

## Monitorização Remota de Solos no Interior de Portugal: Integração de Dados Multiespectrais e LiDAR via VANT.

Gonçalves, P.; Carvalho, J.; Torres, R.; Morgado, R.; Henriques, J.; Simões, B.; Oliveira, D.; Nave, S.  
[pedro.goncalves@lneg.pt](mailto:pedro.goncalves@lneg.pt) [rita.torres@ua.pt](mailto:rita.torres@ua.pt) [jlocarvalho@gmail.com](mailto:jlocarvalho@gmail.com)

Os solos são fundamentais para os sistemas alimentares e serviços ecossistémicos, mas enfrentam ameaças crescentes: na Europa, 60-70% dos solos não são saudáveis, com custos de degradação que excedem €50 mil milhões anuais. A região interior da Península Ibérica, incluindo Figueira de Castelo Rodrigo, é particularmente vulnerável devido aos elevados níveis de aridez, ao risco de erosão e aos impactos das alterações climáticas.

No âmbito do projeto Soil@INT foram realizadas campanhas de aquisição de dados de deteção remota em 20 quadrículas de 25 hectares (500x500 m) no concelho de Figueira de Castelo Rodrigo, que representam a diversidade de usos do solo e as condições topográficas da região. A plataforma operacional utilizada foi o DJI Matrice 300 RTK equipado com três sistemas de aquisição de dados complementares: o sensor multiespectral Agrowing Sextuple com câmara Sony ILX-LR1 modificada (14 bandas espectrais de 405 a 850 nm), o sistema LiDAR YellowScan Mapper+ (scanner Livox-AVIA com sistema inercial Applanix APX-15), e o sistema GNSS EMLID RS3 (base e rover) para correções cinemáticas de precisão centimétrica.

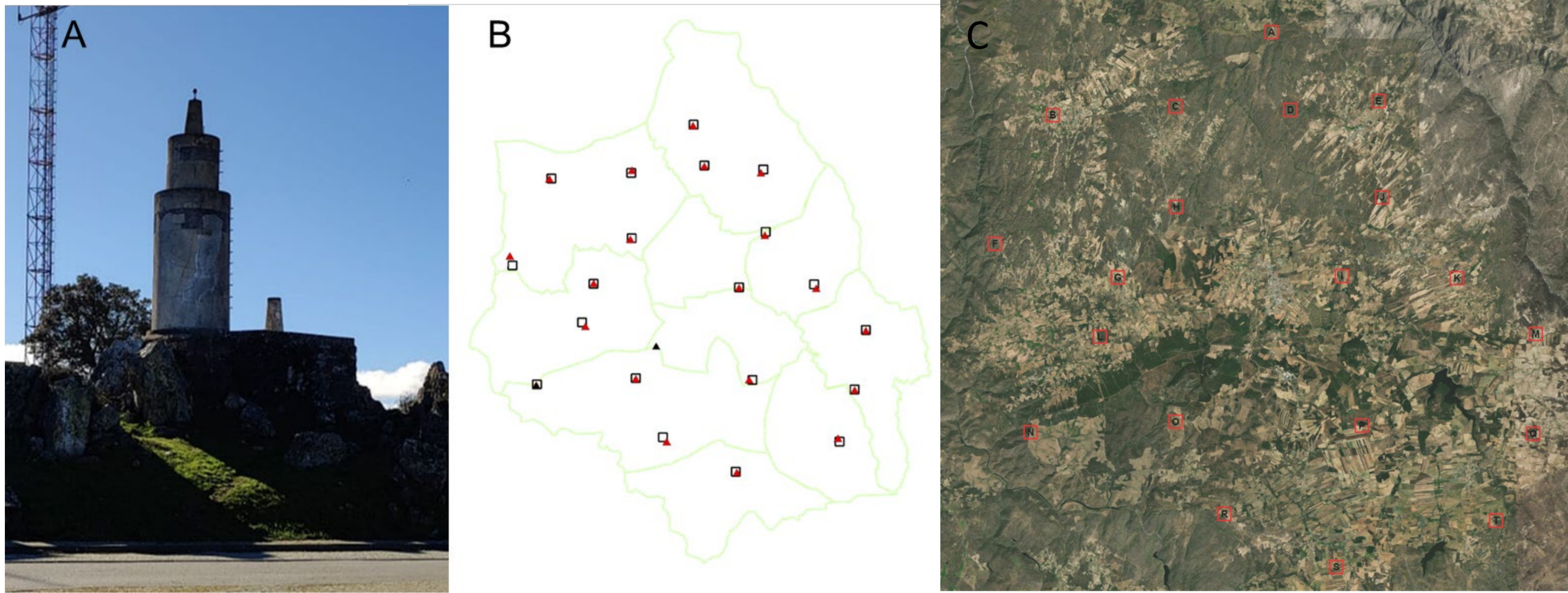


Figura A: Vértice Geodésico da Marofa onde foi instalado a Base GNSS principal; Figura B: Localização das Bases GNSS em cada uma das áreas de estudo com *overlay* dos limites administrativos (Freguesias); Figura C: Sobreposição das áreas de estudo a uma fotografia aérea de alta resolução.

### Esquema Metodológico para Aquisição de Dados com Recurso a VANT

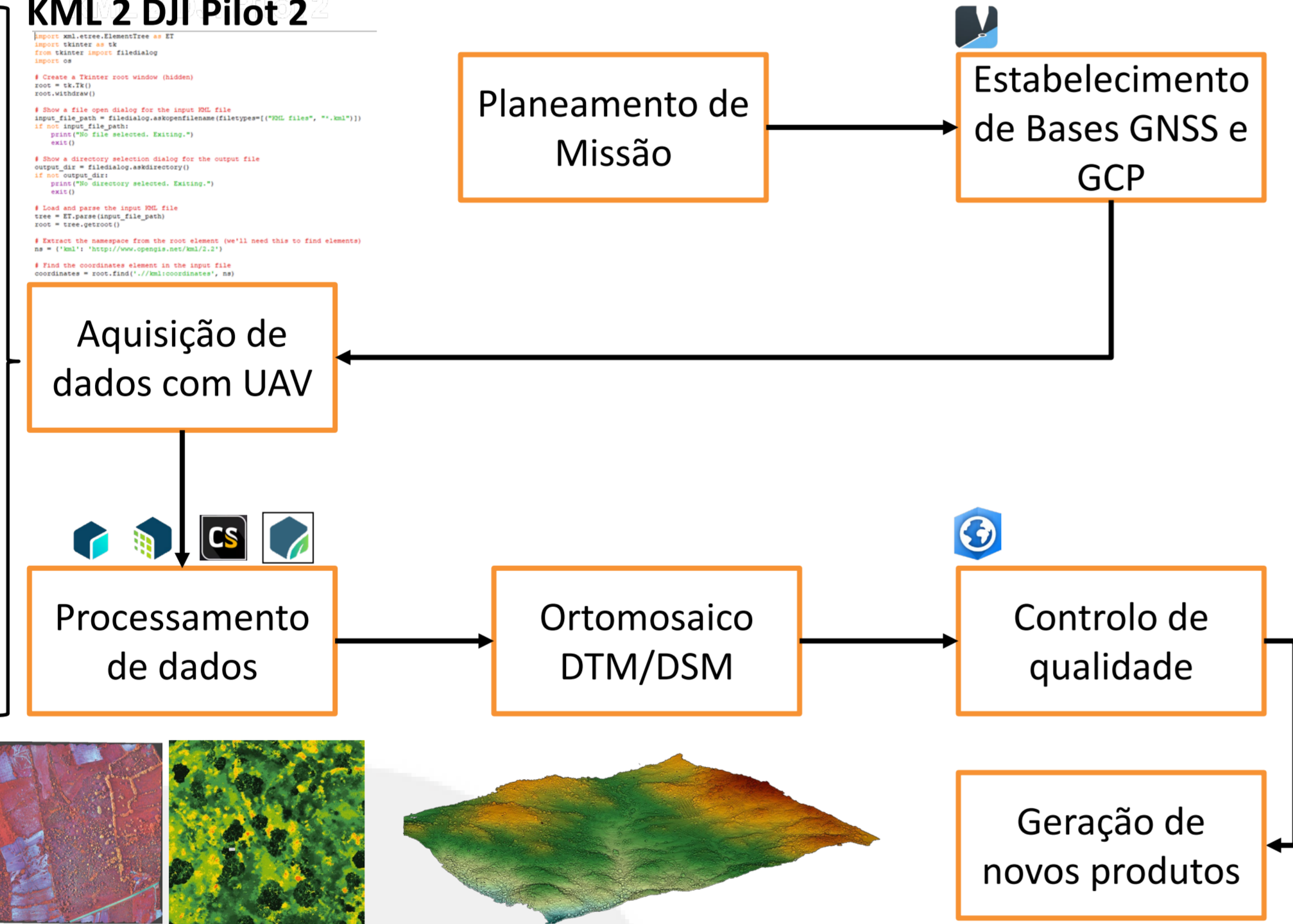
#### Parametrização dos voos

**DJI P1**  
Altura do Voo: 120 m AGL  
Sobreposição Lateral: 70%  
Sobreposição Frontal: 80%

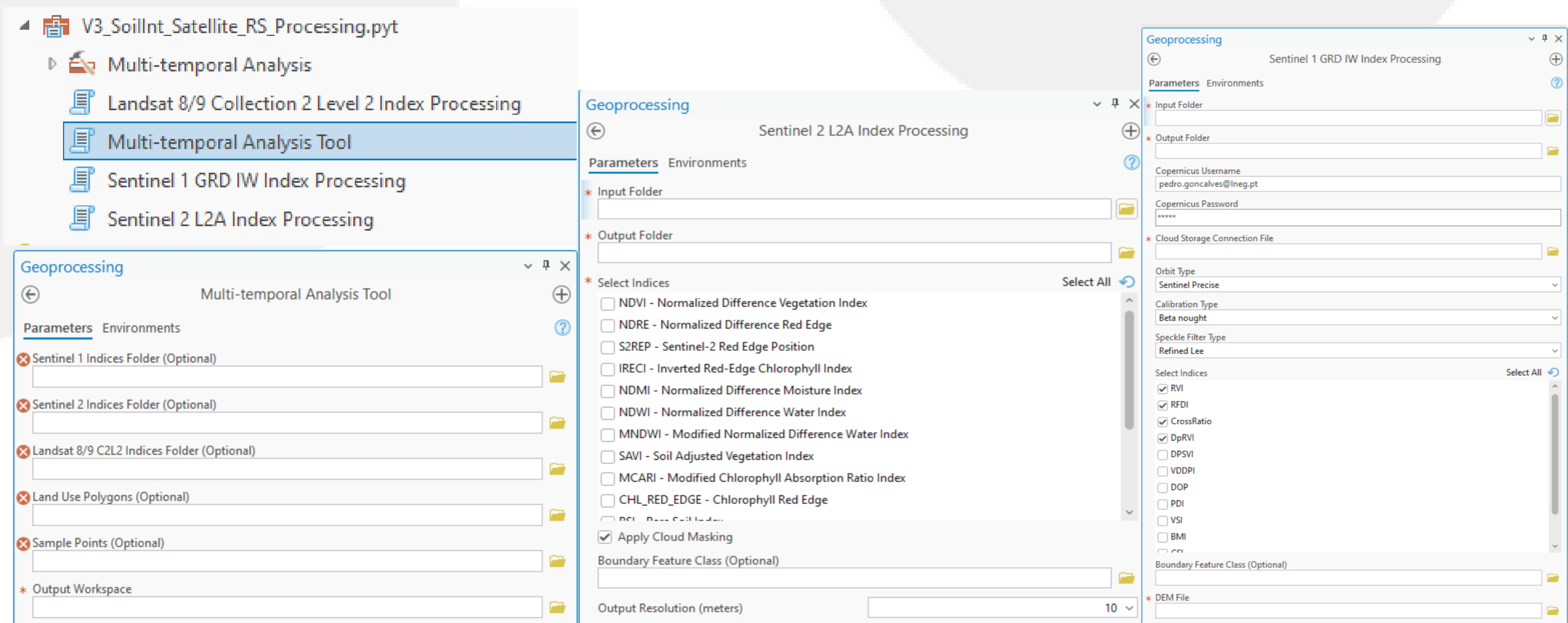
**Agrowing Sextuple**  
Altura do Voo: 120 m AGL  
Sobreposição Lateral: 70%  
Sobreposição Frontal: 70%

**YellowScan Mapper +**  
Altura do Voo: 80 m AGL  
Sobreposição Lateral: 50%  
Sobreposição Frontal: 50%

#### Definição de Blocos de voo

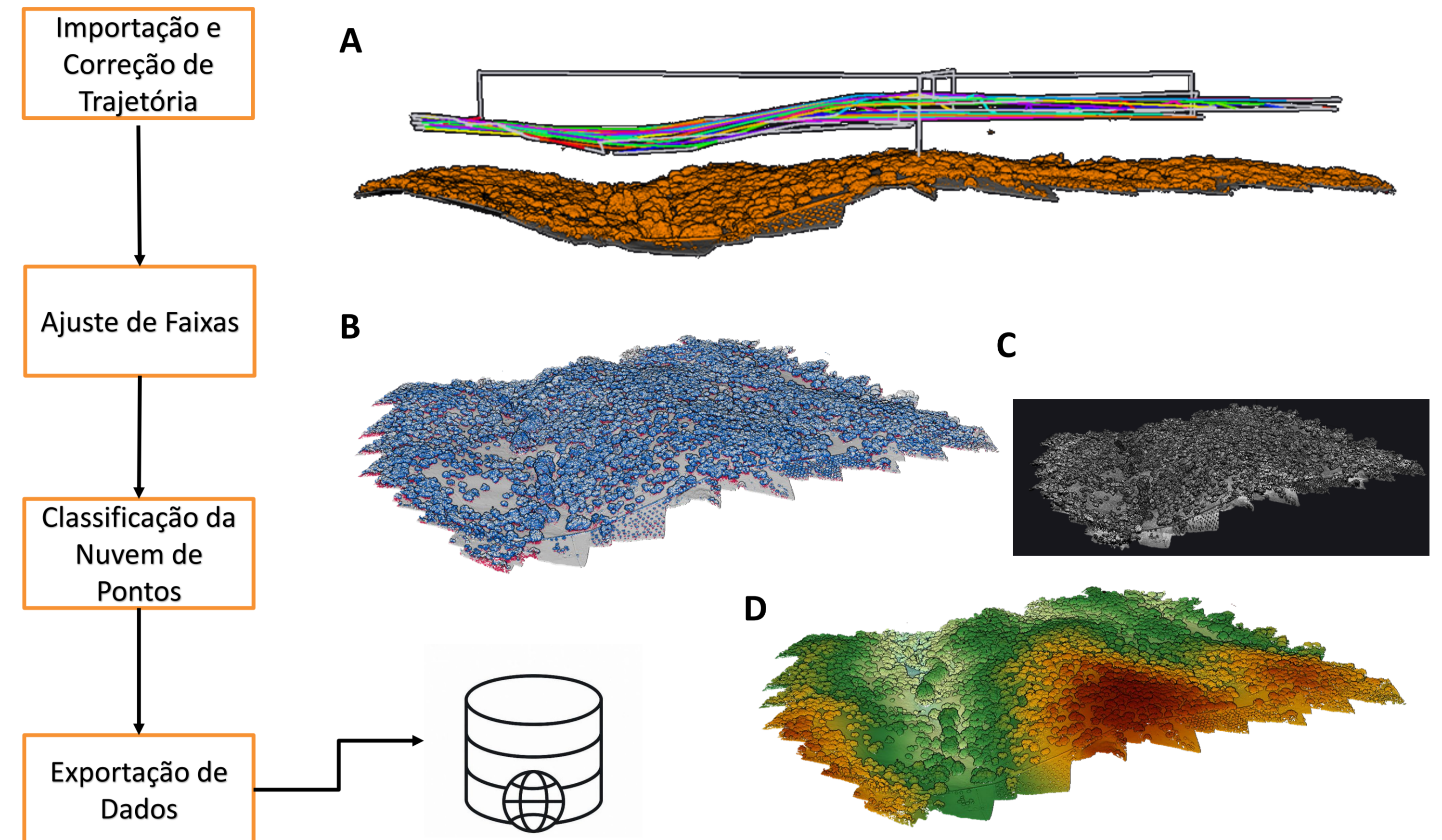


Operações de campo para aquisição de dados LiDAR e multiespectrais nas 20 áreas de estudo, incluindo estabelecimento de rede GNSS de precisão, levantamentos aerotransportados com DJI Matrice 300 RTK, e validação em terreno de topografia complexa e declives acentuados.



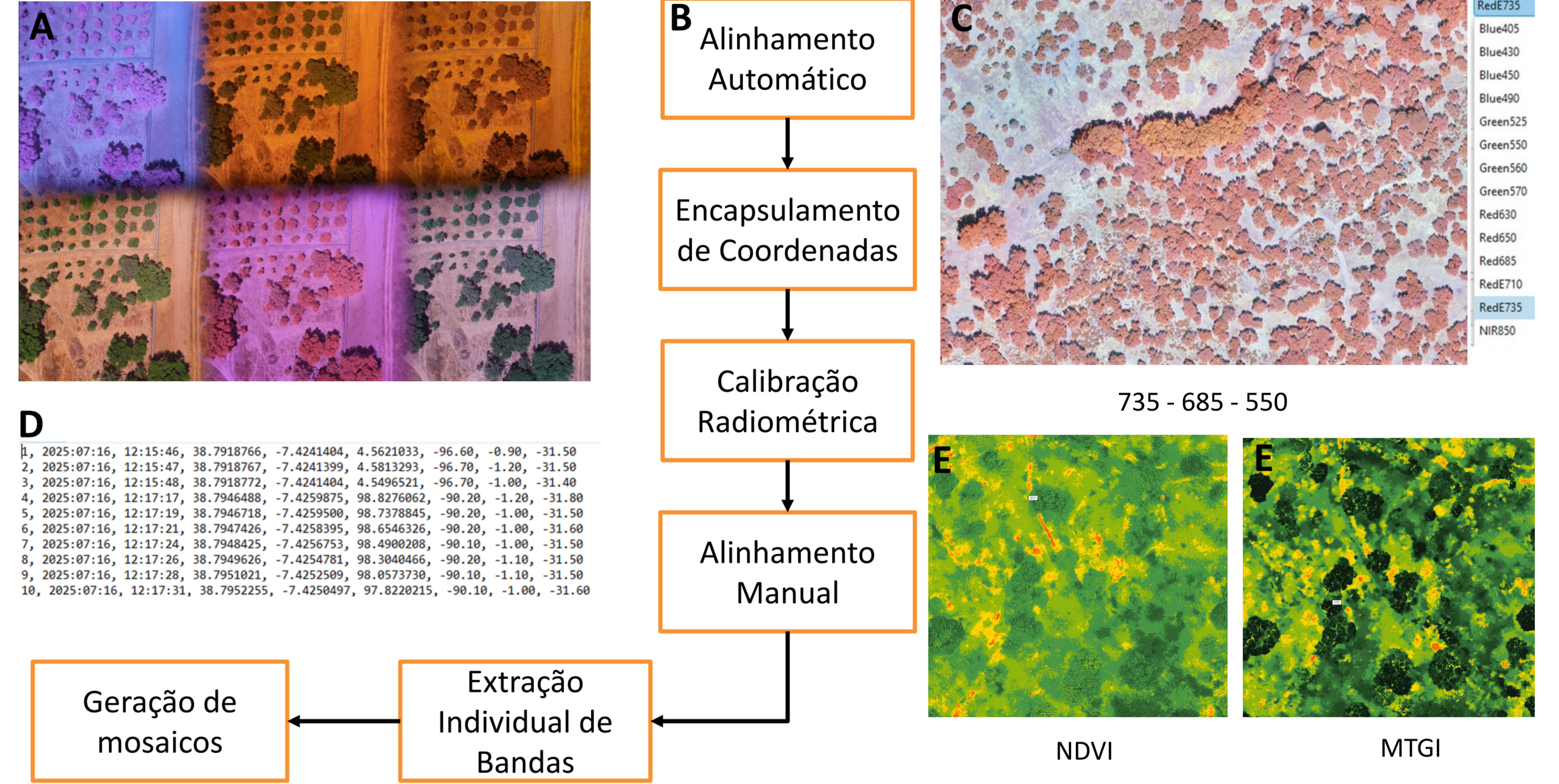
Toolbox desenvolvida para processamento automatizado de dados de Observação da Terra (Sentinel-1 SAR, Sentinel-2, Landsat 8/9), incluindo aplicação de máscaras de qualidade, análise multi-temporal de grande volume de dados, e geração de produtos derivados (>40 índices espectrais de vegetação, solo e radar) para as três plataformas.

### Processamento de Dados LiDAR

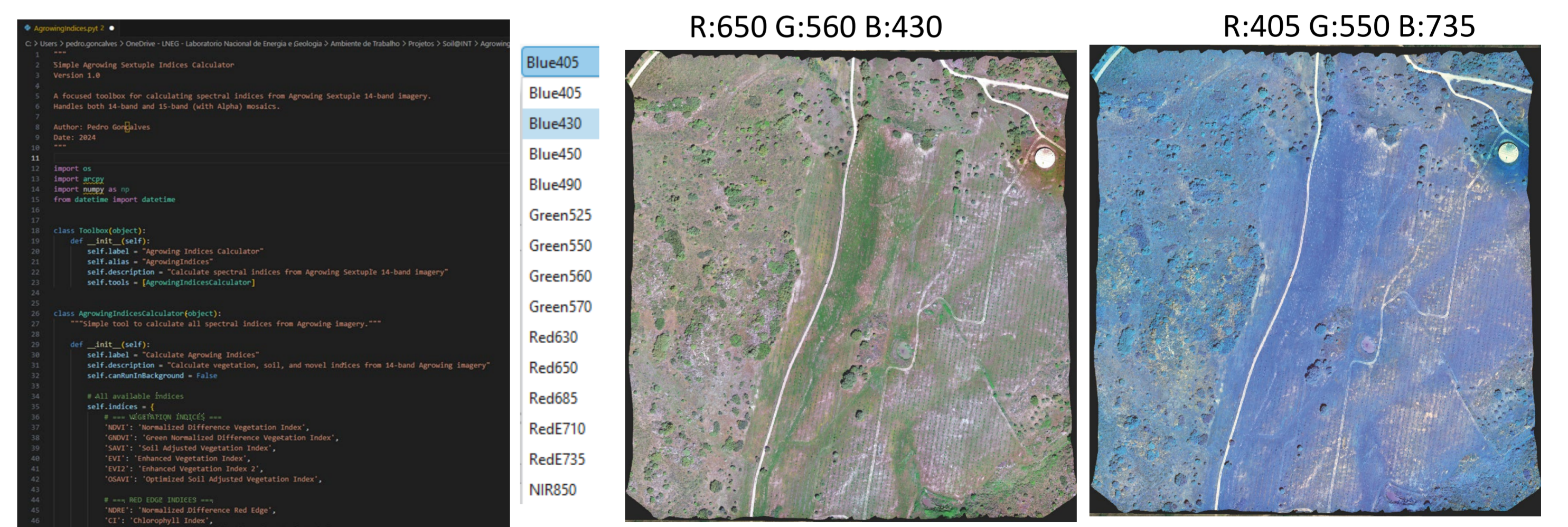


Processamento de dados LiDAR e produtos derivados. **Fluxograma** (esquerda): principais etapas do processamento implementado no software YellowScan CloudStation, incluindo correção PPK da trajetória, ajuste de faixas adjacentes, e classificação automática da nuvem de pontos. **Painéis** (direita): (A) Vista transversal da nuvem de pontos bruta mostrando trajetórias de voo (linhas coloridas) e capacidade de penetração do laser através da vegetação até ao solo (pontos laranja); (B) Classificação por número de retorno evidenciando múltiplos ecos (até 3 retornos) resultantes da interação do pulso laser com diferentes estratos de vegetação; (C) Mapa de intensidade do retorno laser refletindo propriedades de refletância dos materiais de superfície; (D) Modelo Digital de Elevação derivado dos adquiridos, com gradiente de cor representando variação altimétrica do terreno.

### Processamento de Dados Multiespectrais



Processamento de dados multiespectrais adquiridos com o sensor Agrowing Sextuple. **A:** Exemplo de imagem bruta mostrando os seis quadrantes correspondentes aos diferentes filtros espectrais da câmara. **B:** Principais etapas de processamento implementadas no software Agrowing Basic v1.25, incluindo alinhamento automático entre as seis lentes, encapsulamento de coordenadas GNSS, calibração radiométrica com painel X-Rite ColorChecker, refinamento manual do alinhamento, e extração de bandas individuais. **C:** Mosaico final georeferenciado contendo as 14 bandas espectrais (405-850 nm) e composição falsa-cor (R: 735 nm, G: 685 nm, B: 550 nm) evidenciando vegetação em tons rosa-avermelhados. **D:** Ficheiro de registo de posicionamento capturado durante o voo. **E:** (inferior direito): Exemplos de produtos derivados calculados automaticamente - NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e MTGI (Modified Triangular Vegetation Index), para análise quantitativa da saúde e vigor vegetal.



Produtos do levantamento multiespectral (405-850 nm) e toolbox desenvolvida em Python/ArcGIS Pro para cálculo automatizado de 19 índices espectrais (vegetação, red-edge, solo). Ortomosaicos em composições falsa-cor: RGB natural (R:650 G:560 B:430), e UV/verde/NIR (R:405 G:550 B:735). A automação reduziu o tempo de processamento de 1520h (manual) para aprox. 80h, representando ganho de eficiência de 95%.

O levantamento das propriedades físico-químicas do solo (SOC, pH, textura e nutrientes) e da sua biodiversidade (comunidades microbianas e fúngicas) nas 20 áreas de estudo de estudo fornecerá dados de campo essenciais para o treino e a validação de modelos de *Deep Learning*. A integração multi-escala combinará dados de campo com produtos de VANT de alta resolução (LiDAR estrutural + multiespectral 14 bandas) para treino de algoritmos de super-resolução e fusão multi-sensor, permitindo transferência de modelos preditivos para dados orbitais (Sentinel-1/2, Landsat). O sistema resultante viabilizará o mapeamento contínuo e automatizado de SOC e de outros indicadores de saúde do solo a nível regional, fornecendo uma ferramenta operacional de baixo custo para monitorização, deteção precoce de degradação e apoio à gestão sustentável dos solos mediterrânicos.