

# **AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DOS PRODUTOS GERADOS POR DRONE COMO SUPORTE À PROSPECÇÃO E EXPLORAÇÃO MINERAL: ESTUDO DE CASO EM UMA SEÇÃO NA REGIÃO DE NOVA LIMA – MINAS GERAIS**

*EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF DRONE-GENERATED PRODUCTS AS SUPPORT FOR MINERAL PROSPECTING AND EXPLORATION: CASE STUDY IN THE REGION OF NOVA LIMA – MINAS GERAIS*

**Gabriele Santiago BORGES<sup>1</sup>, Danilo Marques de MAGALHÃES<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais. DEMIN. Departamento de Engenharia de Minas. Câmpus Pampulha. Avenida Antônio Carlos, 6627. Belo Horizonte – MG. E-mail: gabrieleborgesgeo@gmail.com

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista. IGCE. Departamento de Geografia e Planejamento Ambiental. Avenida 24-A, 1.515. Rio Claro – SP. E-mail: danilommagalhaes@gmail.com

Introdução  
Caracterização da área de estudo  
Materiais e métodos  
Plano de voo  
Trabalho de campo – aerolevanteamento  
Processamento das imagens obtidas pelo drone  
Resultados e discussões  
Análise comparativa: imagem de satélite x drone  
Topografia da área de estudo  
Avaliação das feições geológicas, geomorfológicas e pedológicas  
Delimitação e mensuração de um possível prospecto mineral  
Cálculos em estruturas de interesse utilizando o Agisoft  
Conclusão  
Referências

**RESUMO** - As Aeronaves Remotamente Pilotadas (do inglês *Remotely Piloted Aircraft* – RPA), popularmente conhecidas como Drone, vêm sendo amplamente utilizadas na mineração, cujo cenário competitivo requer otimização do desempenho operacional aliado a custos atrativos. Buscando entender como uma RPA pode auxiliar na realização de estudos na prospecção e exploração mineral, o presente trabalho utilizou essa ferramenta para realizar um aerolevanteamento em uma área com potencial para exploração do minério de ferro, localizada no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. O objetivo foi avaliar os produtos gerados por um drone da linha consumidor como suporte à prospecção mineral. Especificamente, objetivou-se avaliar se esses produtos favorecem a uma melhor e mais assertiva caracterização geológica e geomorfológica da região, se comparado aos dados espaciais disponíveis, no contexto da prospecção e exploração mineral. Para isso, foram gerados Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno (MDT) e Modelo 3D Texturizado. Os resultados permitiram identificar com maior clareza as principais feições geológicas e geomorfológicas e, portanto, o drone se mostrou como uma interessante ferramenta complementar para os trabalhos de prospecção e exploração mineral, sendo destacados ganhos de eficiência e custos competitivos em relação aos levantamentos convencionais de campo.

**Palavras-chave:** Drone. RPA. Prospecção e exploração mineral. Aerolevanteamento.

**ABSTRACT** - Remotely Piloted Aircraft (RPA), popularly known as Drones, have been widely used in mining, whose competitive scenario requires operational performance optimization combined with attractive costs. Aiming to understand how an RPA can assist in carrying out studies in mineral prospecting and exploration, this study used this tool to perform an aerial survey in an area with potential for iron ore exploration, located in the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. The objective was to evaluate the products generated by a consumer-grade drone as support for mineral prospecting. Specifically, the aim was to assess whether these products favor a better and more assertive geological and geomorphological characterization of the region, when compared to the available spatial data, in the context of mineral prospecting and exploration. For this, an Orthomosaic, Digital Terrain Model (DTM), and Textured 3D Model were generated. The results allowed for the identification of the main geological and geomorphological features with greater clarity and, therefore, the drone proved to be an interesting complementary tool for prospecting and mineral exploration work, highlighting efficiency gains and competitive costs to conventional field surveys.

**Keywords:** Drone. RPA. Mineral prospecting and exploration. Aerial Survey.

## **INTRODUÇÃO**

A prospecção mineral constitui a primeira fase da mineração e é utilizada para planejar os trabalhos para a descoberta de um depósito mineral e, também, programar e executar os serviços de quantificação e qualificação das reservas encon-

tradas nesse depósito. Esses serviços compreendem, entre outros, a seleção da área a ser detalhada, a definição da equipe e maquinário necessários, a realização dos trabalhos exploratórios e de detalhamento, de sondagem e abertura de trincheiras,

a coleta de amostras representativas e a verificação da viabilidade da lavra do depósito encontrado com base nas reservas delimitadas (Maranhão, 1985).

Diante de um cenário de grande competitividade, as empresas do setor minerário que optam por investir ou aplicar recursos tecnológicos, se sobressaem poupando em cada etapa tempo, trabalho e recursos. Durante a etapa de prospecção, o prospector deve escolher os meios técnicos mais eficazes em relação à sua área de interesse. Uma das tecnologias mais recentes é a Aeronave Remotamente Pilotada RPA (do inglês *Remotely Piloted Aircraft* – RPA), popularmente conhecida como drone.

Essas aeronaves são equipadas com diversos recursos geotecnológicos, como câmeras multiespectrais, radares, LiDAR, receptores GNSS, dentre outros, que são úteis para distintas aplicações. Elas podem ser classificadas com base na autonomia de voo, peso máximo de decolagem, tamanho, fonte de energia e tipo de asas (fixas, rotativas e mistas). Os drones de asas rotativas são, normalmente, mais utilizados em voos curtos e/ou muito próximos aos alvos de estudo, onde o operador pode executar manobras complexas e voar com baixa velocidade. Já os de asas fixas, em função da aerodinâmica semelhante à dos aviões, são aptos para voos de longo alcance e, portanto, voam em maiores velocidades e podem recobrir grandes áreas (Addati & Pérez-Lance, 2014).

Nos últimos anos, esses equipamentos vêm se destacando como ferramentas para a coleta de dados espaciais, sendo que uma gama significativa de estudos destaca as vantagens observadas na utilização desse equipamento (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010). Dentre elas, destacam-se a agilidade na coleta de dados; a satisfatória acurácia posicional planimétrica e altimétrica (Magalhães & Moura, 2018); o custo relativamente acessível se comparado aos métodos tradicionais de aerofotogrametria e agrimensura (Westoby et al. 2012); a adaptabilidade dos planos de voo em relação ao objeto de estudo; a autonomia do usuário na realização dos aerolevantamentos (Zhu et al., 2010).

Na prospecção mineral, os drones podem ser

utilizados como importantes ferramentas para auxiliar: a seleção de novos alvos, o mapeamento para exploração mineral e avaliação de reservas (Vale, 2018), o mapeamento estrutural e litoes-trutural, a identificação de falhas, a análise da geo-metria dos corpos e litologias associadas (Melo et al., 2015; Menezes et al., 2019), a caracterização geomorfológica e geológica (Luz & Antunes, 2015), bem como o cálculo da geometria e do volume de estruturas de interesse (Silva et al., 2016). Esses estudos mostram que os produtos obtidos possuem resultados satisfatórios, mesmo quando não são utilizados pontos de controle coletados com receptores GNSS no solo para melhoria do georreferenciamento dos produtos.

Diante do contexto apresentado, este trabalho teve como objetivo principal avaliar os produtos gerados por um drone da linha consumidor como suporte à prospecção mineral. Os objetivos específicos foram avaliar se esses produtos favorecem a uma melhor e mais assertiva caracterização geológica e geomorfológica no contexto da prospecção e exploração mineral. Além disso, buscou-se comparar os produtos gerados a partir do aerolevantamento com o drone com os dados coletados em escala regional, a fim de se identificar vantagens e limitações dessa recente geotecnologia em relação aos métodos predecessores.

Para isso, foram analisadas as feições geológicas e geomorfológicas identificáveis nos produtos gerados a partir do aerolevantamento com o drone, que são o Ortomosaico, o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Modelo 3D Texturizado. Essas informações foram comparadas àquelas possíveis de se extrair a partir de dados coletados em escala regional, verificando quais ganhos resultaram em relação ao processo de prospecção mineral tradicional.

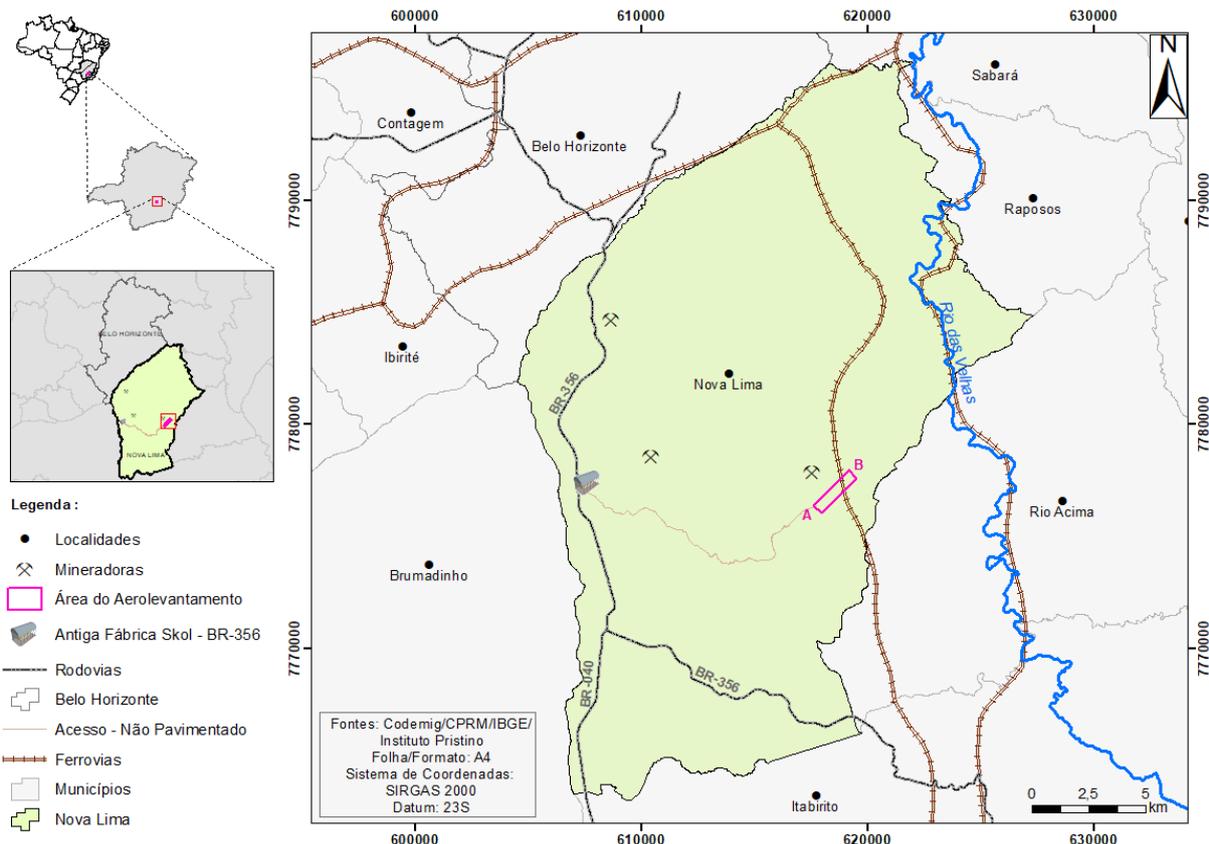
Destaca-se que nas etapas de prospecção mineral de uma região, é necessário utilizar uma escala de detalhe, sendo também indispensável o reconhecimento do comportamento do relevo, visto que há uma forte relação entre a topografia e as litologias existentes (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010).

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo consiste em uma poligonal de, aproximadamente, 111 ha localizada em Nova Lima, Minas Gerais (MG), próximo às minas de minério de ferro da Vale (Mutuca e Tamanduá) e esteatito (conhecida popularmente

como “pedra-sabão”). As coordenadas centrais da área são UTM: 618.482E e 7.777.085S, fuso 23K. A figura 1 apresenta o mapa de localização da área.

De forma resumida, a estratigrafia do QF, como

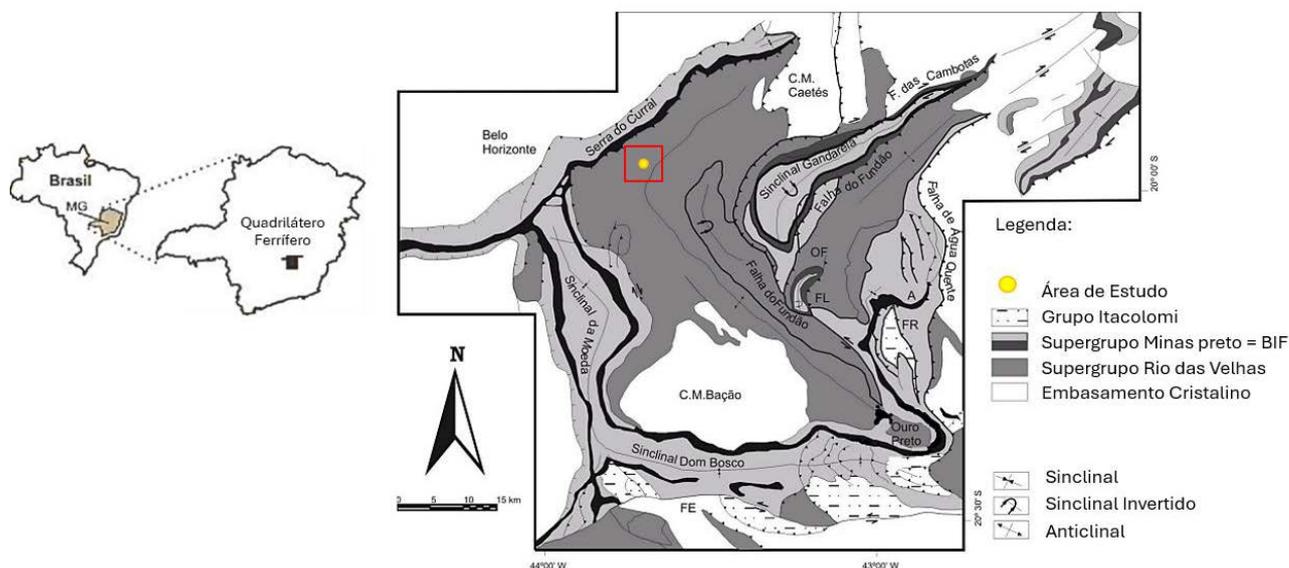


**Figura 1** – Mapa da região de Nova Lima, com localização da área de estudo (em vermelho).

apresentado na figura 2, é classificada em Embasamento Cristalino (complexos metamórficos de idade arqueana), Supergrupo Rio das Velhas (SGRV) *Greenstone-Belts* arqueanos, e Supracrustais do Paleoproterozoico, pertencentes ao Supergrupo Minas e Grupo Itacolomi (Hasui, 2012; Salgado, 2006, Varajão, 1991).

A área de estudo é contemplada pelo Grupo Nova Lima (base do SGRV) e pelo Complexo Córrego dos Boiadeiros (base do Grupo Nova

Lima) (Zuchetti & Baltazar, 2000). O Grupo Nova Lima é composto por xistos, filitos, formação ferrífera, metabasalto, Formação Ferrífera Bandada (do inglês *Banded Iron Formation* – BIF), metachert e metabasalto komatiítico. No Complexo Córrego dos Boiadeiros, são encontradas rochas metavulcânicas komatiíticas, representadas pelos talco-xistos, serpentinitos, esteatitos e metagabros (Alkmim & Marshak, 1998).



**Figura 2** - Mapa Estratigráfico do Quadrilátero Ferrífero com destaque para a área de estudo (Adaptado de Alkmim & Marshak, 1998).

Em relação à geomorfologia regional, as principais serras no QF, como a Serra do Curral, a Serra da Moeda e a Serra do Gandarela, se localizam em rochas do Supergrupo Minas (Noce, 1995). A sua formação pode ser entendida por serem compostas por rochas mais resistentes aos processos erosivos, como os quartzitos e as formações ferríferas. Já o Complexo Granito-Gnáissico e o SGRV são encontrados nos terrenos mais rebaixados e apresentam litologias mais erodidas. Ou seja, o contraste de resistência entre os litotipos estão intimamente ligados ao controle litoestrutural a que o QF foi submetido, podendo ser conferido pelas diferenças de altitude em seu relevo. Destaca-se que as rochas mais resistentes são os quartzitos e itabiritos. Já os xistos, filitos e granitos gnáisses, são classificados como litotipos menos competentes (Hasui, 2012, Salgado, 2006; Varajão, 1991).

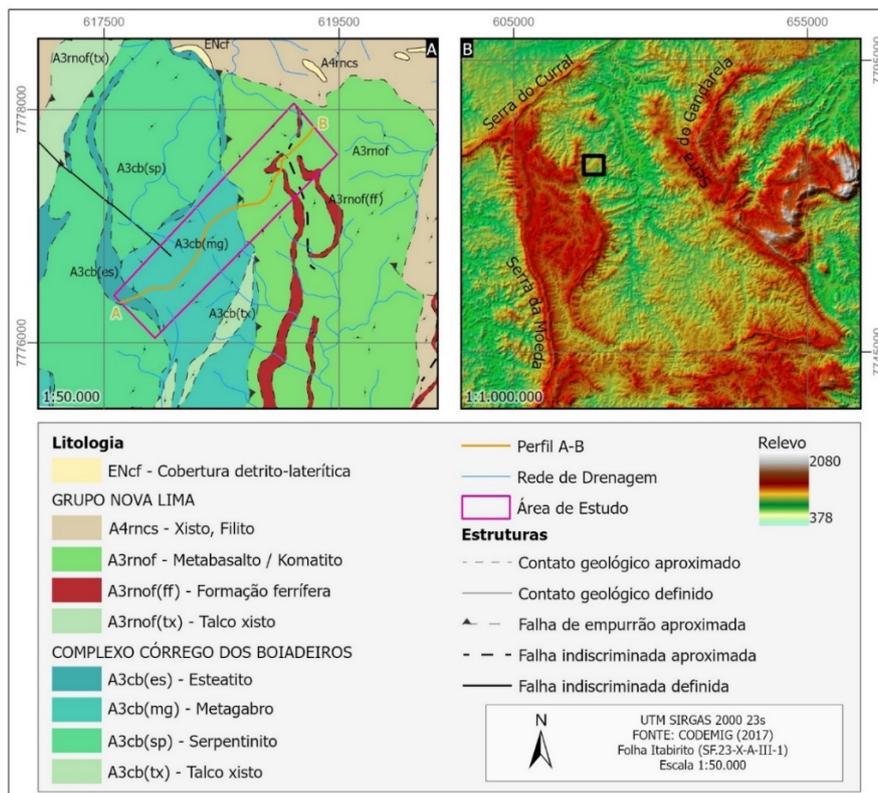
O relevo do QF é proveniente da erosão diferencial, sendo bem marcado devido à diferenciação das litologias (Tricart, 1961). Em terrenos mais elevados, como nas cristas das serras, são identificados quartzitos e itabiritos; nas porções intermediárias, são encontrados xistos e filitos; já nos interiores dos anticlinais e sinclinais invertidos e nas terras mais baixas, são encontradas rochas de composição gnáissica.

A partir de um levantamento radiométrico realizado na área (Borges et al. 2018), conforme a

bibliografia disponível (Zuchetti & Baltazar, 2000), e o Projeto Triângulo Mineiro (CODEMIG, 2017), as litologias encontradas na região de estudo são em sua maioria, representadas por xisto/filito, seguidas por metabasalto, metabasalto/komatiito, formação ferrífera bandada (BIF), metagabro e esteatito. Os dados levantados em campo, indicam que os solos alterados, são provenientes de rochas vulcânicas e sedimentares, afetadas por metamorfismo de baixo grau (Alkmim & Marshak, 1998). A identificação das litologias só foi possível pela observação da alteração dos minerais como quartzo, clorita, biotita, muscovita, carbonato, plagioclásio e feldspato, pois, no geral, a região de estudo apresenta alto grau de alteração das rochas por ação intempérica e com poucos afloramentos íntegros.

A BIF, de origem metassedimentar (Zuchetti & Baltazar, 2000), foi encontrada na área estudada, em um afloramento íntegro. Nas proximidades desse afloramento, são observados fortes processos intempéricos representados pelos latossolos gradacionais vermelhos e amarelados, em sua maioria, com presença de manganês (Borges et al. 2018).

A figura 3 apresenta a litologia e o MDT da área de estudo e seu entorno imediato, sendo destacados na legenda o Grupo Nova Lima e o Complexo Córrego dos Boiadeiros, principais unidades litológicas presentes na área de estudo onde foi realizado o aerolevantamento.



**Figura 3** – Mapa Geológico simplificado (A) e MDT (B) da área de estudo e seu entorno imediato (Adaptado de CODEMIG, 2017).

Conforme mapas em escala regional da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), a região apresenta solos do tipo Cambissolo Háplico. Contudo, localmente, observou-se que esses solos estão limitados às

encostas de maior declividade, sendo que a área de estudo é composta, majoritariamente, por solos profundos e bem drenados, com horizonte B bem desenvolvido, classificados como Latossolos (Resende et al., 2022; Borges et al. 2018).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Os tópicos a seguir, descrevem os materiais e métodos utilizados no levantamento das informações (pré-campo), etapa de campo e processamento (etapa de gabinete).

### Plano de voo

O planejamento do voo se deu, inicialmente, a partir da vetorização de um polígono delimitador da área de estudo com auxílio do *software* Google Earth. O arquivo gerado no formato de KML foi, num segundo momento, utilizado como referência para o planejamento das linhas de voo no aplicativo controlador de voo MapPilot Pro, conforme

experiência apresentada por Magalhães (2021).

A figura 4 apresenta as linhas de voo e o status da aeronave na fase inicial do aerolevanteamento. Destaca-se a altura do voo em relação ao ponto de decolagem (AGL – *Above Ground Level*) de 148,5 m, o que indica uma correção da altura de voo a partir da função *terrain aware*.

A figura mostra, ainda, o funcionamento da câmera do drone, a distância percorrida, a velocidade, a quantidade de imagens coletadas, o nível de bateria, o número de satélites disponíveis, dentre outras informações necessária ao voo.



**Figura 4** – Tela do aplicativo MapPilot Pro apresentando o status do voo na fase inicial do aerolevanteamento.

Foi utilizado um drone de linha consumidor modelo Phantom 4 Pro, da marca DJI, classe 3 (equipamento com peso máximo de decolagem maior que 250g e até 25 kg.), conforme classificação da Agência Nacional de Aviação (ANAC, 2017).

### Trabalho de campo – aerolevanteamento

O aerolevanteamento foi realizado no dia 30 de outubro de 2021, em horário próximo ao meio-dia (Figura 5), visando minimizar os efeitos negativos para a modelagem da superfície causados pelas sombras da vegetação ou de relevo nas imagens aéreas (Aber et al., 2010, Magalhães, 2021). O tempo total de voo foi de, aproximadamente, 40 minutos e foram necessárias duas baterias do drone para recobrir toda a área.

O voo foi realizado a uma altura de 150 metros

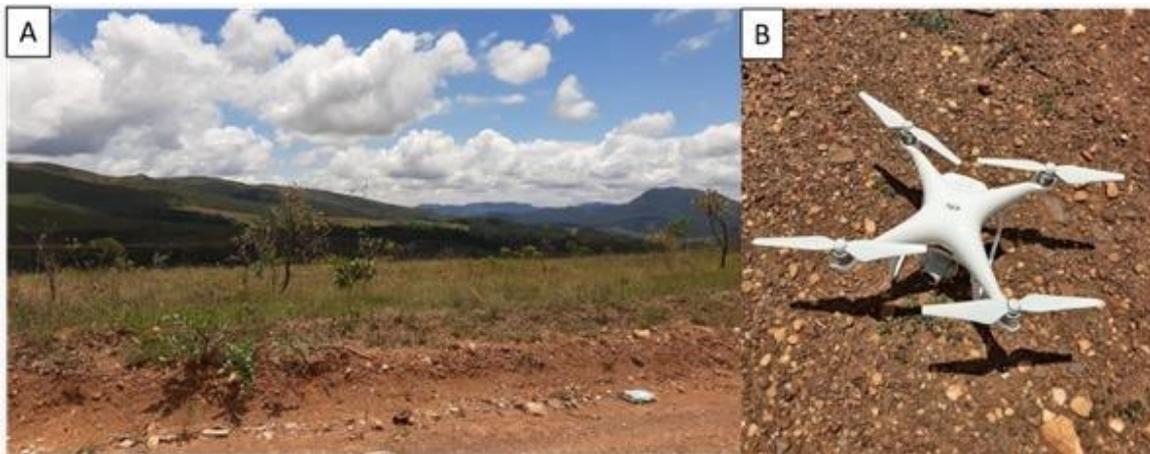
em relação ao solo, utilizando-se a função *Terrain Aware*, disponível no aplicativo *Map Pilot Pro*, que corrige a altitude de voo da aeronave para mantê-la a uma distância constante em relação à superfície. Isso é realizado a partir da análise da topografia com base em uma imagem SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e tem por objetivo reduzir distorções na modelagem tridimensional da superfície que são causadas pelas variações do GSD (*Ground Sample Distance*) das imagens, que oscilam de acordo com a variação da altura da aeronave em relação à superfície (Magalhães, 2021).

Foram adotadas a sobreposição frontal (*front overlap*) e lateral (*side overlap*) de 75% em ângulo NADIR (90° - ponto diretamente abaixo da câmera no nível do solo), conforme experiência apresentada em trabalho anterior

(Magalhães, 2021). Observa-se que não foram coletados GCPs (*Ground Control Points*) - Pontos de Controle no Solo – com receptores GNSS para a melhoria do posicionamento dos produtos gerados, uma vez que não se dispunha

desse equipamento.

Os resultados gerados, portanto, são analisados considerando o erro médio de deslocamento horizontal e vertical comum para esse tipo de aeronave.



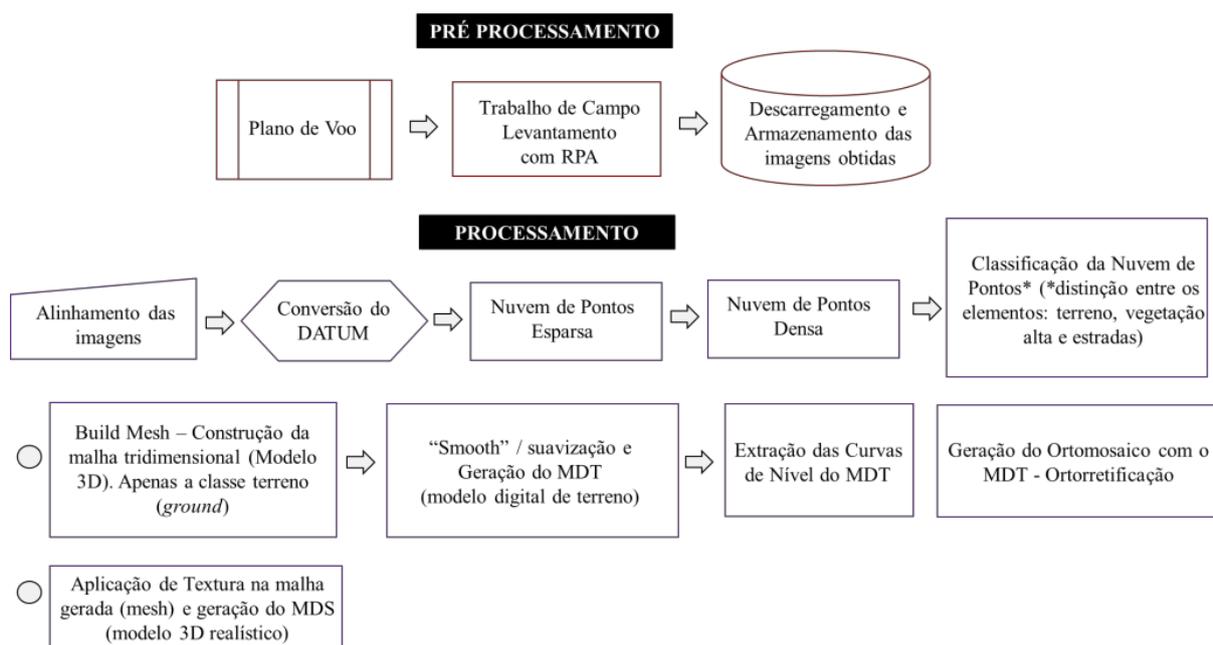
**Figura 5** - Em A: Área de estudo em condições climáticas favoráveis. Em B: Drone em solo.

### Processamento das Imagens Obtidas pelo drone

O processamento das fotos aéreas foi realizado no *software* Agisoft Metashape que utiliza do método fotogramétrico conhecido como *Structure from Motion (SfM)* para reconstruir, tridimensionalmente, os elementos visíveis nas imagens. O processo é realizado por meio da identificação de pontos homólogos presentes em diferentes fotografias, tomadas de diferentes pontos, posições e orientações, e da projeção desses pontos em um espaço tridimensional, criando, assim os pontos de amarração (*tie points*) que irá formar a nuvem de pontos densa e, posteriormente, o modelo 3D dos elementos imageados (Magalhães, 2021; Lopes, 2015).

Foram necessárias 578 fotos aéreas para recobrir uma área de 110,8 hectares e, a partir do seu processamento e geração dos produtos supramencionados, foi possível extrair informações georreferenciadas, criar perfis topográficos e calcular áreas e volumes de áreas de interesse.

Foram gerados, também, mapas temáticos e comparativos, elaborados no *software* ArcGIS, utilizando arquivos vetoriais e raster (MDE) em escala regional (1.100.000) que integram o Projeto Triângulo Mineiro da CODEMIG (2017). A figura 6 a apresenta o fluxograma das etapas de pré-processamento e processamento das imagens do aerolevanteamento.



**Figura 6** - Fluxograma das etapas do trabalho. Fonte: Autores.

Os subtópicos A a H, a seguir, detalham os procedimentos adotados durante o processamento.

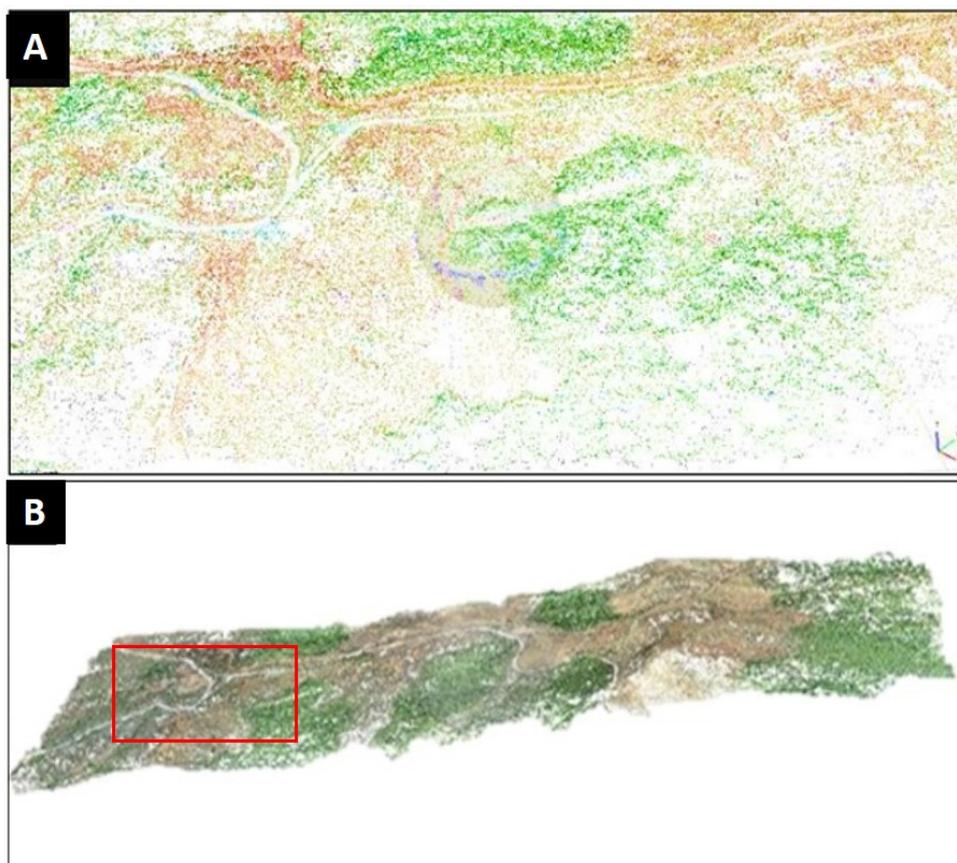
#### A. Alinhamento das imagens

As imagens do aerolevanteamento foram pré-alinhadas no *software* em baixa resolução para otimizar o tempo de processamento, uma vez que

não há prejuízos para acurácia do resultado, conforme demonstrado por Magalhães (2021).

#### B. Nuvem de pontos esparsa e conversão do Datum

A partir do alinhamento das imagens, foi gerada a Nuvem de Pontos Esparsa (*tie points*), conforme apresenta a figura 7.



**Figura 7** – *Tie Points* (ou Nuvem de Pontos Esparsa). A: Visão de detalhe. B: Visão geral, com destaque para a área apresentada em A.

Os *tie points* são pontos de “amarração” gerados a partir da identificação de pontos homólogos entre as imagens e armazenam posição tridimensional (XYZ) associada à cor do elemento visível na superfície (RGB) (AGISOFT, 2018). Em seguida, O DATUM foi alterado de WGS84 para SIRGAS 2000 UTM zona 23S. Esse dado é a base para a construção da nuvem de pontos densa que, por sua vez, possibilitará a geração do MDT e Ortomosaico.

#### C. Nuvem de pontos densa

Para a geração da nuvem de pontos densa, foram adotados os parâmetros de qualidade média de processamento e filtro agressivo com a finalidade de simplificar as formas dos elementos de superfície.

Tais escolhas promoveram ganhos em tempo de processamento, menor quantidade de ruídos e, posteriormente, maior precisão na classificação da nuvem de pontos (Figura 8).



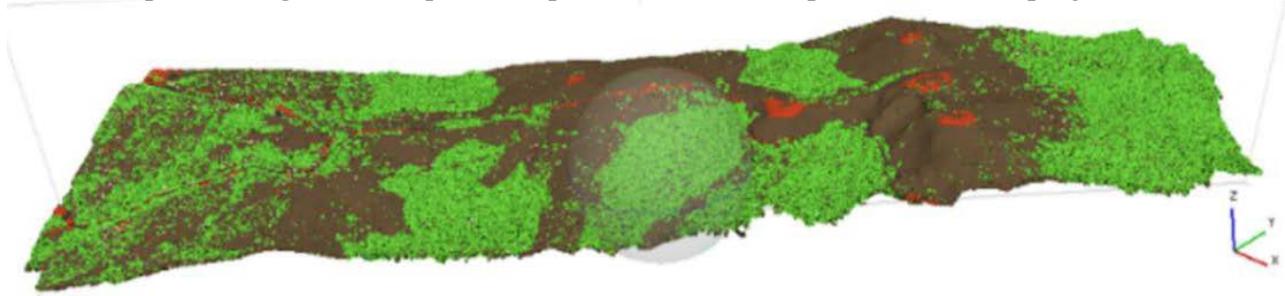
**Figura 8** - Nuvem de Pontos Densa – Vista Lateral Geral.

A nuvem de pontos densa gerada permite visualizar o terreno com maior nível de detalhamento, em relação à nuvem esparsa, uma vez que possui maior adensamento de pontos para espacializar tridimensionalmente os elementos da superfície. Além de servir como base para a elaboração dos demais produtos, a nuvem de pontos densa pode ser classificada para aplicações de uso e cobertura da terra.

#### D. Classificação da nuvem de pontos

Foi realizada a classificação automática da nuvem de pontos (Figura 9), o que foi capaz de

distinguir estradas (cinza escuro), vegetação (verde) e terreno (marrom). Tal procedimento é essencial para a geração do MDT, pois para a geração desse dado faz-se necessário excluir os elementos de superfície, como as vegetações (Oliveira et al., 2017). Na figura 9, notam-se manchas vermelhas que correspondem a edificações que foram classificadas erroneamente pelo *software*, uma vez que essas eram inexistentes na área. Portanto, para a geração do MDT, essa informação foi desconsiderada e os pontos classificados na cor vermelha foram compreendidos como porções do terreno.



**Figura 9** – Nuvem de pontos densa classificada em Terreno (Marrom), Vegetação (Verde), Estradas (Cinza) e Edificações (Vermelho).

#### E. Construção e suavização da *Mesh*

##### Modelo 3D

Após a etapa de classificação da nuvem de pontos, foi construída a *Mesh* (Malha 3D) utilizando apenas as categorias classificadas como “Terreno”, “Estradas” e “Edificações”, visando à geração do MDT. Para a correção dos ruídos resultantes dessa modelagem, a malha foi suavizada aplicando-se a função “*smooth mesh*”. Esse procedimento suaviza as rugosidades do relevo, sendo indicado para a geração de curvas de nível com menor distorções causadas pelos elementos da superfície (Magalhães, 2021).

#### F. Construção do MDT, extração de curvas de nível e geração do Ortomosaico

A figura 10-A apresenta o MDT gerado a partir dos procedimentos supramencionados, sendo as maiores cotas altimétricas representadas por tons mais quentes (vermelho) e as menores por tons mais frios (verde/azul). Com o MDT finalizado, foram geradas as curvas de nível com equidistância de 1 metro, apresentando assim, alto nível de detalhe.

O MDT foi utilizado como referência para ortorretificar o mosaico final, que consiste numa imagem aérea ajustada para uma projeção ortogonal ao terreno (Figura 10-B).

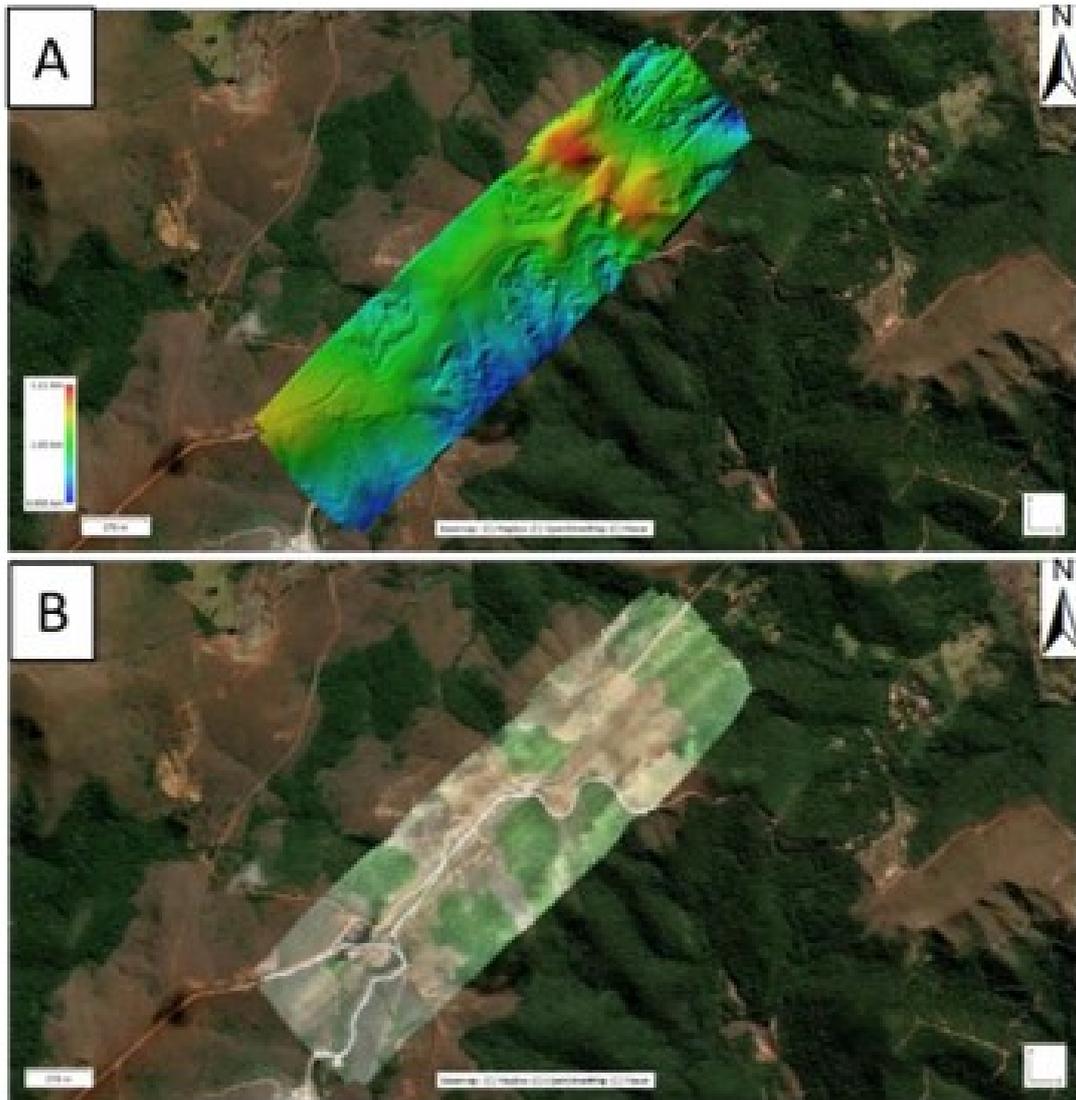
Esses produtos foram base para a classificação do uso e cobertura da terra, sendo possível identificar a predominância das tipologias de solo

exposto, vegetação densa e vegetação rasteira. Tais dados, foram comparados aos resultados encontrados por Borges et al. (2018), em estudo realizado na mesma área.

#### G. Construção do Modelo 3D texturizado

O Modelo 3D Texturizado apresenta, além dos aspectos da topografia, os elementos presentes na superfície modelados tridimensionalmente e texturizados a partir das fotografias aéreas. Esse dado consiste em uma reconstrução realística da área de estudo, conforme pode ser observado na figura 11. O modelo tridimensional foi utilizado como referência para se compreender geomorfologia da área de estudo, pois é possível observar as variações altimétricas, as formas das vertentes e dos topos, associadas ao uso e cobertura da terra.

Tais informações são bases para inferir acerca da presença de drenagens, da presença de afloramentos rochosos, do grau de desenvolvimento dos mantos de intemperismo, dentre outros aspectos. Destaca-se que foi possível categorizar os tipos de vegetação densa (porções verde-escuras e com textura rugosa), vegetação rasteira (porções verde-claras com textura lisa), solo exposto (em tom alaranjado), solo amarelo e solo vermelho (em regiões próximas às formações ferríferas) (Arcanjo, 2011). Essa categorização possibilitou a elaboração de um mapa simplificado com mais classificações de uso e ocupação do solo, ambos, apresentados em resultados e discussões.



**Figura 10** – A: MDT da área de estudo com escala de cores hipsométricas. B: Ortomosaico da área de estudo indicando uso e cobertura da terra atualizado.



**Figura 11** - Modelo 3D Texturizado representando as variações topográficas e o uso e cobertura da terra.

#### H. Cálculo de estruturas de interesse

Por fim, calculado o volume de uma porção do terreno onde há a ocorrência de BIFs, conforme indicado por Borges et al. (2018). A presença de rochas com elevadas concentrações de ferro foi o critério adotado para a seleção deste local como área de teste para a realização da estimativa do volume bruto de um corpo de interesse. Destaca-se que o teste aqui proposto

não visa a uma estimativa precisa do volume do corpo mineral, pois sabe-se que outros parâmetros são necessários para a realização desse cálculo com exatidão. Contudo, a proposta tem por intuito demonstrar a possibilidade de se calcular volumes a partir de dados de topografia de modo bastante ágil e eficaz, sendo esse dado relevante para processos de prospecção e exploração mineral.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As técnicas de detecção remota e processamento de dados, apresentadas anteriormente, geraram produtos que foram analisados através de conceitos básicos de fotogeologia (Arcanjo, 2011), permitindo assim, uma primeira abordagem à caracterização da região. Os resultados e as discussões são apresentados e discutidos a seguir.

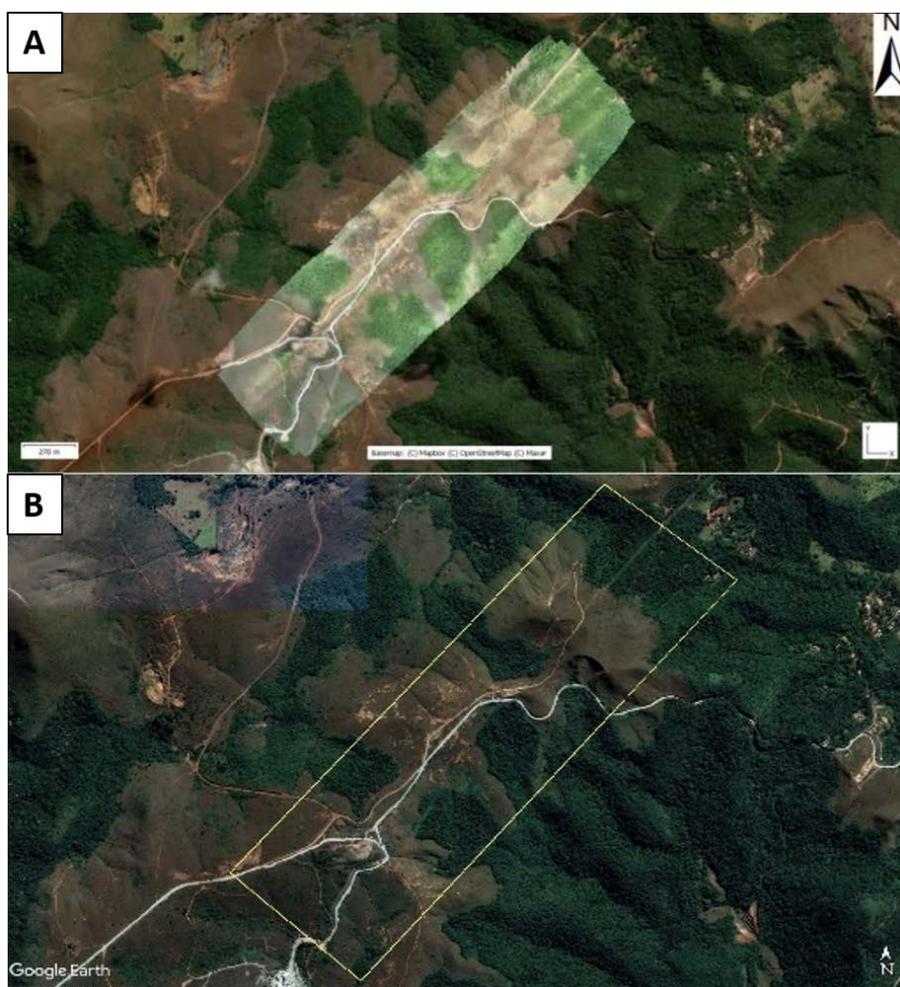
### Análise comparativa: imagem de satélite x drone

Considera-se vantajosa a possibilidade de se gerar ortomosaicos sob demanda, os quais poderão ser atualizados constantemente, conforme a necessidade do usuário. Além disso, é importante destacar a altíssima resolução espacial do ortomosaico (superiores a 5 cm), que permite identificar pequenos elementos presentes na superfície com bastante nitidez.

A diferença da resolução das imagens é evidente ao se comparar as imagens geradas pelo drone com aquelas disponíveis como mapa base no *software* ArcGis, ou para visualização no Google Earth.

A melhor resolução espacial do ortomosaico permite identificar as texturas, tonalidades e feições dos elementos da superfície com maior nível de detalhamento.

Além disso, vale destacar a resolução temporal das imagens de satélite para visualização gratuita, que na maioria das vezes são defasadas em áreas rurais. Destaca-se que mesmo sem a utilização de pontos de controle em solo, o georreferenciamento do ortomosaico não apresenta distorções relevantes em relação à imagem de satélite, conforme apresentado na figura 12.



**Figura 12** – A: Ortomosaico sobre imagem de satélite (out/2021). B: Imagem *Maxar Technologies* (jun/2021) disponível no Google Earth.

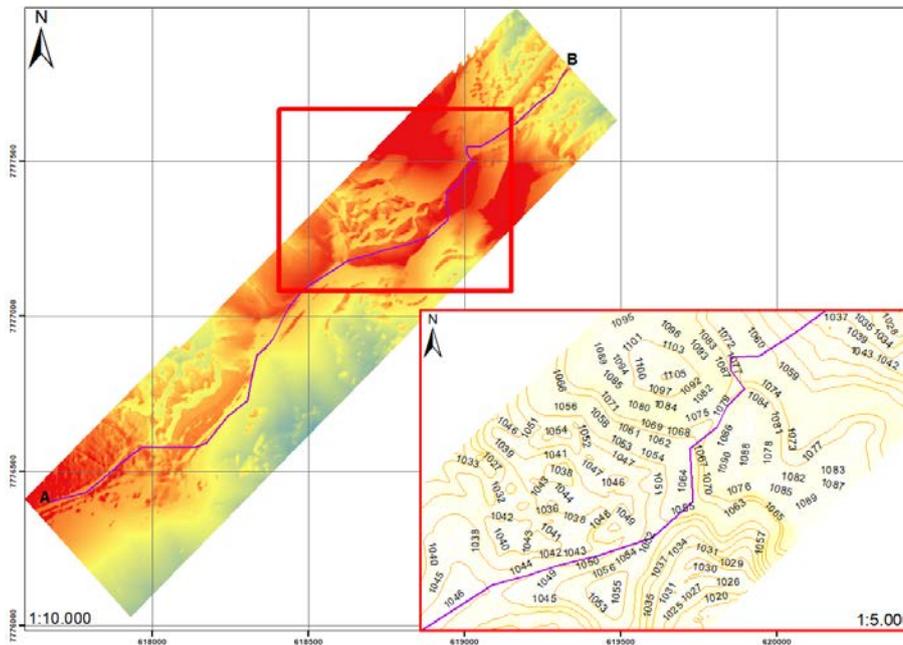
O ortomosaico gerado, pode ser empregado para uma verificação do contexto ambiental da área de modo ágil, sendo possível identificar acessos, presença de vegetação arbórea, arbustiva e rasteiras, rede de drenagens, formas

de relevo e grau de antropização da área. Essas informações são base para a compreensão da área de estudo, de modo geral, e pode favorecer a uma correta seleção de alvos de interesse (anomalias). Dessa forma, contribui para um planejamento

mais assertivo dos possíveis locais para levantamentos geológicos, geoquímicos e geofísicos, execução de trincheiras, poços de pesquisa e sondagem, de forma mais adequada ao cenário da área de estudo (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010).

### Topografia da área de estudo

O mapa topográfico (Figura 13), foi elaborado a partir da extração das curvas de nível equidistantes 1 m, adotando-se o critério de evitar bifurcações e/ou cruzamentos entre si (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010).



**Figura 13** - Mapa topográfico. Detalhe de região com maiores elevações (lado B do perfil).

Entende-se que o resultado encontrado para essa etapa foi satisfatório, sobretudo considerando a agilidade do processo e a capacidade de se gerar curvas de nível com curtas equidistâncias. Vale destacar que a ausência dos pontos de controle não nos permite inferir acerca da acurácia posicional altimétrica do produto gerado.

Mas cabe ressaltar que os modelos 3D gerados por drone mantêm a proporção dos alvos imageados, mesmo sem a utilização dos GCPs, conforme demonstrado por Magalhães & Moura (2018) e Magalhães (2021). Portanto, espera-se um erro na cota absoluta da altimetria do terreno, mas não se espera a formação de distorções no modelo capazes de alterar as proporções dos alvos em relação à realidade. Isso nos permite inferir que o Modelo 3D e as curvas de nível geradas podem ser utilizadas com segurança para o mapeamento das feições geomorfológicas observadas.

A análise dos dados nos indica que o relevo da área é, na maior parte, pouco acidentado, apresentando vertentes mais íngremes na região destacada na figura 13, onde ocorrem as formações ferríferas, com presença de BIF.

Vale destacar que a geração de MDT com drone é complexa, visto que as imagens da câmera convencional capturam a reflectância da

radiação eletromagnética incidente sobre todos os elementos presentes na superfície. Assim, as porções do terreno presente sob os elementos da superfície, como nas áreas vegetadas, são inferidas a partir de uma estimativa feita por interpolação dos dados disponíveis no entorno (ANAC, 2017).

Vale salientar a agilidade e o baixo custo para a realização do mapeamento topográfico com drone, sendo que em todo o processo foram dispendidas 15h de trabalho (2 h de voo + 13 h de processamento) e realizado por duas pessoas, um drone da linha consumidor e um computador pessoal. Caso fosse empregada a metodologia de topografia convencional, tal processo tenderia a demorar algumas semanas, incluindo o tempo para coleta de dados e campo e processamento. Além disso, os custos com a equipe e equipamentos topográficos tenderiam a ser mais elevados.

### Avaliação das feições geológicas, geomorfológicas e pedológicas

Inicialmente os solos da região foram categorizados apenas conforme as tonalidades observadas no ortomosaico e modelo 3D (Figura 14), uma vez que elas podem estar relacionadas com a presença de minerais contidos nos solos e nas rochas, com o teor de humidade, com a presença

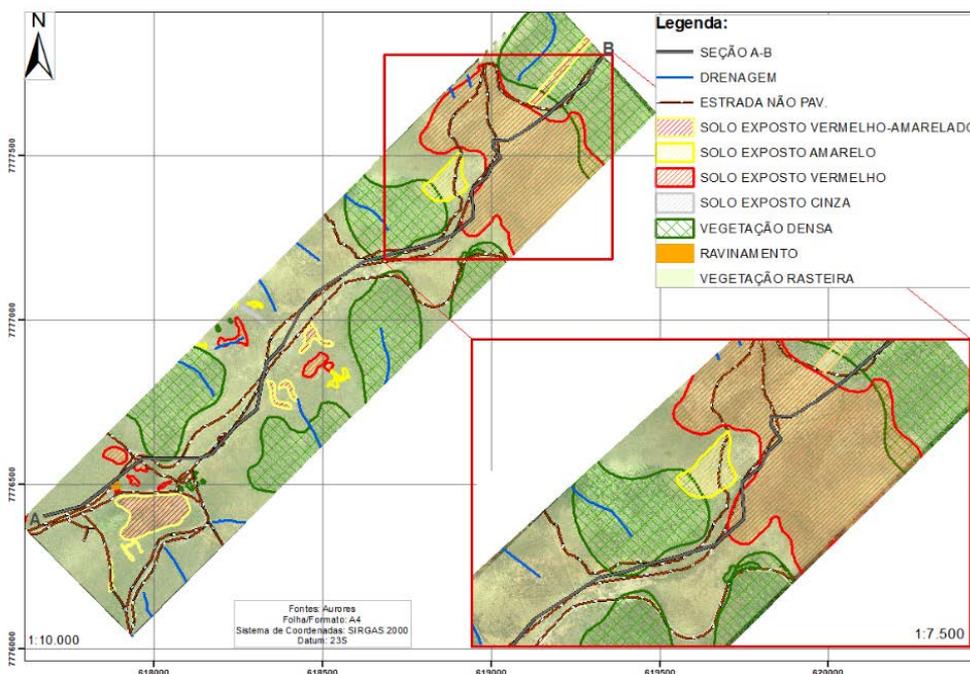
da vegetação e de alterações hidrotermais.

Ressalta-se que quanto maior a espessura do solo, menos precisa é a correlação entre as tonalidades ao seu tipo litológico.

Ao ampliar a escala de visualização do terreno e analisar as diferentes tonalidades, foi confeccionado um mapa preliminar de uso e cobertura da terra (Figura 15).



**Figura 7** - Identificação das regiões conforme variação de tonalidades dos solos no Modelo 3D. As setas indicam a posição dos elementos destacados na figura.



**Figura 8** - Mapa de Uso e Cobertura da Terra gerado por fotointerpretação, considerando as variações de textura e tonalidade dos elementos visíveis no Modelo 3D.

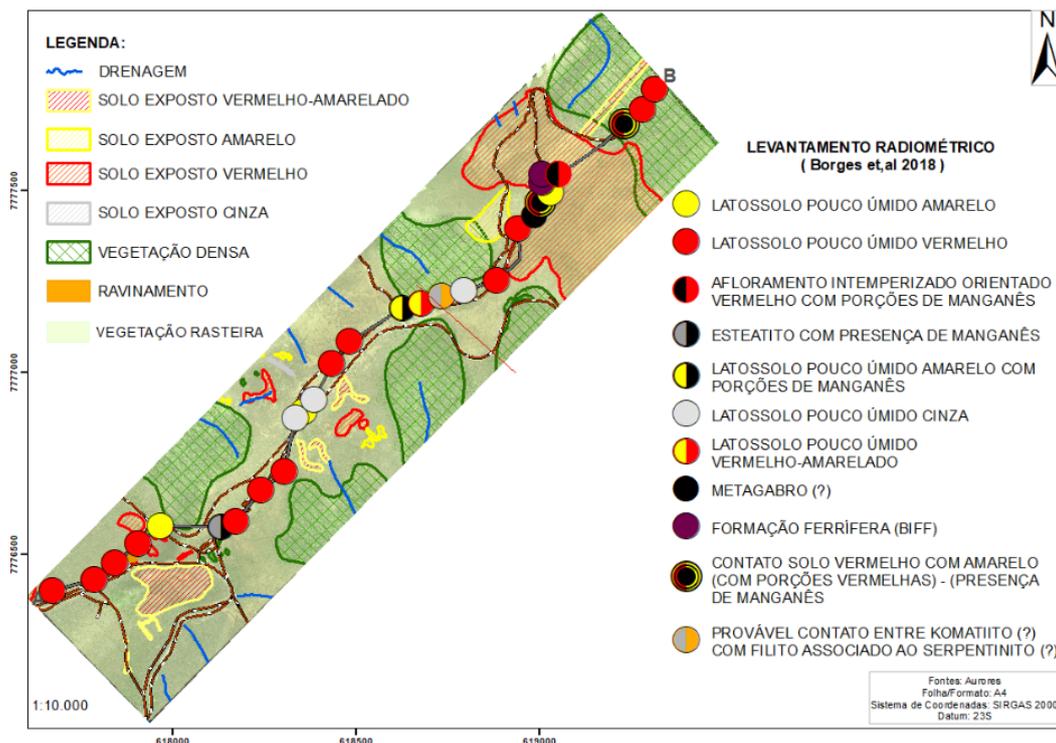
O mapa de Uso e Cobertura da Terra apresenta a caracterização dos solos da região de estudo presente no Supergrupo Nova Lima, que por sua vez apresentam latossolos (solos bem desenvolvidos) e com pouca ou nenhuma matéria proveniente da rocha mãe.

O trabalho elaborado por Borges et al. (2018) promoveu um levantamento radiométrico terrestre na área estudada e os autores descreveram a região como uma área de rochas fortemente intemperizadas onde há a formação de latossolos,

em sua maioria de coloração vermelha, amarela e vermelha-amarelada.

As litologias mais competentes (BIFs), são encontradas nas regiões de pico, enquanto as rochas menos competentes, como os xistos e filitos e/ou serpentinitos, encontram-se em colúvios.

A figura 16 apresenta o cruzamento das informações obtidas a partir do mapeamento do Uso e Cobertura da Terra com as informações da geologia local (Borges et al., 2018) e regional (CODEMIG, 2017) da região.



**Figura 9** - Mapa de Uso e Cobertura da Terra correlacionando com o mapeamento radiométrico elaborado por Borges et al. (2018).

Um dos tipos de solos identificados no mapa foi o latossolo vermelho. Esse tipo de solo possui em sua composição um alto conteúdo de ferro que inibe a fertilização e consequentemente diminui a presença de vegetação (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010). O levantamento radiométrico terrestre elaborado por Borges et al. (2018) confirma essa expectativa, uma vez que foi encontrado metagabro (alto teor de ferro) e BIF nessa região.

Os latossolos amarelos e vermelhos amarelados indicam presença de minerais oriundos de ferro hidratado, e contêm materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares (EMBRAPA, 2006). Onde ocorrem esses latossolos, foram observadas vegetações melhor desenvolvidas e/ou região de transição entre solos, o que foi também confirmado por Borges et al. (2018). Essa correlação de solo identificada por Borges et al. (2018) e o aerolevanteamento se dá ao observar que esses são solos que apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e boa permeabilidade.

Os latossolos cinzas indicam intenso processo de desferrificação, caracterizado pela ausência de  $Fe^{3+}$ , com ou sem presença do  $Fe^{2+}$  (EMBRAPA, 2006), o que gera as cores acinzentadas. A ausência dos óxidos de Fe, demonstram que este solo esteve por longo período sob condições redutoras de oxigênio.

O latossolo cinza identificado pelo aerolevanteamento e o mapeamento terrestre (Borges et al.,

2018), estão sobre vegetação rasteira e fora da região de abrangência da BIF, sendo, portanto, coerente com a caracterização deste solo.

A presença de um padrão de drenagem de média densidade e de lineamentos indicam rochas provenientes de ambientes metamórficos, o que pode ser constatado em Borges et al. (2018) e CODEMIG (2017). Ampliando a escala de visualização, são notados processos erosivos e marcas de ravinamento ao longo da área de estudo, como apresentado na figura 17. Os processos erosivos, como os ravinamentos, podem indicar alterações na paisagem decorrente da atividade antrópica e, portanto, podem auxiliar na caracterização da área quanto ao seu grau de alteração.

Esses processos também servem de marcadores da resistência das rochas, isto é, em regiões com menor ocorrência de erosão, predominam rochas mais resistentes ao intemperismo. Minerais constituintes de rochas metamórficas, como os xistos presentes na área, são formados em elevadas temperaturas e/ou, elevadas pressões, e se tornam instáveis quando expostos a superfície, sendo alterados mais rapidamente (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010; Noce, 1995).

A identificação de lineamentos auxilia a uma rápida interpretação estrutural da região. A interpretação de estruturas, permite identificar os alvos em depósitos minerais onde o controle estrutural influencia diretamente na acumulação



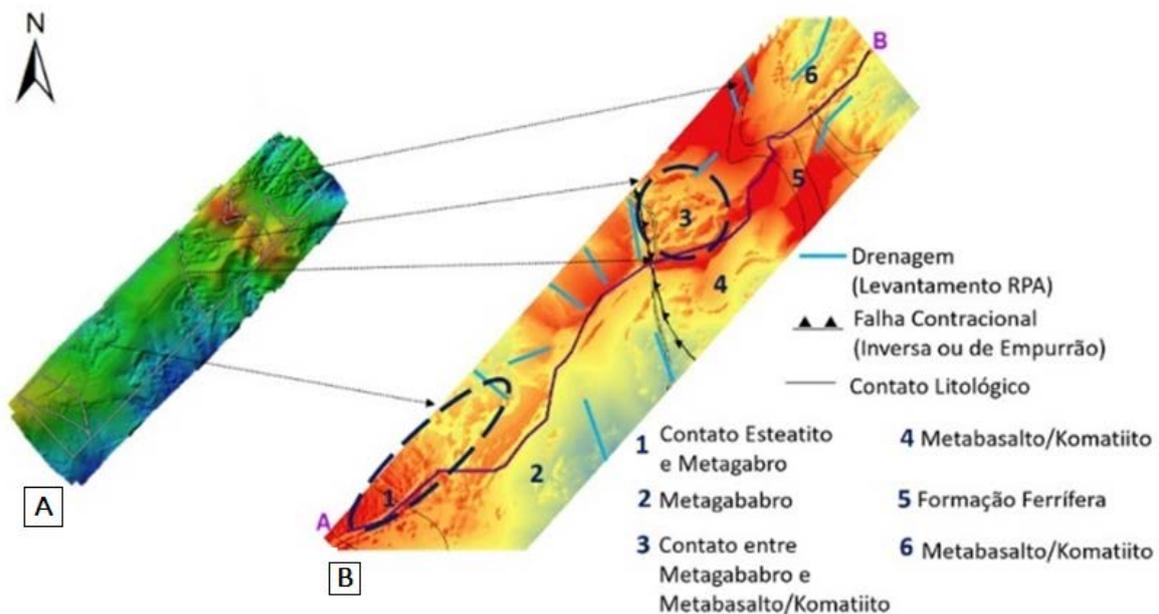
**Figura 10** – Marcas de ravinas indicando a presença de processos erosivos.

do recurso mineral de interesse, como linhas de charneira de dobras (para minério de scheelita), zonas de cisalhamento, fraturas e falhas (para minério de ouro) (Cavalcanti Neto & Rocha, 2010).

O MDT gerado (Figura 18) proporciona a visualização do terreno, onde cores mais frias, como azul e verde indicam regiões com cotas altimétricas mais baixas, ao passo que, as cores mais quentes, como o vermelho, destacam as maiores elevações. A elevada resolução espacial do modelo permite identificar pequenos vales, e a rede de drenagens intermitente e perene, bem como as rugosidades do relevo, as formas das vertentes e as regiões de prováveis falhamentos estruturais regionais.

Essas feições estão intimamente ligadas ao grau de resistência das rochas (Salgado, 2006; INPE, 2022).

Ao correlacionar o dado vetorial de geologia estrutural, mapeada em escala regional pela CODEMIG e disponível no Portal da Geologia, ao MDT, foi possível inferir alguns contatos litológicos a partir da observação da variação da textura do MDT e da observação de quebras de relevo. Na região próxima da falha contracional mapeada pela CODEMIG, a rugosidade do terreno é ainda mais ressaltada. As drenagens identificadas no ortomosaico (mapa de uso do solo), apresentaram correlação com as regiões de rebaixamento do terreno.



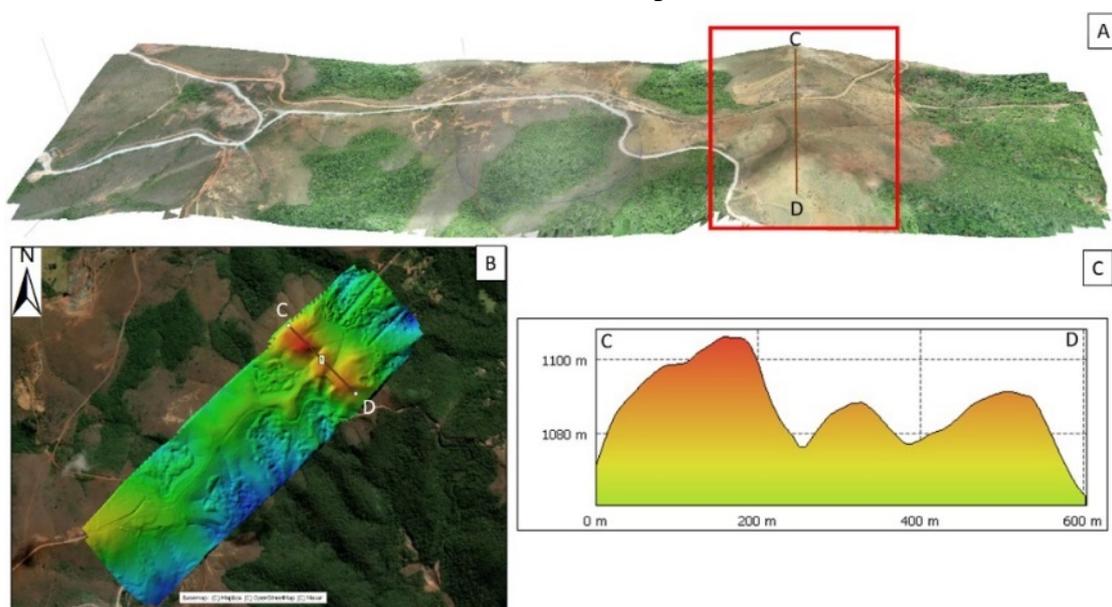
**Figura 11** – A: MDT com contatos litológicos. B: MDT e estruturas identificadas.

Essas observações confirmam que há uma importante relação entre as feições resultantes ao grau de resistência das rochas (Tricart, 1961; Arcanjo, 2011), colaborando com o melhor entendimento do comportamento litoestrutural da área de estudo, durante a etapa de prospecção mineral.

### Delimitação e mensuração de um possível prospecto mineral

O levantamento radiométrico realizado anteriormente na região (Borges et al., 2018) demonstrou a ocorrência de BIF na área estudada. Assim, utilizou-se do Modelo 3D para reconhecer a área e do MDT para gerar um perfil de elevação, a fim de representar a topografia da área de ocorrência da BIF.

Foi realizada uma seção (C-D) no Agisoft Metashape, interceptando o solo exposto vermelho e a vegetação pouco desenvolvida, seguindo pela linha de cumeeada, onde se encontram as cotas de maior elevação da área de estudo (aproximadamente 1.100 m), e dois pontos de cota intercalados, conforme ilustra a figura 19. Essa definição de área teve como objetivo detalhar um possível alvo/prospecto de estudo. Essas variações de escala de análise são importantes durante as fases de prospecção mineral, visto que auxiliam na definição dos trabalhos como mapeamento geoquímico, abertura de poços e trincheiras, sondagens, dentre outros que deverão ser realizados no corpo mineral de interesse.



**Figura 12** - Produtos Gerados para Análise da Formação Ferrífera. A: Modelo 3D com seção C-D. B: Seção C-D sobre MDT. C: Perfil de elevação da formação ferrífera.

### Cálculos em estruturas de interesse utilizando o Agisoft

A determinação das dimensões e volumes na mineração se faz necessária nas etapas de prospecção mineral para um correto dimensionamento dos corpos mineralizados. Assim, a partir da definição de uma área de interesse, como apresentado na figura 19, é possível extrair dados relacionados à geometria, à topografia (Perfil Topográfico) e realizar o cálculo da área e do volume do material abaixo e acima das cotas definidas na análise. Tais procedimentos estão ilustrados nas figuras 20 e 21. Esses cálculos, dentro do contexto de prospecção mineral, podem ser aplicados em atividades como acompanhamento de abertura de trincheiras (escavações variadas), cálculo das áreas de levantamentos geofísicos, geoquímicos, sondagens, entre outros.

O Agisoft Metashape se mostrou como uma ferramenta capaz de gerar esses dados de maneira ágil e simples. É possível extrair as coordenadas iniciais e finais das feições vetorizadas (área de interesse e linha de perfil).

O *software* também fornece diferentes formas de serem realizados o cálculo de volume, sendo escolhido “*best fit plane*”, ou seja, o programa reconheceu um melhor plano utilizando a altitude dos vértices, considerando o que há acima e abaixo deste valor.

Há também as opções de utilizar uma média da altitude dos vértices ou definir um valor de cota, dependendo apenas da demanda e objetivos do usuário.

As figuras demonstram um teste realizado para explanação da aplicabilidade das ferramentas disponíveis no *software* e como elas podem gerar dados relevantes para a prospecção e exploração

mineral a partir de dados coletados com drone. Destaca-se que não é objetivo deste estudo discutir acerca da acurácia desses dados, embora diversos autores confirmem a acurácia dos dados geodados por drone para mapeamentos planialtimétricos. Nesse sentido, observa-se a delimitação de uma área de 11,3 hectares onde há a ocorrência de BIFs. Nessa área, foi identificado um volume

total de 916.333,6m<sup>3</sup> de material acima do polígono delimitado, o que corresponde a todo o terreno identificado acima da área de corte definida pelo usuário. Esse dado pode servir como base para o cálculo do volume total do corpo mineralizado, por meio da associação com outras variáveis que podem ser obtidas a partir de métodos de sondagem, dentre outros.

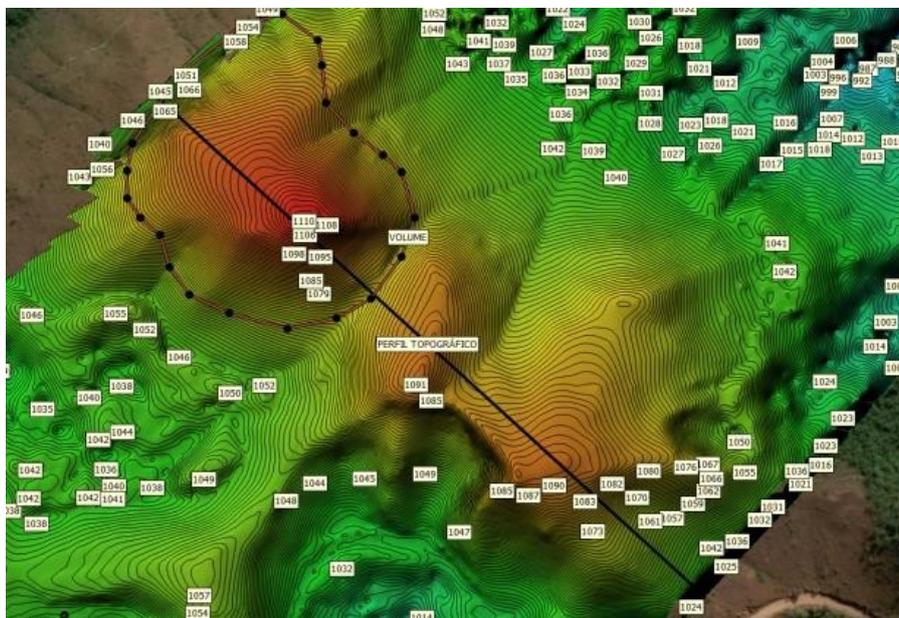


Figura 20 – Perfil topográfico e área para cálculo volumétrico do afloramento onde foram encontradas BIFs.

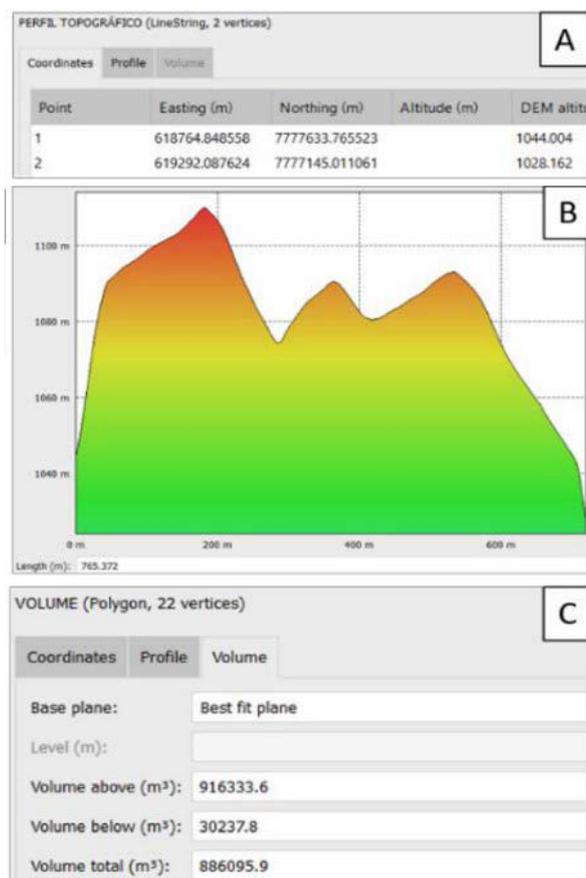


Figura 21 – Informações extraídas a partir do polígono vetorizado na área da BIF. Em A: Coordenadas do perfil topográfico em B: perfil de elevação e em C: Dados Volumétricos.

Vale destacar que a utilização de Pontos de Controle em solo é recomendada para garantir a acurácia posicional planialtimétrica dos

mapeamentos, o que garantiria a realização dos cálculos de área e volume com eleva acurácia e precisão.

## CONCLUSÃO

A partir dos dados coletados com o drone, foi possível avaliar as principais feições geológicas e geomorfológicas da área de estudo, além de inferências acerca da pedologia, a partir dos produtos gerados. A comparação desses dados com aqueles disponíveis em escala regional (CODEMIG, 2017, EMBRAPA, 2006), e mapeamento de detalhe (Borges et al., 2018) disponíveis proporcionou uma melhor compreensão das características da área de estudo e identificação das zonas homólogas. Tal fato é relevante para os processos de prospecção e exploração mineral.

O ortomosaico gerado através das imagens captadas pelo drone possibilitou a uma satisfatória compreensão das características ambientais da área e, nesse sentido, é relevante destacar a qualidade superior desse dado em relação às imagens de satélite no sentido da resolução espacial e temporal.

Foram identificadas as regiões com diferentes texturas, alternância de coloração dos solos expostos, confirmando a transição dos latossolos da região, porte da vegetação, presença de ravinamentos, comportamento das drenagens frente ao controle litoestrutural e as variações das formas de relevo.

É importante destacar que o processo de aquisição de imagens com drone, embora se

apresente como simples, demanda experiência do operador para definir os parâmetros de voo e de processamento, bem como os itens de segurança.

Nesse sentido, acredita-se que a metodologia aqui apresentada possa contribuir para que novos usuários dessa geotecnologia possam replicar os parâmetros indicados a fim de garantir qualidade nos aerolevantamentos realizados com objetivos semelhantes.

Ressalta-se que os drones podem ser utilizados como importantes ferramentas complementares aos de identificação de alvos de interesse e para o planejamento de ações no âmbito da prospecção mineral. Isso, pois foi verificada a capacidade de obter dados espaciais essenciais, como ortomosaico e MDT, da área de estudo de forma ágil e acurada aliada a um custo atrativo, se comparado aos métodos predecessores.

Vale enfatizar que os drones conferem autonomia ao usuário, que pode realizar o aerolevantamento na data em que desejar e por repetidas vezes, o que abre oportunidades para a realização de monitoramentos multitemporais. É, por fim, uma opção mais segura do que os métodos convencionais para mapeamento topográfico, por se constituir, basicamente, da captura de dados de modo remoto, não exigindo da equipe o acesso a áreas de risco.

## REFERÊNCIAS

- ABER, J.S.; MARZOLF, I; RIES, J.B. **Small-Format aerial photography: principles, techniques and geoscience applications**. Amsterdam: Elsevier, 2010. 268 p.
- ADDATI, G.A. & PÉREZ-LANCE, G. Introducción a los UAV's, Drones o VANT's de uso civil. **Serie Documentos de Trabajo**, Universidad de CEMA, No. 551, Buenos Aires, 2014.
- AGISOFT FORUM ONLINE. Lista de discussão. St Petersburg: Agisoft, 2018. Disp. em <<https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=9140.0>>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- ALKMIM, F. F. & MARSHAK, S. Transamazonian orogeny in the Southern São Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. **Precambrian Research**, v. 90, n. 1-2, p. 29-58, jun. 1998.
- ANAC-AGÊNCIA NACIONAL DE AVIÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94 (RBAC-E nº 94) - Requisitos Gerais para Veículos Aéreos Não Tripulados, 2017**. Disp. em <[https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo\\_norma/RBACE94EMD00.pdf](https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf)>. Acesso em: 04 mar. 2021.
- ARCANJO, João Batista Alves. **Fotogeologia: Conceitos, métodos e aplicações**. Salvador: CPRM, 2011. 146 p.
- BORGES, G.S.; LOPES, I.C; CARLOS, D.U. Gamaespectrometria Terrestre Aplicada na Caracterização Radiométrica de Rochas Intemperizadas numa Seção NE-SW na Região de Nova Lima – MG. Belo Horizonte. 2018. Trabalho (Conclusão de Curso), Centro Universitário de Belo Horizonte.
- CAVALCANTI NETO, M.T.O.; ROCHA, A.M. **Noções de Prospecção e Pesquisa Mineral para Técnicos de Geologia e Mineração**. Editora do IFRN-RN, Natal/RN, 2010. 267 p.
- CODEMIG. Projeto Triângulo Mineiro. Belo Horizonte: CODEMIG, 2017. Disp. em <<http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/>>. Acesso em: 17 jun. 2022.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 a ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2006. 306 p.
- HASUI, Y. Cráton São Francisco. In: HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. (Org.). **Geologia do Brasil**. Edição 1. São Paulo: Ed. Beca, 2012, v. 1, p. 200-227.
- INPE. Landsat. Disp. em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 05 de mar.2022.
- LOPES, J.M.M.S.A. **Fotogrametria e Detecção Remota Aplicada à Prospecção Mineira**. Porto. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica), Universidade do Porto.
- LUZ, C.C. & ANTUNES, A.F.B. Validação da tecnologia VANT

- na atualização de bases de dados cartográficos geológicos – Estudo de caso: Sistema cárstico do rio João Rodrigues. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1439-1452, 2015.
- MAGALHÃES, D.M. **Uso de drones como suporte ao planejamento territorial: da coleta de dados à geovisualização**. Belo Horizonte. 2021. 258 p Tese (Doutorado). Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais.
- MAGALHÃES, D.M. & MOURA, A.C.M. Avaliação da acurácia do modelo tridimensional de uma edificação gerado por um micro VANT. **Geografia y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)**, v. 10, n. especial, p. 62-86, 2018.
- MARANHÃO, R.J.L. **Introdução à pesquisa Mineral**. Fortaleza - PE. 3ª edição. 752 p. 1985.
- MELO, A.; CASTRO, D.L.; BEZERRA, F.H.; BERTOTTI, G. Identificação de Falhas no Pós-Rifte da Bacia Potiguar Utilizando VANT e Dados Sísmicos. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. Anais...João Pessoa: INPE. 2015, p. 5342 - 5347.
- MENEZES L.S.; SANTOS M.R., SENRA, A.S. Fotointerpretação obtida por aeronave remotamente pilotada (RPA) aplicada em mapeamento litoestrutural de escala 1: 800, afloramento do domínio Macururé, município de Capela-SE. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 38, n. 2, p. 483 - 493, 2019.
- NOCE, C.M. **Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais**. São Paulo, 1995. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociências, University of São Paulo.
- OLIVEIRA, D.R.; CICERELLI, R.E.; ALMEIDA, T.; MAROTTA, G.S. Geração de modelo digital de terreno a partir de imagens obtidas por Veículo Aéreo Não Tripulado. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 6, p. 1143-1151, 2017.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B. DE; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4 ed. Viçosa: NEPTU, 2002. 332 p.
- SALGADO, A.A.R. **Estudo da evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero, MG, através da quantificação dos processos erosivos e denudacionais**. Ouro Preto, 2006. 188 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Ouro Preto.
- SILVA, C.A.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; SANTOS, A.L.S.; AMARO, V.E.; BICHO, C.P.; SABADIA, J.A.B.; Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**. Curitiba, v. 22, n. 1, p.73 - 94, 2016.
- TRICART, J. O modelado do Quadrilátero Ferrífero sul de Belo Horizonte. **Annales de géographie**, n. 379. p. 255-272, 1961.
- VALE, D. Pesquisa Mineral e Reavaliação da Reserva de Granito Ornamental no Córrego Água Preta, município Nova Venécia, estado do Espírito Santo. Caçapava do Sul. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Mineral), Universidade Federal do Pampa.
- VARAJÃO, C.A.C. A questão da correlação das superfícies de erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. São Paulo, **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 138-145, 1991.
- WESTOBY, M.J.; BRASINGTON, J; GLASSER, N.F.; HAMBREY M.J.; REYNOLDS, J.M. Structure-from- Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, 2012.
- ZHU, Q.; ZHANG, Y.; WU, B.; ZHANG, Y. Multiple close-range image matching based on a self-adaptative triangle constraint. **The Photogrammetric Record**, v. 135, n. 25, p. 437-453, 2010.
- ZUCCHETTI, M. & BALTAZAR, O.F. Estratigrafia. In: M. ZUCCHETTI, O.F. & BALTAZAR (ed.), **Projeto Rio das Velhas** - Texto explicativo do mapa geológico integrado, escala 1:100.000. 2nd ed. Belo Horizonte, DNPM - Departamento Nacional de Produção Mineral. CPRM -Serviço Geológico do Brasil- 2000. 126 p.

*Submetido em 25 de fevereiro de 2024*

*Aceito para publicação em 30 de agosto de 2024*