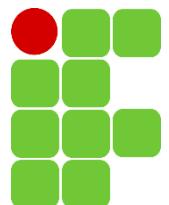
Fonte: Coelho e Brito (2007).

# Orientação exterior

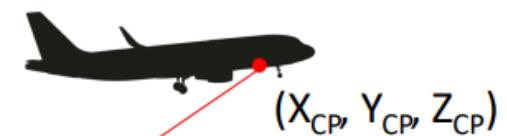
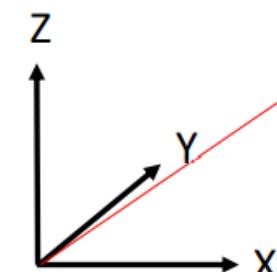
ATITUDE DA PLATAFORMA



Ângulos de Euler ( $\omega$ : rolagem;  $\varphi$ : arfagem;  $\kappa$ : guinada)



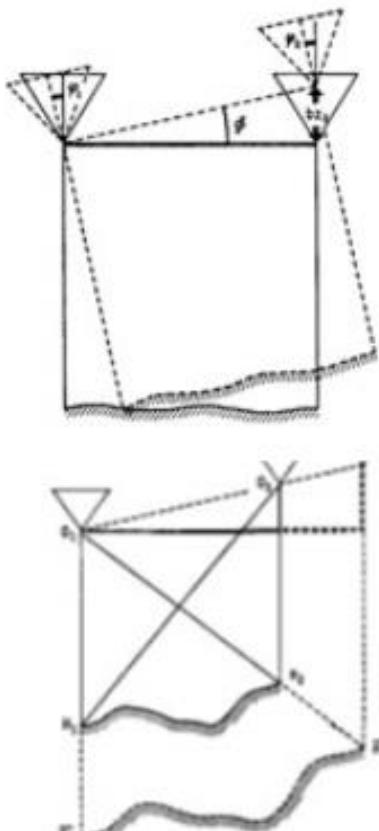
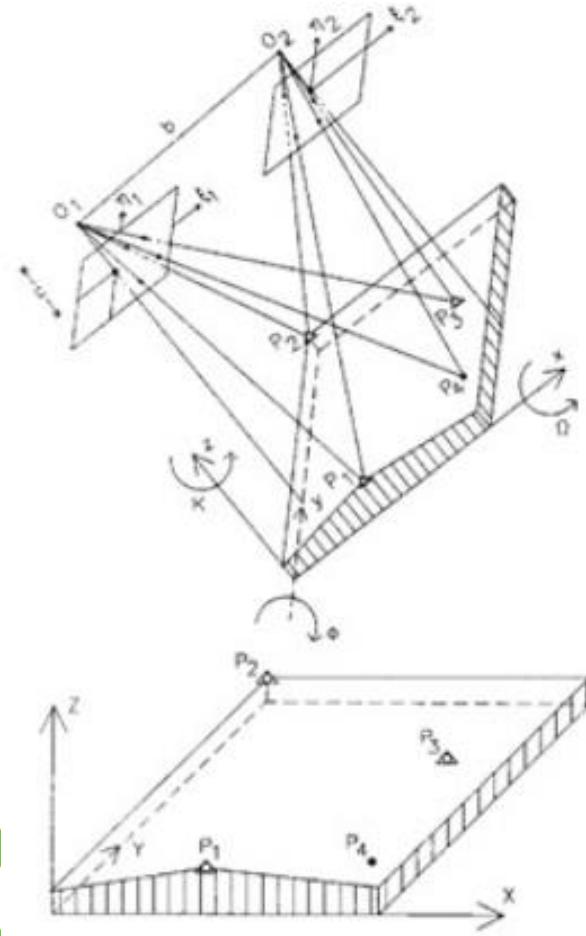
POSIÇÃO DA PLATAFORMA



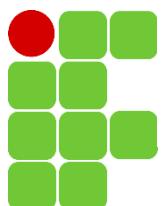
Posição da plataforma  
em relação a uma  
referência.

Fonte: Oliveira (2020).

# Orientação exterior



- **Orientação relativa:** referenciar cada feixe em relação ao seu homólogo, reconstruindo a **posição exata de um par estereoscópico** no espaço durante a tomada das imagens fotográficas.
- **Orientação absoluta:** **referenciar o par de feixes em relação ao terreno**, colocando o modelo estereoscópico em escala e nivelando-o.



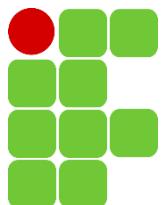
# Orientação exterior

*COMO DETERMINAR OS POE?*

- **Georreferenciamento Direto** → uso de receptores/antenas GNSS e sistema inercial
- **Georreferenciamento Indireto** → Resseção Espacial ou Fototriangulação (com pontos de apoio)



Uso de drones com sistema *Post Processed Kinematic (PPK)* ou sistema *Real Time Kinematic (RTK)*

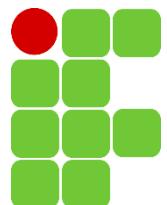


# Pontos de apoio... relembrando

- Pontos de controle

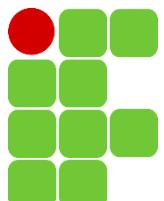
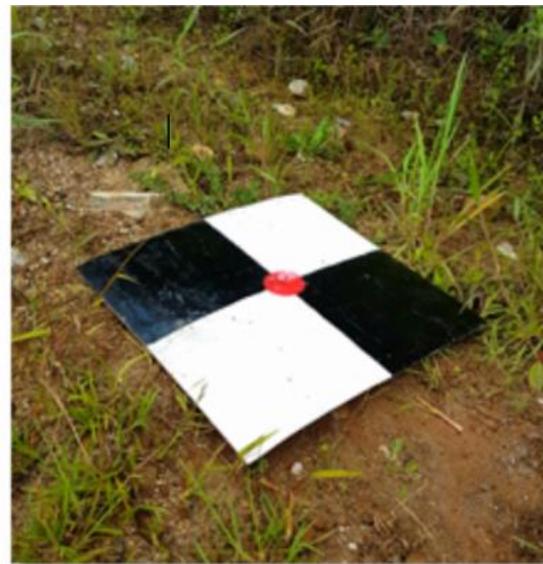
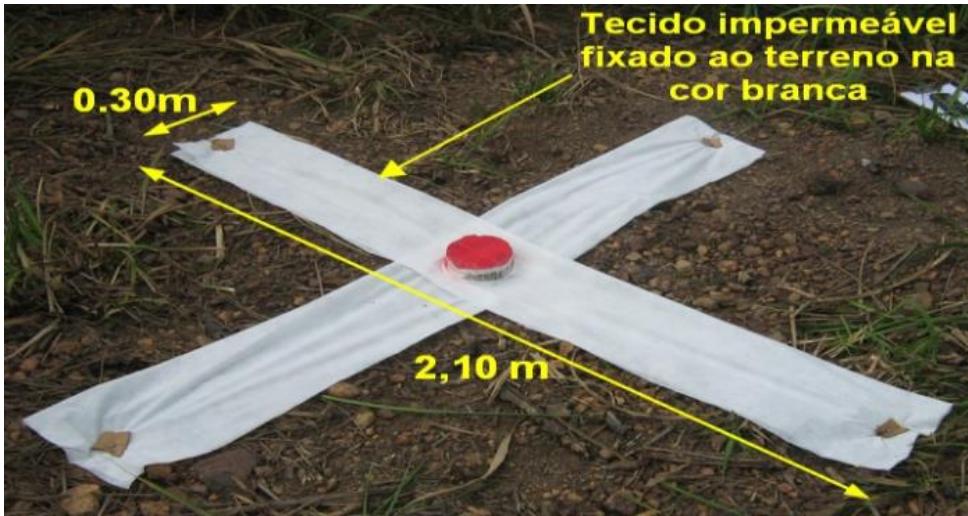


Pontos **foto identificáveis** → aumentam a acurácia do mapeamento



# Pontos de controle

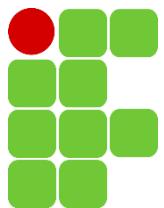
## 1. PRÉ-SINALIZADOS / ARTIFICIAIS



Sugestão: tamanho do alvo no terreno → 12 a 15 vezes o tamanho do GDS definido no projeto

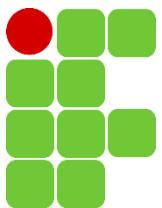
# Pontos de controle

## 2. NATURAIS



# Pontos de controle

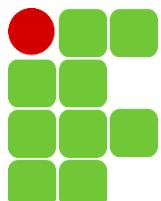
- Determinados via posicionamento por GNSS



**IMPORTANTE**

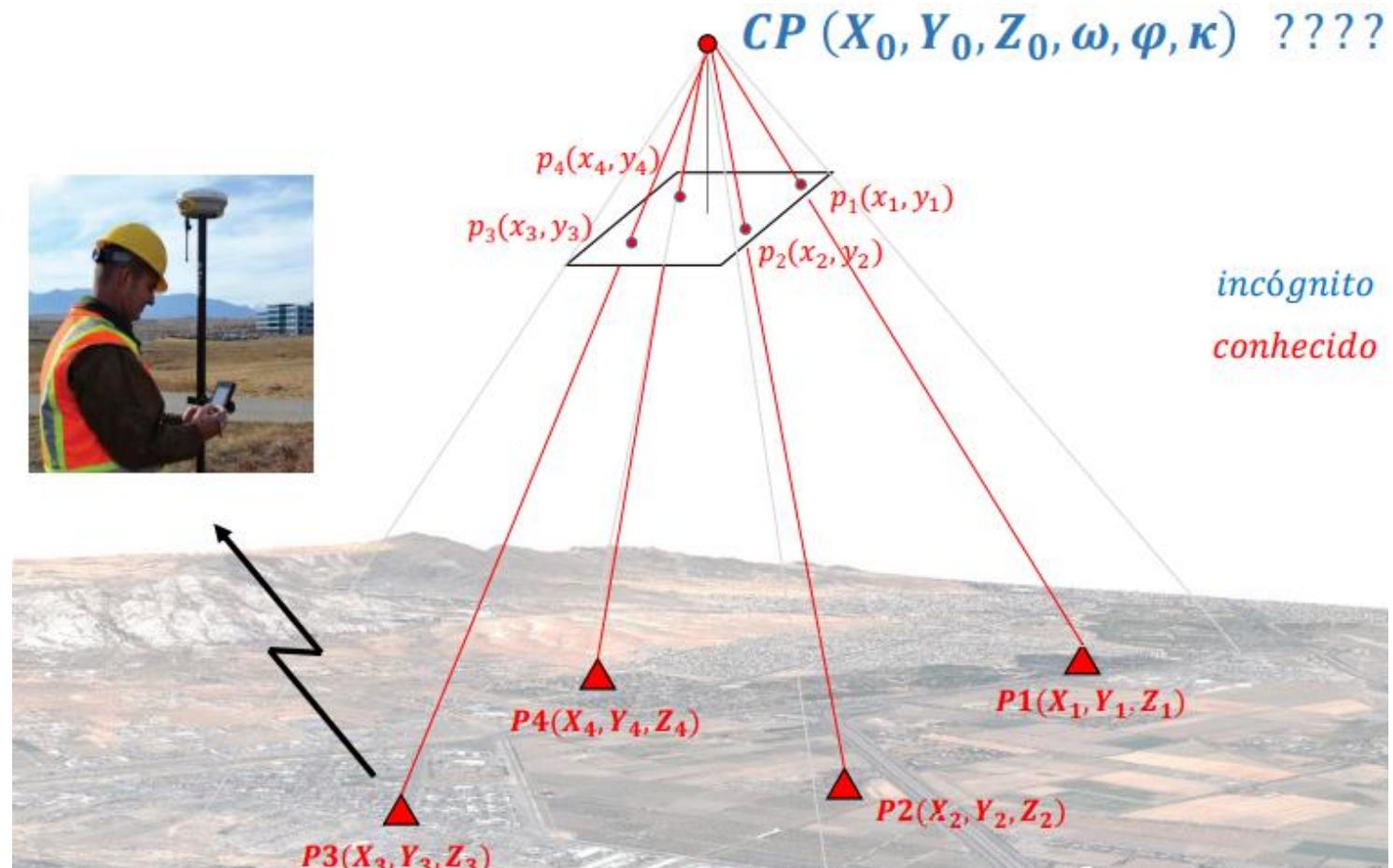
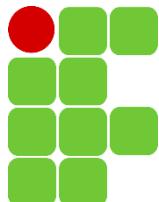
# Pontos de verificação

- **Pontos de verificação ou checagem**
  - Pontos “extras”
  - Naturais ou artificiais foto identificáveis
  - Determinados via posicionamento por GNSS
  - Não participam do ajustamento de observações no processo de fototriangulação/resseção espacial
- **Objetivo:** verificar a acurácia do produto obtido



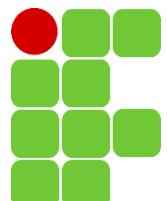
# Resseção espacial

- Objetivo: determinar a **posição e atitude** do centro perspectivo (CP) da câmara (**POE**), no instante de aquisição da imagem, a partir de:
  - pontos de controle;
  - medições de seus correspondentes na imagem; e
  - P.O.I.



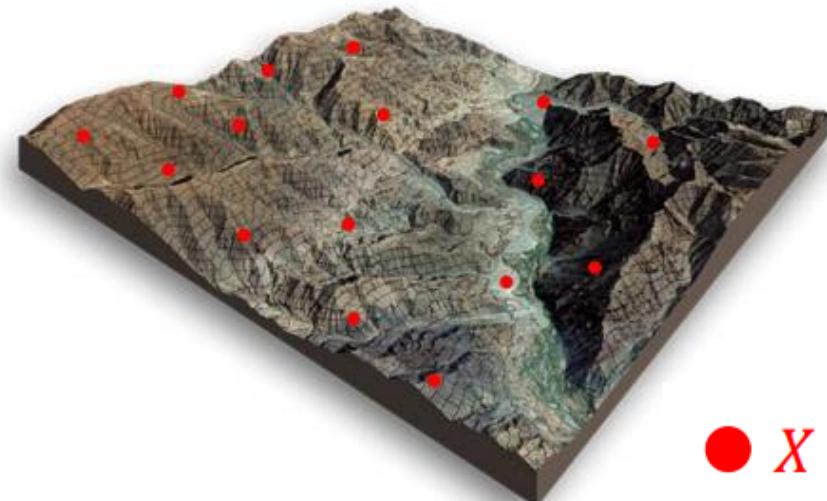
Fonte: Oliveira (2020).

# Resseção espacial

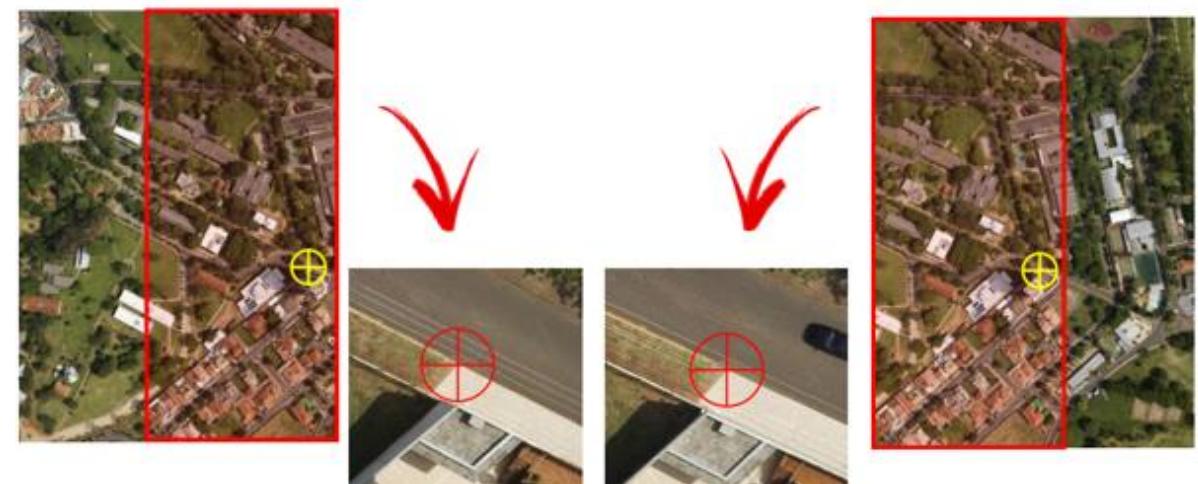


# Interseção fotogramétrica

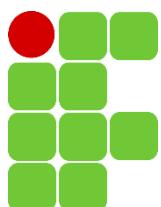
- Objetivo: determinar as coordenadas 3D de pontos no espaço objeto, a partir de:
  - Medições dos **pontos correspondentes na imagem** → **pontos homólogos**;
  - Duas ou mais fotografias;
  - POI;
  - POE .



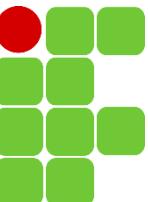
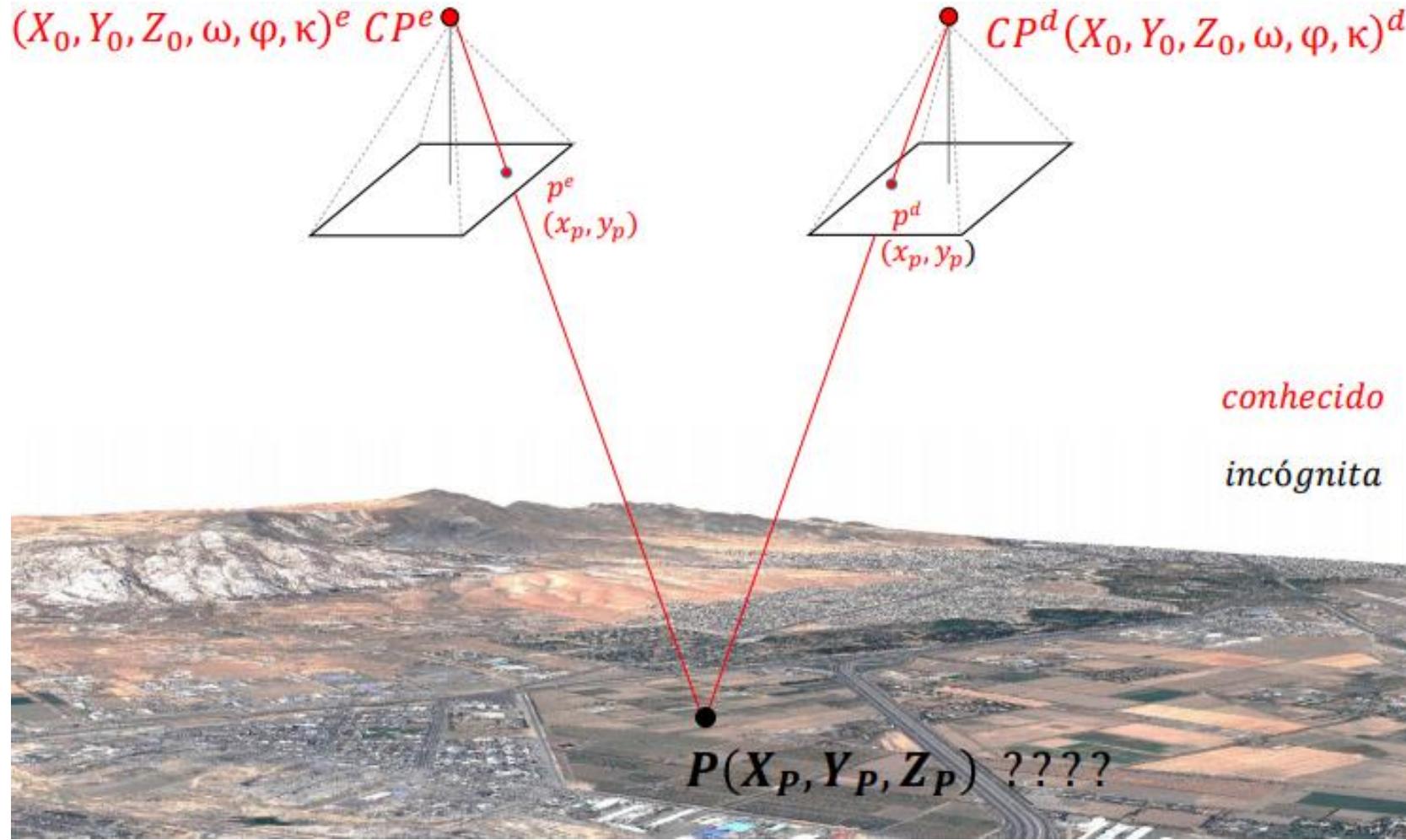
● XYZ



Fonte: Oliveira (2020).



# Interseção fotogramétrica

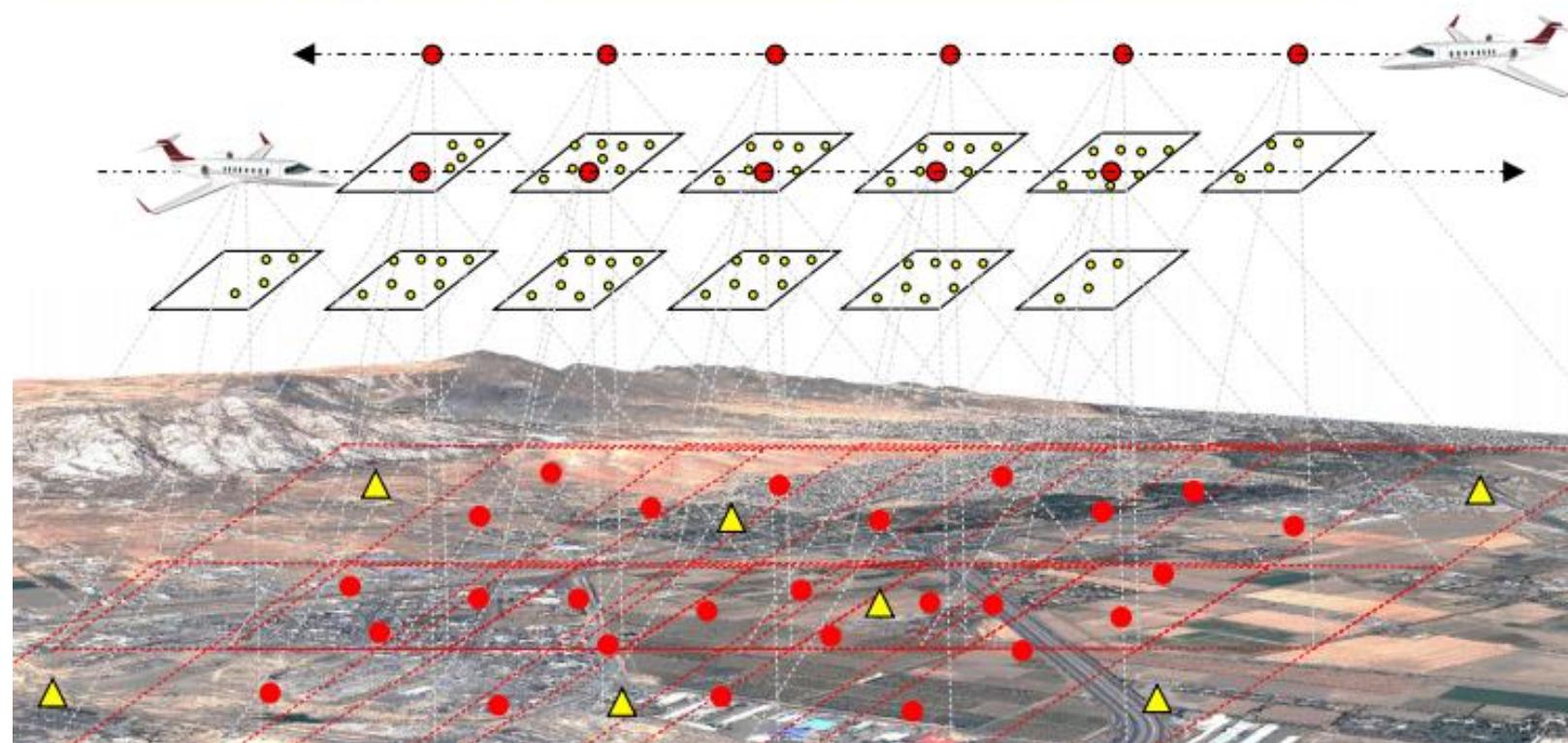


# Fototriangulação

RESSEÇÃO ESPACIAL +  
INTERSEÇÃO FOTOGRAMÉTRICA

Incógnitos  $(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa)$  P.O.E. de todos os CPs  
 $(X, Y, Z)^t$  dos *tie points*

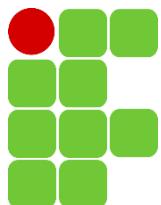
Conhecido  $(X, Y, Z)^c$  pontos de controle  
 $(x, y)^c$  correspondentes aos pontos de controle na imagem  
 $(x, y)^t$  correspondentes aos tie pointes na imagem



Fonte: Oliveira (2020).

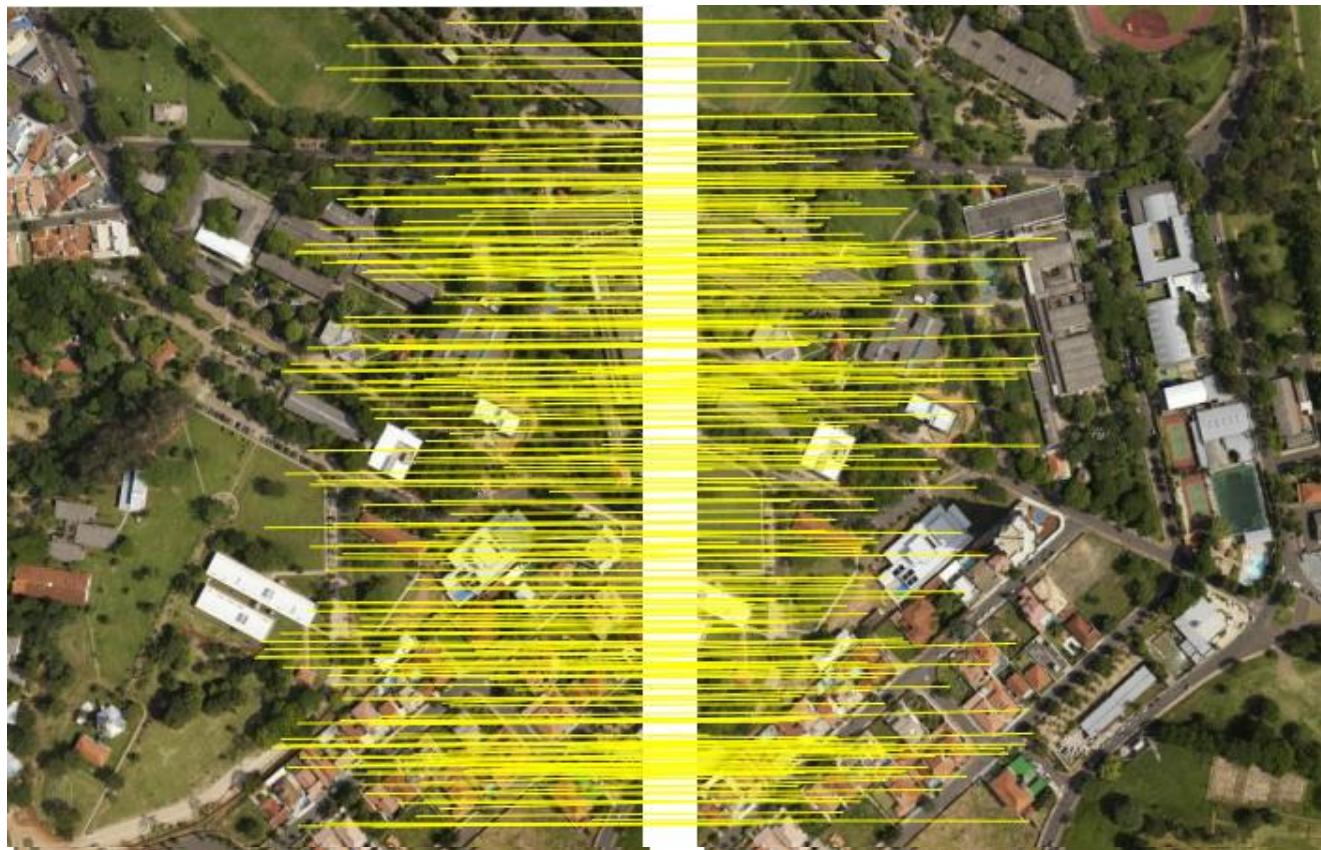
# Fototriangulação

- **Fototriangulação por feixes perspectivos** (*bundle adjustment*): execução de uma **resseção espacial** simultaneamente à execução da **interseção fotogramétrica** para um conjunto de imagens digitais adquiridas sobre determinado trecho do terreno (COELHO; BRITO, 2007).
- Com um só ajustamento, obtêm-se os **parâmetros da orientação exterior** ( $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$ ,  $\kappa$ ,  $\phi$ ,  $\omega$ ) para todas as imagens do voo, associados às **coordenadas no espaço-objeto** (sistema de terreno –  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) de uma série de pontos previamente medidos sobre as imagens e de poucos pontos medidos *in situ* (COELHO; BRITO, 2007).

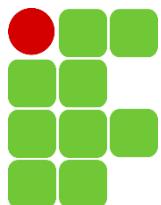


# Correspondência de imagens

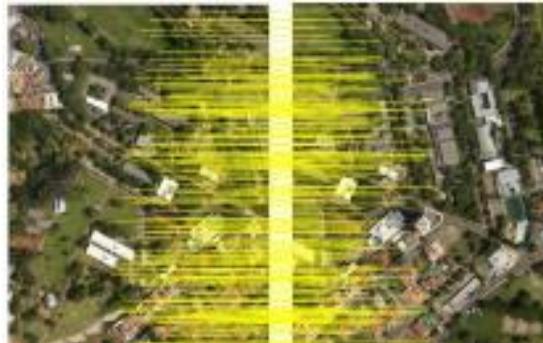
- “Gargalo” na produção fotogramétrica → **identificação de pontos homólogos**



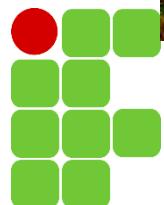
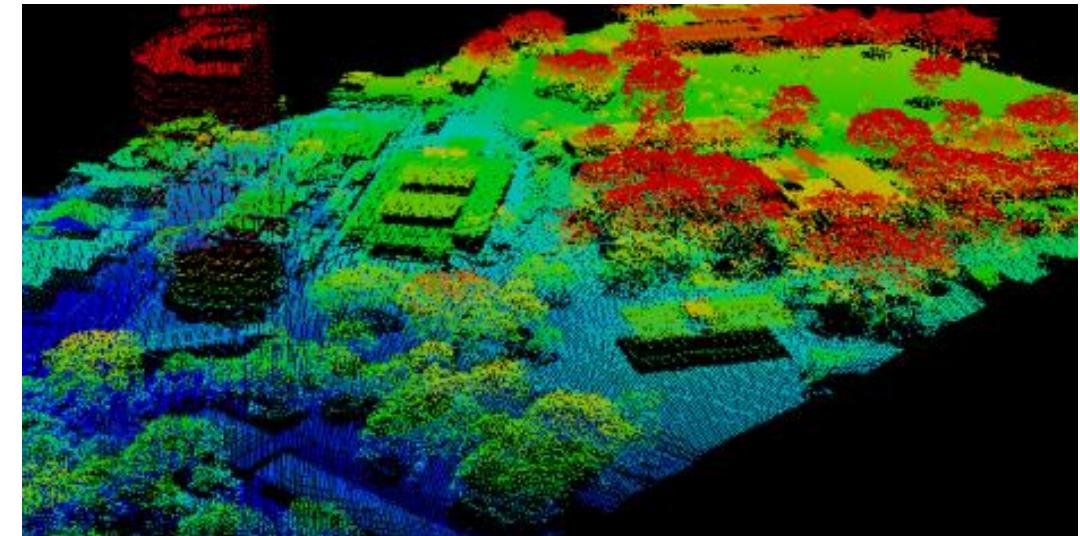
Fonte: Oliveira (2020).



# Correspondência de imagens



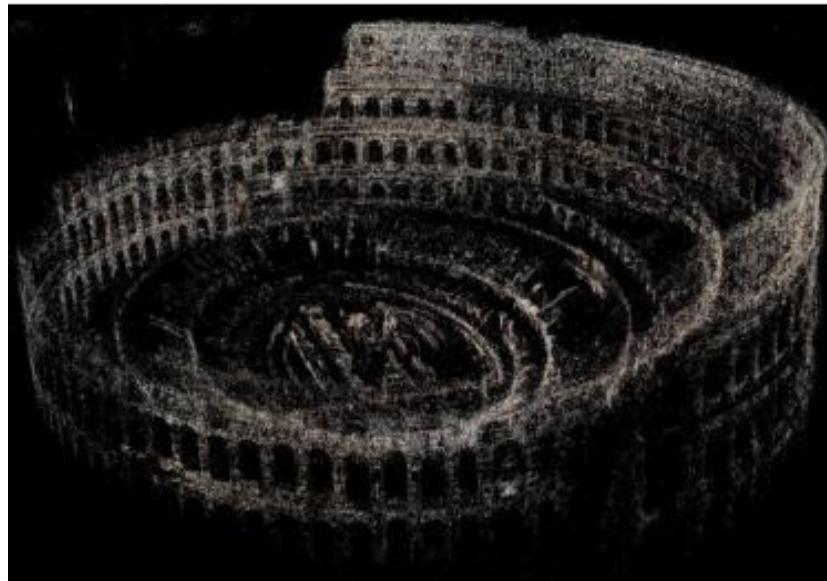
+ Fototriangulação



Fonte: Oliveira (2020).

# Correspondência de imagens

- Caso esparso → janelas de pesquisa



Sub-imagem  
referência

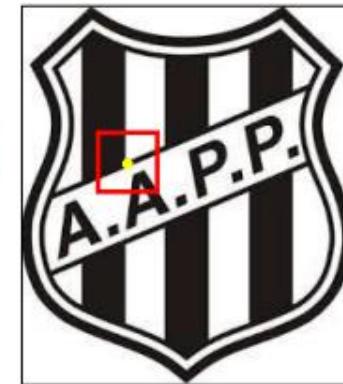


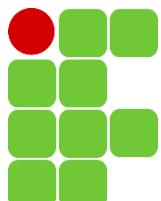
imagem A



imagem B

Sub-imagem  
pesquisa

Busca-se todas as possíveis combinações, realizando **medidas de similaridade** por meio de funções de correlação → encontra o ponto homólogo



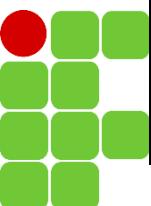
Fonte: Oliveira (2020).

# Correspondência de imagens

- Caso denso → automaticamente busca pontos chaves (*key points*) – uso de janelas de pesquisa e “pixels”
- Mais adotado: algoritmo SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform*) → Visão computacional

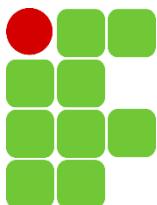


Fonte: Oliveira (2020).



# Correspondência de imagens

- Por que é importante?
  - **Otimização na identificação de pontos homólogos!**
- O que acontece quando são inseridos milhares de pontos de uma pequena área no algoritmo de interseção fotogramétrica?
  - **Obtenção de nuvens de pontos tridimensionais → MDT e MDS**



Fonte: Oliveira (2020).

# Referências bibliográficas

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. UERJ. Rio de Janeiro, 2007.

OLIVEIRA, H. C. **Calibração de Câmeras**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU. UNICAMP, 2020.

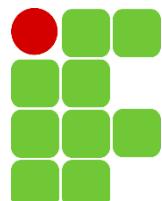
OLIVEIRA, H. C. **Correspondência de imagens**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU. UNICAMP, 2020.

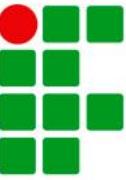
OLIVEIRA, H. C. **Fotogrametria: Introdução e Conceitos Fundamentais**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU. UNICAMP, 2020.

OLIVEIRA, H. C. **Fototriangulação**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU. UNICAMP, 2020.

OLIVEIRA, H. C. **Interseção fotogramétrica**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU. UNICAMP, 2020.

OLIVEIRA, H. C. **Ressecção espacial**. Notas de aula da disciplina de Geomática. Departamento de Infraestrutura e Ambiente. FECFAU. UNICAMP, 2020.





**INSTITUTO  
FEDERAL**

Sul de Minas Gerais

---

Campus  
Inconfidentes

# OBRIGADA!

---

Prof.<sup>a</sup> Débora Simões

[debora.simoes@ifsuldeminas.edu.br](mailto:debora.simoes@ifsuldeminas.edu.br)

*"Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão."*  
*(Mahatma Gandhi)*