TED SPU

UFPR E LAGEAMB

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA PROCESSAMENTO BÁSICO DE DADOS LIDAR

2025

SPU



FOTO: MARIANNE OLIVEIRA/LAGEAMB

PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO PARA PROCESSAMENTO BÁSICO DE DADOS LIDAR

TERMO DE EXECUÇÃO DESCENTRALIZADA ENTRE A SECRETARIA DO PATRIMÔNIO DA UNIÃO (SPU) E UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (UFPR)

AUTORIA

CARLOS AUGUSTO WROBLEWSKI
Produção, edição e revisão textual
MARIANNE OLIVEIRA
Produção, edição e revisão textual
CAIO DOS ANJOS PAIVA
Produção, revisão textual e coordenação
ALEXANDRE BERNARDINO LOPES
Revisão textual e coordenação
LUIZ CARLOS ZEM
Revisão textual e apoio técnico e administrativo

CURITIBA | PR
2025

PROGRAMA

Elaboração de solução procedimental-metodológica referente a obtenção de dados altimétricos para subsidiar a demarcação de terras da União no Paraná, incluindo a implantação da rede geodésica da SPU e capacitações relacionadas.

EXECUÇÃO

Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais (LAGEAMB)
Universidade Federal do Paraná

GESTÃO FINANCEIRA

Fundação da Universidade Federal do Paraná para o Desenvolvimento da Ciência, Tecnologia e da Cultura (FUNPAR)

COLABORADORES

Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais – LAGEAMB/UFPR

EDUARDO VEDOR DE PAULA
Coordenação do LAGEAMB e Integrante do projeto

EQUIPE TÉCNICA

ALEXANDRE BERNARDINO LOPES
CAIO DOS ANJOS PAIVA
CARLOS AUGUSTO WROBLEWSKI
LARA CRISTINI RODRIGUES CANDIDO
LUIZ CARLOS ZEM
MARIANNE OLIVEIRA
PEDRO LUIS FAGGION

COORDENAÇÃO TED SPU

ALEXANDRE BERNARDINO LOPES

PARCEIROS

Superintendência do Patrimônio da União – SPU.
Órgão parceiro institucional
Financiador do projeto

CATALOGAÇÃO NA FONTE – SIBI/UFPR

S697a Laboratório de Geoprocessamento e Estudos Ambientais - LAGEAMB UFPR

Procedimento operacional padrão para processamento básico de dados Lidar referente ao termo de execução descentralizado entre a Superintendência do Patrimônio da União (SPU) E A Universidade Federal do Paraná (UFPR) [recurso eletrônico]/ Carlos Augusto Wroblewski, *et al*. – Curitiba: FUNPAR: LAGEAMB/UFPR, 2025.

ISBN: 978-65-5476-040-9

1. Administração. 2. Procedimento Operacional Padrão. I. Oliveira, Marianne. II. Paiva, Caio dos Anjos. III. Lopes, Alexandre Bernardino. IV. Zem, Luiz Carlos. V. Título.

CDD 658.404

Bibliotecária: Vilma Machado CRB9/1563

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 4

2. REQUISITOS COMPUTACIONAIS MÍNIMOS RECOMENDADOS. 5

3. PARÂMETROS BASE DE CONFIGURAÇÃO DO CONTROLE 7

4. EXTRAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS ORIUNDOS DA BASE E DO SENSOR ZENMUSE L2; 11

5. PROCESSAMENTO DA BASE NO PPP 20

6. CONFIGURAÇÕES NO DJI TERRA E PROCESSAMENTO DE NUVEM DE PONTOS 21

6.3 Inserção e ajuste das bases GNSS no DJI Terra 24

6.4 Configuração do cenário de processamento 25

6.5 Configurando Point Cloud 26

6.6 2D Map 28

6.7 3D Mesh 29

6.8 Classificação da nuvem de pontos 30

6.9 DEM (*Digital Elevation Model*) 32

6.10 Contour (geração de curvas de nível) 33

6.11 Advanced (configurações avançadas) 34

6.12 Annotation and Measurement 36

7. MANIPULAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS E GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO NO CLOUDCOMPARE 38

1. INTRODUÇÃO

A Secretaria do Patrimônio da União (SPU), responsável pela gestão, fiscalização e destinação dos bens imóveis da União, tem ampliado o uso de geotecnologias para subsidiar suas ações técnicas e estratégicas em todo o território nacional. Nesse contexto, a tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) tem se consolidado como uma das ferramentas mais eficazes para a obtenção de informações altimétricas de alta resolução, especialmente em áreas extensas, vegetadas ou de difícil acesso.

A utilização de dados LiDAR possibilita a detecção precisa da topografia do terreno, mesmo sob dossel vegetal, ao classificar automaticamente os pontos refletidos em categorias como solo, vegetação e edificações. A partir disso, é possível filtrar apenas os pontos classificados como terreno, gerando MDTs com acurácia altimétrica compatível com normas nacionais (Padrão de Exatidão Cartográfica) e internacionais (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ASPRS*). A geração de curvas de nível, por sua vez, permite a visualização e quantificação de variações topográficas, sendo um insumo fundamental para os processos de demarcação, no âmbito do Plano Nacional de Caracterização.

Assim, o presente Procedimento Operacional Padrão (POP) tem como objetivo estabelecer diretrizes técnicas para o uso de dados LiDAR no âmbito da SPU, com foco na geração de Modelos Digitais do Terreno (MDT) e curvas de nível.

Para tanto, detalha os requisitos técnicos mínimos, softwares recomendados, parâmetros padrão de interpolação e etapas metodológicas para a preparação, classificação, filtragem e modelagem da nuvem de pontos. Também orienta quanto à geração de curvas de nível com equidistância adequada, além dos cuidados com a nomenclatura, organização dos dados e metadados.

A padronização desses processos visa garantir a qualidade, replicabilidade e integração dos produtos gerados, contribuindo diretamente para atividades como regularização fundiária, análise de ocupações irregulares e apoio à fiscalização e estudos em áreas costeiras, fluviais e urbanas.

A adoção desse procedimento busca fortalecer a base técnico-operacional da SPU, promovendo maior eficiência e consistência nos produtos altimétricos gerados a partir de dados LiDAR.

É importante salientar que, embora este Procedimento Operacional Padrão (POP) estabeleça diretrizes técnicas gerais para o uso de dados LiDAR, é fundamental a correta capacitação técnica do operador da aeronave e do responsável técnico envolvido no voo e no processamento dos dados, seja via cursos de graduação ou pós-graduação nas áreas-afim ao tema, para que a correta aplicação dos procedimentos aqui explanados seja completa.

Tal explanação decorre, pois, de que cada aquisição de dados LiDAR apresenta particularidades associadas à configuração dos sensores, altitude de voo, densidade de pontos, cobertura do terreno e objetivos do mapeamento, o que exige julgamento técnico e científico para a escolha dos parâmetros de processamento, filtragem e interpolação.

Portanto, é estritamente necessário que os profissionais envolvidos compreendam em profundidade as características da nuvem de pontos e dominem os conceitos e ferramentas de tratamento dos dados, garantindo que os produtos gerados sejam tecnicamente válidos, compatíveis com os padrões institucionais e adequados à realidade de cada uso.

Além disso, a utilização de dados LiDAR é uma área em constante evolução, com novas ferramentas, metodologias e formatos sendo atualizados rapidamente, o que exige do profissional uma postura proativa, com dedicação à leitura técnica e curiosidade contínua para buscar soluções além do que está previsto neste POP.

2. REQUISITOS COMPUTACIONAIS MÍNIMOS RECOMENDADOS

A Tabela 1 detalha configurações mínimas aceitáveis para que os dados LiDAR possam ser minimamente processados, visualizados e manipulados. Entretanto, é altamente recomendável que as melhores configurações sejam adotadas, seja através de notebooks de alto desempenho dedicados, workstations montadas exclusivamente para esse fim ou, na melhor das hipóteses, um servidor de processamento, armazenamento e backup.

Tabela 1. Configurações mínimas para processamento dos dados LiDAR.

Componente	Mínima Requerida	Recomendada
Processador (CPU)	Intel Core i7 (8ª geração ou superior)	Intel Core i9 / AMD Ryzen 9 (últimas gerações, ≥ 12 núcleos)
Memória RAM	32 GB DDR4	64 GB DDR4 ou superior
Placa de Vídeo (GPU)	NVIDIA GTX 1060 (6 GB VRAM)	NVIDIA RTX 3080/4080 ou equivalente (≥ 10 GB VRAM)
Armazenamento	SSD de 1 TB (NVMe recomendado)	SSD NVMe de 2 TB ou mais + Armazenamento Externo/Nuvem/Servidor para Backup
Sistema Operacional	Windows 10 Pro (64-bit)	Windows 11 Pro (64-bit), atualizado
Conectividade	Porta USB 3.0 / Leitor ou Adaptador de cartão SD / USB-C e Conexão LAN estável para backup em rede	
Softwares	DJI Terra / QGis / CloudCompare	DJI Terra / QGis / CloudCompare / GlobalMapper / Agisoft Metashape

Atenção deve ser dada aos dois componentes mais críticos para garantir desempenho estável, que são a memória RAM e a placa de vídeo (GPU). A memória RAM é responsável por sustentar a carga temporária de dados enquanto o software executa tarefas como a reconstrução da nuvem e junção dos milhares de pontos, filtragem, interpolação, geração de superfícies e as visualizações tridimensionais em tempo real.

Já a placa de vídeo (GPU) desempenha papel central na renderização tridimensional da nuvem de pontos e na aceleração de processos gráficos internos do DJI Terra, especialmente nas tarefas de modelagem 3D, criação de texturas e a rotação fluida da cena.

Recomenda-se, portanto, uma GPU moderna com no mínimo 6 GB de memória dedicada, sendo necessário que a marca da placa de vídeo seja NVIDIA, com suporte a CUDA, para tirar proveito das funções otimizadas do DJI Terra, as quais foram desenhadas para a arquitetura NVIDIA – CUDA.

Por fim, se possível, preferência deve ser dada a utilização de SDDs em detrimento de HDs, nas operações de armazenamento e/ou backup, pois o uso de SSDs NVMe influencia diretamente na velocidade de leitura e escrita dos dados durante o processamento, algo que os HDs (mesmo os mais modernos) não conseguem se igualar.

Em resumo, a operação com dados LiDAR não é trivial e, para garantir a integridade dos produtos gerados, evitar erros críticos e otimizar o tempo de trabalho técnico, é essencial investir em uma plataforma de hardware compatível

com a complexidade dos dados gerados pelos sistemas LiDAR embarcados da DJI, bem como investir em uma estrutura física e organizacional compatível com o tempo de geração dos produtos, visando alinhar as expectativas entre todos os envolvidos nas operações.

3. PARÂMETROS BASE DE CONFIGURAÇÃO DO CONTROLE

A definição dos parâmetros de voo é uma etapa crítica para garantir a qualidade dos dados LiDAR adquiridos, pois uma tomada de dados equivocada irá comprometer todas as etapas posteriores, sendo usual que a área de voo se localize em área de difícil acesso e com complexidade logística, não permitindo erros nesse momento.

Portanto, ao longo desse capítulo serão descritos os principais elementos que compõem a configuração base de um voo de mapeamento LiDAR, destacando como cada parâmetro interfere na densidade, precisão e cobertura dos dados.

3.1. Configuração do sensor ZenMuse L2

O quinto retorno da Zenmuse L2 refere-se à capacidade do sensor LiDAR de registrar até cinco retornos distintos para cada pulso emitido.

Quando um pulso laser atinge superfícies com diferentes elevações em sua trajetória — como o topo da vegetação, galhos, sub-bosque e o solo — o sensor pode detectar múltiplos ecos desse mesmo pulso. O quinto retorno normalmente representa o último eco, que costuma ser o solo, especialmente em áreas vegetadas.

Essa capacidade é essencial para separar estruturas verticais e, principalmente, para permitir a modelagem precisa do terreno sob cobertura vegetal, pois o último retorno tende a penetrar até alcançar o nível mais baixo refletivo (ex: solo nu ou dossel inferior).

A escolha correta do modo de retorno garante que a nuvem de pontos represente não só o topo da vegetação, mas também as camadas intermediárias e o solo.

Na Figura 1, o menu Return Mode apresenta cinco opções: Single, Dual, Triple, Quad Return e Penta Return.

- Single Return registra apenas o primeiro retorno de cada pulso, sendo indicado para áreas abertas com pouca vegetação ou construções, onde o objetivo é mapear as superfícies.
- Dual Return registra até dois retornos, útil para vegetação baixa ou áreas agrícolas baixas.
- Triple Return e Quad Return adicionam camadas intermediárias, ideais para vegetação média ou pouco arbustiva.
- E o Penta Return registra o quinto retorno, sendo o modo mais completo para áreas com vegetação densa, pois aumenta a chance de representar o solo.

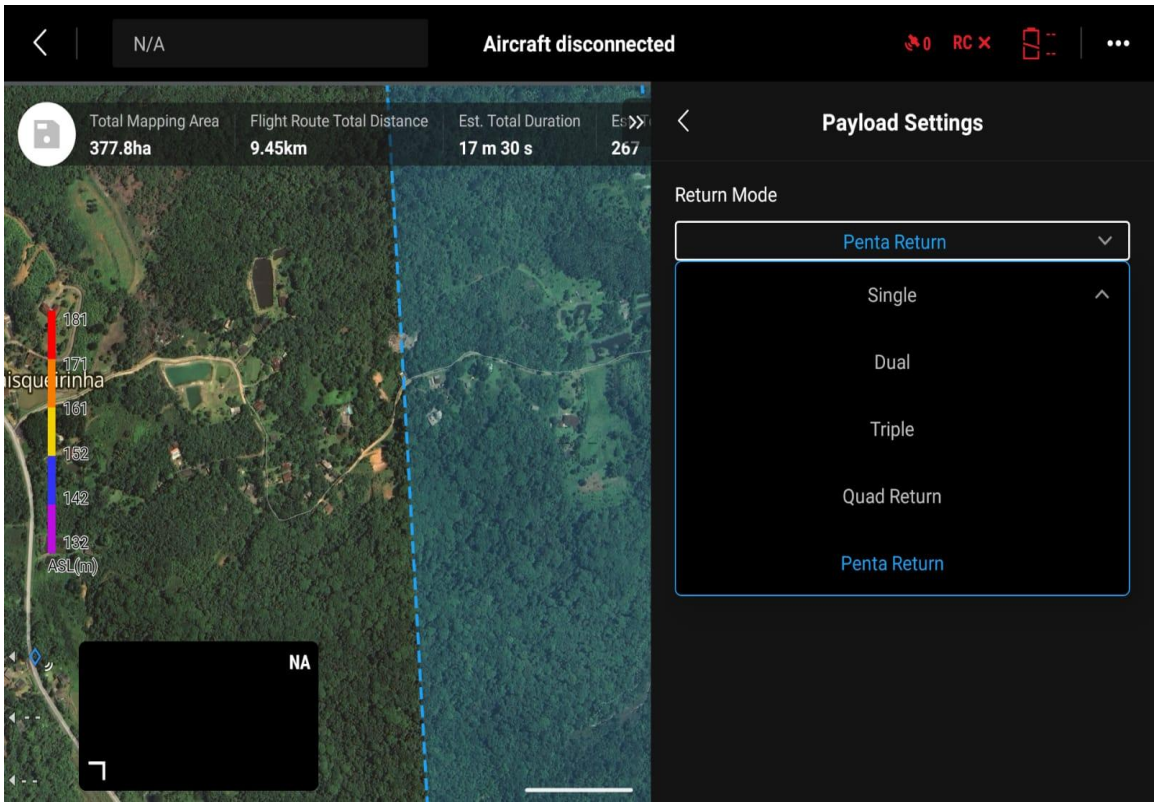


Figura 1. Escolha do quinto retorno para os levantamentos. Fonte: Os autores, 2025.

A ZenMuse L2 possui dois modos de emissão dos pulsos laser, sendo que cada um deles é recomendado em distintas aplicações.

Modo Repetitivo (Repetitive Scan)

Nesse modo, o feixe do LiDAR realiza a varredura com um padrão geométrico fixo e regular, cobrindo o terreno de forma uniforme. Isso garante uma distribuição consistente dos pontos, facilitando a sobreposição entre faixas e a reconstrução de superfícies tridimensionais, como edificações, automóveis, estruturas diversas e outras feições em que a distribuição uniforme de pontos seja necessária e importante.

Modo Não Repetitivo (Non-Repetitive Scan)

Neste modo, a varredura e a distribuição dos pulsos ocorrem de forma aleatória e variável, o que aumenta a probabilidade de alguns pulsos penetrarem até o solo mesmo sob dossel fechado. Isso resulta em uma nuvem de pontos com maior diversidade de retornos verticais (inclusive do solo), o que é essencial para separar o terreno da vegetação e gerar um MDT mais fiel (Figura 2).

Dica rápida: Sempre configurar o quinto retorno no modo não-repetitivo.

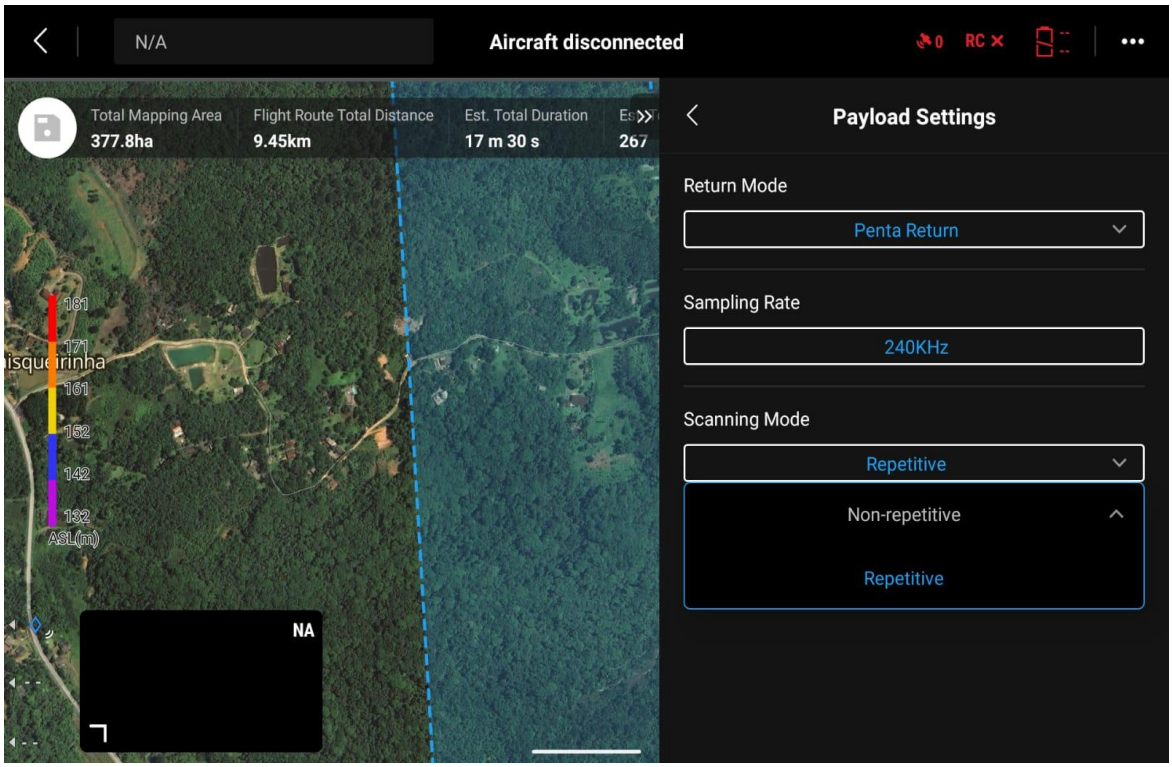


Figura 2. Configuração do modo de escaneamento, repetitivo ou não repetitivo. Fonte: Os autores, 2025.

3.2. Configuração dos parâmetros de voo

A altura de voo é um dos parâmetros mais relevantes na configuração de voo, pois influencia diretamente a densidade de pontos (pts/m²) e o tamanho do GSD (Ground Sampling Distance) no caso de sensores RGB. No contexto do LiDAR, quanto menor a altura, maior a densidade de pontos por metro quadrado no solo, permitindo maior detalhamento do relevo e melhor definição de feições pequenas. Em contrapartida, voos mais baixos reduzem a largura da faixa de varredura e aumentam o tempo necessário para cobrir a mesma área.

O GSD, embora mais aplicado a sensores ópticos, pode ser associado ao nível de detalhe da malha de interpolação derivada da nuvem. Em sensores como o Zenmuse L2, não há GSD direto como em câmeras, mas a analogia é válida: menores alturas = maior resolução altimétrica.

Assim, a partir desse momento se inicia a necessidade dos responsáveis em entender cada um dos cenários de operação, bem como fazer uma leitura crítica da situação de momento (como meteorologia, tempo restante em campo, janelas de voo etc.) para determinar a melhor configuração. Como recomendação prática:

- Altura de voo: Entre 100 e 120 metros;
- Se terreno com declividades acentuadas, recomenda-se o modo de *Terrain Follow* (Parâmetro AGL – MDT local deve ser baixado previamente);
- Velocidade de voo entre 8 e 10 m/s;
- Sobreposição LiDAR: Se o voo for em áreas muito abertas, em que se vislumbre extensas áreas de solo exposto pode-se utilizar entre 20 e 30%. Se áreas com vegetação densa, deve-se utilizar, no mínimo, 50% de sobreposição. Entretanto, essas configurações são diretamente relacionadas a velocidade do voo, de modo que o operador deve fazer um balanço do que é mais importante no momento.

Demais configurações seguem a mesma lógica de outras aeronaves da linha DJI, bem como os cuidados com o voo, que devem ser semelhantes (idealmente maiores) ao operar outras Aeronaves Remotamente Pilotadas.

Dica rápida: Para um voo padrão, as capturas de tela sequenciais são um bom referencial e trarão um bom resultado, na maioria dos casos. Para mais

informações sobre cada uma das configurações, sugerimos consultar os tutoriais do PropellerAero e o manual de uso da DJI.

4. EXTRAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS ORIUNDOS DA BASE E DO SENSOR ZENMUSE L2;

A fase inicial do processamento de dados LiDAR envolve a extração e a estruturação dos dados brutos coletados em campo. Essa etapa é crucial para garantir a organização dos diferentes tipos de informações geradas em campo (Figura 13).

4.1. Organização das pastas

Para a extração dos dados dos equipamentos de campo (estação base e sensor LiDAR), eles são inicialmente categorizados em dois diretórios principais:

- **`01_dadosBase`**: Este diretório é destinado ao armazenamento de todos os dados brutos provenientes da estação base GNSS. Inclui arquivos como os dados de observação.

- **`02_dadosL2`**: Esta pasta contém os dados brutos coletados diretamente pelo sensor Zenmuse L2, acoplado ao drone Matrice 350. Aqui são armazenados os arquivos de varredura LiDAR, imagens RGB, e dados brutos da Unidade de Medição Inercial (IMU) e GNSS do próprio drone, essenciais para a geração e correção da nuvem de pontos tridimensional.

4.1.1. Separação por Estágio de Processamento

Dentro de cada categoria de origem (`dadosBase` e `dadosL2`), uma sub-organização por estágio de processamento é aplicada (Figura 14 e Figura 15):

- **`01_dadosBrutos`**: Este subdiretório contém os dados originais e não modificados, exatamente como foram extraídos dos equipamentos. A manutenção de uma cópia íntegra dos dados brutos é uma prática essencial em fluxos de trabalho para assegurar a reprodutibilidade dos resultados e possibilitar verificações futuras.

- **`02_dadosProcessados`**: Destina-se a armazenar os resultados intermediários e finais das etapas de processamento. Isso inclui as nuvens de pontos parciais, modelos digitais de terreno (MDT), ortomosaicos, relatórios de qualidade e quaisquer outros produtos derivados do tratamento dos dados brutos.

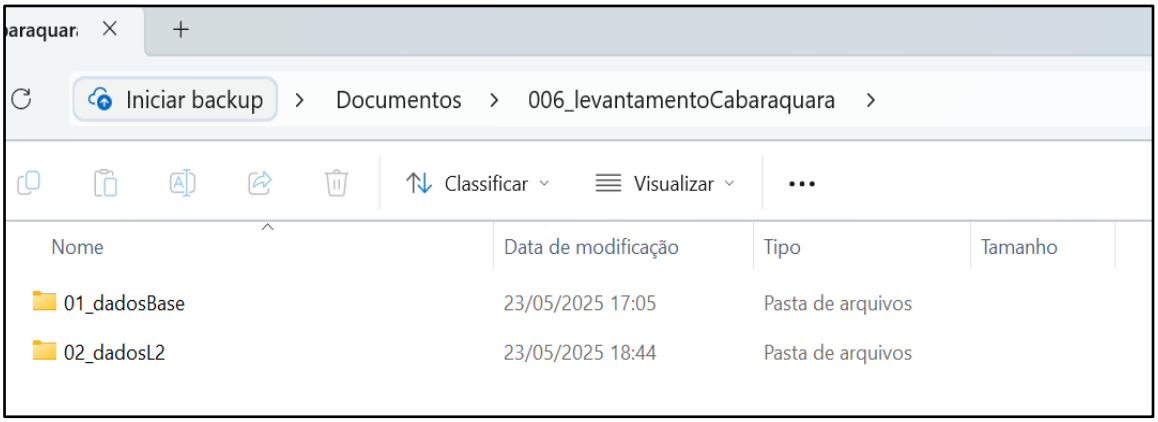


Figura 3. Organização das pastas

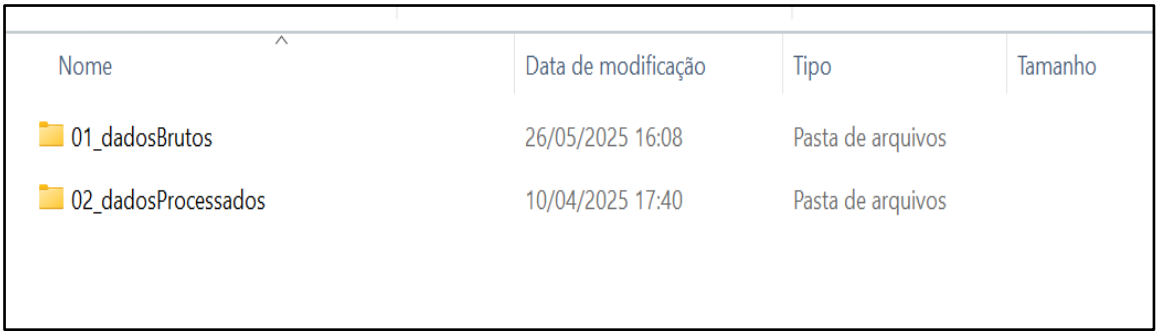


Figura 4. Separação por estágio de processamento

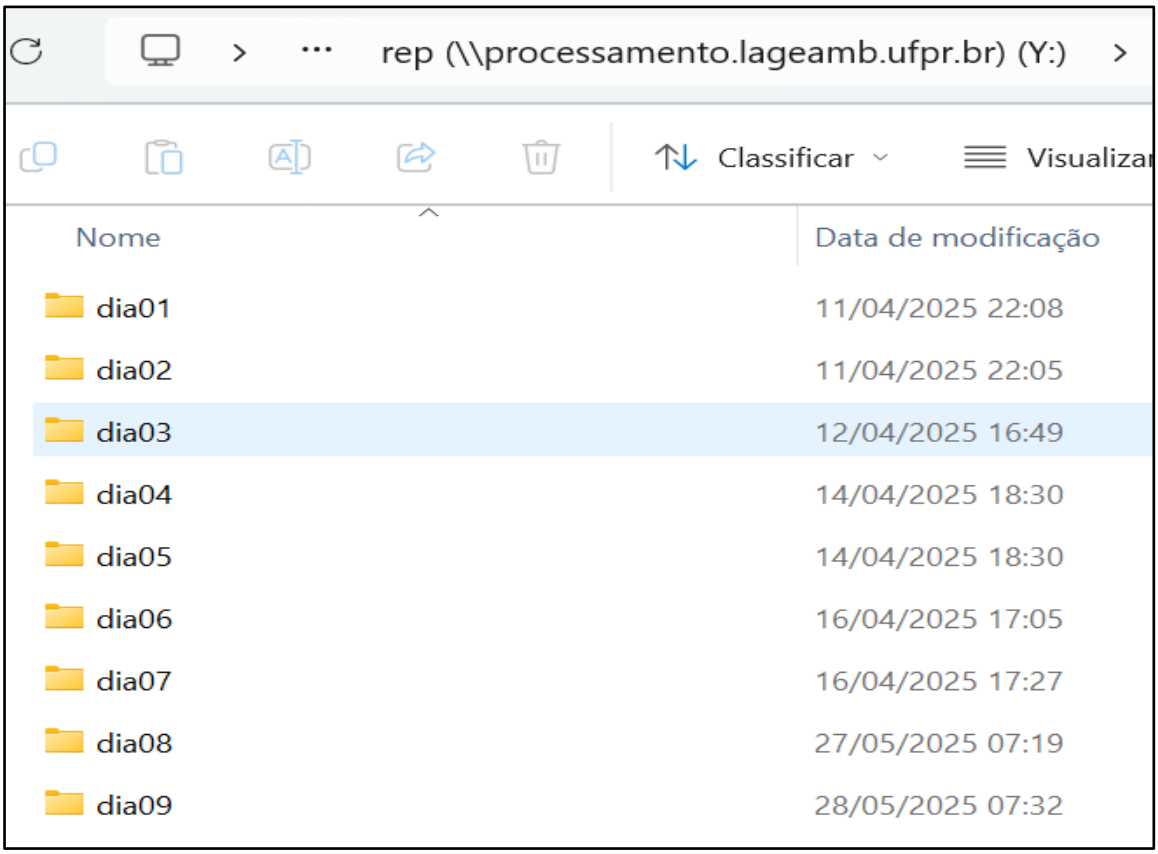


Figura 5. Organização das pastas por dias de trabalho

4.2. Descarregando os dados da Base DJI

A Figura 16 apresenta a estrutura de diretórios diretamente obtida da estação base GNSS da DJI (D-RTK 2 Mobile Station). Cada pasta contém dados específicos essenciais para o processamento:

- **`rtcmraw`**: Esta pasta armazena os dados brutos de observação GNSS da estação base no formato RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services). O formato RTCM é um padrão internacional para a transmissão de correções diferenciais de GNSS. Esses arquivos são utilizados para corrigir as imprecisões nas posições registradas pelo drone durante o voo.

- **`uart3rx0`**: Esta pasta inclui logs de comunicação interna do hardware da estação base ou dados de telemetria brutos, que são utilizados para o processamento.

- **`userlog0`**: Esta pasta geralmente contém logs de usuário ou arquivos de registro de operações da estação base. Tais logs podem incluir informações sobre o início e fim das sessões de gravação, status da conexão RTK, erros ou avisos, e outras informações relevantes para o monitoramento e a verificação da qualidade dos dados coletados em campo.

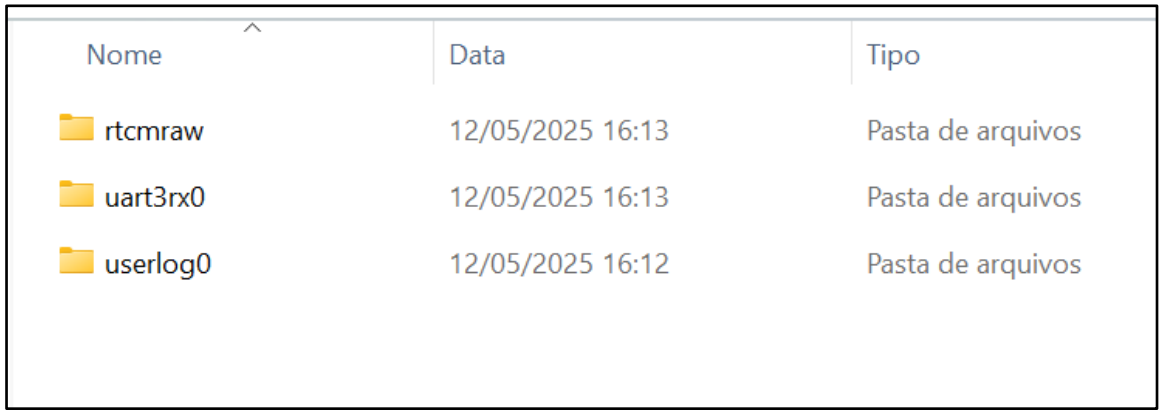
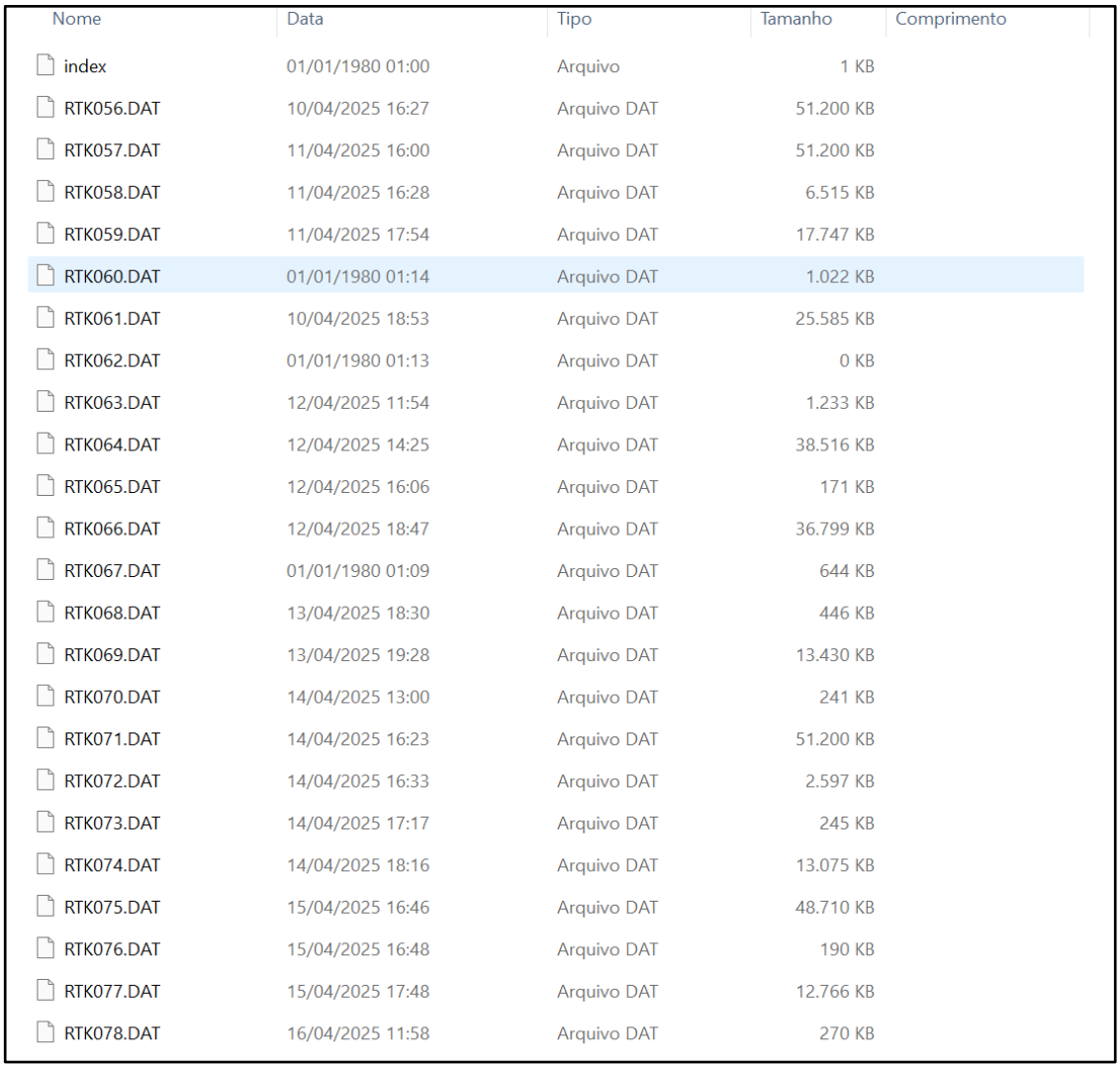


Figura 6. Estrutura das pastas encontradas na base DJI

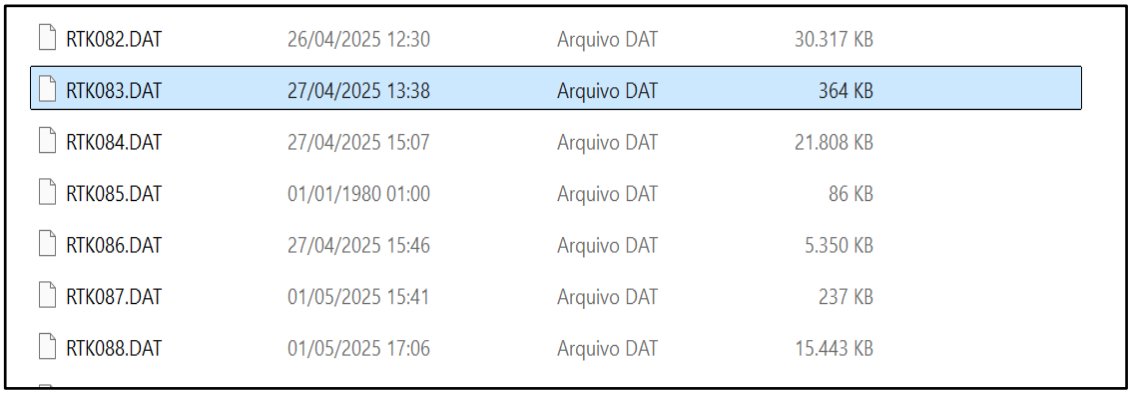
As Figura 17 e Figura 18 seguintes, detalham os arquivos dentro de uma das pastas da estação base, mostrando arquivos com extensão .DAT, os quais serão utilizados, se encontram na segunda pasta. Estes arquivos .DAT representam os dados de observação GNSS brutos, em um formato proprietário da DJI que pode ser convertido para RINEX para uso em softwares de processamento GNSS ou PPP do IBGE.

A data de modificação variada indica a gravação sequencial dos dados ao longo de diferentes sessões de coleta ou períodos. Na Figura 17 pode-se notar que os arquivos têm tamanhos diferentes, de acordo com o tempo das observações. Mas os menores, que ficam limitadas até 300 kb, geralmente, refletem os testes iniciais que se faz em campo, para dar início ao rastreio e reiniciar a base para o rastreio completo.



Nome	Data	Tipo	Tamanho	Comprimento
index	01/01/1980 01:00	Arquivo	1 KB	
RTK056.DAT	10/04/2025 16:27	Arquivo DAT	51.200 KB	
RTK057.DAT	11/04/2025 16:00	Arquivo DAT	51.200 KB	
RTK058.DAT	11/04/2025 16:28	Arquivo DAT	6.515 KB	
RTK059.DAT	11/04/2025 17:54	Arquivo DAT	17.747 KB	
RTK060.DAT	01/01/1980 01:14	Arquivo DAT	1.022 KB	
RTK061.DAT	10/04/2025 18:53	Arquivo DAT	25.585 KB	
RTK062.DAT	01/01/1980 01:13	Arquivo DAT	0 KB	
RTK063.DAT	12/04/2025 11:54	Arquivo DAT	1.233 KB	
RTK064.DAT	12/04/2025 14:25	Arquivo DAT	38.516 KB	
RTK065.DAT	12/04/2025 16:06	Arquivo DAT	171 KB	
RTK066.DAT	12/04/2025 18:47	Arquivo DAT	36.799 KB	
RTK067.DAT	01/01/1980 01:09	Arquivo DAT	644 KB	
RTK068.DAT	13/04/2025 18:30	Arquivo DAT	446 KB	
RTK069.DAT	13/04/2025 19:28	Arquivo DAT	13.430 KB	
RTK070.DAT	14/04/2025 13:00	Arquivo DAT	241 KB	
RTK071.DAT	14/04/2025 16:23	Arquivo DAT	51.200 KB	
RTK072.DAT	14/04/2025 16:33	Arquivo DAT	2.597 KB	
RTK073.DAT	14/04/2025 17:17	Arquivo DAT	245 KB	
RTK074.DAT	14/04/2025 18:16	Arquivo DAT	13.075 KB	
RTK075.DAT	15/04/2025 16:46	Arquivo DAT	48.710 KB	
RTK076.DAT	15/04/2025 16:48	Arquivo DAT	190 KB	
RTK077.DAT	15/04/2025 17:48	Arquivo DAT	12.766 KB	
RTK078.DAT	16/04/2025 11:58	Arquivo DAT	270 KB	

Figura 7**.** Arquivos .dat, onde visualiza-se a gravação sequencial dos dados pelas campanhas de campo.



RTK082.DAT	26/04/2025 12:30	Arquivo DAT	30.317 KB
RTK083.DAT	27/04/2025 13:38	Arquivo DAT	364 KB
RTK084.DAT	27/04/2025 15:07	Arquivo DAT	21.808 KB
RTK085.DAT	01/01/1980 01:00	Arquivo DAT	86 KB
RTK086.DAT	27/04/2025 15:46	Arquivo DAT	5.350 KB
RTK087.DAT	01/05/2025 15:41	Arquivo DAT	237 KB
RTK088.DAT	01/05/2025 17:06	Arquivo DAT	15.443 KB

Figura 8. Representação dos arquivos testes que são os “menores”. Os arquivos utilizados para processamento serão os “maiores”.

4.3. Descarregando os dados do sensor LiDAR

Como dito, os arquivos devem ser armazenados por dia. A Figura 20 apresenta as pastas que contêm os dados coletados durante cada voo específico realizado com o Zenmuse L2.

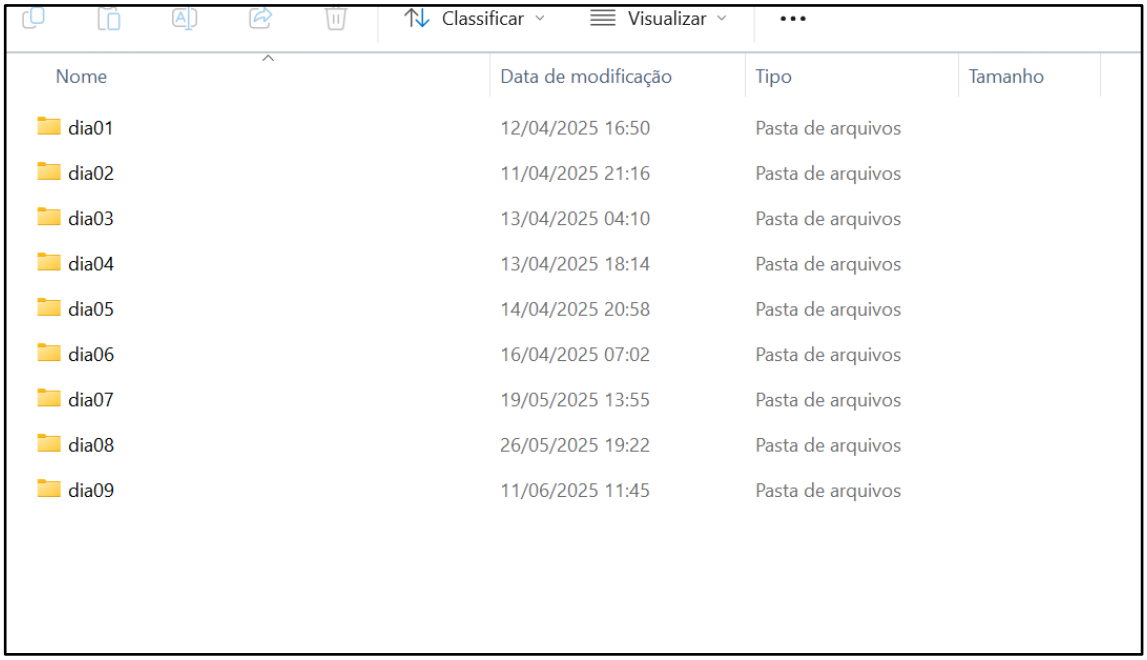


Figura 9. Exemplo de armazenamento dos dados por dia de campo

No interior destas estão as pastas dos blocos de voo executados. A nomenclatura das pastas (Figura 21), como DJI_202504151018_009_NFT06, segue um padrão que tipicamente inclui:

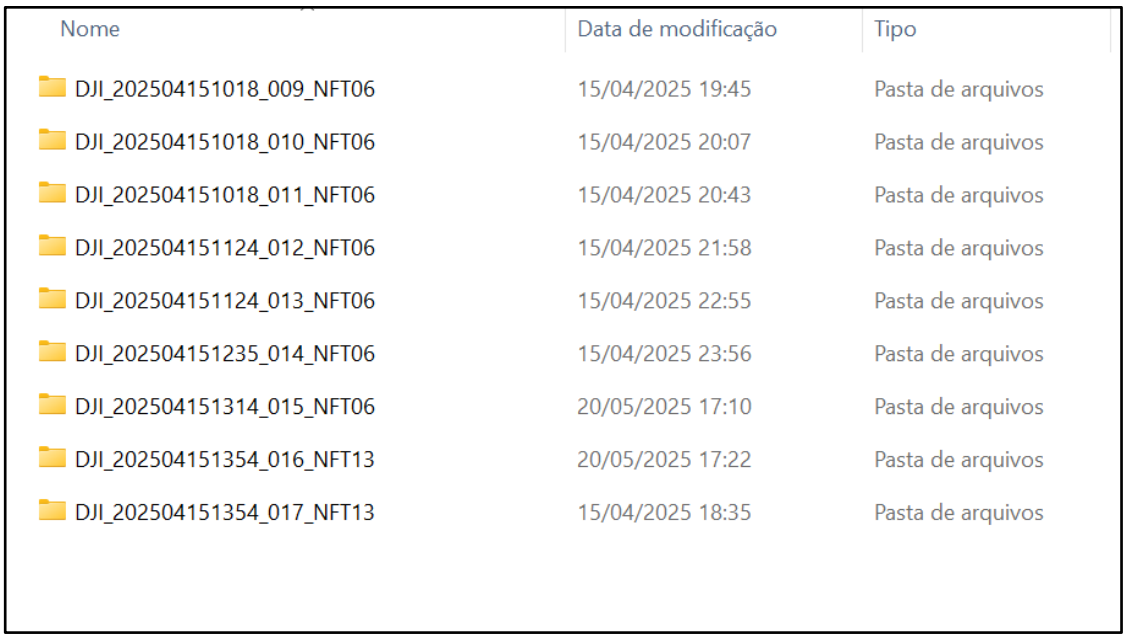
DJI: Identificador da fabricante.

20250415: Data da coleta (Ano/Mês/Dia).

1018: Hora de início do voo (Hora/Minuto).

009: Um identificador de sequência de voo ou missão.

NFT06: Pode ser um código de projeto, área de voo, pois cada polígono planejado terá um nome no controle da aeronave. Neste caso a nomenclatura corresponde a ordem contínua da área de 1 a 15.



Nome	Data de modificação	Tipo
DJI_202504151018_009_NFT06	15/04/2025 19:45	Pasta de arquivos
DJI_202504151018_010_NFT06	15/04/2025 20:07	Pasta de arquivos
DJI_202504151018_011_NFT06	15/04/2025 20:43	Pasta de arquivos
DJI_202504151124_012_NFT06	15/04/2025 21:58	Pasta de arquivos
DJI_202504151124_013_NFT06	15/04/2025 22:55	Pasta de arquivos
DJI_202504151235_014_NFT06	15/04/2025 23:56	Pasta de arquivos
DJI_202504151314_015_NFT06	20/05/2025 17:10	Pasta de arquivos
DJI_202504151354_016_NFT13	20/05/2025 17:22	Pasta de arquivos
DJI_202504151354_017_NFT13	15/04/2025 18:35	Pasta de arquivos

Figura 10. Exemplo de nomenclatura das pastas

Essa padronização é vital para a organização e acesso eficiente aos dados, especialmente em projetos com múltiplos voos e dias de campo.

4.3.1. Detalhamento dos arquivos de dados brutos da Zenmuse L2

A variedade de extensões e tipos de arquivo reflete a natureza multifuncional do sensor, que integra LiDAR, IMU e câmera RGB. Dentre os arquivos, destacam-se (Figura 22):

- **Arquivos LDRT (LiDAR Raw Data)**: O arquivo DJI_202504151238_0004_LDRT é o mais relevante aqui, pois contém os dados brutos da varredura LiDAR, ou seja, as informações de retorno dos pulsos de laser. Esses dados são a base para a geração da nuvem de pontos tridimensional.

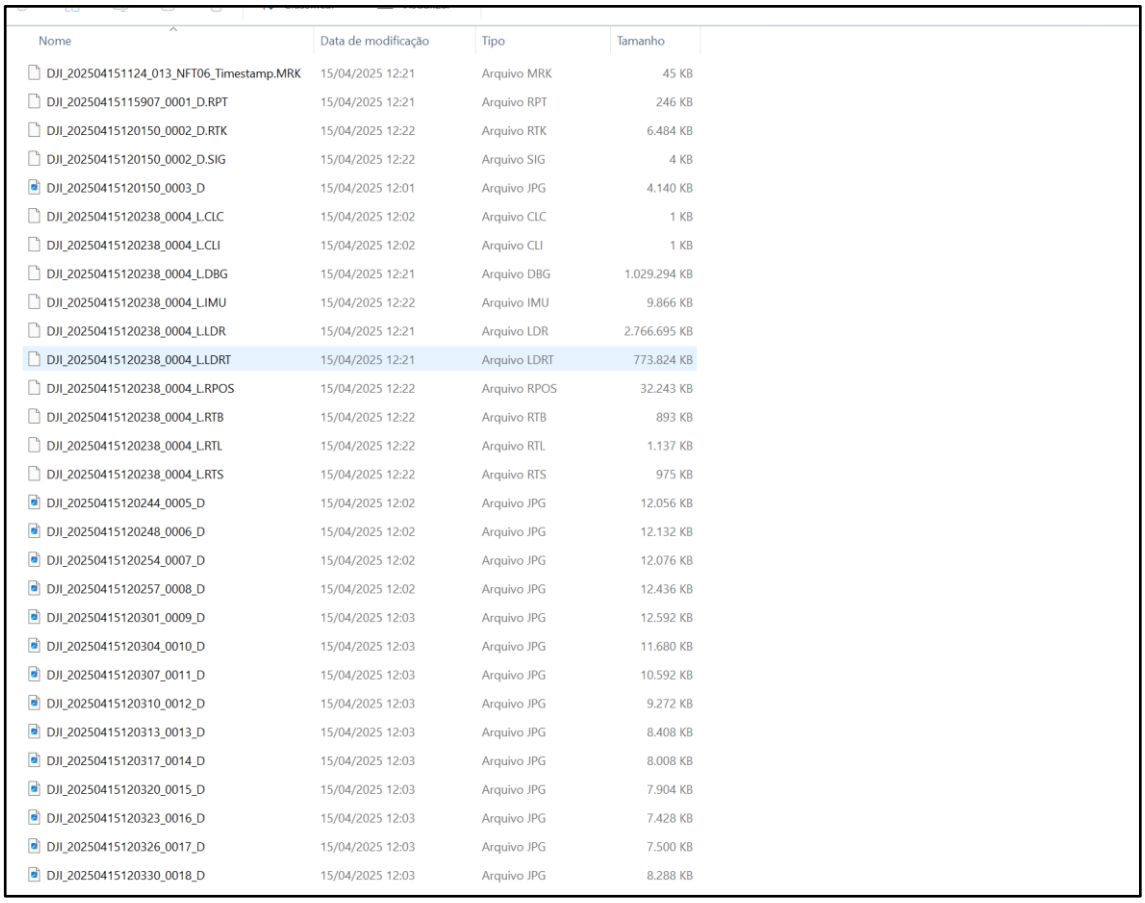
- **Arquivos JPG (Imagens RGB)**: São as imagens fotográficas capturadas pela câmera RGB integrada ao Zenmuse L2. Essas imagens são essenciais para

a colorização da nuvem de pontos, geração de ortofotomosaicos, e para inspeções visuais detalhadas da área mapeada.

- **Arquivos IMU (Inertial Measurement Unit)**: O arquivo DJI_202504151238_0004_LIMU contém os dados brutos da unidade de medição inercial (IMU) do sensor. A IMU registra informações sobre a orientação e o movimento do sensor (acelerações e velocidades angulares), que são cruciais para a correção da trajetória e atitude do drone, impactando diretamente na precisão da nuvem de pontos.

- **Arquivos RPOS (Raw Position)**: O arquivo DJI_202504151238_0004_LRPOS armazena os dados de posicionamento GNSS brutos do drone. Combinados com os dados da estação base (PPK) e da IMU, esses dados permitem o cálculo de uma trajetória de voo altamente precisa para o sensor.

- **Outros arquivos**: Extensões como .MRK, .RPT, .RTK, .SIG, .CLC, .CUI, .LDBG, .LRTB, .LRTL, .LRTS são arquivos auxiliares que podem conter metadados, relatórios de calibração, informações de sincronização de tempo, logs de diagnóstico e outros dados secundários que suportam o processamento primário da nuvem de pontos e imagens.



Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
DJI_202504151124_013_NFT06_Timestamp.MRK	15/04/2025 12:21	Arquivo MRK	45 KB
DJI_20250415115907_0001_D.RPT	15/04/2025 12:21	Arquivo RPT	246 KB
DJI_20250415120150_0002_D.RTK	15/04/2025 12:22	Arquivo RTK	6.484 KB
DJI_20250415120150_0002_D.SIG	15/04/2025 12:22	Arquivo SIG	4 KB
DJI_20250415120150_0003_D	15/04/2025 12:01	Arquivo JPG	4.140 KB
DJI_20250415120238_0004_L.CLC	15/04/2025 12:02	Arquivo CLC	1 KB
DJI_20250415120238_0004_L.CLI	15/04/2025 12:02	Arquivo CLI	1 KB
DJI_20250415120238_0004_L.DBG	15/04/2025 12:21	Arquivo DBG	1.029.294 KB
DJI_20250415120238_0004_L.IMU	15/04/2025 12:22	Arquivo IMU	9.866 KB
DJI_20250415120238_0004_L.LDR	15/04/2025 12:21	Arquivo LDR	2.766.695 KB
DJI_20250415120238_0004_L.LDRT	15/04/2025 12:21	Arquivo LDRT	773.824 KB
DJI_20250415120238_0004_L.RPOS	15/04/2025 12:22	Arquivo RPOS	32.243 KB
DJI_20250415120238_0004_L.RTB	15/04/2025 12:22	Arquivo RTB	893 KB
DJI_20250415120238_0004_L.RTL	15/04/2025 12:22	Arquivo RTL	1.137 KB
DJI_20250415120238_0004_L.RTS	15/04/2025 12:22	Arquivo RTS	975 KB
DJI_20250415120244_0005_D	15/04/2025 12:02	Arquivo JPG	12.056 KB
DJI_20250415120248_0006_D	15/04/2025 12:02	Arquivo JPG	12.132 KB
DJI_20250415120254_0007_D	15/04/2025 12:02	Arquivo JPG	12.076 KB
DJI_20250415120257_0008_D	15/04/2025 12:02	Arquivo JPG	12.436 KB
DJI_20250415120301_0009_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	12.592 KB
DJI_20250415120304_0010_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	11.680 KB
DJI_20250415120307_0011_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	10.592 KB
DJI_20250415120310_0012_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	9.272 KB
DJI_20250415120313_0013_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	8.408 KB
DJI_20250415120317_0014_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	8.008 KB
DJI_20250415120320_0015_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	7.904 KB
DJI_20250415120323_0016_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	7.428 KB
DJI_20250415120326_0017_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	7.500 KB
DJI_20250415120330_0018_D	15/04/2025 12:03	Arquivo JPG	8.288 KB

Figura 11. Detalhamento dos arquivos de dados brutos da Zenmuse L2 dentro de uma pasta de voo

Esta Figura 23 exemplifica o armazenamento dos dados após um processamento inicial, indicando que o fluxo de trabalho pode envolver softwares de fotogrametria e processamento de nuvens de pontos. Neste caso o exemplo é da utilização do Metashape.

- **dadosTesteDia01.files**: Esta pasta é gerada por softwares de processamento de dados geoespaciais, como o Agisoft Metashape. Ela contém os arquivos de projeto, dados intermediários (como nuvens de pontos densas,etc.), e outros arquivos auxiliares que compõem o projeto de processamento.

- **dadosTesteDia01 (arquivo Metashape Project)**: Este é o arquivo principal do projeto Metashape, que armazena todas as configurações, referências aos dados de entrada, e o estado atual do processamento.

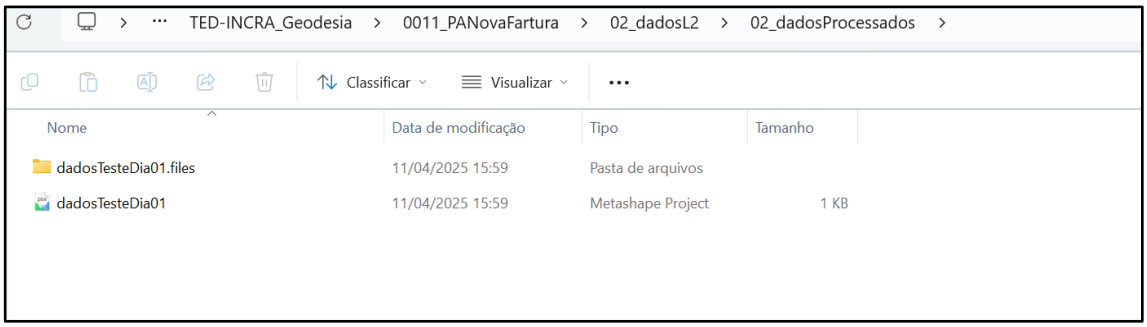


Figura 12. Exemplo de armazenamento inicial dos dados

5. PROCESSAMENTO DA BASE NO PPP

O PPP é uma técnica de pós-processamento GNSS que permite a determinação de coordenadas de pontos, utilizando um único receptor GNSS e informações de produtos de órbita e relógio de satélites de agências responsáveis. **Destaca-se que esse é apenas um dos métodos utilizados para o processamento dos dados da base.** Existem diferentes métodos de posicionamento que podem ser utilizados no procedimento de campo e pós processamento.

Para utilizar o serviço do PPP do IBGE, com os dados da estação base DJI, é essencial converter os arquivos de dados brutos proprietários para um formato padrão, como o RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*).

5.1. Conversão dos Dados da Estação Base de .DAT para RINEX

Para que os dados brutos da estação base DJI, que são tipicamente armazenados em arquivos .DAT, possam ser processados em softwares GNSS ou em serviços como o PPP do IBGE, é necessário convertê-los para o formato RINEX. Esta conversão é realizada por meio de um executável específico, como o ***StaticToRinex***.

- **Localização dos Arquivos de Entrada:** Abra o diretório onde os dados brutos da estação base foram organizados, tipicamente em 01_dadosBase → 01_dadosBrutos → [Dia do Voo] → rtcmraw.

- **Identificação dos Arquivos .DAT:** Identifique os arquivos .DAT que correspondem aos períodos de rastreio completos e válidos. Conforme observado, arquivos com tamanho inferior a aproximadamente 300 KB podem representar testes iniciais ou rastreios incompletos e, portanto, não devem ser utilizados para o processamento. Ressalta-se que esse tamanho e tipo de arquivo se caracteriza como incompleto, de acordo com as nossas operações específicas, e não refletem todo e qualquer procedimento de voo com essa aeronave. Neste caso, os arquivos maiores, são os que refletem observações de maior duração, e com as propriedades dos arquivos coincidentes com a data do voo, são os de interesse.

6. CONFIGURAÇÕES NO DJI TERRA E PROCESSAMENTO DE NUVEM DE PONTOS

O DJI Terra é um software desenvolvido pela DJI para processamento, análise e reconstrução de dados geoespaciais coletados por drones da própria marca, especialmente em operações que utilizam sensores LiDAR, câmeras RGB ou multispectrais.

Sua principal função é transformar os dados brutos — como nuvens de pontos, e imagens aéreas — em produtos georreferenciados de alta precisão, como nuvens de pontos tridimensionais (.LAS), modelos digitais de terreno (MDT/DEM), ortomosaicos 2D, malhas 3D e mapas temáticos.

Embora o DJI Terra seja uma ferramenta para processamento dos dados, é importante destacar que nem sempre o produto deve ser gerado integralmente dentro do próprio software. Em muitos casos, utiliza-se o DJI Terra como uma etapa preliminar, dedicada à geração da nuvem de pontos bruta, ajustes de trajetória GNSS/IMU e verificações básicas de qualidade.

A partir desse pré-processamento, os dados podem ser exportados em formatos padronizados (como LAS, LAZ ou PLY) para serem refinados, classificados e analisados em softwares especializados.

A Figura 13 apresenta a tela inicial do DJI Terra, onde deve-se criar um projeto para que o procedimento se mantenha salvo, se necessário edições futuras. Os procedimentos para a geração do produto serão descritos a seguir.

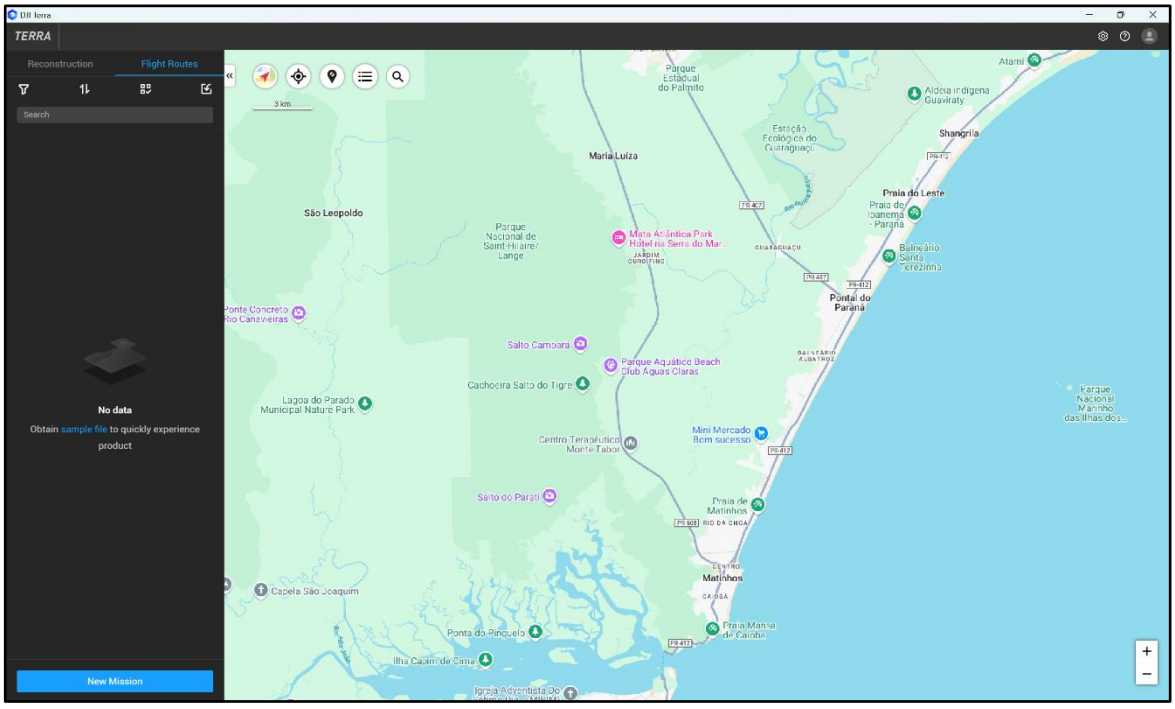


Figura 13. Janela inicial do DJI Terra

6.1 Seleção do tipo de missão

Essa janela aparece logo após criar uma missão no DJI Terra. Nela, você define o tipo de processamento conforme o sensor utilizado e o produto desejado (Figura 14).

Opções disponíveis:

- **Visible Light:** Utiliza imagens RGB para gerar ortomosaicos 2D, modelos 3D texturizados ou mapas de alta resolução.

- **Multispectral:** Processa dados de sensores multispectrais, gerando mapas de índice de vegetação (NDVI, NDRE, etc.), usados principalmente na agricultura de precisão.

- **LiDAR Point Cloud:** O modo **LiDAR Point Cloud** é selecionado quando o projeto usa sensores como o **Zenmuse L2**, que geram dados LiDAR combinados com GNSS e IMU.

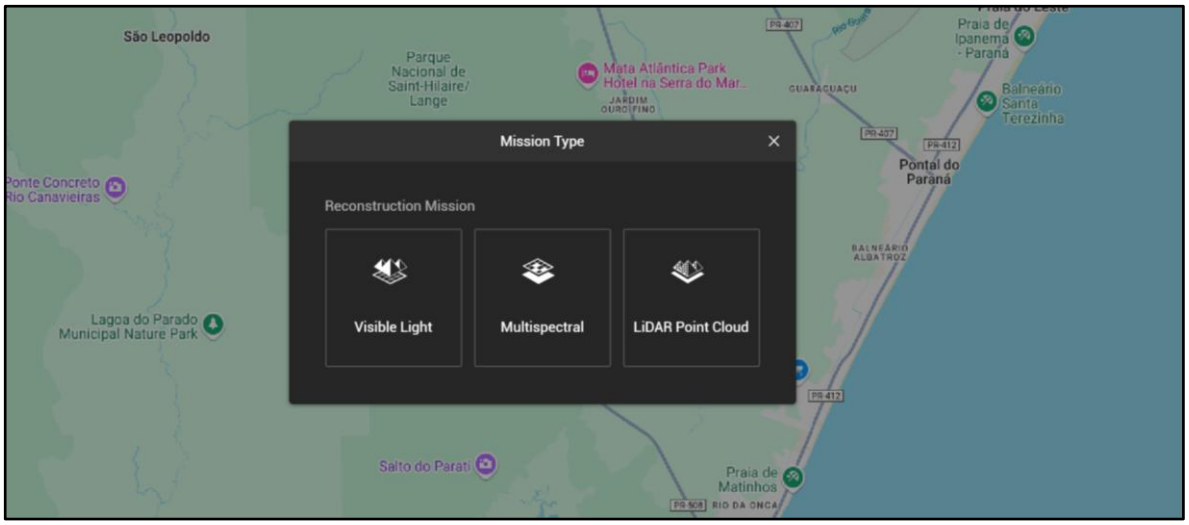


Figura 14. Selecionando o tipo de missão

6.2 Interface de carregamento de dados e parâmetros

Após escolher o tipo de missão LiDAR Point Cloud, a tela exibe as opções para carregar os dados de campo (Figura 15) e definir parâmetros essenciais para o processamento.

- **Select Folder:** Botão para navegar até o diretório onde estão armazenados, onde é fundamental que os arquivos estejam organizados conforme o padrão definido na coleta (ex.: pastas por dia de voo e blocos de missão).

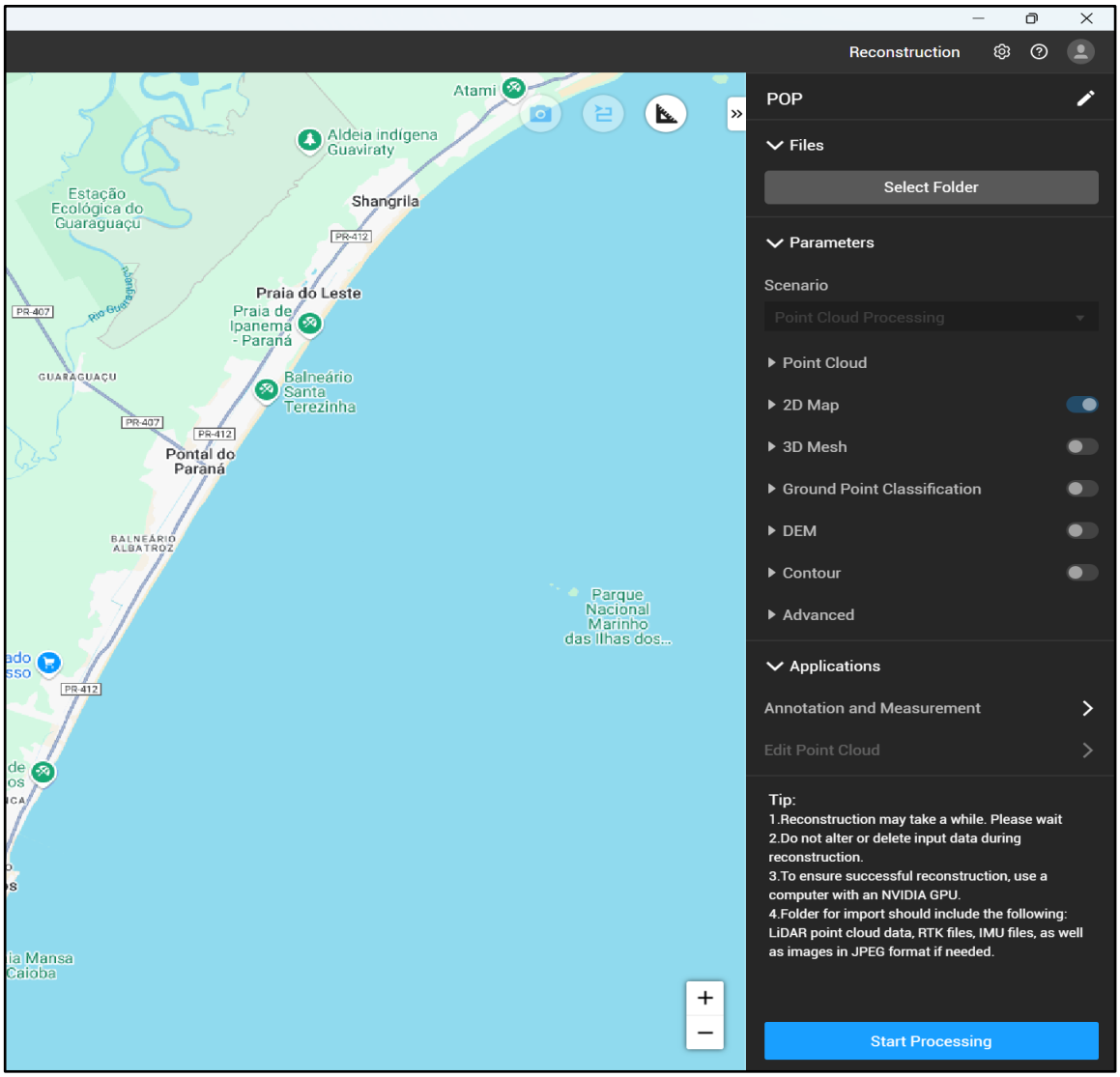


Figura 15. Carregamento dos dados no DJI Terra

6.3 Inserção e ajuste das bases GNSS no DJI Terra

Após carregar os conjuntos de dados do voo (LiDAR, IMU, imagens RGB), é fundamental definir corretamente o ponto central da estação base GNSS. Essa etapa garante que os dados de posicionamento GNSS sejam georreferenciados, corrigindo deslocamentos ou erros residuais.

Na tela de Base Station Center Point Settings (Figura 16) são listados todos os blocos de voo importados, associando cada conjunto de dados LiDAR ao respectivo ponto da base GNSS. O procedimento que deve ser realizado é

inserir as coordenadas corrigidas nos boxes da direita de cada um dos pontos base identificados.

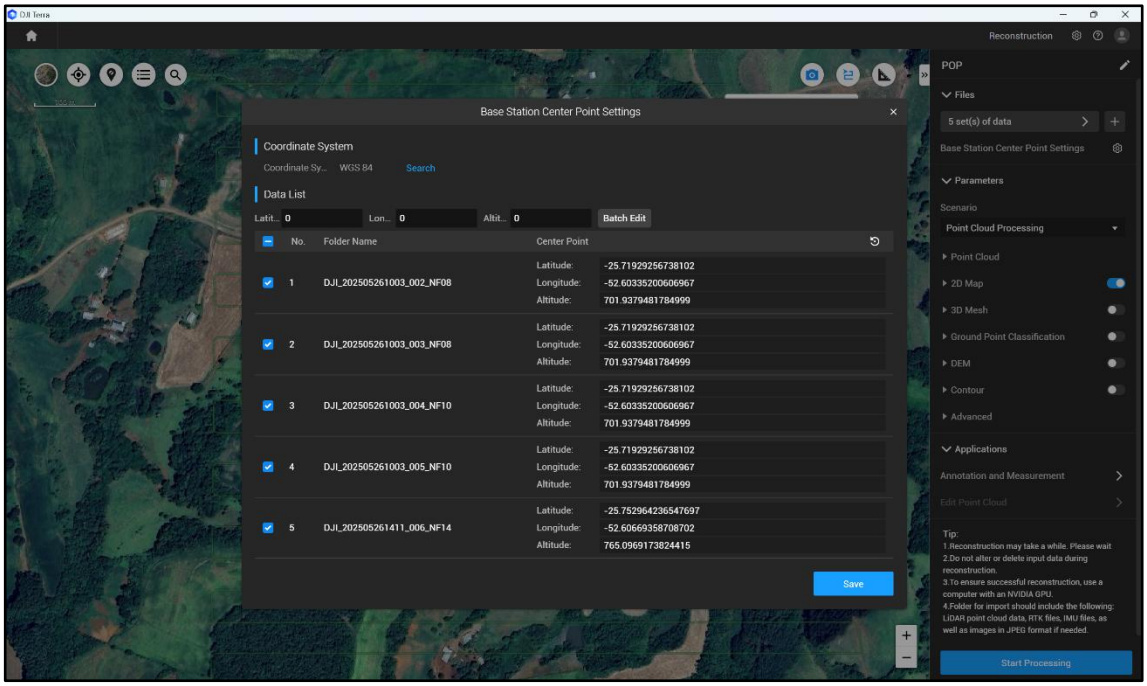


Figura 16. Inserção das bases dos blocos de voo

6.4 Configuração do cenário de processamento

Após importar os dados e confirmar a configuração dos pontos das bases, o próximo passo no DJI Terra é definir qual cenário de reconstrução será utilizado. A Figura 17 apresentada mostra o menu *Parameters*, onde se faz essa escolha na etapa *Scenario*. O campo determina o tipo de fluxo de processamento que o DJI Terra irá executar, adaptando os algoritmos, filtros e produtos.

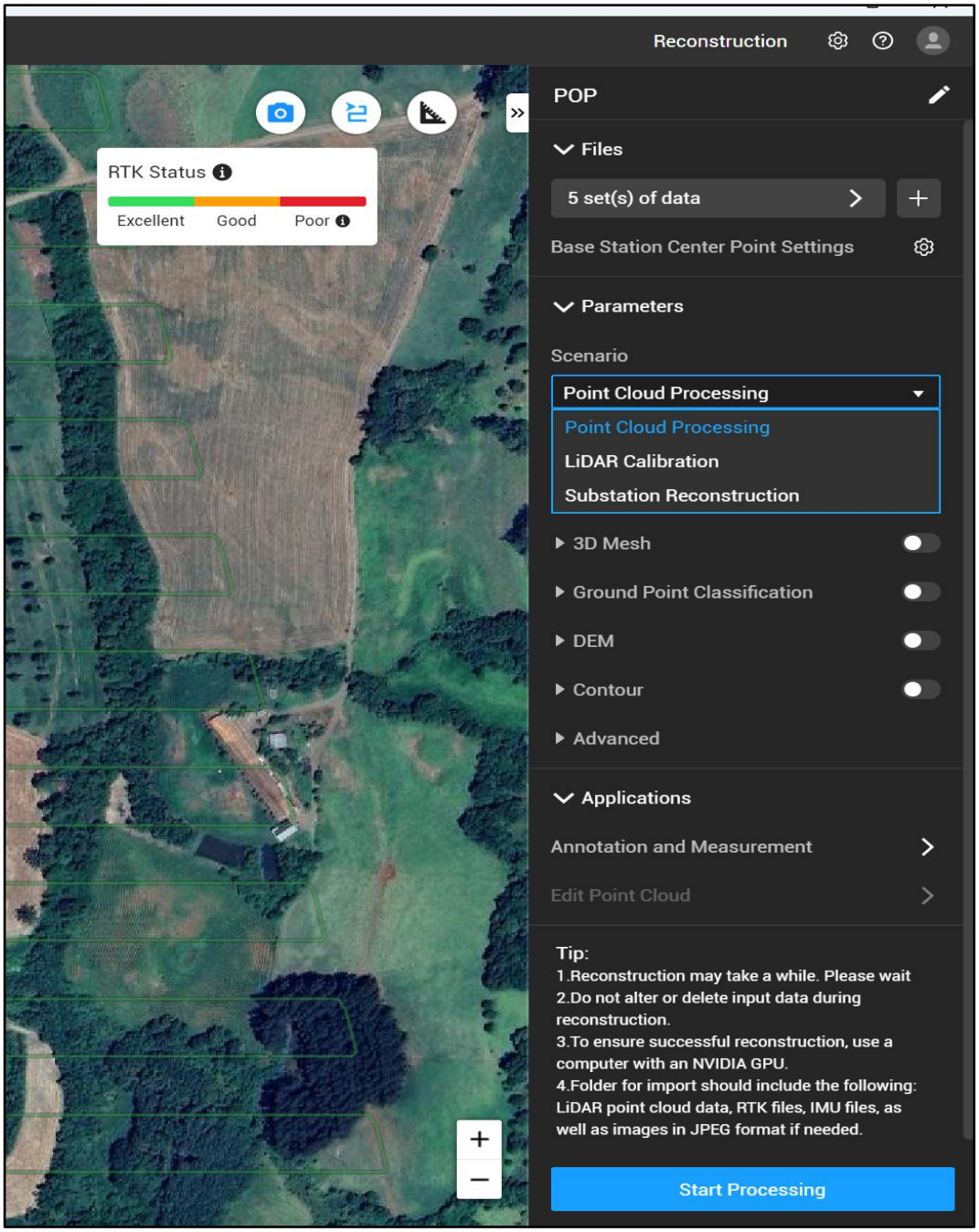


Figura 17. Configuração dos cenários para definição dos parâmetros do processamento

6.5 Configurando Point Cloud

A seção *Point Cloud* contém todos os ajustes finos para o produto. Cada item abaixo faz parte dessa caixa, que define os formatos de arquivo para exportar a nuvem de pontos (Figura 18), como:

- **PNTS:** Formato proprietário da DJI, recomendado para reprocessamento interno.

- **LAS:** Formato padrão para nuvens de pontos LiDAR, amplamente aceito em softwares GIS (QGIS, ArcGIS, Global Mapper, etc.).

- **PLY:** Padrão para modelos 3D, útil em softwares de modelagem.

- **PCD:** Padrão do PCL (Point Cloud Library).

- **S3MB:** Usado em ambientes 3D streaming (Cesium, Bentley ContextCapture).

A seguir a opção *Merged Point Cloud Output.* Quando ativado, combina múltiplos blocos de voo em uma única nuvem de pontos contínua.

- **Quando usar:** Se deseja um arquivo final unificado; Se Desativado (como na imagem) quando prefere manter blocos separados para análise por área.

A próxima opção, Point Cloud Density, controla a densidade da nuvem de pontos gerada. Sendo possível escolher entre as duas opções:

- **By Percentage:** Ajusta a densidade proporcional ao total de pontos coletados.

- **By Distance:** Define a distância média entre pontos, determinando resolução.

O *Point Cloud Effective Distance Range* define o intervalo de distância (mínima e máxima) que o software deve considerar para gerar a nuvem de pontos que podem variar de *3 m* até *300 m* — pontos fora desse range são descartados.

A *Optimize Point Cloud Accuracy*, quando ativado, o software aplica ajustes finos na trajetória GNSS/IMU para melhorar a precisão dos pontos.

O *Smooth Point Cloud*, aplica suavização nos dados para reduzir ruídos ou “espinhos” (outliers) na nuvem. Deve-se ativar para resultados mais limpos, mas monitorar para não perder detalhes importantes do terreno.

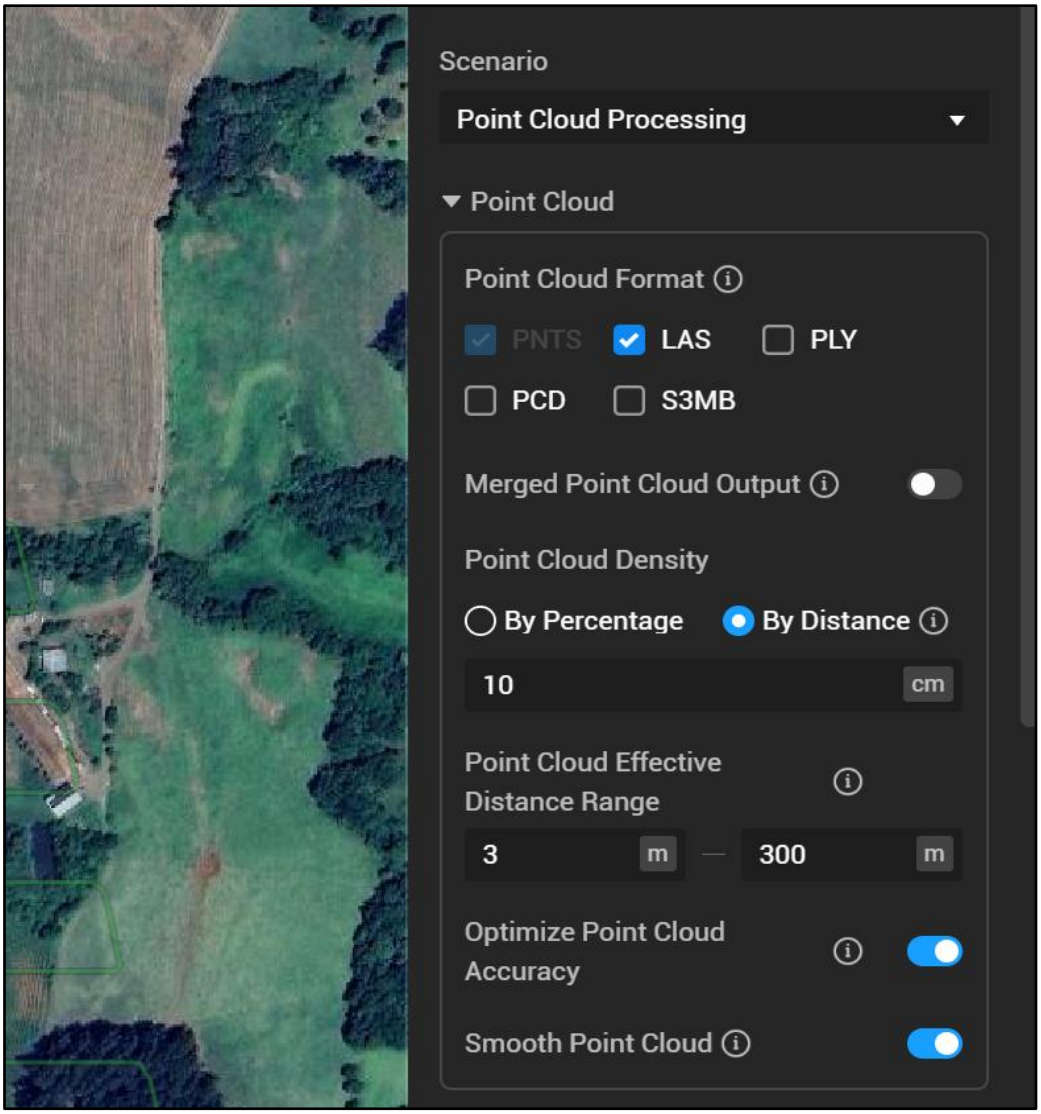


Figura 18. Configuração para output da nuvem de pontos

6.6 2D Map

Quando habilitado, o DJI Terra também gera uma ortofoto 2D combinando imagens RGB capturadas durante o voo. Este procedimento pode ser definido por intervalos automáticos, como baixo, médio e alto; e, por GSD configurado (Figura 19).

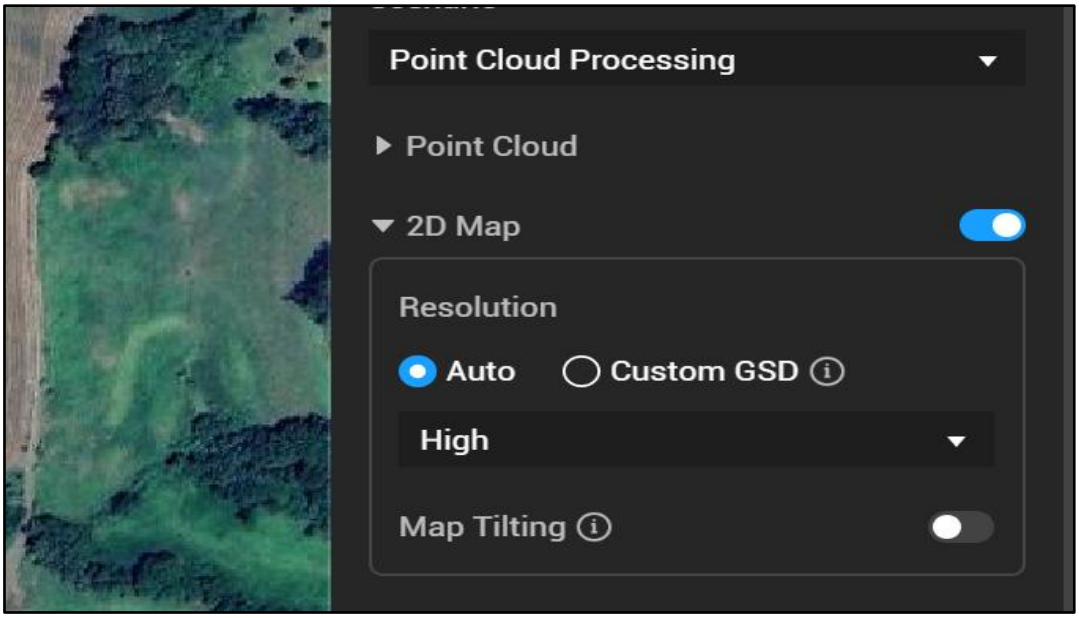


Figura 19. Definição do 2D Map

6.7 3D Mesh

Da mesma forma, pode-se gerar uma malha tridimensional (3D Mesh) a partir da nuvem de pontos, que complementaria a visualização na modelagem 3D (Figura 20).

Define os formatos de arquivo que o modelo 3D final poderá ter. Cada formato atende finalidades e compatibilidades específicas:

Para definição da *Resolution* as opções são:

Low (Baixa): Malha simplificada, tamanho menor, renderização mais leve.

Medium (Média): Equilíbrio entre detalhe e desempenho.

High (Alta): Máxima qualidade de detalhe, mas gera arquivos maiores.

Na configuração *Reduce Model To* permite reduzir o tamanho do modelo final com base em um fator percentual. Como funciona: No exemplo da imagem com o valor de 50% — o software simplifica a malha para conter metade do número original de polígonos.

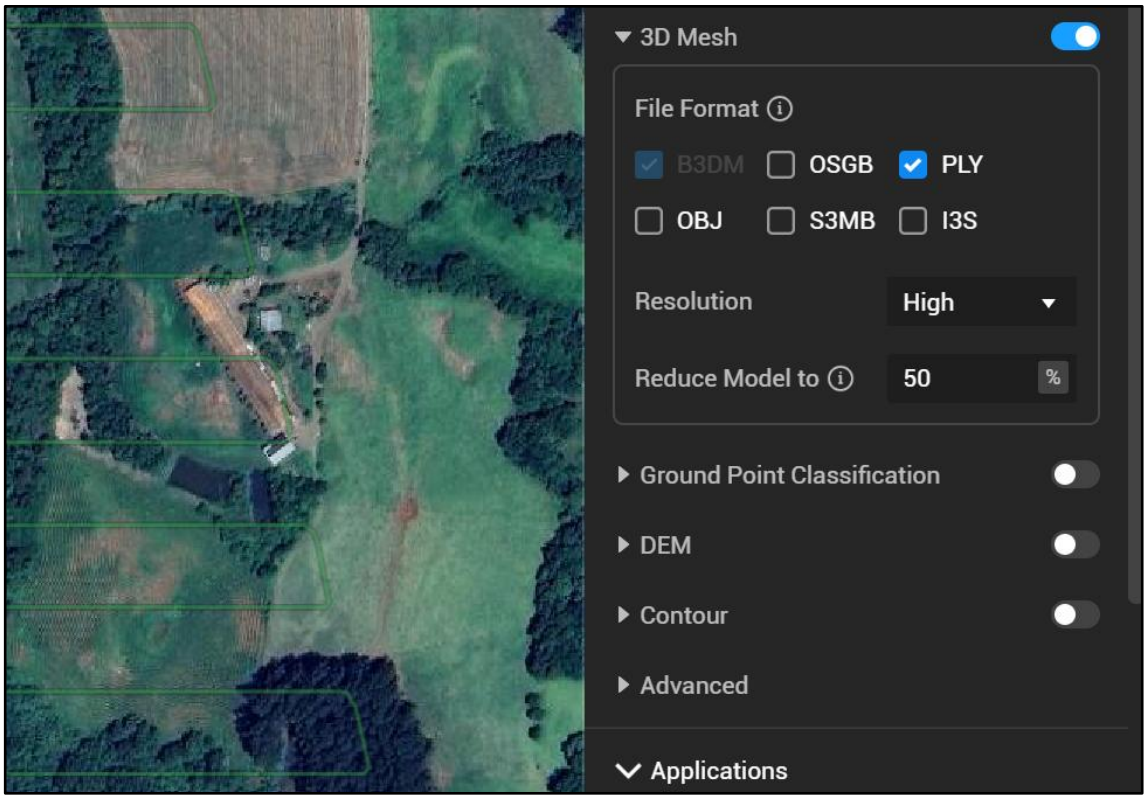


Figura 20. Configuração do 3D Mesh

6.8 Classificação da nuvem de pontos

Esse procedimento é responsável por identificar automaticamente os pontos de solo na nuvem de pontos LiDAR. Essa etapa é essencial para gerar Modelos Digitais de Terreno (MDT), separando vegetação, edificações ou outros objetos sobre o terreno (Figura 21).

O primeiro parâmetro é o *Ground Type*, que define os valores de declividade dominantes na área. Por exemplo, em áreas planas, recomenda-se utilizar *Flat* ou *Gentle Slope*, pois o terreno apresenta variações de relevo suaves ou inexistentes, permitindo uma filtragem mais direta. Já em áreas de encostas com variação ou vegetação densa, como reservas, mas também costuma-se usar *Steep Slope*, pois o algoritmo precisará considerar inclinações maiores para diferenciar o solo do dossel florestal.

Outro parâmetro é o *Building Max Diagonal*, que determina o tamanho máximo de construções ou obstáculos que o algoritmo deve ignorar como solo. Por exemplo, em uma área urbana ou industrial, com galpões e edificações maiores, o valor deve ser ajustado, para garantir que telhados e estruturas não sejam classificados como parte do terreno. Em áreas de plantio agrícola,

normalmente há poucas construções e esse valor pode ficar entre valores menores entre 10 e 20 metros.

O *Iteration Angle* é o ângulo de tolerância para identificar superfícies contínuas do solo. Em terrenos regulares de plantações planas ou pastagens, um ângulo de 4° a 6° é suficiente. Já em áreas com matas ciliares ou relevo ondulado, com morros, pode-se aumentar para 10° ou mais, para que o modelo não descarte relevo como se fossem obstáculos.

Já o *Iteration Distance* define a distância que o algoritmo avalia para estabelecer a continuidade entre pontos classificados como terreno. Para áreas detalhadas, recomenda-se usar valores mais baixos, como 0,3 a 0,5 metros, para preservar detalhes do micro relevo. Para grandes áreas de solo exposto ou encostas, pode-se aumentar para 1 metro ou mais, suavizando variações pontuais que não impactam o MDT.

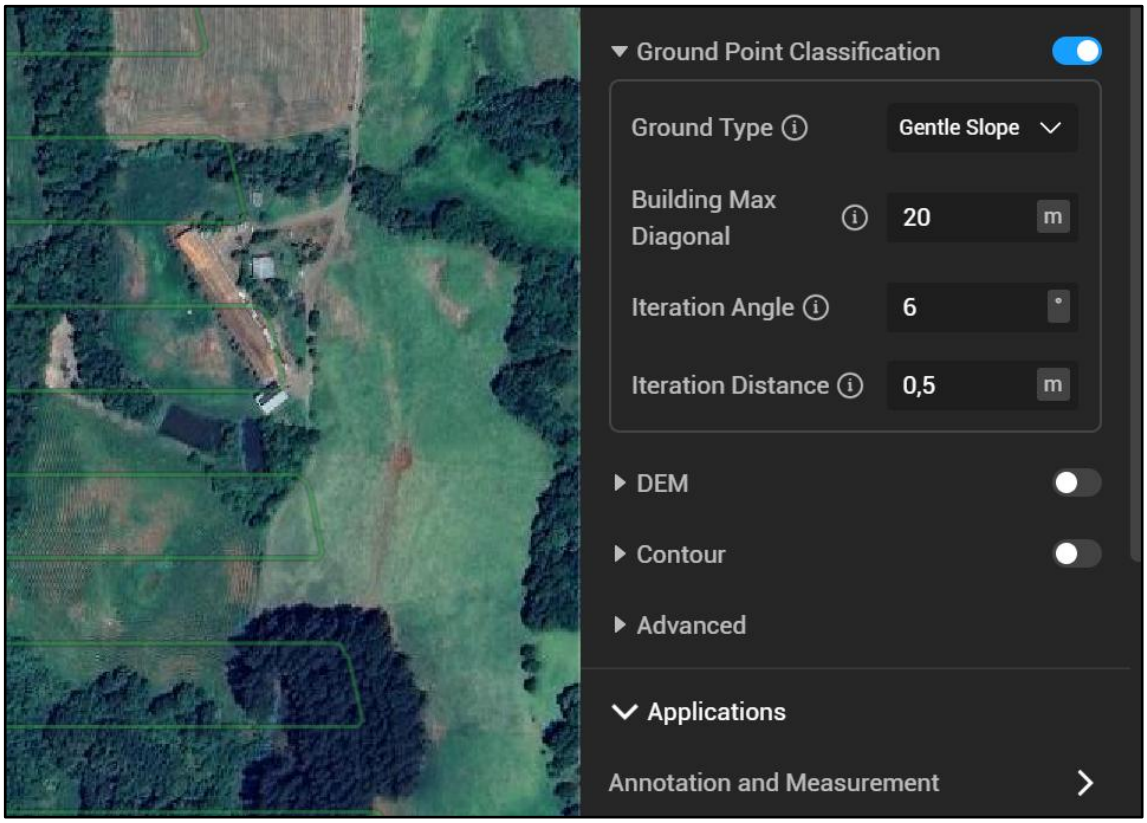


Figura 21. Definição da classificação da nuvem de pontos

6.9 DEM (*Digital Elevation Model*)

Na tela, ao ativar o DEM, o operador deve definir o tamanho de célula ou resolução espacial que será adotada (Figura 22). Isso é feito usando os campos Size/Scale, com duas formas principais de definir:

- ***By Scale*** (Escala): É uma forma prática de ajustar o nível de detalhe do DEM com base na escala cartográfica desejada. Por exemplo, selecionar *1:500* significa que o modelo terá uma resolução compatível para geração de produtos cartográficos nessa escala.

- ***By GSD*** (*Ground Sample Distance*): É usado quando se prefere definir a resolução do DEM com base na distância real entre amostras no solo, em metros ou centímetros. Essa abordagem costuma ser adotada quando há necessidade de compatibilizar o DEM com a resolução do sensor LiDAR ou da câmera embarcada.

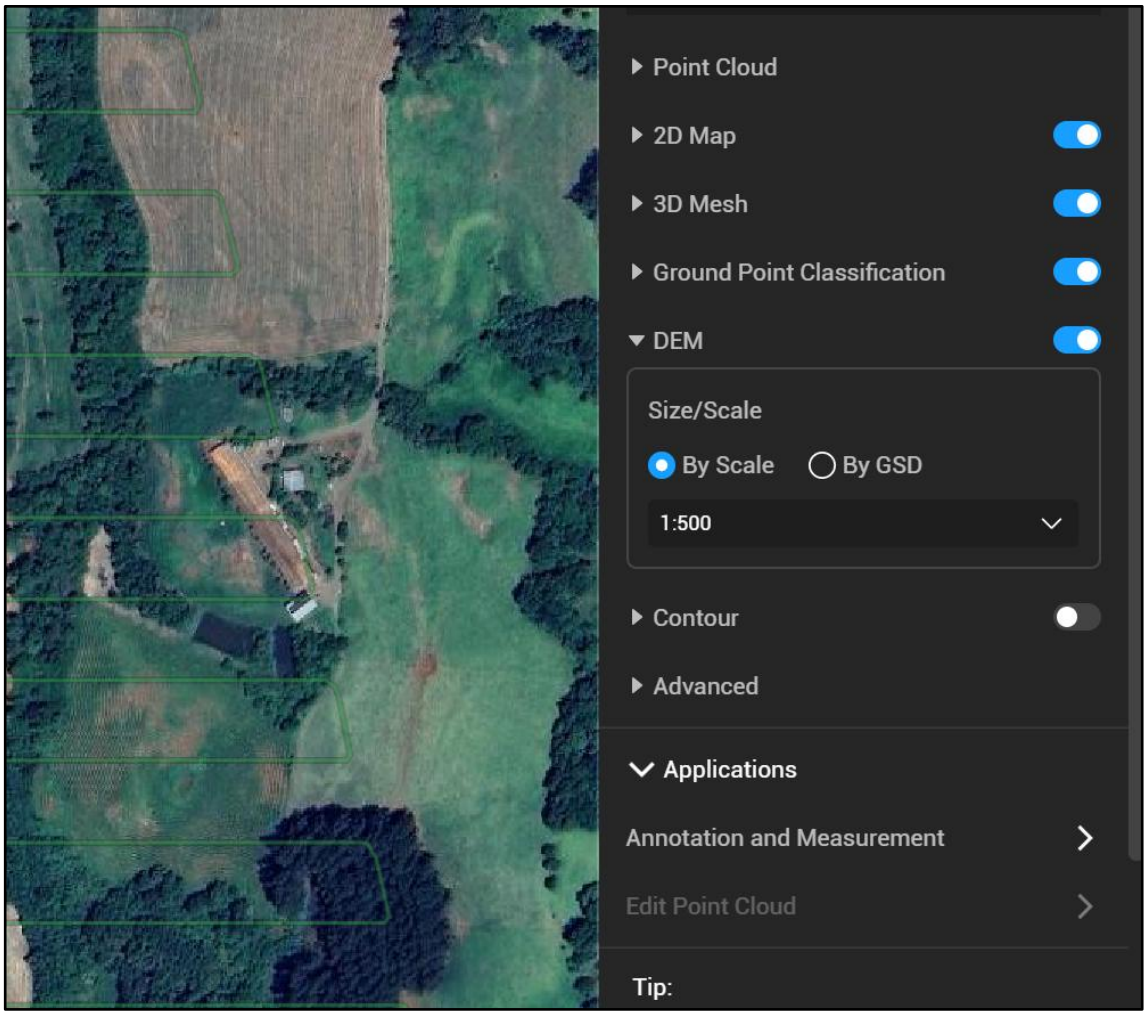


Figura 22. Definição do DEM de saída

6.10 Contour (geração de curvas de nível)

No DJI Terra, a função *Contour* permite gerar curvas de nível automáticas a partir do Modelo Digital de Terreno (MDT ou DEM) já processado. Quando essa opção está habilitada, o operador deve configurar alguns parâmetros para definir como as curvas de nível serão criadas, de forma a representar o relevo com o grau de detalhamento adequado (Figura 23).

O campo *Interval* define o espaçamento vertical entre uma curva e outra; por exemplo, quando configurado para 10 metros, cada linha indica uma variação de dez metros na elevação do terreno.

O parâmetro *Datum* estabelece a referência altimétrica para o cálculo das curvas — normalmente é mantido em zero, significando que a altitude considerada é em relação ao nível médio do mar ou outro referencial oficial.

Já o campo *Elevation Annotation* determina o espaçamento entre as legendas de altitude que aparecem sobre as linhas de contorno, ajudando na leitura do mapa; por exemplo, um valor de 15 metros faz com que os números de cota apareçam distribuídos a cada quinze metros ao longo das linhas.

Por fim, a opção *Discard Invalid Contour Lines* permite que o software descarte automaticamente linhas de contorno incompletas ou distorcidas, o que é útil em áreas com ruídos ou pequenas falhas na nuvem de pontos.

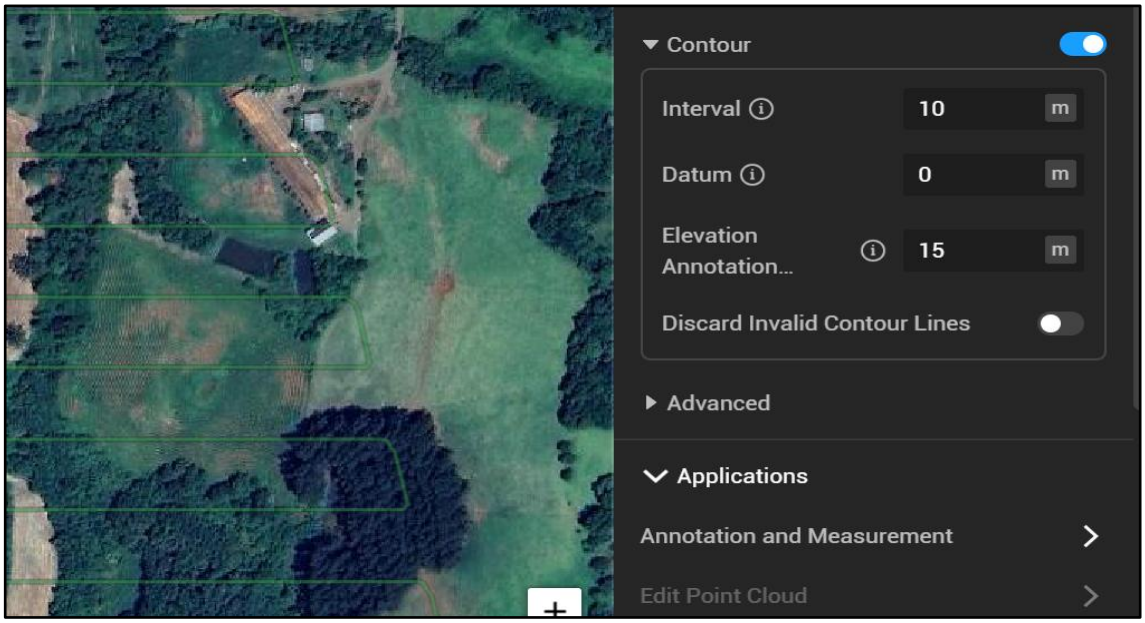


Figura 23. Características das curvas extraídas diretamente do DJI Terra

6.11 Advanced (configurações avançadas)

Na seção *Advanced*, o usuário define como o sistema de coordenadas será configurado para o produto. Essa configuração garante que a nuvem de pontos, os modelos digitais de terreno, as curvas de nível e demais dados de saída estejam referenciados de forma correta e compatível com outros dados geoespaciais do seu projeto (Figura 24).

Ao ativar essa opção, é possível escolher entre usar um sistema de coordenadas arbitrário ou um sistema de coordenadas conhecido. O modo *Arbitrary Coordinate System* gera os dados em um sistema local não referenciado. Por isso deve-se manter selecionado o *Known Coordinate System*, como mostra a figura.

Em *Horizontal Datum Settings*, é possível escolher qual sistema será adotado — por exemplo, WGS 84 / UTM zone 22S. Na sequência, em *Geoid Settings,* é possível selecionar um modelo geoidal. O padrão é manter em *Default*, mas pode-se definir um geóide local, como o MAPGEO2015 no Brasil, para ajustar as altitudes ortométricas de acordo com o nível médio do mar real.

Por fim, o campo *Height Offset* permite aplicar uma correção adicional na altitude, adicionando ou subtraindo uma constante em metros, caso seja necessário ajustar a cota final para compatibilizar com marcos geodésicos ou outros pontos de referência de campo. Em operações comuns, este valor é mantido em zero, mas pode ser utilizado, por exemplo, quando o processamento GNSS apresenta um deslocamento vertical sistemático que precise ser corrigido.

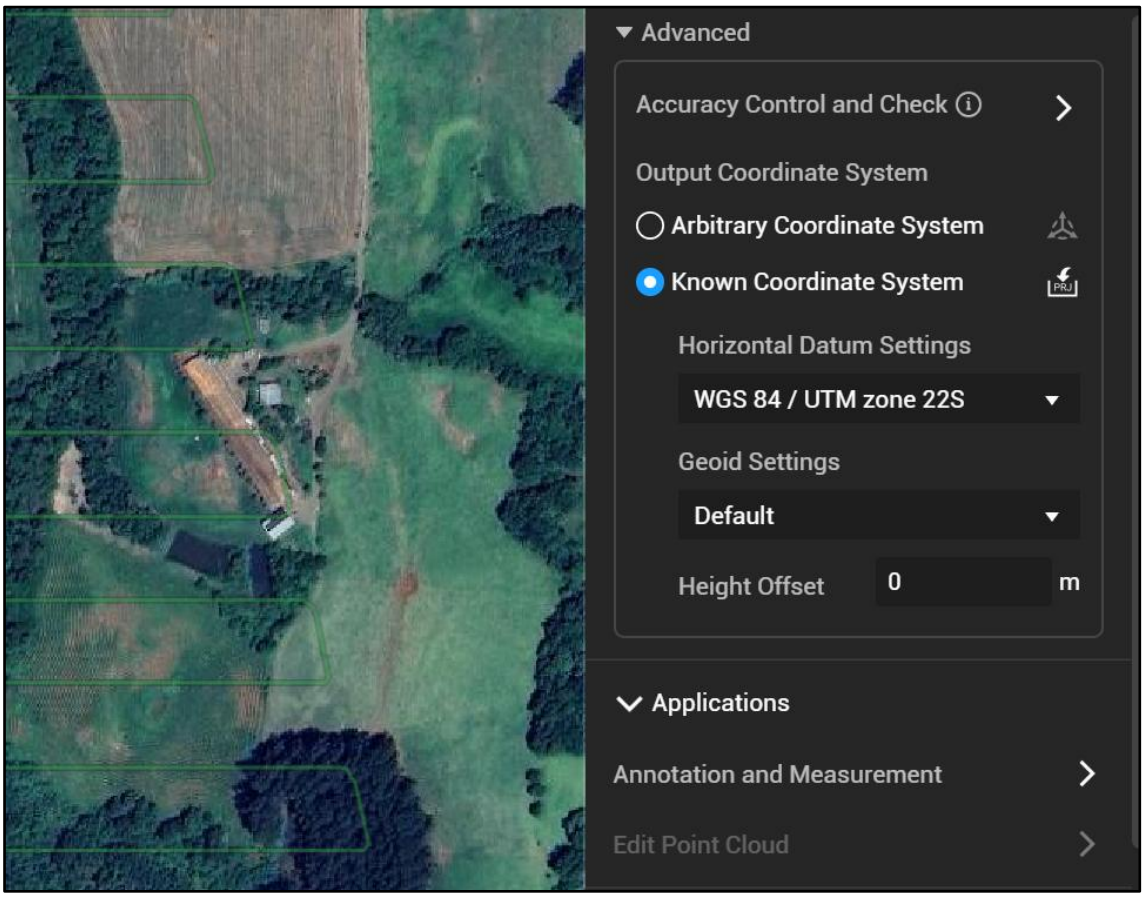


Figura 24. Configurações avançadas opcionais para correção da altimetria

6.12 Annotation and Measurement

Na seção A*nnotation and Measurement* (Figura 25) é possível realizar medições básicas diretamente sobre a nuvem de pontos ou ortomosaico já processado, utilizando ferramentas integradas que permitem marcar pontos de interesse, medir distâncias lineares ou calcular áreas.

Os três ícones disponíveis representam os tipos de medição que podem ser feitos: o primeiro permite criar uma marcação de ponto único, registrando coordenadas ou referências; o segundo habilita a medição de linhas, onde pode-se marcar dois ou mais pontos e obter o comprimento total entre eles; já o terceiro ícone é usado para medir áreas, desenhando um polígono que calcula automaticamente a superfície contida dentro do contorno.

Essas anotações ficam salvas no projeto dentro do próprio DJI Terra, podendo ser exportadas junto com os relatórios ou usadas como base para edições futuras.

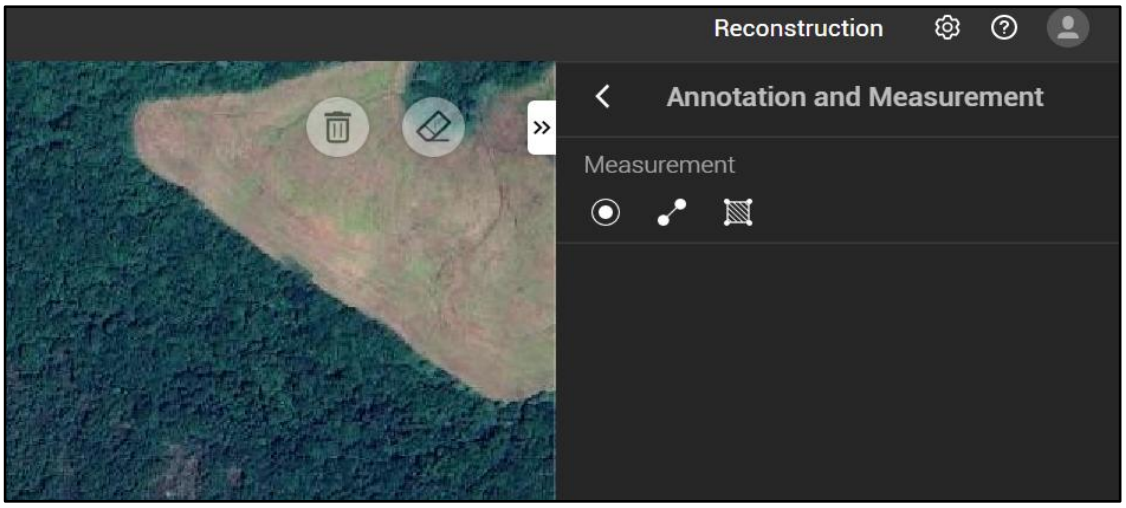


Figura 25. Medições ou anotações sobre os dados processados

6.12 Processamento dos dados

Após concluir todas as configurações conforme descrito, basta aplicar as configurações e dar início ao processamento clicando no canto inferior direito da tela (Figura XX). É fundamental acompanhar o resultado gerado e verificar a coerência dos dados, e a qualidade posicional. Caso sejam identificadas divergências ou inconsistências nos produtos, é necessário revisar os

parâmetros aplicados, ajustar as configurações conforme a necessidade e iniciar novamente o processamento. A depender do tamanho da área pode levar horas e/ou dias para o procedimento concluir.

Caso o processamento seja executado utilizando uma quantidade de dados que exceda a capacidade de memória da máquina, o DJI Terra exibirá um aviso informando que não há memória suficiente para concluir a tarefa. Isso significa que o volume de dados importado não é compatível com os recursos disponíveis do computador, podendo exigir o ajuste do tamanho dos blocos de voo, a redução da densidade da nuvem de pontos ou, quando possível, o uso de uma máquina com maior capacidade de processamento e memória RAM para finalizar o procedimento sem interrupções.

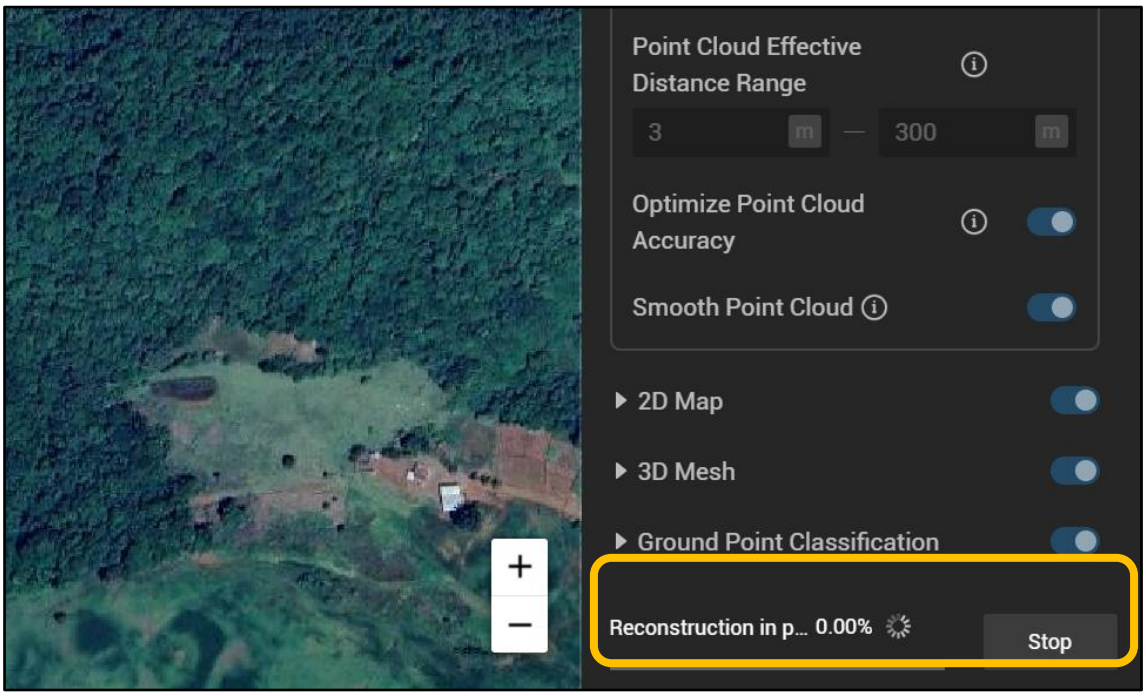


Figura 26. Início do processamento

7. MANIPULAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS E GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO NO CLOUDCOMPARE

A manipulação da nuvem de pontos anteriormente criada pode ser feita em diversos softwares. Primeiramente, utilizaremos o *CloudCompare*, que é um software open-source e multiplataforma (Windows, macOS, Linux) voltado para a visualização, edição e processamento de nuvens de pontos 3D.

Por ser uma ferramenta livre, suas atualizações não se dão de modo constante e algumas ferramentas são mais simplificadas em comparação a softwares comerciais, entretanto, atende de forma satisfatória aos propósitos.

Para gerar um Modelo Digital do Terreno nessa ferramenta, os seguintes passos podem ser seguidos:

Primeiro Passo:

Abra o CloudCompare e importe o arquivo da nuvem de pontos (.las), clicando em File → Open (Selecione a opção de arquivos .las, para que a nuvem apareça).

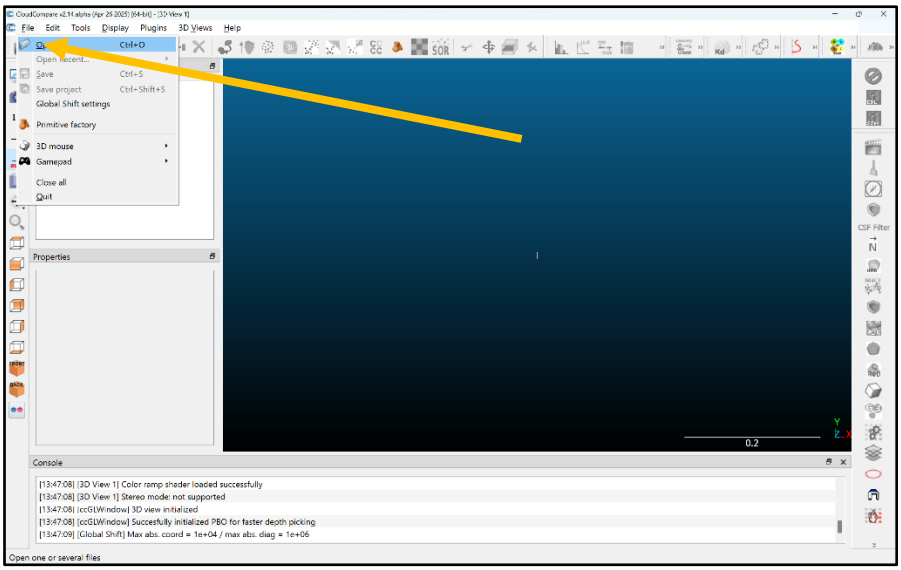


Figura 27. Tela inicial do CloudCompare

A tela que abrirá se refere a quais arquivos da nuvem o usuário gostaria de importar, nesse caso todos os dados podem ser importados. Para tanto clique em *Apply.*

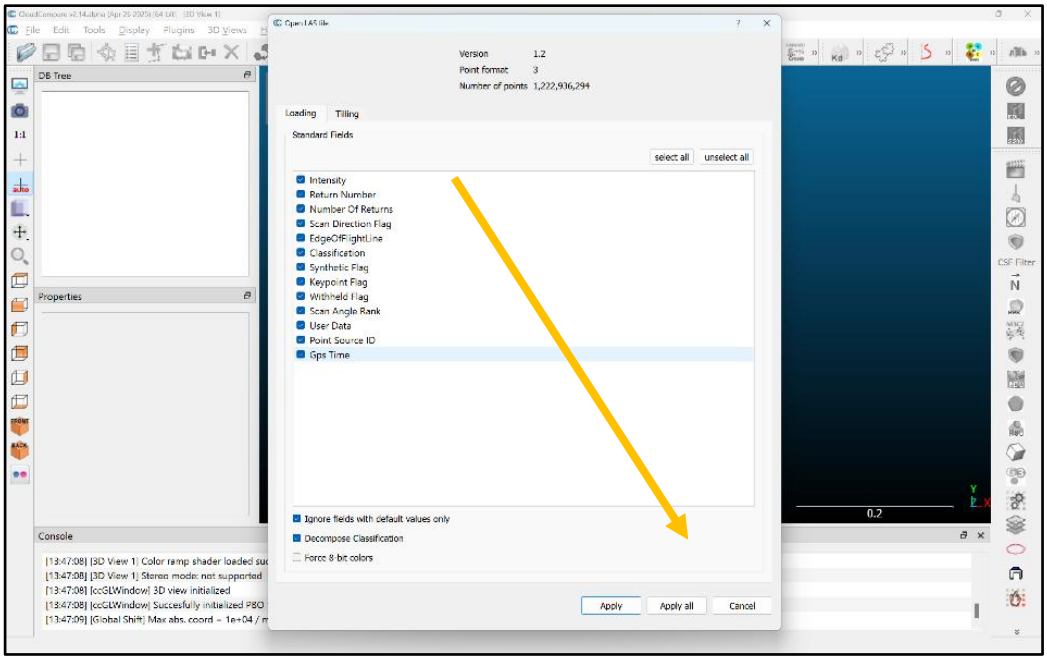


Figura 28. Tela de seleção das informações que deseja importar

Na próxima janela que se abrirá o sistema do CloudCompare fará as transformações do sistema de coordenadas original para um sistema cartesiano, para que ele possa entender a sequência dos dados. Para tanto, selecione *Automatic* e deixei a caixa de *Preserve global shift on save* selecionada. Após, clique em *Yes*.

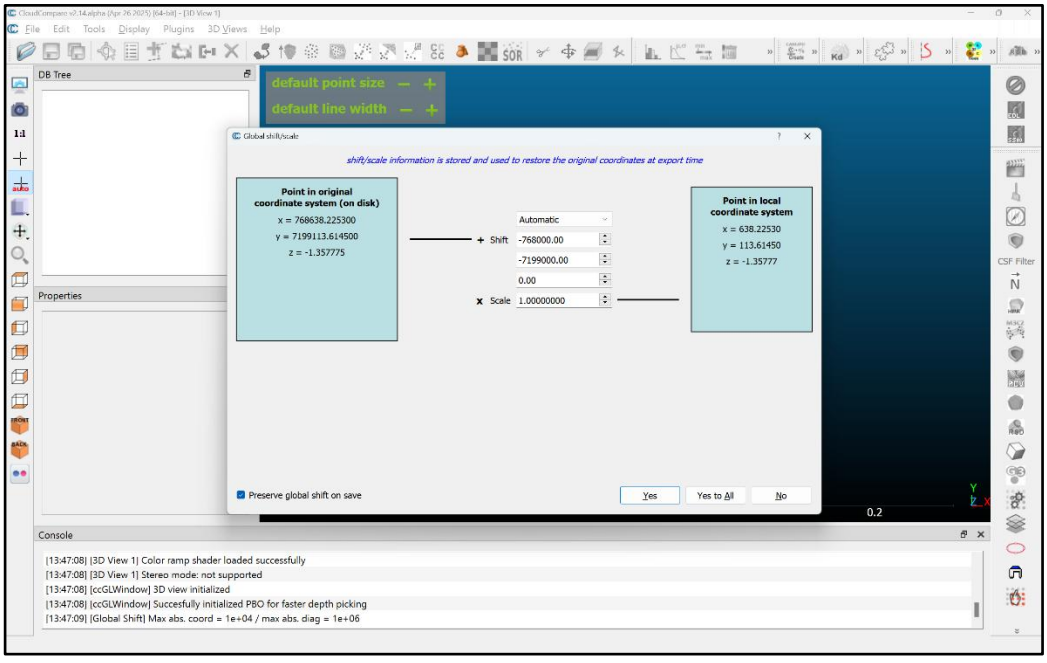


Figura 29. Transformação de coordenadas no CloudCompare

Nesse momento o software fará a importação dos dados, o qual poderá ser demorado a depender do peso da nuvem ou da performance da máquina que está utilizando. Caso necessário, após a importação, altere a visualização da nuvem para facilitar a análise (*Colorize by Height* ou *Scalar Fields*).

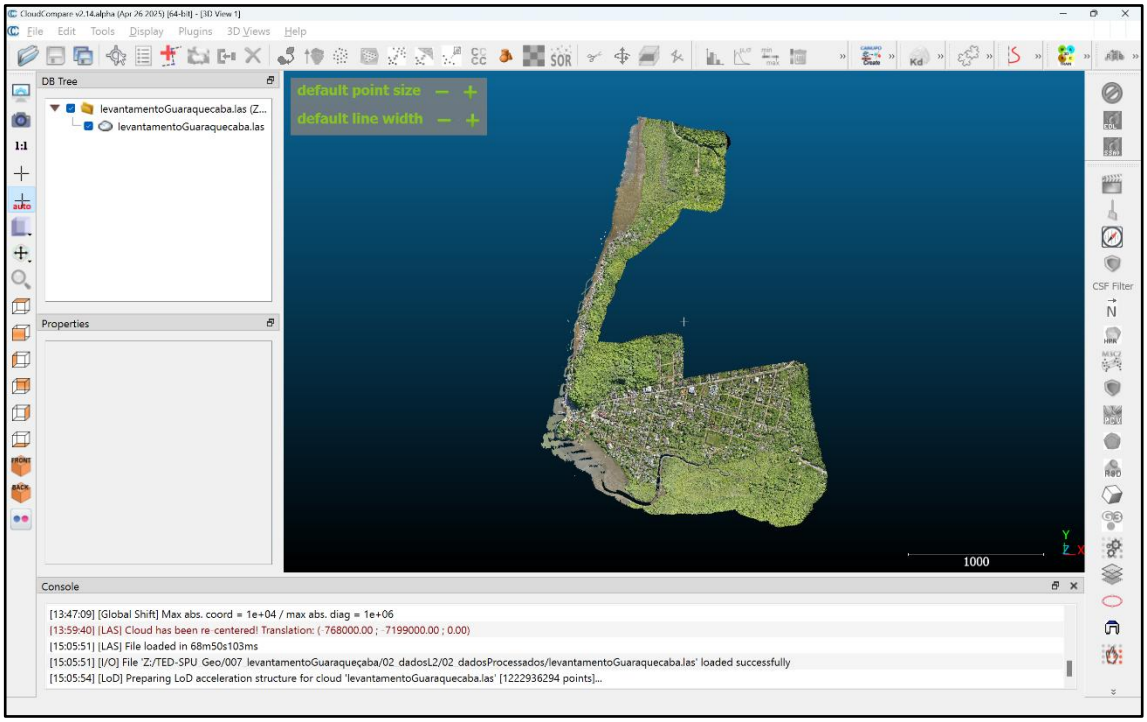


Figura 30. Nuvem de pontos após importação no CloudCompare

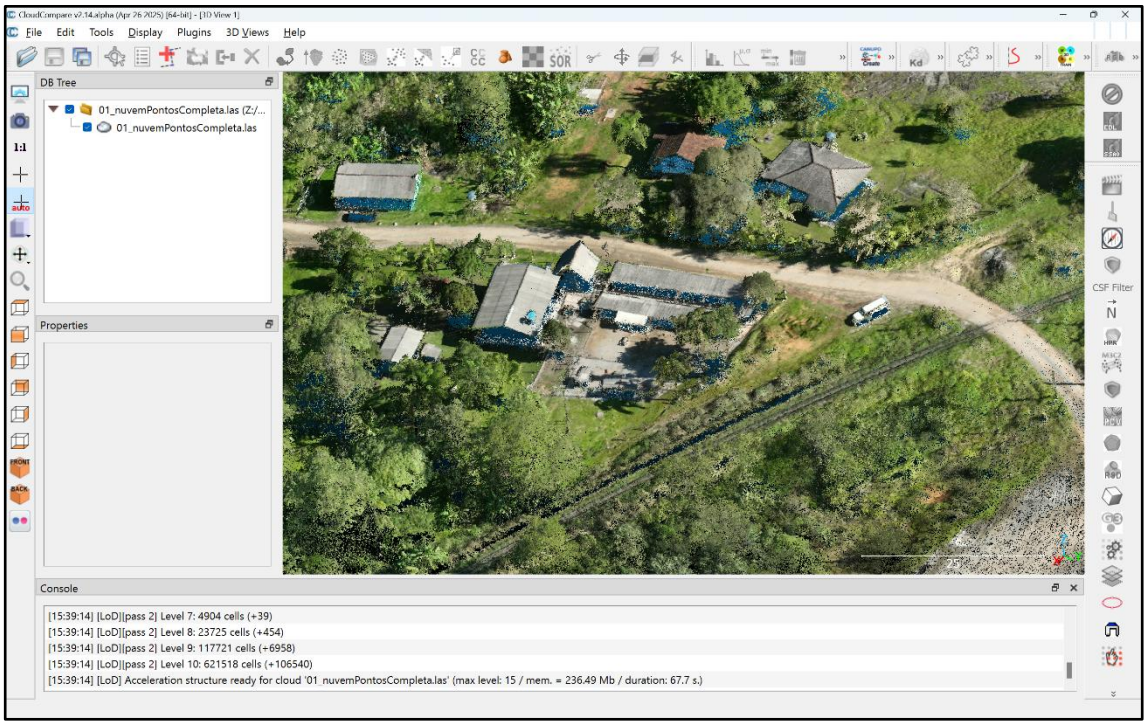


Figura 31. Detalhe da nuvem de pontos após importação

Após a importação, o que temos é a nuvem de pontos bruta, com todas as suas informações originais. O próximo passo é fazer a filtragem da nuvem de pontos entre o que é considerado solo (g*round points*) e não-solo (*non-ground points)*.

Para isso será utilizado o algoritmo CSF (*Cloth Simulation Filter*). Esse algoritmo simula um tecido (*cloth*) que "se ajusta" à superfície do terreno, permitindo a classificação da nuvem de pontos.

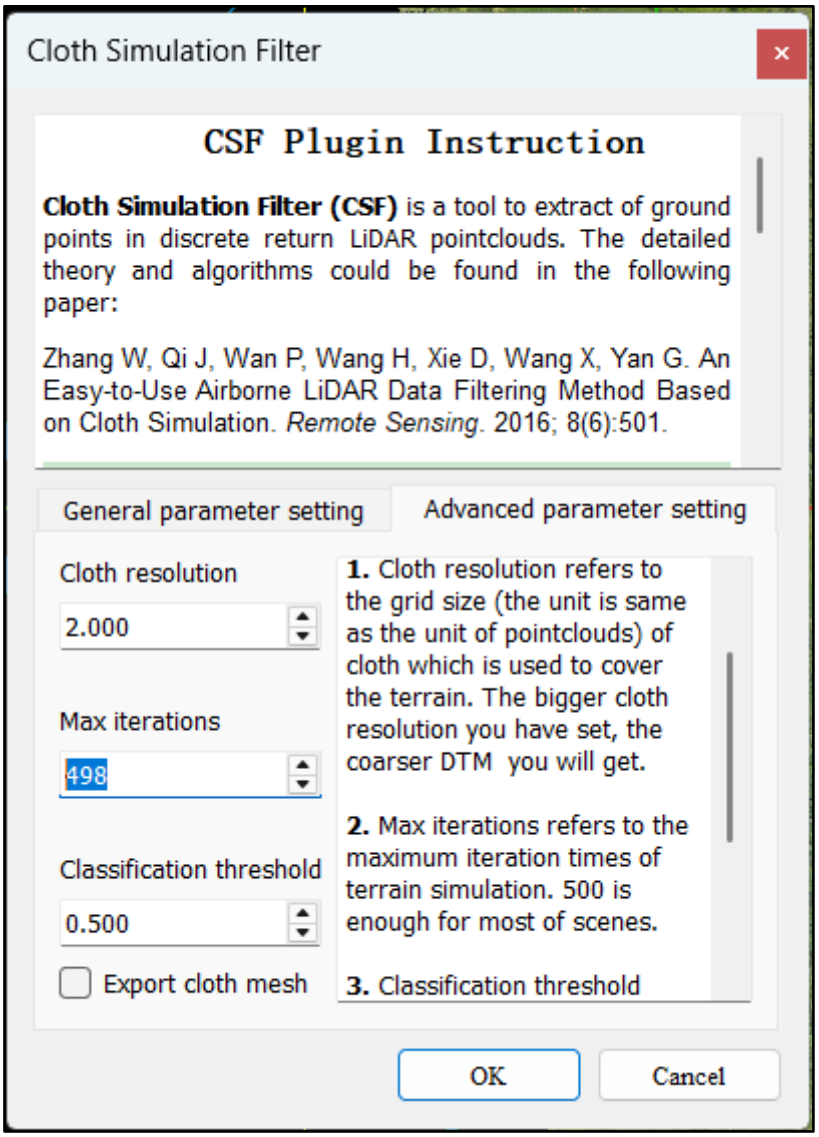


Figura 32. Tela de configurações avançadas do plugin CSF

Aqui está uma explicação detalhada de seus parâmetros, os quais devem ser ajustados a cada localidade voada.

Cloth Resolution: Define a resolução do "tecido" que será usado para simular o terreno. Os valores típicos variam, entre 0.5 e 5.0 (unidades dependem do sistema de coordenadas da nuvem de pontos).

Selecionar valores baixos resultam em um tecido mais denso e detalhado, melhor para superfícies com pequenas variações (ex.: áreas urbanas, com árvores próximas ou terrenos detalhados). Ao escolhermos valores mais altos, cria-se um tecido mais grosseiro, adequado para áreas mais suaves e com menos detalhes, como grandes planícies.

Max Iterations: Define o número máximo de iterações realizadas pelo algoritmo para ajustar o tecido à superfície. Os valores típicos variam entre 500 e 1000. Escolher um maior valor de iterações resulta em maior precisão, mas aumentam o tempo de processamento, ao passo que poucas iterações podem fazer com que o tecido não se ajuste corretamente, especialmente em terrenos complexos.

Nesse caso é muito importante que testes sejam feitos, visando compreender como os parâmetros se ajustam a sua área de estudo, pois não há uma fórmula pronta para cada situação.

Classification Threshold: Especifica o valor de limiar para classificar os pontos como "solo" ou "não solo". O algoritmo considera a altura dos pontos em relação ao tecido ajustado. Os valores costumam variar entre 0.1 e 1.0 (em metros ou unidade de altura da nuvem de pontos).

A utilização de valores baixos classifica mais pontos como "não solo" (útil para áreas densamente arborizadas ou urbanas), ao passo que valores mais altos permitem que mais pontos sejam considerados como "solo", mesmo que estejam ligeiramente acima da superfície.

Assim, ajuste este parâmetro com base na densidade e natureza do terreno, pois valores muito baixos irão tornar os dados altamente ruidosos, gerando muitas curvas de nível em feições que não nos interessam, como pequenos barrancos ou terraceamentos feitos no local.

Novamente, é importante que testes sejam feitos para compreender qual o melhor classificador para a sua área de análise.

Para iniciar a classificações, clique em Plugin → CSF Filter, o algoritmo se abrirá, então selecione a janela *Advanced Parameter Setting* para configurar o algoritmo para o seu contexto local. Após a configuração, clique em *Ok* para que o processamento possa ser realizado.

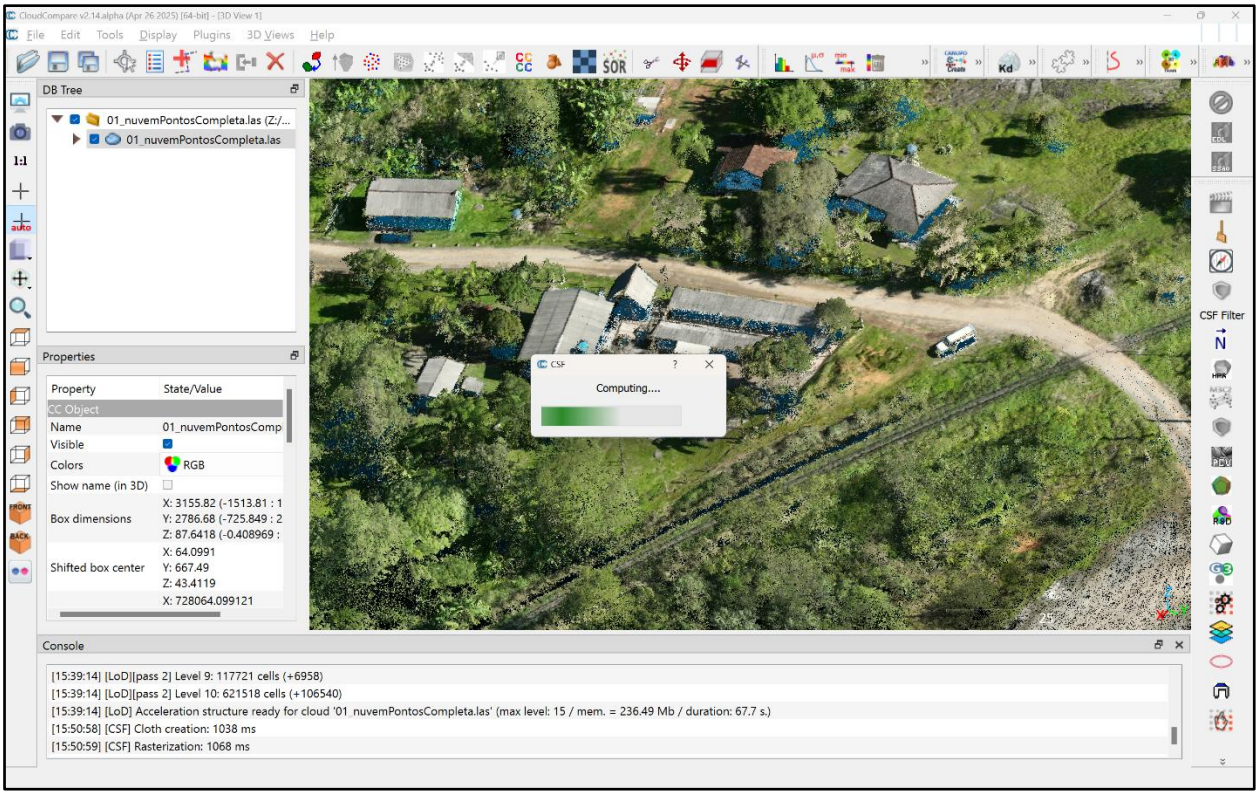


Figura 33. Plugin CSF durante processamento

Na tabela de conteúdos teremos, além da nuvem bruta, outros dois arquivos, correspondentes a nuvem classificada em *ground points* e a nuvem filtrada apenas nos pontos que não são terreno, chamados de *off ground points.*

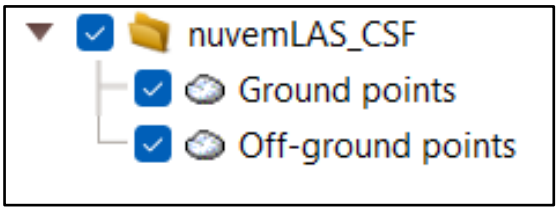


Figura 34. Dados criados pelo plugin CSF após finalização do processo de classificação

É de extrema importância que ambos dados sejam comparados, ativando e desativando as camadas e analisando a classificação realizada pelo algoritmo. É importante avaliar se em *ground points* não foram selecionadas áreas que claramente não represetam o terreno (como edificações, árvores, carros) e vice-versa, e caso sejam constatados erros, os dados devem ser novamente processados, alterando os valores da classificação.

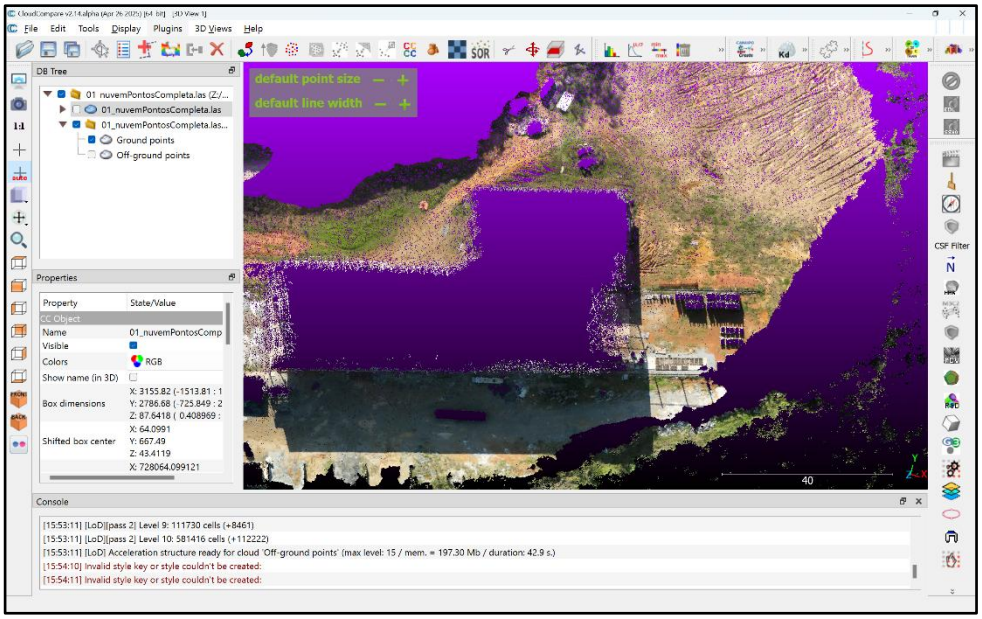


Figura 35. Visão da nuvem apenas com *ground points* selecionados

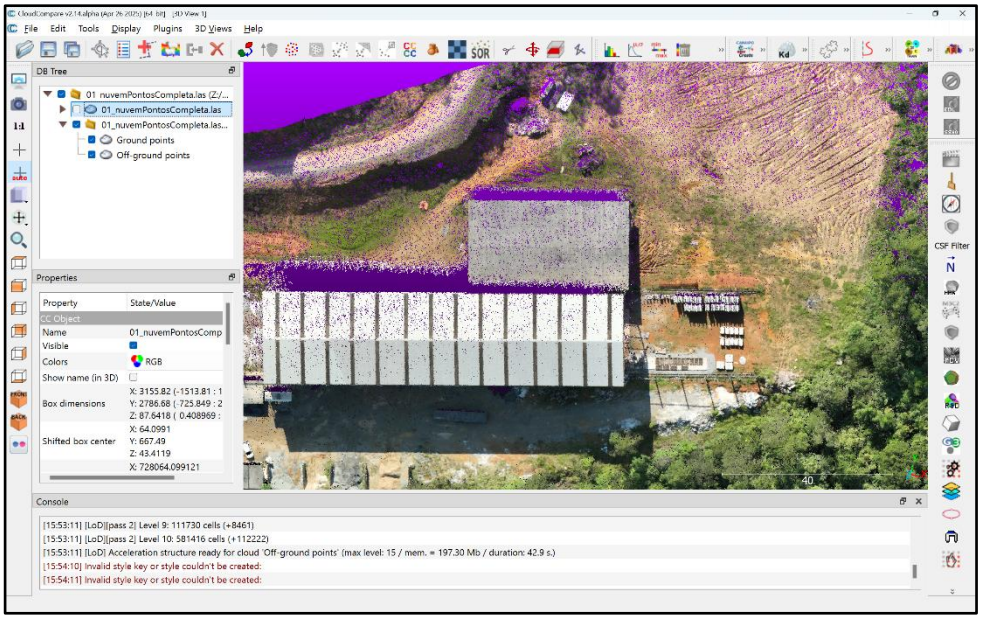


Figura 36. Mesma área da imagem acima, agora, com dados de não-terreno também habilitados

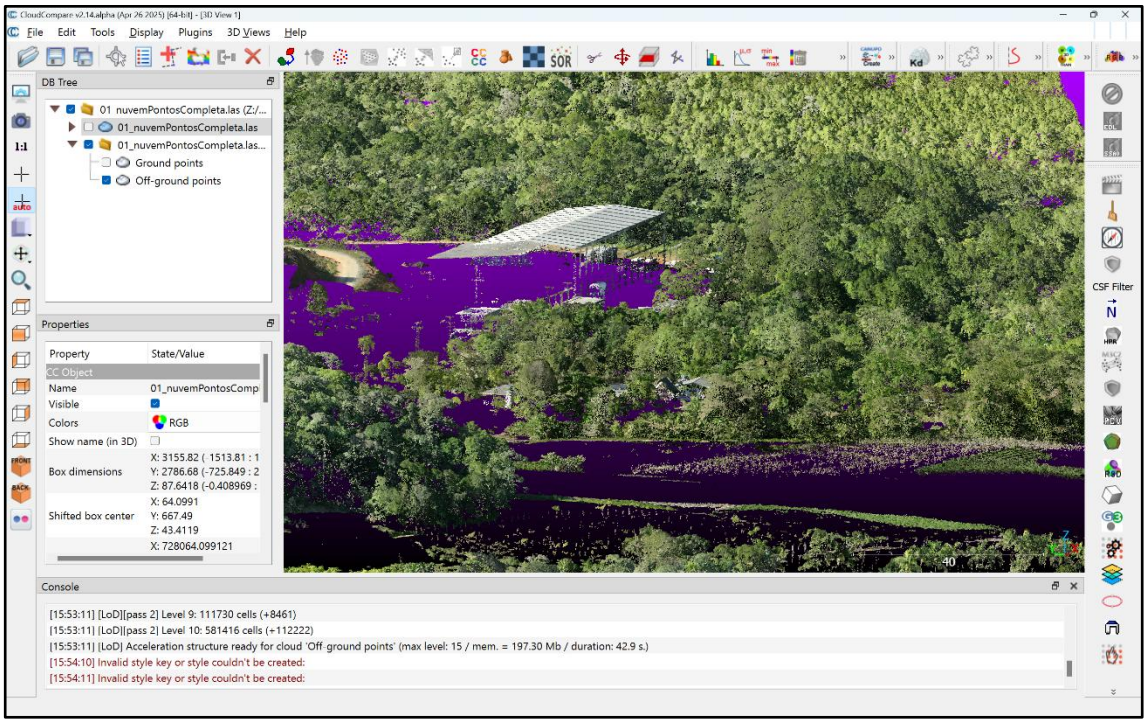


Figura 37. Detalhe de árvores e edificações filtradas na nuvem de pontos

Após a classificação dos pontos de terreno, os dados estão parcialmente prontos para a geração do Modelo Digital do Terreno. Um passo adicional que pode ser executado, na eventualidade dos dados serem muito pesados, é uma diminuição da densidade de pontos, gerando uma malha de pontos de terreno com equidistância conhecida (25 cms, 50 cms, 1 metro, ...) a depender da escala de trabalho que deve ser atingida.

Para tanto, deve-se proceder com o processo de sub-amostragem da nuvem de pontos, o qual é feito em *Tools* → *Subsample*, escolhendo a opção "*Spatial (distance)"* e definindo o espaçamento desejado.

Certifique-se nesse momento que apenas a nuvem classificada como terreno está ativa, caso contrário o software não conseguirá fazer a amostragem corretamente.

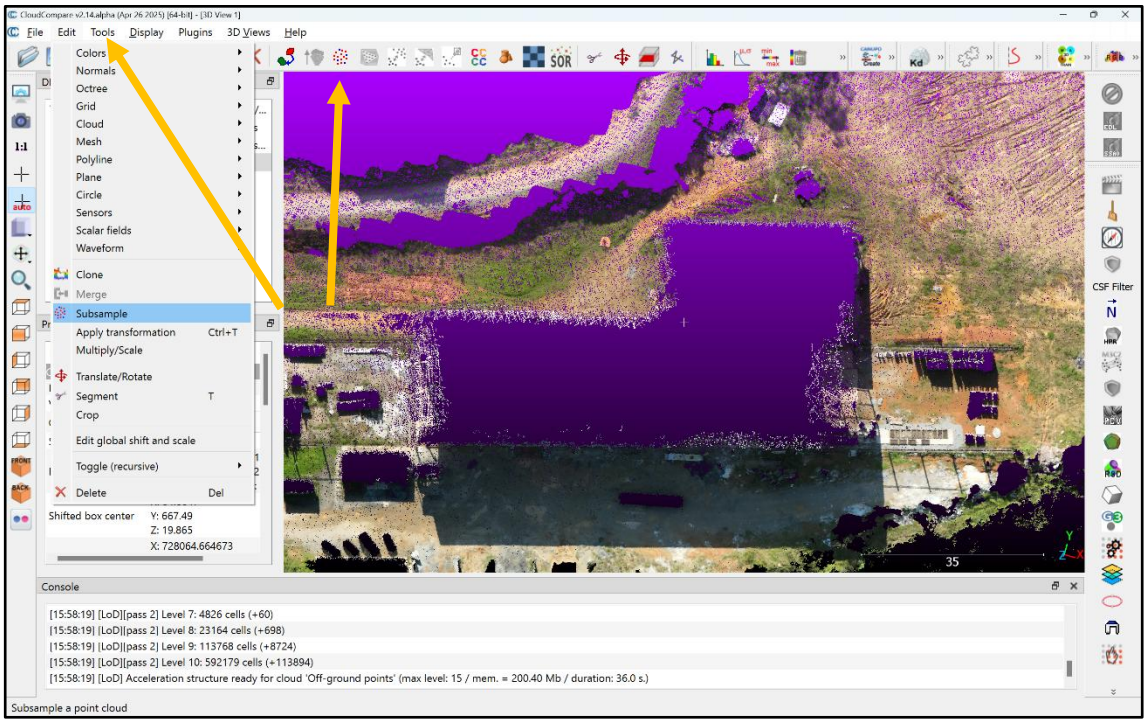


Figura 38. Caminho para acessar a subamostragem. Na imagem, destacam-se as duas formas de acessar a mesma ferramenta

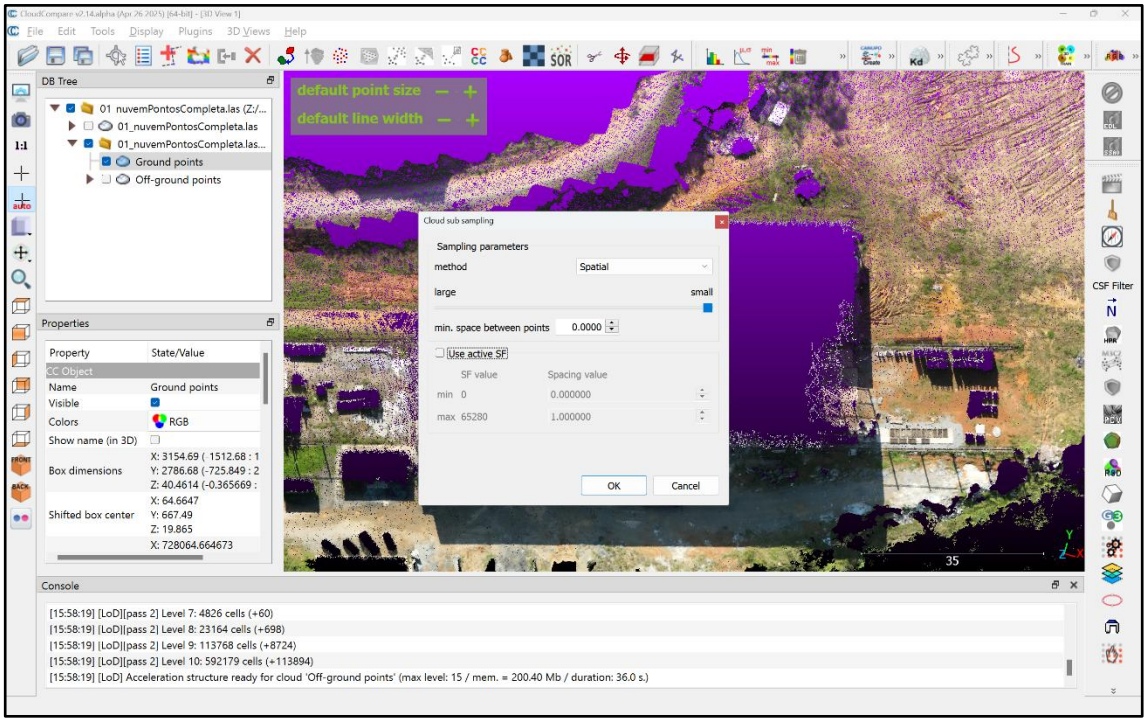


Figura 39. Tela de configurações da subamostragem

O passo acima indicado é opcional, mas altamente recomendável se o computador que está utilizando não apresenta nível adequado de velocidade de

processamento. Ademais, na maioria dos casos, diminuir a densidade da nuvem de pontos elimina diversos ruídos, sem comprometer a qualidade altimétrica do dado posteriormente.

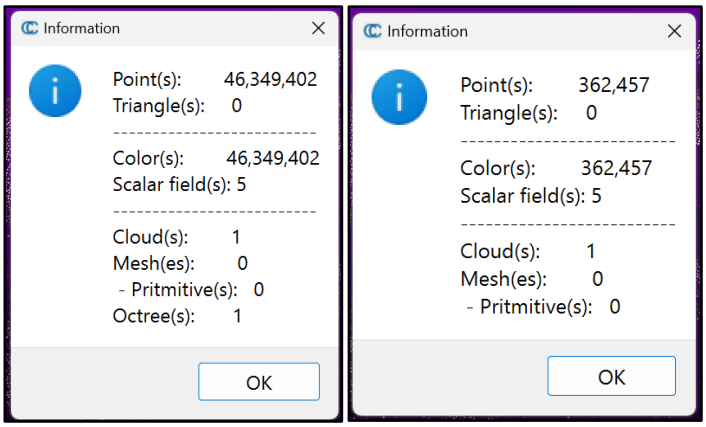


Figura 40. A esquerda, nuvem de pontos original (46 milhões de pontos). A direita, nuvem com subamostragem (365 mil pontos)

Nesse momento os dados estão prontos para o próximo passo, que é a geração do Modelo Digital do Terreno. Para tanto, utilizando apenas os dados filtrados como terreno originais ou os dados filtrados como terreno subamostrados, siga os passos: Clique em *Tools* → *Projection* → *Rasterize.*

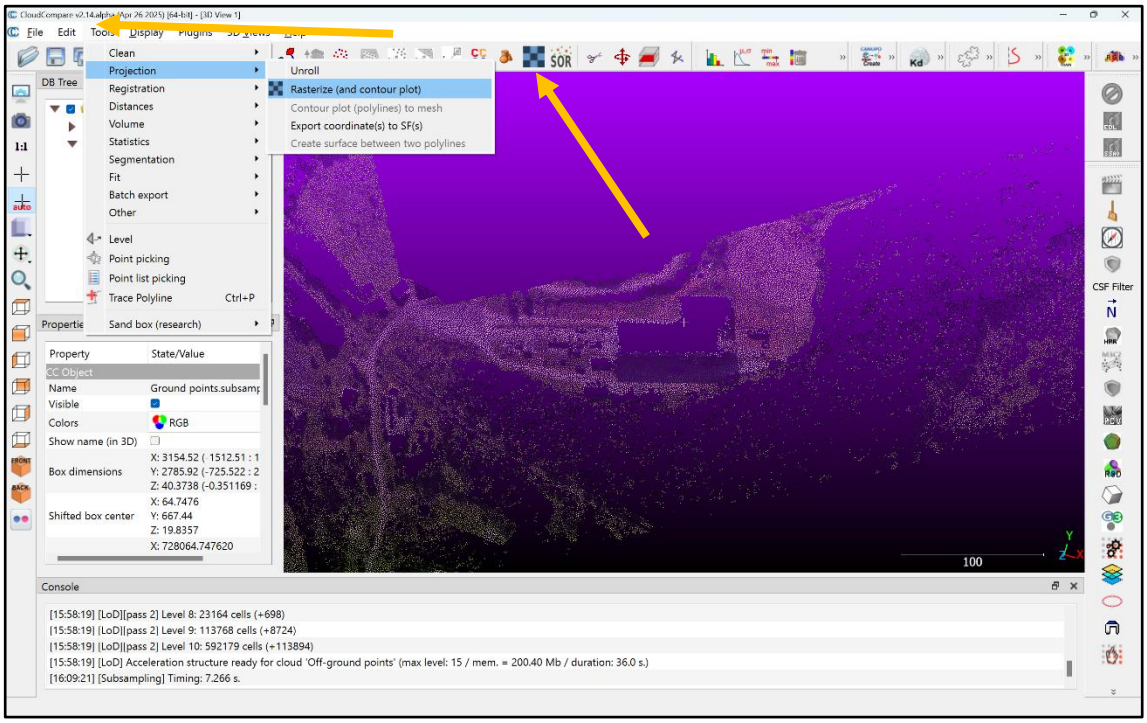


Figura 41. Ferramenta *Rasterize* para geração do MDT

Na janela do *Rasterize*, configure:

***Grid Step*:** Defina a resolução do MDT (exemplo: 2 metros para grandes áreas ou 0.5 metro para mais detalhes).

Direction: Defina Z, pois queremos a altimetria;

Active layer: Defina em *Cell height values*, pois iremos trabalhar com os dados de elevação do ponto;

***Cell Height*:** Escolha *Minimum* para garantir que apenas os dados de terreno (ou seja, os mais baixos) sejam utilizados para a interpolação.

Empty Cells: Defina o *Fill with* com a opção de *Interpolate* para que as células vaziam sejam interpoladas e preenchidas com dados virtuais, baseados em vizinhos próximos. Caso o processo não fique visualmente interessante, ainda contendo gaps, clique na engrenagem ao lado de *Interpolate* e defina um valor maior de interpolação. Vá testando de 10 em 10 até obter um resultado satisfatório.

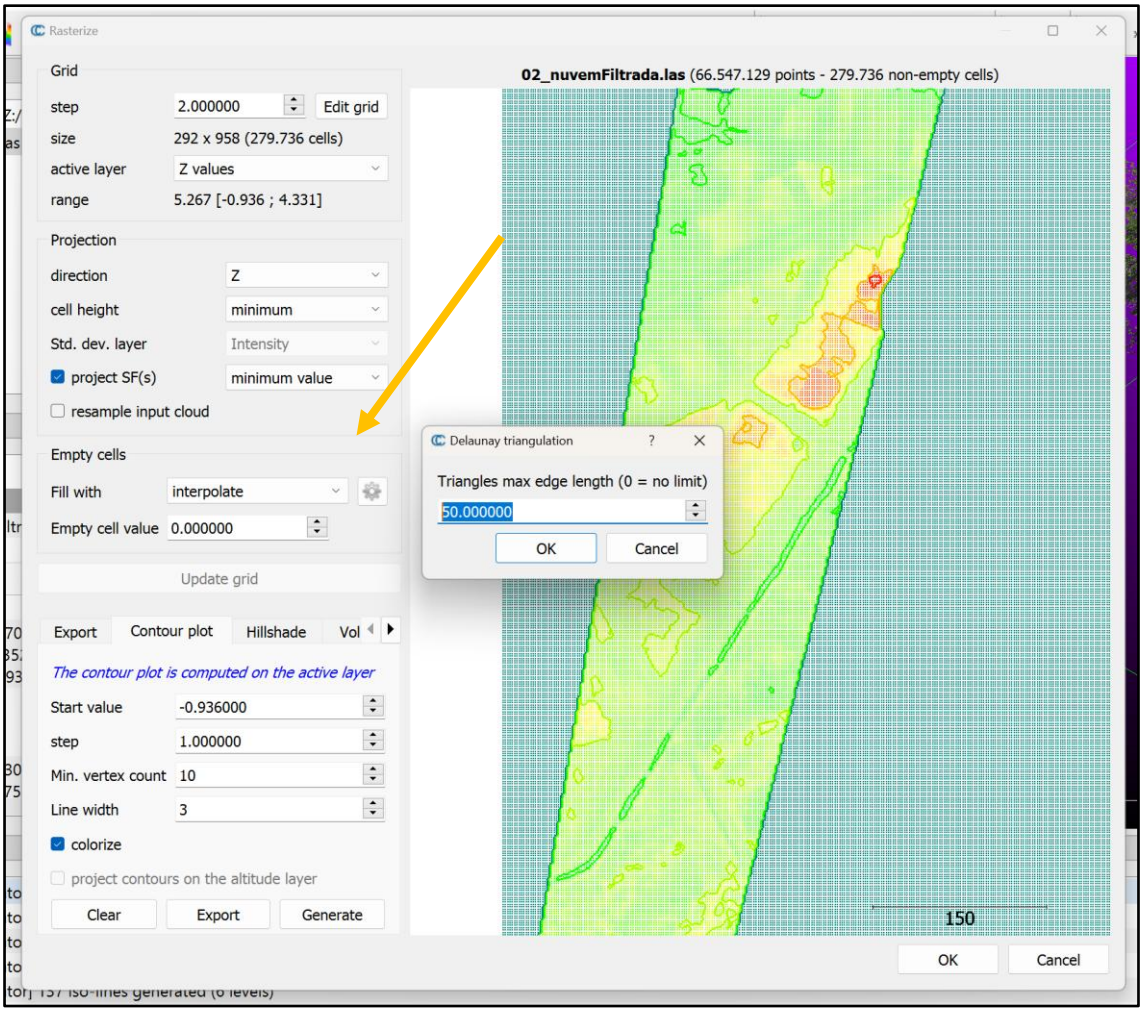


Figura 42. Tela de configuração, após clicar na engrenagem ao lado da opção *Interpolate*

Por fim, após todas as configurações serem efetuadas, clique em *Update Grid* para visualizar o resultado.

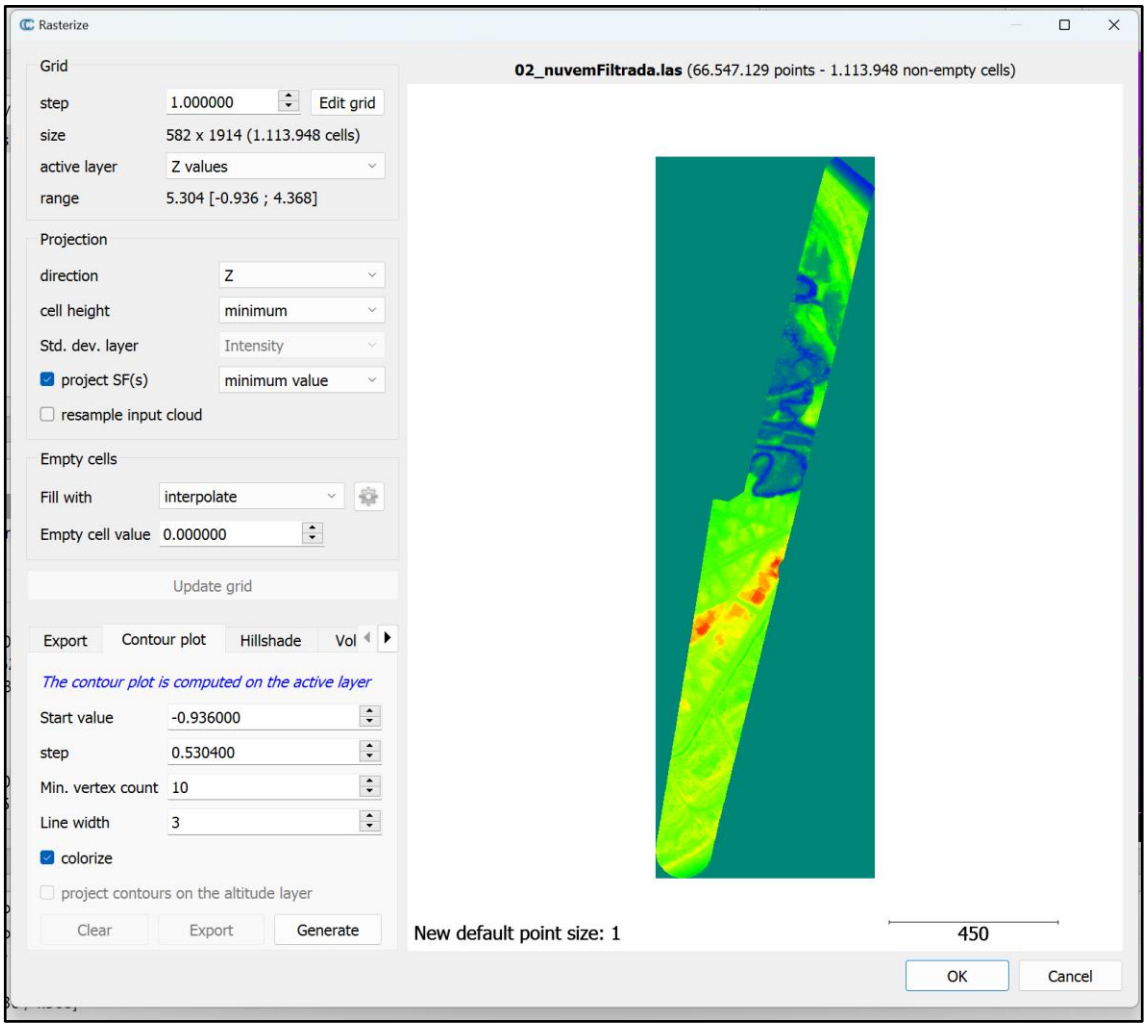


Figura 43. Modelo Digital do Terreno pronto

Para exportar o resultado, clique na opção *Raster*, no canto inferior esquerdo, deixando marcada a opção *Export Heights.* Após exportar, é possível utilizar qualquer software de SIG para manipulações adicionais, tal como geração de curvas de nível.

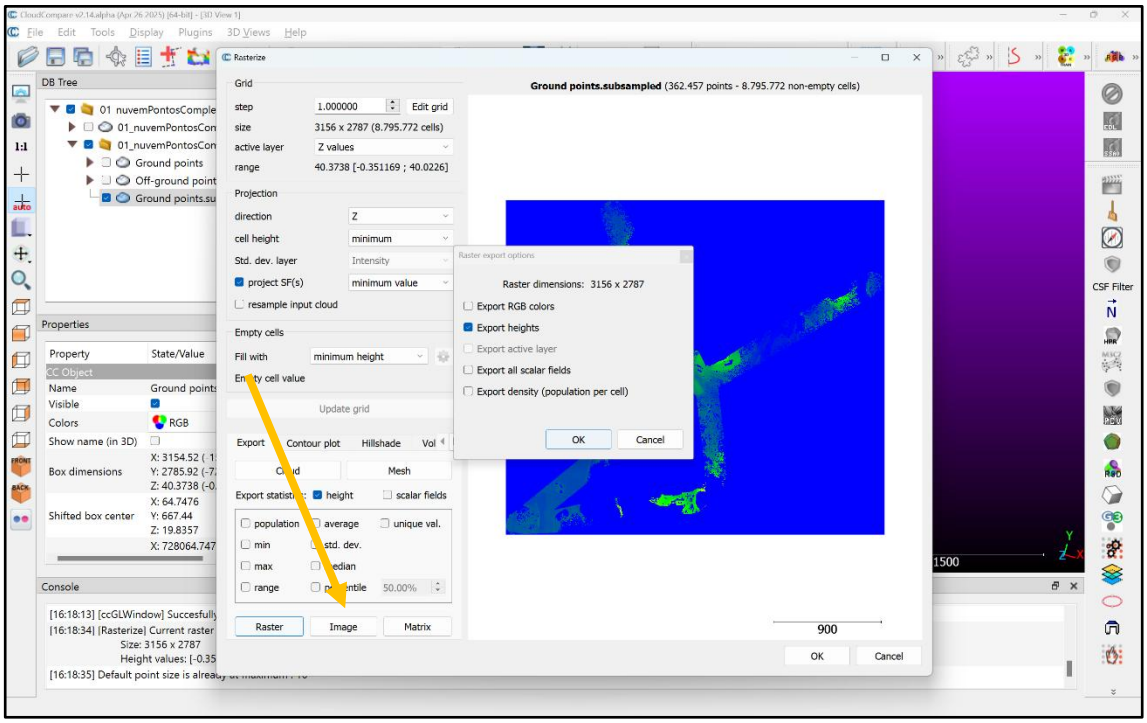


Figura 44. Tela para exportar os resultados gerados

Após concluído, exporte para o seu software de Geoprocessamento de preferência para que possa gerar as curvas de nível conforme desejado, ou é possível gerar diretamente no CloudCompare.

Para isso, clique na opção *Contour Plot*, defina o valor inicial da cota (*Start value*), a equidistância (*step*) e a contagem mínima de vértices para que a curva seja formada, além da largura da linha (*line width*). Clique em *Generate* para que as curvas sejam formadas, e então em *Export*. As curvas de nível serão geradas e inseridas na tabela de conteúdos com o nome de *Contour Plot*.

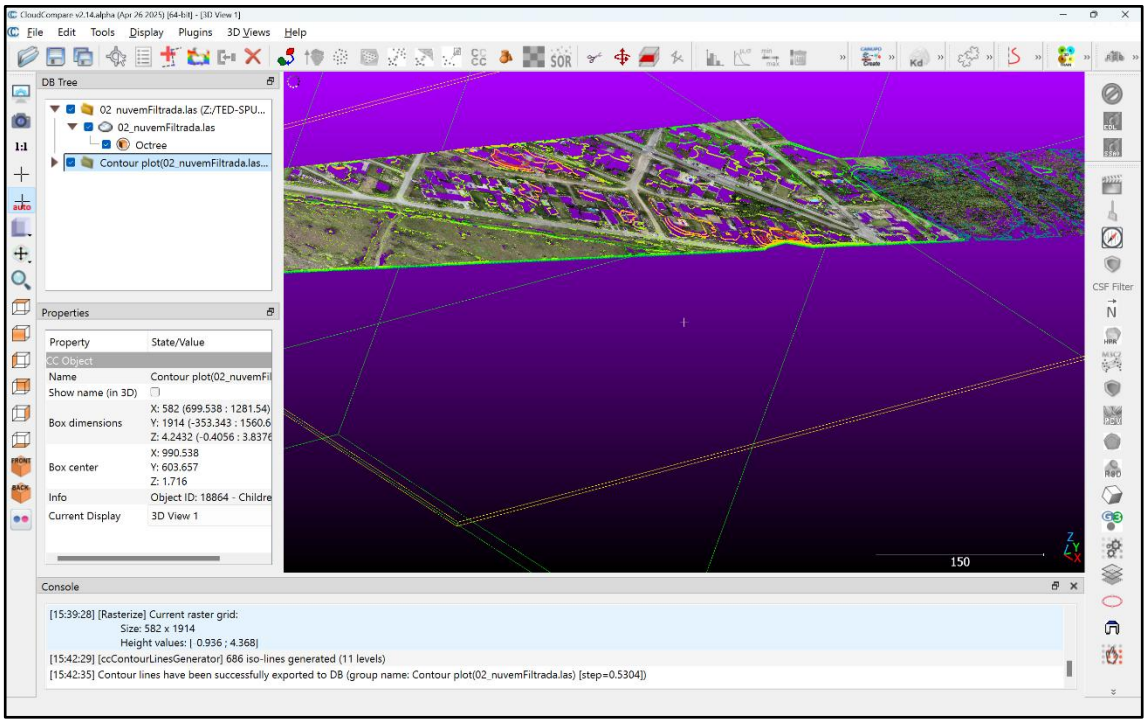


Figura 45. Curvas de nível sobrepostas a um fragmento da nuvem de pontos

Para salvar as curvas em formato *shapefile*, selecione *Contour Plot*, clicando sobre o item e então clique no disquete chamado *Save Current Entity*. Selecione a pasta de destino, além de alterar o formato de salvamento para *shapefile* ou outro formato desejado.

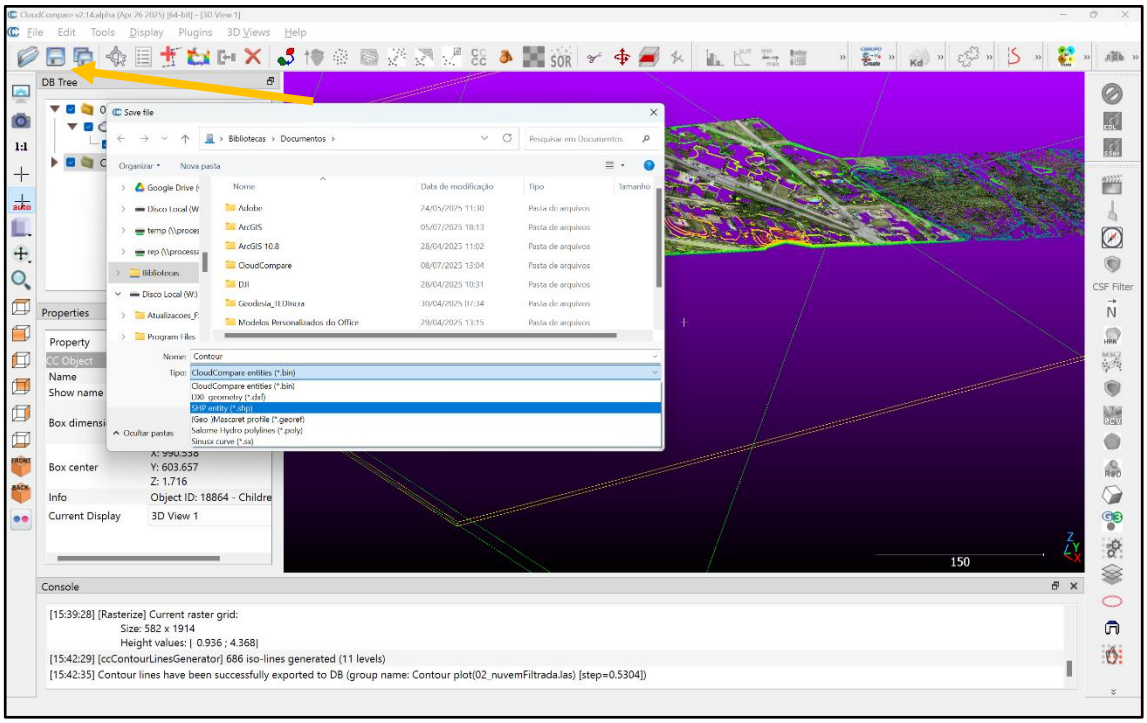


Figura 46. Procedimento de salvamento das curvas de nível geradas

Importante destacar que após esses passos é imprescindível que seja feita uma análise de qualidade altimétrica do MDT gerado, visando enquadrá-lo nas classes elencadas pelo Padrão de Exatidão Cartográfica, bem como permitindo indicar em qual escala o dado pode ser trabalhado, levando em conta a incerteza inerente que há no mesmo. Para tanto, deve-se consultar o Procedimento Operacional Padrão de Qualidade dos Dados.

Algumas dicas importantes, para um Modelo Digital de Qualidade incluem evitar valores de grade muito pequenos na hora de gerar o MDT, pois isso pode aumentar o tempo de processamento e adicionar ruído extra. Além disso, é importante SEMPRE revisar a classificação feito através do algoritmo CSF, além de testar diversos parâmetros, a fim de se obter o dado mais fidedigno possível.

Por fim, é importante recapitular, o CloudCompare permite uma miríade gigante de operações com dados .las, sendo que as informações aqui apresentadas podem ser complementadas com outras operações, tais como filtragem de ruído via algoritmo SOR, ou uma filtragem de terreno mais detalhada (incluindo amostras de campo) através do algortimo CANUPO.

8. MANIPULAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS E GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO NO GLOBAL MAPPER

O Global Mapper é um software SIG (Sistema de Informação Geográfica) desenvolvido pela Blue Marble Geographics, ou seja, é um software comercial.

A principal vantagem do Global Mapper é a sua interface acessível e intuitiva (especialmente na comparação com o Cloud Compare), além de um desempenho otimizado com grandes volumes de dados. O Global Mapper possui um módulo específico chamado LiDAR Module, o qual permite diversas manipulações na nuvem de pontos, incluindo a geração de Modelo Digital do Terreno com uma robustez muito maior que o Cloud Compare.

Deste modo, se possível, recomenda-se fortemente a utilização dessa solução, ao invés das ferramentas disponíveis no Cloud Compare, especialmente se a manipulação e o processamento estiverem centralizados em uma única máquina (servidor), reduzindo consideravelmente a quantidade de licenças necessárias.

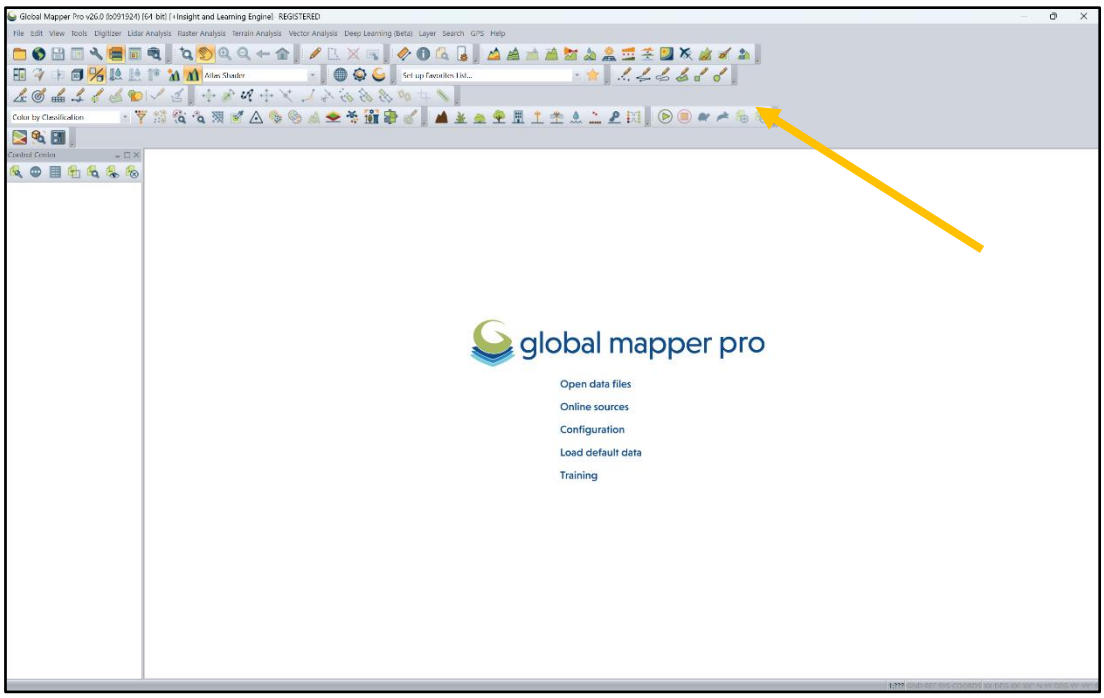


Figura 47. Interface do Global Mapper com o módulo LiDAR na barra de tarefas

Para abrir a nuvem de pontos, deve-se clicar em *Open data files* e então navegar até a pasta em que a sua nuvem de pontos .las está salva. Após achar

a nuvem que deseja, apenas clique em *Abrir* e então, na nova janela que se abrirá, prossiga clicando em *Ok*, usando as configurações *default.* Caso surja a mensagem abaixo, apenas clique novamente em *Ok*, pois esse aviso se refere a classes que podem estar ocultas, caso já tenha realizado algum tipo de classificação.

Durante a importação, caso surja a mensagem abaixo, apenas clique em *Yes to All*, a importação da nuvem ocorrerá normalmente.

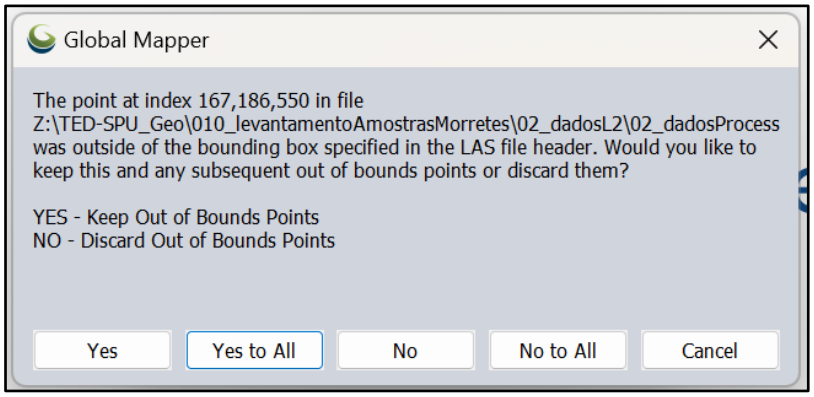


Figura 48. Possíveis avisos no momento da importação da nuvem de pontos no GlobalMapper

Através do menu lateral esquerdo é possível selecionar diversas colorizações para a nuvem de pontos, tal como a cor RGB, número de retornos, classificações, elevação, dentre outras.

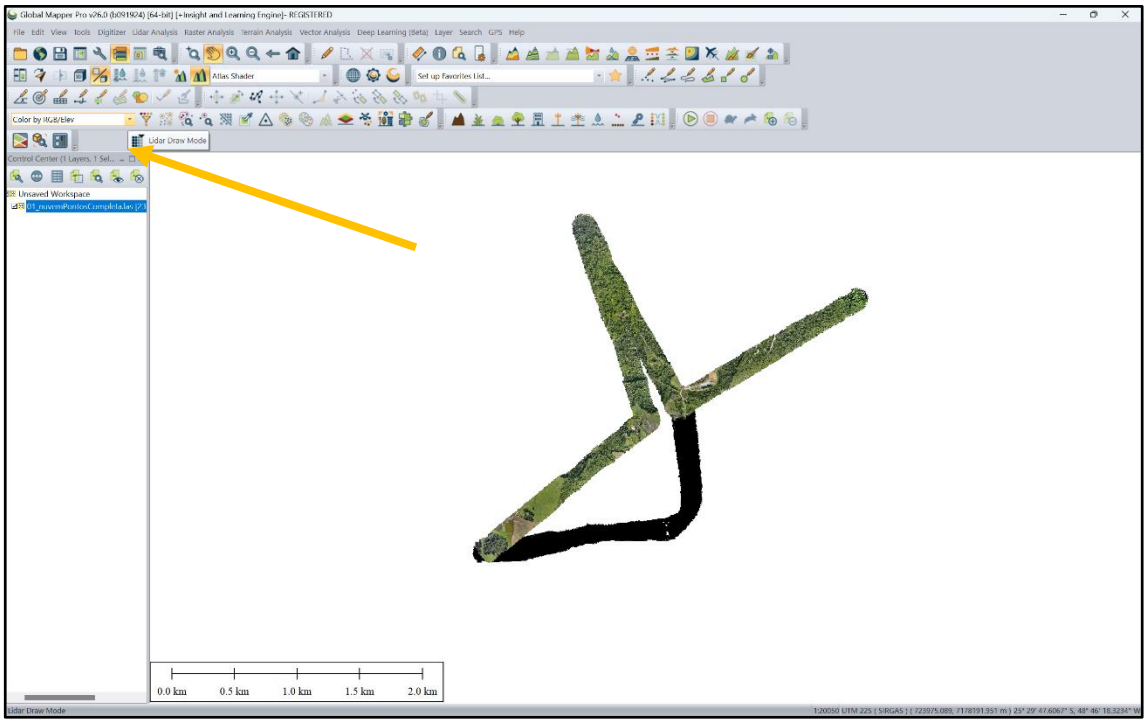


Figura 49. Nuvem de pontos após a importação no Global Mapper, com destaque para as possibilidades de mudança de colorização na nuvem de pontos

Após a importação da nuvem de pontos, deve-se proceder com a filtragem da nuvem de pontos. Para tanto, no menu superior busque pela opção *Lidar Analysis → Automatic Classification → Ground Points*. Note que faremos uma filtragem automática, entretanto, pode-se realizar também uma filtragem manual da nuvem.

Nesse momento, diversas opções podem ser acessadas, visando melhorar a classificação da nuvem de pontos. Evidentemente, cada uma das opções deve ser alterada conforme as condições encontradas durante o voo, sendo que os parâmetros a serem alterados incluem tamanho e diâmetro da vegetação, tamanho mínimo das construções, diâmetro de postes e linhas de transmissão e as suas variações.

Selected Only / Specify Bounds / Filter Points...

Specify Bounds: delimita uma área geográfica para análise (subconjunto da nuvem).

Filter Points...: aplica filtros por atributos como intensidade, elevação, classificação, etc.

Classification and Extraction Shared Settings

Resolution: Define o tamanho da célula (em espaçamento de ponto ou metros) usada nas análises.

Feature Models: Seleciona quais elementos identificar automaticamente:

Ground: ativado para identificar e classificar o solo.

Building: identificar edifícios.

Power Line: identificar linhas de transmissão.

Vegetation: identificar vegetação (baixa, média, alta).

Pole: identificar postes.

Min Area (sq m): tamanho mínimo de feições para considerar na classificação.

Features to Classify: Aqui é onde você escolhe quais classes aplicar. Neste caso:

Ground está selecionado para classificação do terreno;

Outras categorias como edifícios, postes e vegetação podem ser selecionadas, caso seja necessário.

Method

Grid MCC (Multiscale Curvature Classification): método eficiente para modelar superfícies do terreno removendo pontos como vegetação e edifícios. Experiência empírica demonstra que é o melhor classificador.

Parâmetros da Classificação de Terreno:

Bin Size: tamanho da célula (em metros) usada no algoritmo

Max Deviation (m): desvio máximo de altura para considerar ponto como solo

Max Height Delta (m): diferença máxima de altura entre pontos consecutivos na análise

Max Terrain Slope (degrees): inclinação máxima do terreno para manter a classificação como solo

*Max Building Width (m***)**: largura máxima de edifícios, para evitar confundir com terreno

Reset Existing Points...: redefine pontos previamente classificados como “não classificado” antes de rodar essa nova classificação.

Classify Features: Botão para iniciar a classificação automática com os parâmetros definidos.

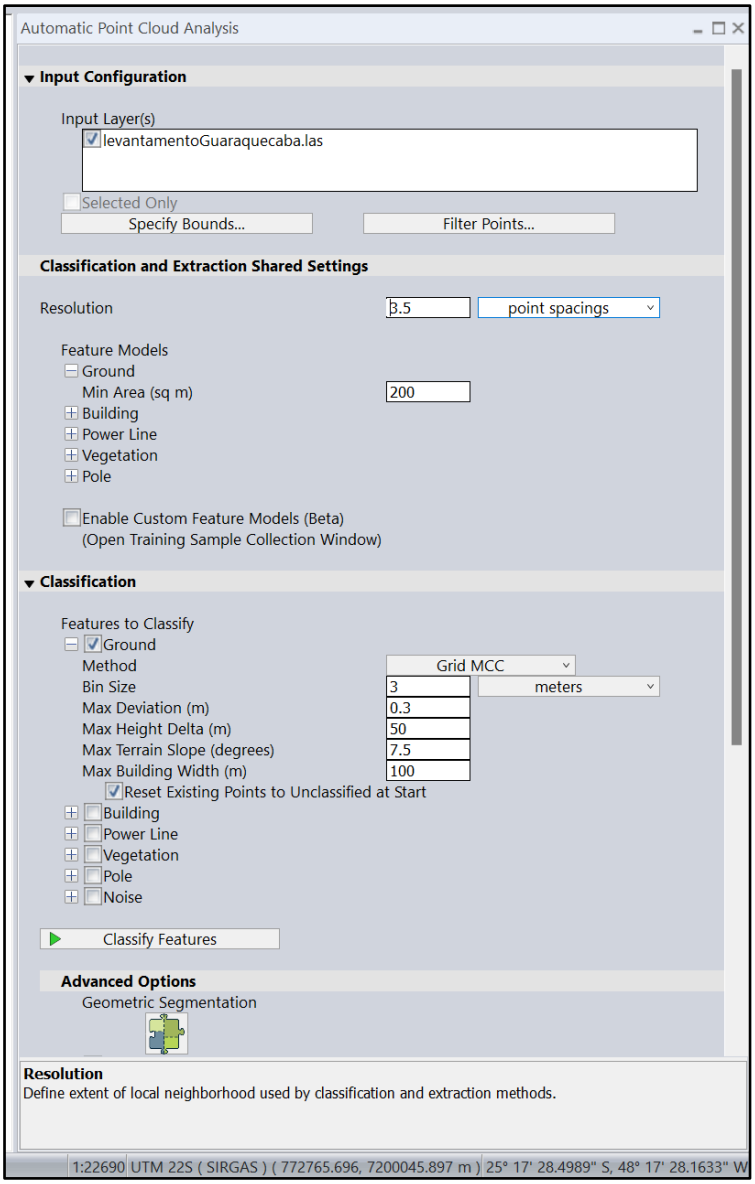


Figura 50. Menu de configuração do plugin para classificação automática da nuvem de pontos

Recomenda-se nesse momento que, de modo inicial, seja realizada com os parâmetros default, variando as opções após a avaliação da filtragem. Para tanto, clique em *Classify Features* para dar início ao processo de filtragem da nuvem de pontos.

Após o processo, que pode ser lento, clique *Select Lidar Classes* e deixe apenas a opção *Ground* marcada. Esse passo é importante, pois se outras classes ficarem selecionadas, não teremos uma MDT, mas sim um MDS.

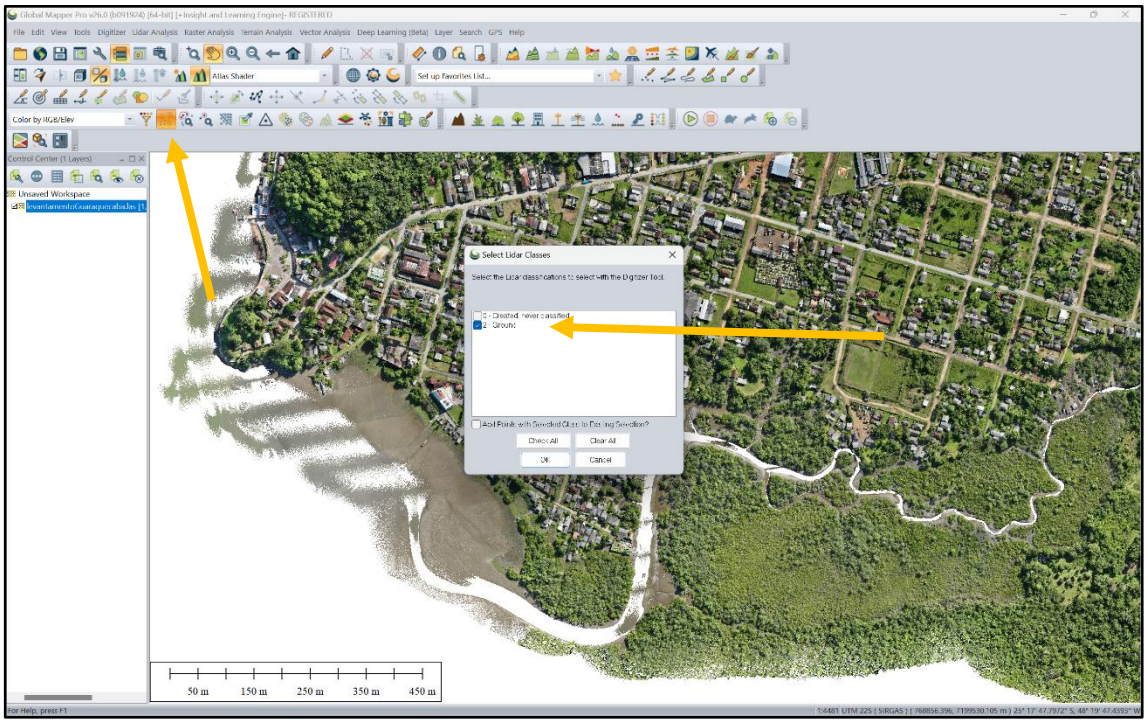


Figura 51. Configuração necessária para criação de MDT

Para gerar o Modelo Digital do Terreno, deve-se clicar, no menu superior em em *Terrain Analysis → Create Elevation Grid from 3D Vector/Lidar Data.*

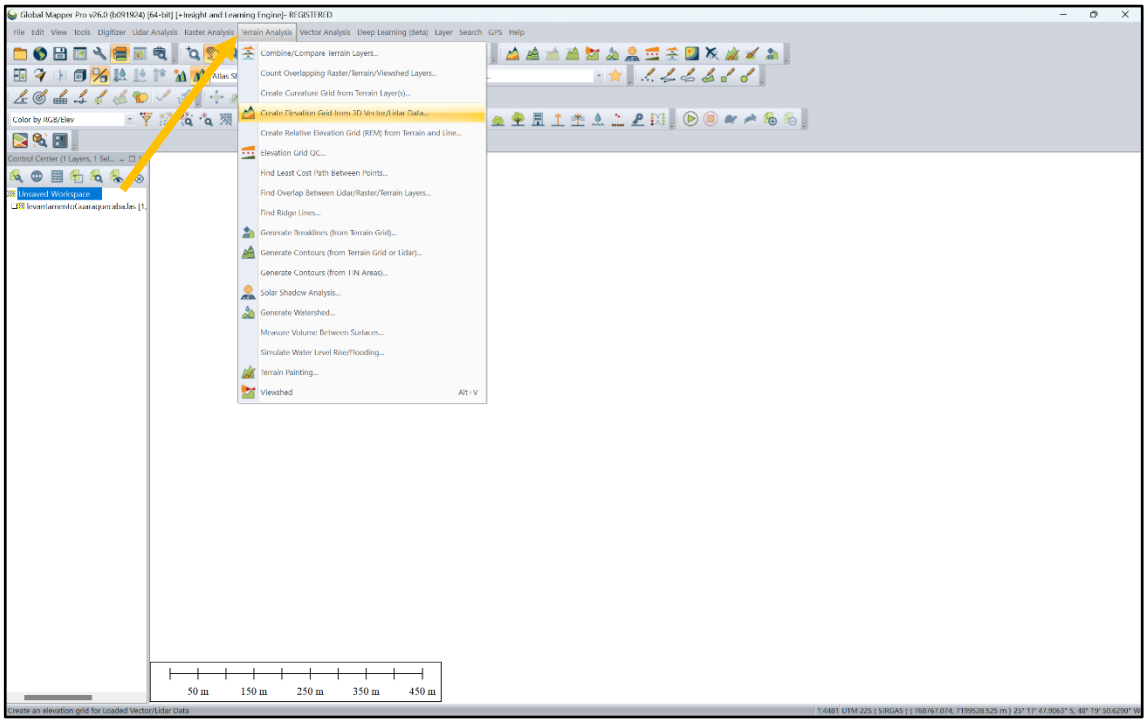


Figura 52. Caminhos para geração do MDT

A próxima etapa deve ser realizada com atenção aos parâmetros. Em *Grid Type* selecione *Elevation Values*. Em *Grid Method* escolha *Binning (Minimum Value – DTM)*. É estritamente necessário que o *Minimum Value* seja selecionado, para garantir que a menor elevação será considerada no momento da interpolação. Por fim, em *Grid "No Data" Distance Criteria*, selecione a opção *Loose* para que os gaps entre os pontos de terreno sejam preenchidos através da interpolação.

Após as configurações efetuadas, clique em *Ok* para que o processamento seja iniciado.

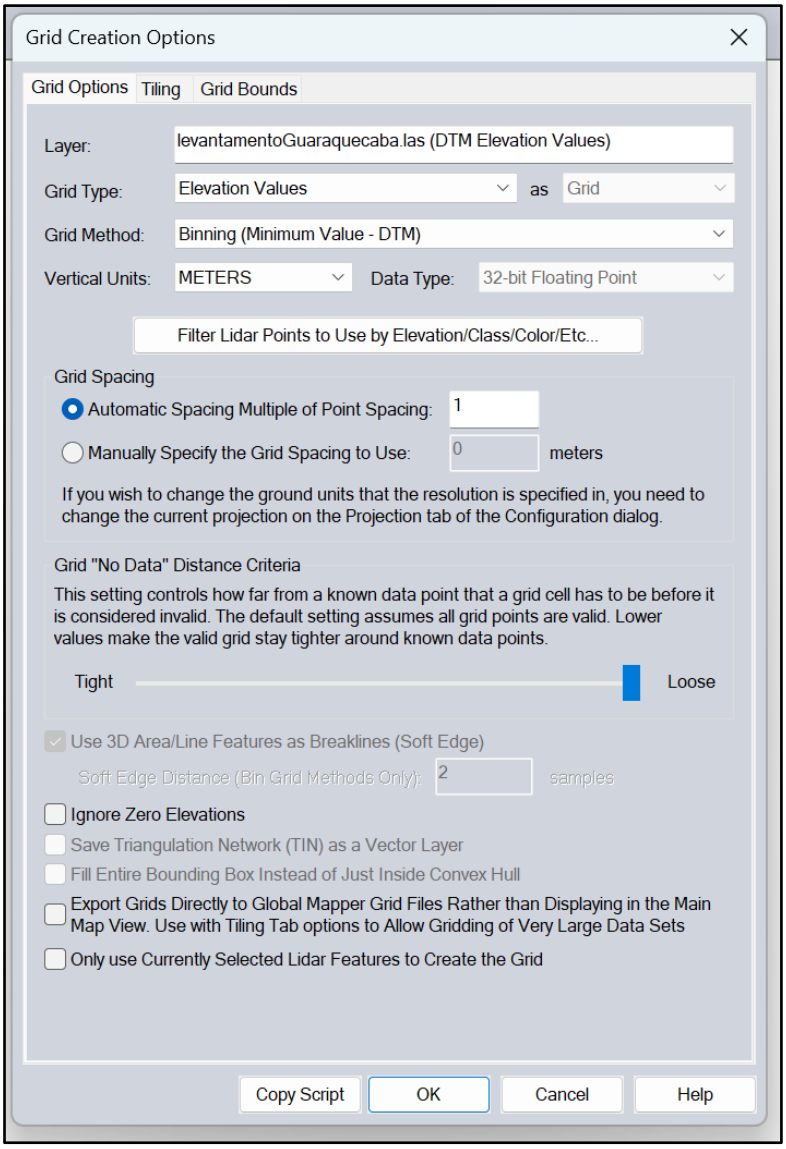


Figura 53. Parâmetros de configuração pré-geração do MDT

Após o processamento, o resultado será automaticamente inserido na tela principal. Do mesmo modo que no Cloud Compare, as curvas de nível também podem ser geradas diretamente no Global Mapper. Para isso, basta clicar em *Terrain Analysis → Generate Contours from terrain Grid or Lidar Data.*

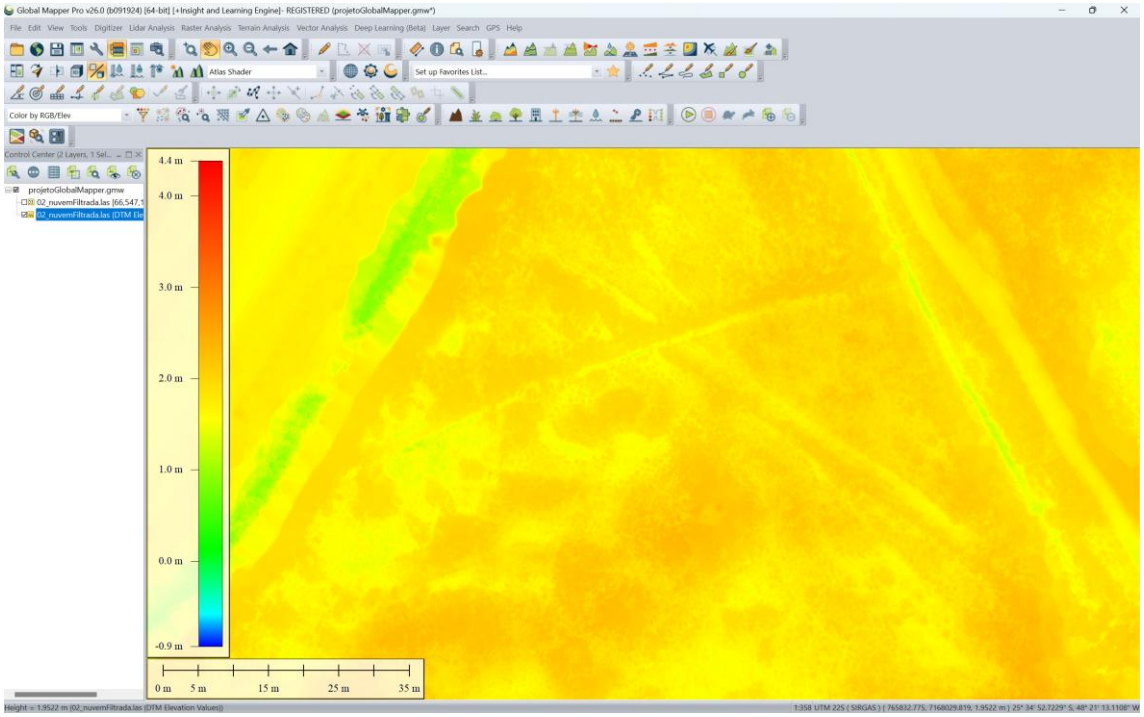


Figura 54. Excerto de um Modelo Digital do Terreno após processamento

As opções que irão surgir na próxima tela são:

Layer: Nome da camada que deseja;

Countour Interval: Define a equidistância entre as curvas. A opção "*Only Generate Contour Lines at Specified Height*" gera curvas apenas para determinada elevação (por exemplo, para gerar isolinhas de maré ou cotas específicas);

Contour Interval Multiplier: Permite definir curvas menores (menor detalhe) e maiores (principais);

Elevation Range: Define o intervalo de altitudes para o qual as curvas serão geradas. A opção “Start at Minimum Elevation...” força o início das curvas exatamente do valor mínimo, mesmo que não seja múltiplo do intervalo.

Resolution: Define a resolução da amostragem;

Resampling: define como o Global Mapper lidará com a interpolação dos dados, se necessário;

Interpolate to Fill Small Gaps in Data: interpola áreas com buracos na superfície de elevação antes de gerar curvas;

Generate Iso-height Areas: cria polígonos ao invés de linhas para áreas entre intervalos;

Create non-overlapping areas: impede sobreposição entre as áreas criadas;

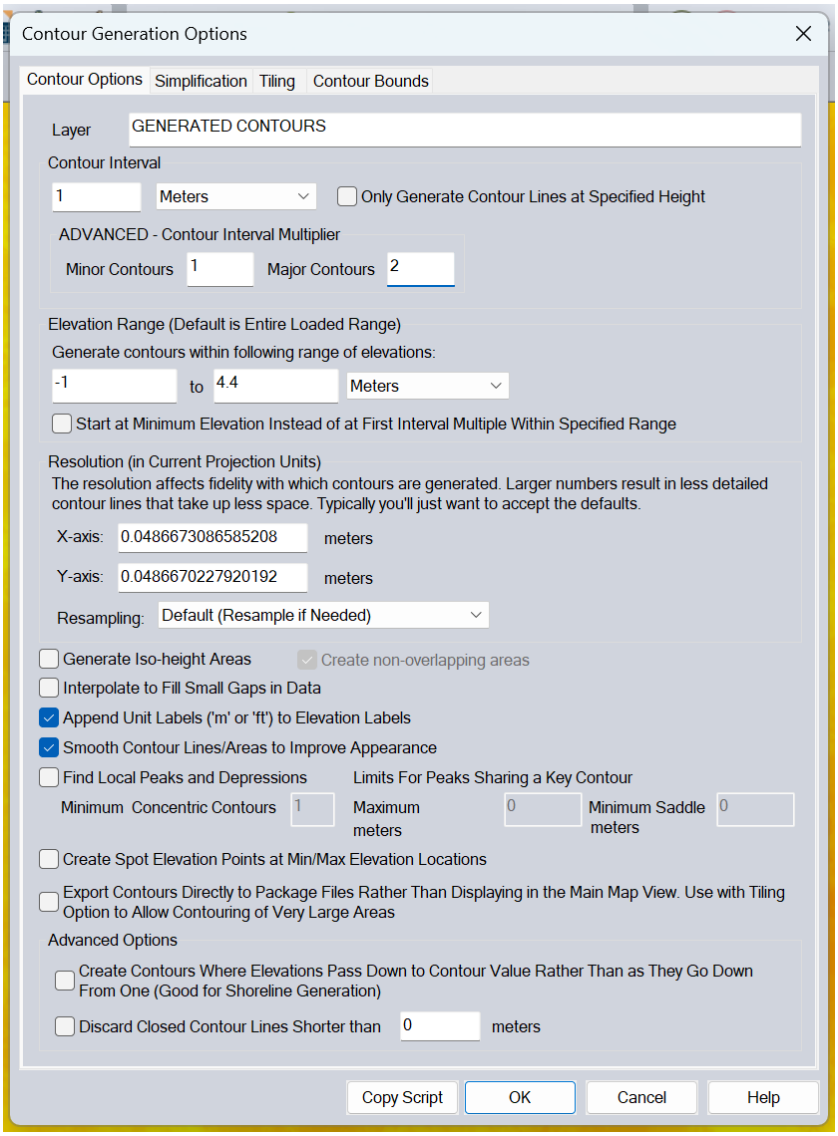


Figura 55. Parâmetros de configuração para extração das curvas de nível no Global Mapper

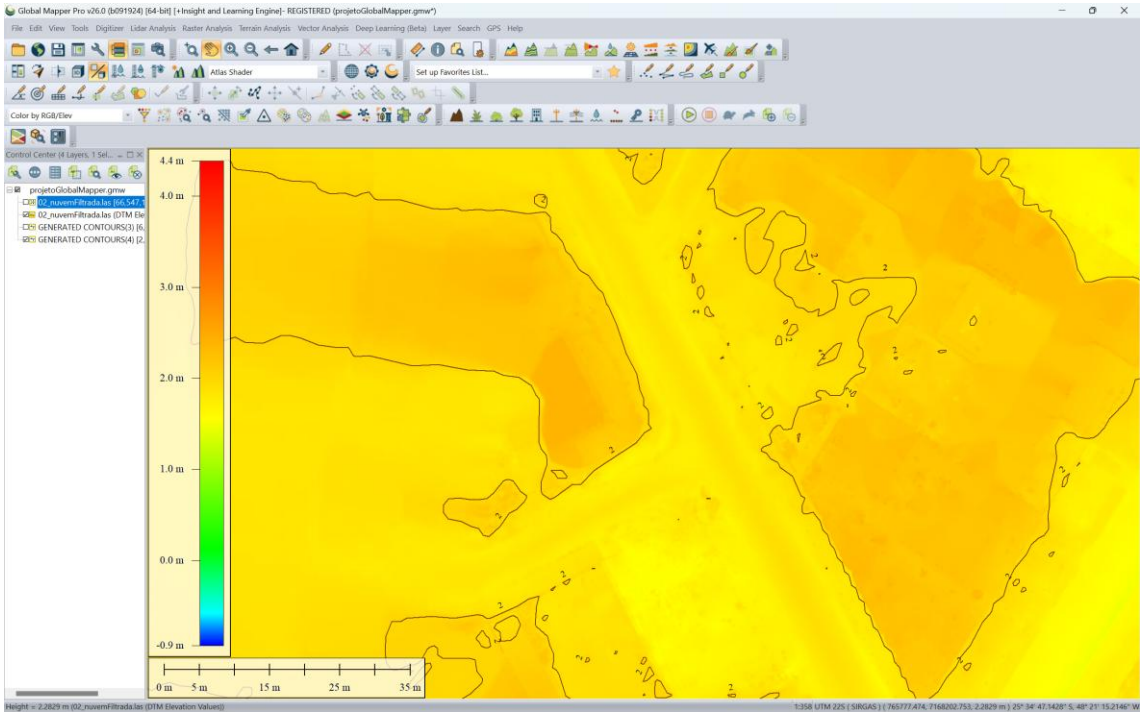


Figura 56. Curvas de Nível geradas no Global Mapper

Para exportar o dado recém gerado, clique com o botão direito sobre o dado, depois *Layer → Export.*

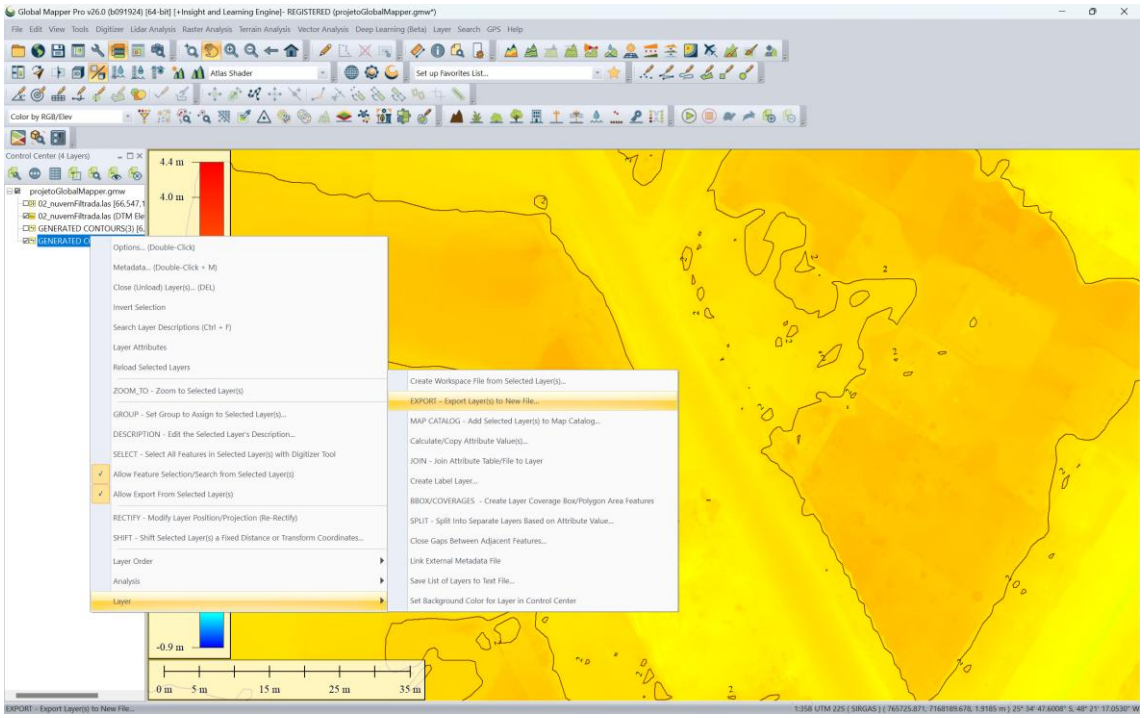


Figura 57. Caminho para exportação do dado de curvas de nível gerado

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este Procedimento Operacional Padrão foi elaborado com o objetivo de oferecer diretrizes para o processamento de dados LiDAR, consolidando orientações que assegurem a qualidade técnica e a consistência dos produtos gerados em levantamentos realizados pela Secretaria do Patrimônio da União, fruto da parceria com a Universidade Federal do Paraná.

Ao longo de cada etapa descrita, desde a coleta organizada dos dados em campo até o processamento detalhado no DJI Terra, fica evidente o cuidado em adotar práticas que garantam qualidade e confiabilidade dos produtos cartográficos.

Cada configuração ou parâmetro ajustado é uma decisão que influencia diretamente a qualidade final do produto, assim o responsável pelo processamento deve identificar inconsistências e, quando necessário, ajustar e reprocessar os dados até que se atinja o nível de confiabilidade desejado.

Por fim, destaca-se que esse documento deve ser constantemente revisitado, atualizado e aprimorado, acompanhando a evolução tecnológica, a disponibilidade de novos softwares, novas ferramentas e procedimentos e considerando as demandas dos projetos e o crescimento profissional de todos que o utilizam. Para manter sempre o compromisso coletivo de entregar produtos geoespaciais de qualidade.

