

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS AO DIAGNÓSTICO DE UMA VOÇOROCA NA FAZENDA EXPERIMENTAL DO CAMPUS GLÓRIA, UBERLÂNDIA, MG

Guilherme Costa Santos

Engenheiro Ambiental, Mestre em Qualidade Ambiental e Meio Ambiente, Doutorando em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pelo Instituto de Pesquisa Ambientais, São Paulo, SP, Brasil¹
gui.savana@gmail.com

Raquel Naiara Fernandes Silva

Doutora em Mecânica dos Sólidos e Vibrações, Docente da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil²
raquelfernandes@ufu.br

RESUMO: A integração de geotecnologias pode apresentar diversas potencialidades na análise de processos de degradação do solo, como a erosão hídrica, que é a forma de erosão mais relevante no Brasil. Nesse contexto, as geotecnologias despontam como ferramentas essenciais para o estudo e acompanhamento de processos e feições erosivas, fornecendo subsídios técnicos para melhor entendimento e gestão dessas áreas. Esta pesquisa teve como objetivo apresentar as potencialidades das aplicações de geotecnologias no diagnóstico e monitoramento de uma voçoroca localizada na Fazenda Experimental do Campus Glória, em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. O procedimento baseou-se no imageamento com drones, utilizando pontos de apoio fotogramétricos oriundos de levantamento GNSS, seguido por uma análise em ferramenta de SIG. O processamento dos pontos de controle GNSS permitiu realizar um comparativo das ferramentas GNSS Solutions™ e IBGE-PPP, constatando suas limitações e potencialidades de processamento de dados GNSS. Os produtos fotogramétricos passaram por análise de acurácia e tendência para enquadramento no PEC-PCD do Sistema Cartográfico Nacional Brasileiro (SCN), sendo aceitos na escala 1:1000, na classe A. A partir das ferramentas de SIG, identificou-se que a voçoroca apresenta formato em leque e ramificações laterais (com e sem conexões aparentes ao canal principal) e existência de gramíneas e vegetação arbustiva, porém com a predominância de solo exposto. A baixa declividade, bem como a existência de ravinas e sulcos sem conexão direta aparente com o canal principal, indicam a ocorrência de processos de erosão em dutos, os quais podem ser determinantes para o aumento da feição erosiva.

Palavras-chave: Drone; Fotogrametria; Geodésia; GNSS; Sistemas de Informação Geográfica.

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO THE DIAGNOSIS OF A GULLY IN EXPERIMENTAL FARM OF CAMPUS GLÓRIA, UBERLÂNDIA, MG

ABSTRACT: The integration of geotechnologies offers significant potential for analyzing soil degradation processes, particularly water erosion, the most relevant form of erosion in Brazil. In this context, geotechnologies emerge as essential tools for studying and monitoring erosive processes and features, providing technical support for a better understanding and management of these areas. This study aimed to explore the potential applications of geotechnologies in diagnosing and monitoring a gully located at the Experimental Farm of Campus Glória in Uberlândia, Minas Gerais, Brazil. The methodology involved drone imaging combined with photogrammetric control points obtained from GNSS surveys, followed by analysis using GIS tools. The processing of GNSS control points enabled a comparative assessment of GNSS Solutions™ and IBGE-PPP, identifying their limitations and capabilities in GNSS data processing. The photogrammetric products underwent accuracy and trend analysis to ensure compliance with the PEC-PCD standards of the Brazilian National Cartographic System (SCN), meeting Class A specifications at a 1:1,000 scale. GIS-based analyses revealed that the gully exhibits a fan-shaped morphology with lateral branches, some of which are directly connected to the main channel, while others appear isolated. The presence of grass and shrub vegetation was observed, although exposed soil remains predominant. The combination of low slope and the presence

¹ Endereço para correspondência: Rua João Ramalho, 56, Bairro Pampulha, 38408-668, Uberlândia, MG, Brasil.

² Endereço para correspondência: Avenida João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1Y, Sala 242, Bairro Santa Mônica, 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

of ravines and rills lacking an apparent direct connection to the main channel suggests the occurrence of piping erosion, which may be a key driver in the expansion of the erosive feature.

Keywords: Drone; Photogrammetry; Geodesy; GNSS; Geographic Information Systems.

GEOTECNOLOGÍAS APLICADAS AL DIAGNÓSTICO DE UNA CÁRCAVA EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DEL CAMPUS GLORIA, UBERLÂNDIA, MG

RESUMEN: La integración de geotecnologías ofrece diversas potencialidades en el análisis de la degradación del suelo, en particular la erosión hídrica, la forma más relevante en Brasil. Estas tecnologías son esenciales para el estudio y monitoreo de procesos erosivos, proporcionando bases técnicas para su gestión. Este estudio analizó la aplicación de geotecnologías en el diagnóstico y monitoreo de una cárcava en la Granja Experimental del Campus Glória, Uberlândia, Minas Gerais. Se utilizaron drones para el levantamiento de imágenes, con apoyo de puntos fotogramétricos obtenidos por GNSS, seguido de análisis en SIG. El procesamiento de los puntos de control GNSS permitió realizar una comparación entre las herramientas GNSS Solutions™ e IBGE-PPP, identificando sus limitaciones y potencialidades en el procesamiento de datos GNSS. Los productos fotogramétricos fueron sometidos a un análisis de precisión y tendencia para su clasificación en el PEC-PCD del Sistema Cartográfico Nacional Brasileño (SCN), siendo aceptados en la escala 1:1000, en la clase A. A partir de las herramientas SIG, se identificó que la cárcava presenta un formato en abanico, con ramificaciones laterales (con y sin conexiones aparentes al canal principal) y la presencia de gramíneas y vegetación arbustiva, aunque con predominancia de suelo expuesto. La baja pendiente, así como la existencia de barrancas y surcos sin una conexión directa aparente con el canal principal, indican la ocurrencia de procesos de erosión en túneles, los cuales pueden ser determinantes en la expansión de la forma erosiva.

Palabras clave: Dron; Fotogrametría; Geodesia; GNSS; Sistemas de Información Geográfica.

Introdução

A erosão hídrica tem um grande impacto ambiental, sendo uma das principais ameaças à sustentabilidade do solo, afetando diretamente a segurança hídrica e alimentar. O Brasil, por ser um país tropical, está entre os países com os maiores riscos de erosão causados pela chuva, o que ressalta a importância do tema (PANAGOS *et al.*, 2017).

Diante da ocorrência desses processos de degradação ambiental, sob uma perspectiva de gestão ambiental territorial, é fundamental que o Estado conheça suas potencialidades e fragilidades ambientais. O levantamento de informações socioambientais amplia esse conhecimento, tornando imprescindíveis o monitoramento e o diagnóstico dos recursos ambientais (SILVA, 2016).

A compreensão do processo de ocupação e uso do solo impulsionou o desenvolvimento de métodos para caracterização da superfície terrestre (BORGES *et al.*, 2017), essenciais para o planejamento territorial, conservação ambiental e prevenção de impactos negativos (LEMOS *et al.*, 2024; MORETO *et al.*, 2021; SILVA; ZUCHERATO; PEIXOTO, 2021). A necessidade de monitorar mudanças na paisagem demandou abordagens cada vez mais precisas para o mapeamento de informações geográficas vinculadas à superfície terrestre por meio de um sistema de coordenadas (ROSA, 2011). A evolução desses métodos acompanhou os avanços tecnológicos, principalmente dos equipamentos de coleta e produção de dados (BORGES *et al.*, 2017).

Em uma era de modernidades, as geotecnologias se apresentam como um conjunto de ferramentas capazes de incorporar o comportamento espacial (localização, extensão e formato) dos elementos da superfície terrestre ao processo de geração de informações (IBAM, 2015). Esse conjunto tem como intuito a coleta, o armazenamento, a visualização, o processamento, a análise e a distribuição de dados e informações espaciais. Entre as principais ferramentas desse campo, destacam-se os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), o Sensoriamento Remoto (SR) e os Sistemas de Posicionamento Global (GPS). Essas tecnologias tornam possível o trabalho com dados espaciais, facilitando, assim, a tomada de

decisões e a análise de dados geográficos (IBAM, 2015; ROSA, 2011), incluindo a identificação de distintas formas erosivas, como sulcos, ravinas e voçorocas.

A obtenção de dados topográficos é essencial para a análise de feições erosivas, podendo ser realizada por diferentes tecnologias, como levantamentos *in loco*, *Light Detection and Ranging* (LIDAR), aerofotogrametria e imagens de satélite (TSCHIEDEL *et al.*, 2018). Os dados geográficos coletados para aplicação nessas ferramentas devem ser representativos da realidade, exigindo um entendimento aprofundado do problema em estudo.

A integração de geotecnologias, aliada à obtenção de dados de qualidade, permite a reprodução de feições e fenômenos terrestres, possibilitando, por meio de análises, a interpretação de resultados direcionados a objetivos específicos (MENDONÇA *et al.*, 2011).

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo geral demonstrar as potencialidades da aplicação de geotecnologias, como geodésia, aerolevantamento, georreferenciamento e SIG, no diagnóstico e monitoramento ambiental de uma voçoroca situada no município de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

Material e métodos

Para atingir o objetivo proposto, o estudo foi estruturado em etapas: delimitação da área de estudo, levantamento de pontos de apoio fotogramétrico utilizando posicionamento GNSS, processamento desses pontos, levantamento e processamento aerofotogramétrico com pontos de controle, validações estatísticas e aplicações dos produtos fotogramétricos em ferramentas de SIG (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma das etapas realizadas no estudo



Fonte: Autor.

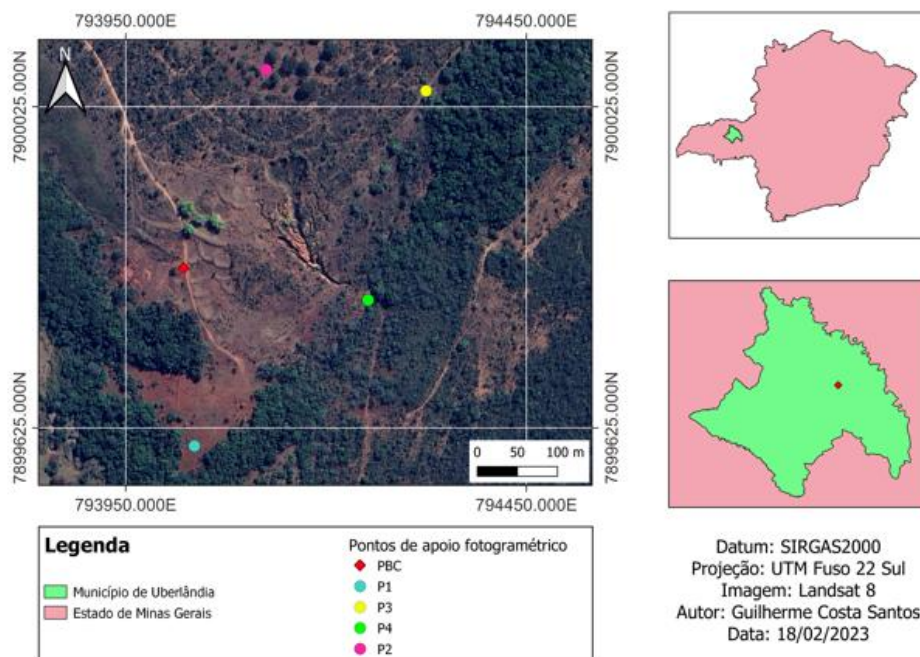
Área de estudo

A área de estudo corresponde a uma voçoroca localizada na Fazenda Experimental do Campus Glória da Universidade Federal de Uberlândia, no sudoeste do município de

Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. Nesta etapa, com o auxílio da ferramenta *Google Earth*, foram selecionadas cinco feições fotoidentificáveis, como cercas e cruzamentos de estradas, definidas como pontos de apoio fotogramétrico, denominados “Ponto da estação base de campo” (PBC), “Ponto 1” (P1), “Ponto 2” (P2), “Ponto 3” (P3) e “Ponto 4” (P4) (Figura 2).

Em campo, todos os pontos foram materializados com corpos de prova cilíndricos de concreto fornecidos pelo Laboratório de Topografia da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia.

Figura 2: Mapa de localização da área de estudo e pontos de apoio fotogramétrico



A área de estudo está situada em uma unidade geomorfológica de relevo dissecado, com declividade média variando entre 5 e 15%, em uma vertente de colina. O comprimento da rampa é de aproximadamente 1000 m, apresentando forma predominantemente convexa (BACCARO, 1989; BIULCHI, 2012). A área é caracterizada pelo alto grau de degradação antrópica que teve início com a remoção de vegetação natural para pastoreio, seguida pela atividade de extração de cascalho. O manejo inadequado e a ausência de práticas conservacionistas do solo favoreceram o estabelecimento da voçoroca (LEAL; RODRIGUES, 2011; PEREIRA JUNIOR, 2013).

Planejamento, levantamento e processamento de dados GNSS

O planejamento para o levantamento GNSS foi realizado de acordo com as Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos GPS (IBGE, 2008) e as Normas e Especificações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

A seleção dos pontos de apoio visou atender às recomendações do Pix4D (2017) para garantir a uniformidade na distribuição dos pontos de controle na paisagem, reduzindo erros de escala e orientação nos produtos fotogramétricos a serem georreferenciados.

Para o levantamento GNSS, definiu-se o intervalo de coleta dos receptores em 15 segundos, uma máscara de elevação de 10° e o posicionamento relativo estático rápido. O ponto de apoio PBC foi definido como a base de campo, enquanto os demais pontos foram designados como *rovers*. A estação de Uberlândia (MGUB) da Rede Brasileira de

Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS (RBMC) foi definida como a estação de referência para determinação das coordenadas do ponto PBC.

O tempo de rastreamento foi determinado com base no tamanho das linhas de base e nos equipamentos estabelecidos nas Normas e Especificações para levantamentos geodésicos (Tabela 1) (IBGE, 2017).

Tabela 1 – Estimativa de tempo de observação e precisão para posicionamento GNSS relativo em função da linha de base

Linha de Base	Tempo de observação	Equipamento Utilizado	Precisão
00 – 05 Km	05 – 10 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
05 – 10 Km	10 – 15 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
10 – 20 Km	10 – 30 min	L1 ou L1/L2	5 - 10 mm + 1 ppm
20 – 50 Km	02 – 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
50 – 100 Km	Mínimo: 03 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm
> 100 Km	Mínimo: 04 h	L1/L2	5 mm + 1 ppm

Fonte: IBGE (2017).

A linha de base da estação MGUB até o PBC foi de 7,8 km, enquanto as linhas de base do PBC aos demais pontos levantados (*rovers*) foram inferiores a 1 km. Dessa forma, o tempo de rastreamento dos *rovers* foi estipulado em 30 minutos, superior ao tempo mínimo de observação especificado.

A base de campo (PBC) foi ocupada por um receptor GNSS de dupla frequência (L1/L2), modelo Promark200, enquanto os demais pontos de controle foram ocupados por receptores de simples frequência (L1), modelos Promark 100 (pontos P1 e P2) e Promark 2 (pontos P3 e P4). Todas as ocupações utilizaram o modelo de antena Promark 11660. A altura da antena especificada na configuração dos aparelhos foi de 2,4 m para o ponto P3 e 2,0 m para os demais pontos levantados.

Após o levantamento GNSS, foi realizado o pós-processamento dos dados para obtenção de coordenadas precisas, utilizando dois softwares de pós-processamento de dados GNSS: o *GNSS Solutions*™ e o IBGE-PPP.

Para o processamento das coordenadas geodésicas no software *GNSS Solutions*™, foi necessário baixar os dados diários e o memorial descritivo da estação de referência de Uberlândia (MGUB), na seção sobre a “Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS – RBMC” no site do IBGE [202-].

O primeiro processamento consistiu na determinação das coordenadas precisas do ponto PBC, utilizando os dados diários da estação MGUB como ponto de controle. Na definição dos pontos de controle, foram realizadas as correções das coordenadas geodésicas e dos desvios-padrão da estação de referência conforme seu memorial descritivo.

Com o processamento anterior, obtiveram-se as coordenadas geodésicas e respectivos desvios-padrão da base de campo (PBC). Em seguida, realizou-se o processamento das coordenadas dos pontos P1, P2, P3 e P4, utilizando as coordenadas processadas da base de campo como ponto de controle.

O processamento no IBGE-PPP *online* foi realizado na seção de “Serviço *online* para pós-processamento de dados GNSS”, na aba de “Geociências” do site do IBGE. Para utilizar a ferramenta, todos os arquivos dos pontos de apoio fotogramétrico (PBC, P1, P2, P3 e P4) foram convertidos para o formato RINEX, utilizando a ferramenta RINEX Converter.

Após a conversão para o formato RINEX, cada arquivo foi processado de forma isolada realizando os seguintes passos: upload do arquivo, seleção do método de processamento como estático, definição da altura e modelo da antena (2,4 m para o ponto P3 e 2,0 m para as demais) e fornecimento de um e-mail válido, para o qual foi enviado um sumário do processamento contendo as coordenadas geodésicas e os desvios-padrão do processamento.

Levantamento aerofotogramétrico

O levantamento aerofotogramétrico da área de estudo foi realizado utilizando um drone *Phantom 4 Pro*. A preparação do plano de voo foi feita com o software *Drone Deploy*. Na ferramenta, foi selecionada a área a ser imageada, com sobreposição lateral de 60% e longitudinal de 70%, velocidade de voo de 10 m/s e altura especificada de 90 metros.

Antes do imageamento, foi realizada uma visita aos pontos de apoio fotogramétrico (PBC, P1, P2, P3 e P4), verificando a presença do corpo de prova cilíndrico de concreto, utilizado para materializar os pontos no levantamento GNSS. Após a detecção dos pontos de apoio em campo, foi realizada uma marcação para facilitar sua identificação na imagem.

Com a marcação dos pontos de apoio, realizou-se o voo sobre a área de estudo. As imagens obtidas ao final do imageamento com o drone foram processadas com o software *Pix4D*, utilizando as coordenadas geodésicas pós-processadas dos levantamentos GNSS como pontos de apoio fotogramétrico. As coordenadas geodésicas utilizadas foram aquelas com as menores discrepâncias no processamento, determinadas a partir de uma análise comparativa dos resultados obtidos nas ferramentas de pós-processamento GNSS utilizadas neste estudo.

O processamento da imagem gerou produtos do levantamento fotogramétrico, incluindo um ortomosaico e uma nuvem de pontos. A conformidade dos produtos foi verificada no relatório de processamento.

Análise de tendência, acurácia e mapeamentos

Os produtos fotogramétricos gerados pelo processamento na ferramenta *Pix4D* foram submetidos a validações estatísticas visando seu enquadramento ao Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). As validações estatísticas foram realizadas por meio da análise de tendência pelo teste *t* de Student e da avaliação da acurácia posicional por meio do erro médio quadrático (RMS).

A análise de tendência *t* de Student tem o objetivo de verificar se a média dos resíduos é estatisticamente nula, por meio de um teste de hipótese (Equação 1):

$$t = \frac{\overline{\Delta coord}}{\sigma} \cdot \sqrt{n} \quad (1)$$

onde *n* equivale ao número de amostras, $(\overline{\Delta coord})$ equivale à média da discrepância na coordenada em análise (*x*, *y* ou *z*) e σ equivale ao desvio padrão populacional.

Os dados para a aplicação do teste foram obtidos a partir do relatório de processamento na ferramenta *Pix4D*. A inferência estatística foi realizada com a determinação do valor *t* de Student, utilizando uma probabilidade de 90% e grau de liberdade igual a 4.

A hipótese H_0 é aceita se $-t_{\text{tabelado}} \leq t_{\text{calculado}} \leq +t_{\text{tabelado}}$; caso contrário, rejeita-se a hipótese H_0 e aceita-se a hipótese H_1 .

A determinação da acurácia posicional absoluta para cada coordenada (APA_i) foi realizada a partir do erro quadrático médio (RMS) com um grau de confiança de 90%, conforme Brasil (2016), sendo calculada por meio da equação 2:

$$APA_i = 1,6449 * RMS \quad (2)$$

onde RMS equivale ao erro quadrático médio, calculado por meio da equação 3 apresentada por Sopchaki *et al.* (2018):

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n}} \quad (3)$$

onde e_i equivale ao erro (discrepância) em uma coordenada e n equivale ao número de amostras.

O enquadramento no PEC-PCD foi realizado com base em aspectos de altimetria (z) e de planimetria (x, y), sendo necessário estabelecer a acurácia absoluta planimétrica (APA_{xy}) por meio da equação 4 apresentada por Farret *et al.* (2007):

$$APA_{xy} = \sqrt{(APA_x)^2 + (APA_y)^2} \quad (4)$$

onde APA_x corresponde à acurácia posicional absoluta na coordenada x e APA_y à acurácia posicional absoluta na coordenada y .

O procedimento de avaliação e enquadramento do ortomosaico foi realizado em aspectos de planimetria, enquanto o procedimento de avaliação e enquadramento da nuvem de pontos foi realizado em termos de altimetria, avaliando discrepância posicional com base nos pontos de controle levantados no posicionamento GNSS, conforme Ferreira (2019).

Com o cálculo da acurácia para 90% de probabilidade e do erro quadrático médio (planimétrico e altimétrico), o ortomosaico e a nuvem de pontos foram enquadrados no PEC-PCD (BRASIL, 2016) na escala 1:1000 para a Classe A. Conforme Brasil (2016), para que um produto fosse aceito como referência, os erros deveriam apresentar valores iguais ou inferiores aos previstos no PEC-PCD.

Após as validações estatísticas, os produtos fotogramétricos foram utilizados em ferramentas de SIG para análises de caracterização da voçoroca, assim como para mapeamentos que deram suporte à avaliação da área de estudo. Para realizar os mapeamentos, foi utilizada a ferramenta QGIS 3.4.2.

Resultados e discussões

A partir dos relatórios de processamento da ferramenta IBGE-PPP, foram obtidas as coordenadas geodésicas (Tabela 2) e UTM (Tabela 3) dos pontos PBC, P1, P2, P3 e P4.

Tabela 2 – Coordenadas geodésicas pós-processadas no IBGE-PPP e desvios-padrão

IBGE-PPP						
Ponto	Latitude	σ (m)	Longitude	σ (m)	H (m)	σ (m)
PBC	-18° 58' 22,955"	0,014	-48° 12' 28,124"	0,015	834,82	0,027
P1	-18° 58' 30,177"	0,773	-48° 12' 27,375"	1,332	825,77	1,882
P2	-18° 58' 14,878"	0,879	-48° 12' 24,562"	1,466	853,63	2,224
P3	-18° 58' 15,647"	1,197	-48° 12' 17,753"	1,628	842,94	3,094
P4	-18° 58' 24,154"	1,571	-48° 12' 20,058"	1,651	827,16	3,097

H: altitude geométrica (m); σ : desvio padrão (m).

Fonte: Autores.

Tabela 3 – Coordenadas UTM pós-processadas no IBGE-PPP e desvios-padrão

IBGE-PPP				
Ponto	N	σ (m)	E	σ (m)
PBC	7899824,732	0,014	794017,152	0,027
P1	7899602,213	0,773	794035,544	1,882
P2	7900071,779	0,879	794125,295	2,224
P3	7900044,739	1,197	794324,274	3,094
P4	7899784,106	1,571	794252,660	3,097

 σ : desvio padrão (m)

Fonte: Autores.

Os pontos P1 e P2 apresentaram erros de ordem decimétrica para a latitude e erros de ordem métrica para a longitude e altitude. Já os pontos P3 e P4 apresentaram desvios-padrão de ordem métrica para as três coordenadas. O ponto PBC, por sua vez, apresentou desvios de ordem centimétrica.

A partir dos relatórios de processamento no software *GNSS Solutions*TM, foram obtidas as coordenadas geodésicas (Tabela 4) e UTM (Tabela 5) e respectivos desvios-padrão dos pontos PBC, P1, P2, P3 e P4.

Tabela 4 – Coordenadas geodésicas pós-processadas no *GNSS Solutions*TM e desvios-padrão

<i>GNSS Solutions</i> TM						
Ponto	Latitude	σ (m)	Longitude	σ (m)	H (m)	σ (m)
PBC	-18° 58' 22,956"	0,013	-48° 12' 28,124"	0,010	834,843	0,021
P1	-18° 58' 30,178"	0,002	-48° 12' 27,370"	0,002	825,493	0,003
P2	-18° 58' 14,881"	0,002	-48° 12' 24,565"	0,002	853,514	0,002
P3	-18° 58' 15,642"	0,002	-48° 12' 17,733"	0,002	843,479	0,003
P4	18° 58' 24,102"	0,002	-48° 12' 20,074"	0,002	826,209	0,002

H: altitude geométrica (m); σ : desvio padrão (m).

Fonte: Autores.

Tabela 5 – Coordenadas UTM pós-processadas no *GNSS Solutions*TM e desvios-padrão

<i>GNSS Solutions</i> TM				
Ponto	N	σ (m)	E	σ (m)
PBC	7899824,710	0,013	794017,148	0,021
P1	7899602,181	0,002	794035,696	0,003
P2	7900071,471	0,002	794125,262	0,002
P3	7900044,880	0,002	794324,867	0,003
P4	7899785,706	0,002	794252,205	0,002

 σ : desvio padrão (m).

Fonte: Autores.

Os resultados do processamento no software comercial *GNSS Solutions*TM apresentaram coordenadas processadas com desvios-padrão de ordem centimétrica para a base de campo (PBC) e milimétrica para os *rovers* (P1, P2, P3 e P4).

As coordenadas processadas no software IBGE-PPP apresentaram desvios-padrão maiores em relação ao processamento no software *GNSS Solutions*TM. Essa constatação está associada à limitação da ferramenta IBGE-PPP, que realiza apenas processamento absoluto

(posicionamento por ponto preciso-PPP), enquanto a ferramenta *GNSS Solutions*TM permite alterar as estratégias de processamento.

Zanetti, Veiga e Oliveira Júnior (2020) destacam que há uma diferença na natureza da modelagem das observações usadas no PPP e no posicionamento relativo. No PPP, os erros são representados e modelados espacialmente, enquanto no posicionamento relativo, os erros são representados e modelados com base no estado das observações.

Os referenciais teóricos para o planejamento do posicionamento GNSS, como IBGE (2017) e IBGE (2008), não consideram as ferramentas de pós-processamento de dados a serem utilizadas. Como cada método de posicionamento e pós-processamento apresenta diferenças na resolução de ambiguidades – além de outras características –, é essencial verificar, ainda na fase de planejamento, se a ferramenta escolhida tem a capacidade de pós-processar dados de modo equivalente ao método de levantamento GNSS a ser realizado, garantindo assim a obtenção de coordenadas com alta precisão e acurácia. Para profissionais já inseridos na área de pesquisa e atuação, essa constatação pode parecer irrelevante, mas é um aspecto fundamental a ser considerado por iniciantes na área, incluindo alunos de graduação.

O processamento com o software IBGE-PPP permitiu identificar o tempo de rastreo como uma variável relevante na resolução de ambiguidades que acarretam a diluição da precisão. A base de campo (PBC) apresentou os melhores padrões de precisão, com um tempo de rastreo de 2 horas e 34 minutos, enquanto a precisão dos *rovers* – cujo tempo de rastreo foi de apenas 30 minutos – foi consideravelmente menor.

Em estudos que associam o tempo de rastreo à acurácia de levantamentos GNSS, Perdigão e Santos (2010) identificaram que o IBGE-PPP não estabelece um tempo mínimo de rastreo. Os autores observaram que levantamentos com tempo de rastreo superior a 30 minutos apresentaram resultados com precisão satisfatória; entretanto, levantamentos com mais de duas horas de rastreo demonstraram uma tendência e precisão mais condizentes à padrões de alta acurácia. Essas constatações são coerentes com os resultados obtidos no processamento realizado com a ferramenta IBGE-PPP.

O tempo de rastreo não é a única variável que influencia a precisão das coordenadas obtidas no posicionamento por ponto preciso. Perdigão e Santos (2010) destacam que os padrões de alta acurácia também estão relacionados ao modo de processamento e ao tipo de receptor (L1 ou L1/L2), os quais podem interferir na qualidade dos resultados.

Os receptores *Promark 2* (L1 – simples frequência) e *Promark 100* (L1/L2 – dupla frequência) apresentam diferenças que, associadas ao tempo de rastreo, podem ter influenciado a precisão dos resultados do processamento no IBGE-PPP. Conforme Gomes e Teixeira (2017), os receptores apresentam diferenças significativas, cada um com funcionalidades distintas, sendo que cada equipamento tem sua maneira própria para obtenção das coordenadas precisas.

Os pontos P1 e P2, rastreados com o receptor *Promark 100*, apresentaram erros de ordem de grandeza menor do que os pontos P3 e P4, rastreados com o receptor *Promark 2*. Uma das diferenças observadas entre os receptores foi a quantidade de canais independentes de sinal, sendo 10 canais independentes no *Promark 2* e 45 canais paralelos no *Promark 100*.

A Topcon (c2019) esclarece que os receptores mais antigos possuem uma quantidade limitada de canais, os quais recebem sinais de uma determinada frequência, provenientes de um satélite específico dentro de uma constelação específica, limitando a captura de sinais.

Dessa forma, pode-se constatar que o aumento da constelação de satélites e das frequências disponíveis faz com que os receptores mais antigos, como o *Promark 2*, apresentem desvantagens em relação a modelos mais modernos, como o *Promark 100*, que tem capacidade de receber e trabalhar simultaneamente um número maior de sinais de satélite.

Os pontos P3 e P4, processados no IBGE-PPP, apresentaram os maiores desvios-padrão nas três coordenadas entre os vértices levantados. O tempo de rastreo, associado à

presença de vegetação próxima aos receptores de simples frequência, pode indicar uma relação entre a baixa precisão e a possível ocorrência do efeito de multicaminho.

Os receptores GNSS podem captar sinais refletidos por superfícies vizinhas, como vegetação e construções, o que pode distorcer a modulação da fase da onda portadora (MONICO, 2008), que é uma observável utilizada no processamento pelo IBGE-PPP.

As especificações técnicas do receptor *Promark 100* indicam que ele tem uma capacidade mais avançada na mitigação de efeitos de multicaminho quando comparado a modelos mais antigos, como o *Promark 2*, utilizado nos pontos P3 e P4. Essa característica pode explicar as melhores precisões obtidas nos processamentos com o IBGE-PPP nos pontos P1 e P2.

Existem várias recomendações para atenuar os efeitos de multicaminho, sendo o ideal evitar levantamentos em locais propícios a tal efeito. Quando isso não for possível, é viável empregar outras técnicas para minimizar seus efeitos. Para tentar minimizar os efeitos de multicaminho, a altura da antena no ponto P3 foi aumentada, e os processamentos foram realizados considerando uma máscara de elevação de 10°. Outra abordagem possível para mitigar os efeitos de multicaminho é a associação de técnicas de levantamento GNSS com técnicas de topografia.

Conforme Souza (2004), essa associação consiste em realizar um levantamento GNSS em uma área livre de construções ou vegetação próxima, e, a partir da coordenada definida, utilizar técnicas de topografia para determinar a posição realmente desejada.

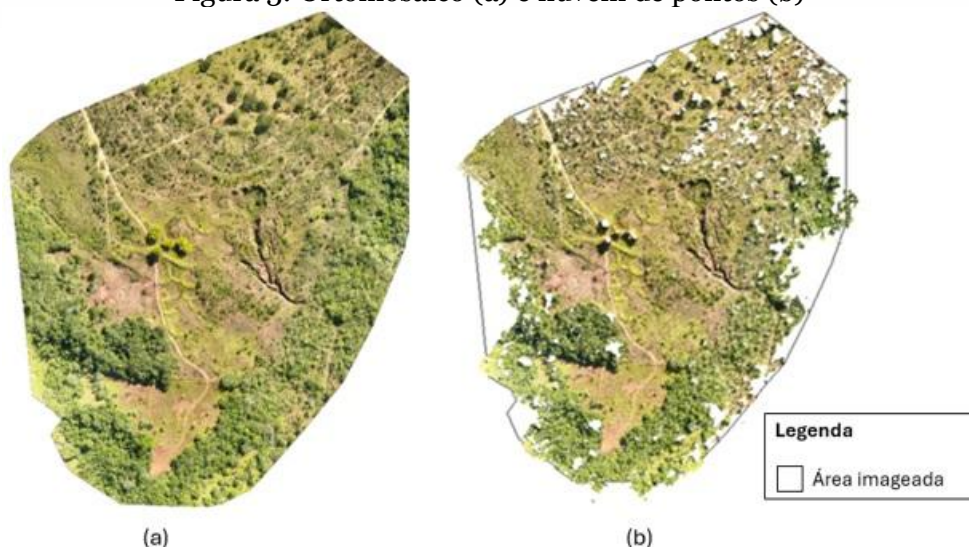
O processamento na ferramenta *GNSS Solutions*TM não apresentou variação da precisão das coordenadas processadas dos *rovers*. A única diferença observada foi na precisão do ponto PBC, que apresentou erros com ordem de grandeza maior do que os *rovers*, devido à maior linha de base no processamento dessa coordenada.

Zanetti, Veiga e Oliveira Júnior (2020) destacam que, no posicionamento relativo, quanto maior a linha de base, menor será a eficiência na redução dos erros sistemáticos correlacionados.

O processamento permitiu observar que as ferramentas de pós-processamento apresentam diversas nuances, com vantagens e desvantagens específicas na obtenção de coordenadas precisas. A principal vantagem do IBGE-PPP é a gratuidade do aplicativo; no entanto, a impossibilidade de modificar as estratégias de processamento e a necessidade de maior tempo de rastreio para obtenção de coordenadas precisas tornam a ferramenta desvantajosa em comparação ao *GNSS Solutions*TM.

Para gerar os produtos georreferenciados, foram utilizados como pontos de apoio fotogramétrico aqueles processados na ferramenta *GNSS Solutions*TM, uma vez que apresentaram as menores discrepâncias posicionais no pós-processamento GNSS. O ortomosaico e a nuvem de pontos (Figura 3) foram os produtos gerados, sendo aptos para uso em ferramentas de SIG após as análises de tendência e acurácia.

Figura 3: Ortomosaico (a) e nuvem de pontos (b)



Fonte: Autores.

Ao considerar o georreferenciamento com os pontos de controle, a ferramenta *Pix4D* determinou a discrepância posicional entre as coordenadas de referência e as coordenadas homólogas nos produtos fotogramétricos. Além disso, foram determinadas a média das discrepâncias, o desvio padrão populacional (σ) e o erro quadrático médio (RMS), conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Discrepância posicional nos três eixos de coordenadas

Ponto de controle	$\Delta\bar{x}$ (m)	$\Delta\bar{y}$ (m)	$\Delta\bar{z}$ (m)
PBC	- 0,065	- 0,099	-0,020
P1	- 0,042	0,068	- 0,010
P2	0,065	- 0,039	0,008
P3	- 0,010	0,037	- 0,012
P4	0,066	0,061	0,082
Média (m)	0,00291	0,00564	0,00969
σ (m)	0,05416	0,06475	0,03741
RMS (m)	0,05434	0,06499	0,03865

Fonte: Autores.

Com base nos dados estatísticos obtidos, foi realizado o teste *t* de Student para avaliar a tendência a erros sistemáticos nas coordenadas. Os resultados das análises de tendência indicaram a aceitação da hipótese H_0 para as coordenadas x , y e z (Tabela 7).

Tabela 7 – Resultados das análises de tendência

Coordenada analisada	t calculado	t tabelado	Rejeição/Aceitação da hipótese H_0
x	0,120	2,132	Aceita
y	0,195		Aceita
z	0,579		Aceita

Fonte: Autores.

O enquadramento do ortomosaico no PEC-PCD foi realizado com base nos aspectos de planimetria, enquanto o enquadramento da nuvem de pontos foi realizado com base nos aspectos de altimetria. Com os valores de acurácia, foram aceitos, para a escala 1:1000, na classe A, o enquadramento do ortomosaico (Tabela 8) e da nuvem de pontos (Tabela 9) no padrão para produtos de cartografia digital.

Tabela 8 – Enquadramento do ortomosaico frente aos valores de referência do PEC-PCD

Acurácia 90% ¹	RMS _{xy}	Escala	Valor referência ²		Aceitação/Rejeição do enquadramento
			PEC	RMS	
0,139	0,0845	1:1.000	0,28	0,17	Aceita

¹ Acurácia posicional planimétrica;

² Valores de referência apresentados por Brasil (2016).

Fonte: Autores.

Tabela 9 – Enquadramento da nuvem de pontos frente à PEC-PCD

Acurácia 90% ¹	RMS _z	Escala	Valor referência ²		Aceitação/Rejeição do enquadramento
			PEC	RMS	
0,064	0,0387	1:1.000	0,27	0,17	Aceita

¹ Acurácia posicional altimétrica;

² Valores de referência apresentados por Brasil (2016).

Fonte: Autores.

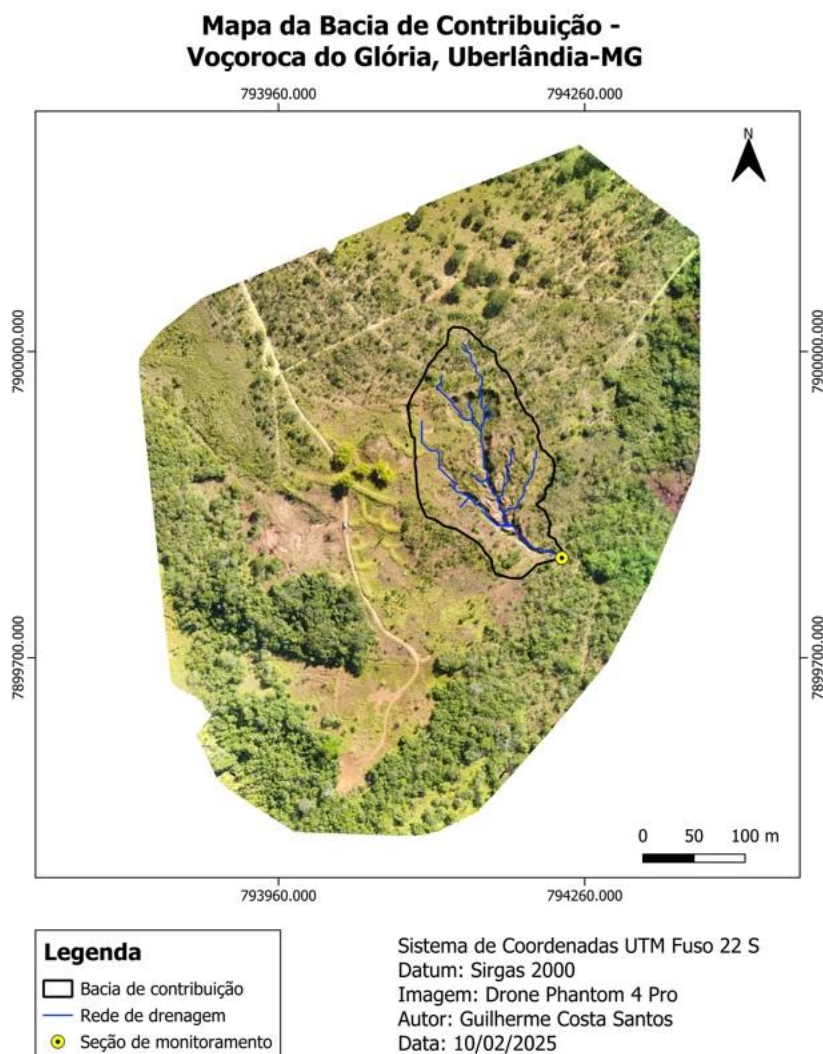
A análise do *t* de Student teve como objetivo verificar se as coordenadas estavam livres de tendência a erros sistemáticos. Por meio do cálculo do valor *t* e sua comparação ao valor tabelado, foi constatado que o uso de pontos de controle com tempo de rastreo homogêneo (30 minutos) e com processamento relativo garantiu produtos fotogramétricos sem tendência a erros sistemáticos nas três coordenadas.

Sopchaki *et al.* (2018) demonstraram que aerolevantamentos realizados sem o uso de pontos de controle apresentaram tendências nas coordenadas, o que é esperado, uma vez que haveria erros intrínsecos ao posicionamento GNSS.

Fatores como uso de pontos de controle, tempo de rastreo, processamento dos pontos, sua disposição em campo e o uso de aeronaves com maior estabilidade e qualidade da câmera garantiram produtos fotogramétricos de alta qualidade, os quais podem ser classificados junto ao SCN na classe A na escala 1:1000.

Os produtos do aerolevantamento permitiram desenvolver mapeamentos e realizar análises das condições ambientais da área de estudo. Com a nuvem de pontos, foi possível delimitar a bacia de contribuição e rede de drenagem da voçoroca considerando como exutório da bacia uma seção de monitoramento caracterizada pela conexão do canal erosivo ao Córrego do Glória (Figura 4).

Figura 4: Mapa da bacia de contribuição da voçoroca do Glória, Uberlândia-MG



A bacia de contribuição da voçoroca apresentou uma área de 2,17 hectares, enquanto a voçoroca, uma área de 0,5 hectares, com seções de solo exposto e outras com desenvolvimento vegetal. Considerando a classificação de Capeche *et al.* (2008), a voçoroca é categorizada como pequena em relação ao tamanho da bacia de contribuição, porém é considerada grande quanto à profundidade de seu canal principal, que pode ultrapassar 8 metros, conforme também observado por Alves (2007).

As dimensões, em aspectos de área, da voçoroca e de sua bacia de contribuição, encontradas aqui, se aproximam dos valores determinados por Leal e Rodrigues (2011), que estimaram a área da voçoroca em 0,4 hectares e a bacia de contribuição com 2,16 hectares.

A partir do ortomosaico gerado, realizou-se uma aproximação da voçoroca (Figura 5), sendo possível identificar que sua cabeceira apresenta formato em leque. Além disso, observam-se ramificações laterais, com alguns pontos desconexos em relação ao canal principal.

Figura 5: Vista aérea aproximada da voçoroca do Glória, Uberlândia-MG



Fonte: Autores.

A voçoroca encontra-se em estágio avançado de desenvolvimento, caracterizando-se pela conexão com a rede de drenagem e ligação direta ao Córrego do Glória. Em aspectos morfométricos, destaca-se a formação em leque da cabeceira, com formato semicircular, canal estreito e linear. Essas características são semelhantes às observadas por Beserra Neta (2007), que caracterizava as voçorocas quanto à inclinação média de 85° e formato em U da base do canal.

A cabeceira de drenagem da feição erosiva apresenta vegetação em desenvolvimento no fundo da voçoroca, com gramíneas e algumas plantas arbustivas. Em estudos realizados na mesma área, Alves (2007) não constatou a presença de vegetação nas imagens utilizadas. Assim, deduz-se que o desenvolvimento vegetal é relativamente recente e pode contribuir para a recuperação da área degradada.

A voçoroca apresenta ramificações laterais em sulcos e ravinas, indicando potencialidade de aumento em tamanho. Nota-se que os canais na lateral esquerda da voçoroca são ligeiramente maiores em comparação aos da lateral direita. Essas diferenças podem estar relacionadas a dois fatores: o tamanho da bacia de contribuição lateral e a natureza do solo.

Alves (2007) explica que o material sedimentar dos canais do lado direito da voçoroca apresenta boa permeabilidade, o que, aliada à pequena bacia de contribuição lateral, minimizava a formação de escoamento superficial. Como consequência, tais condições acarretam menores perdas de solo, explicando as diferenças observadas entre as ramificações laterais.

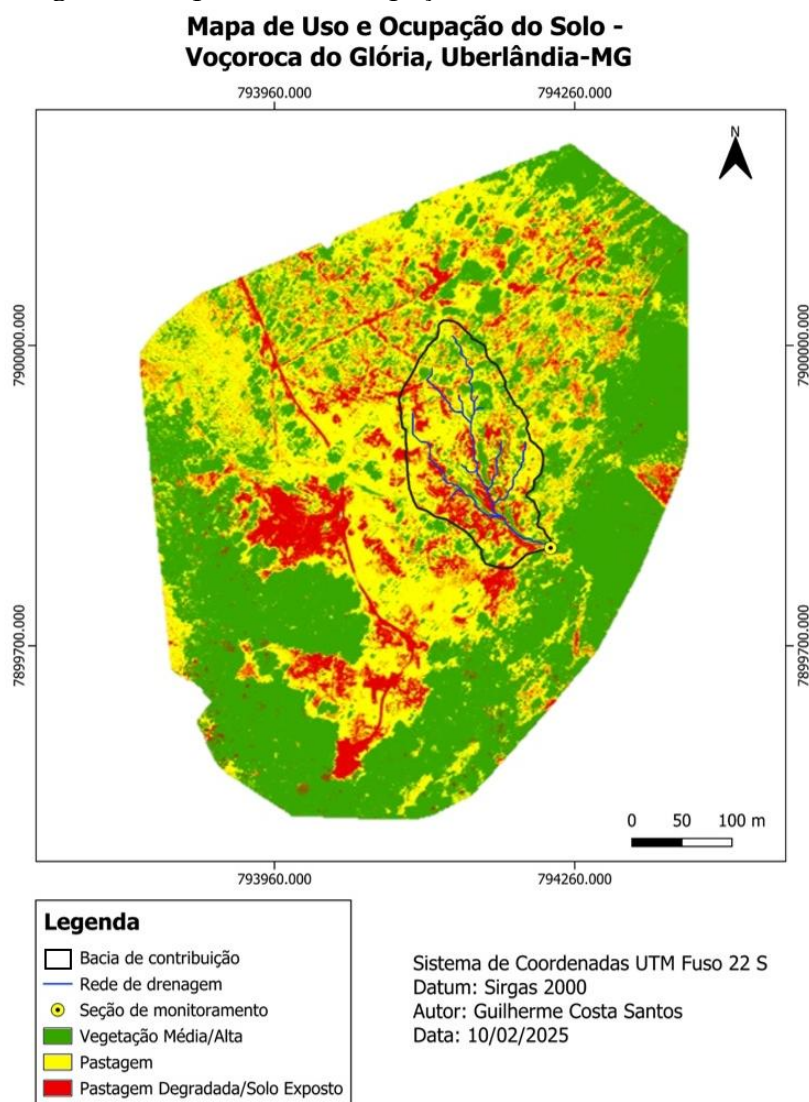
Algumas ravinas não apresentam uma conexão visível com o canal principal nas imagens analisadas, o que pode indicar a ocorrência de erosão em dutos. Nesse caso, as ravinas aparentemente isoladas estariam ligadas ao canal principal da voçoroca por meio de dutos subterrâneos. Alves (2007) aponta que a voçoroca do Glória sofre com esse tipo de erosão, sendo o principal fator para seu aumento, já que a área de contribuição não gera escoamento superficial suficiente para comprometer a estabilidade do solo.

A expansão das ramificações tende a intensificar o processo erosivo em direção ao divisor de águas da bacia de contribuição. De acordo com Coelho Netto (2003), a progressão dos canais erosivos para áreas de maior gradiente topográfico pode desestabilizar os taludes e desencadear movimentos de massa.

Alves (2007) explica que o material sedimentar dos canais do lado direito da voçoroca apresentava boa permeabilidade, a qual, associada à pequena bacia de contribuição lateral, minimizava a formação de escoamento superficial. Logo, tais condições acarretam menores perdas de solo, explicando as diferenças entre as ramificações laterais observadas neste estudo.

O ortomosaico e a nuvem de pontos possibilitaram outros mapeamentos, individualizando fatores que influenciam a erosão, como o uso e ocupação do solo e a declividade. O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 6) revelou que a área é predominantemente composta por pastagem, vegetação média/alta, pastagem degradada e solo exposto.

Figura 6: Mapa de uso e ocupação do solo na área de estudo



A bacia de contribuição da voçoroca é predominantemente coberta por pastagem, com a presença de áreas de pastagem degradada, solo exposto e vegetação de porte médio a alto (Tabela 10).

Tabela 10 – Distribuição do uso e ocupação do solo na área de estudo

Uso e ocupação do solo	Área	
	ha	%
Vegetação média/alta	0,32	14,9
Pastagem	1,32	61,1
Pastagem degradada/Solo exposto	0,53	24,0
Área Total	2,17	100

Fonte: Autores.

Na área da bacia de contribuição da voçoroca, observou-se predominância de pastagem (61,1%) e de pastagem degradada/solo exposto (24%), indicando que a ausência de vegetação está relacionada ao processo erosivo. Na cabeceira da voçoroca e em partes das ramificações laterais, verifica-se a existência de pastagem degradada e solo exposto. A região sudoeste da bacia de contribuição da voçoroca apresenta uma grande extensão de solo exposto, o que pode favorecer a ampliação das ramificações e possibilitar a ocorrência de deslizamentos de terra.

Por se tratar de erosão hídrica, o desenvolvimento do processo erosivo está diretamente associado à presença de vegetação diversificada. Na bacia de contribuição da voçoroca em estudo, observou-se a presença de plantas arbustivas e desenvolvimento de gramíneas comuns do bioma do Cerrado, porém destaca-se a grande presença de solo exposto e a ausência de estratos vegetativos com dossel alto (Figura 7).

Figura 7: Presença de gramíneas e vegetação arbustiva na voçoroca do Glória



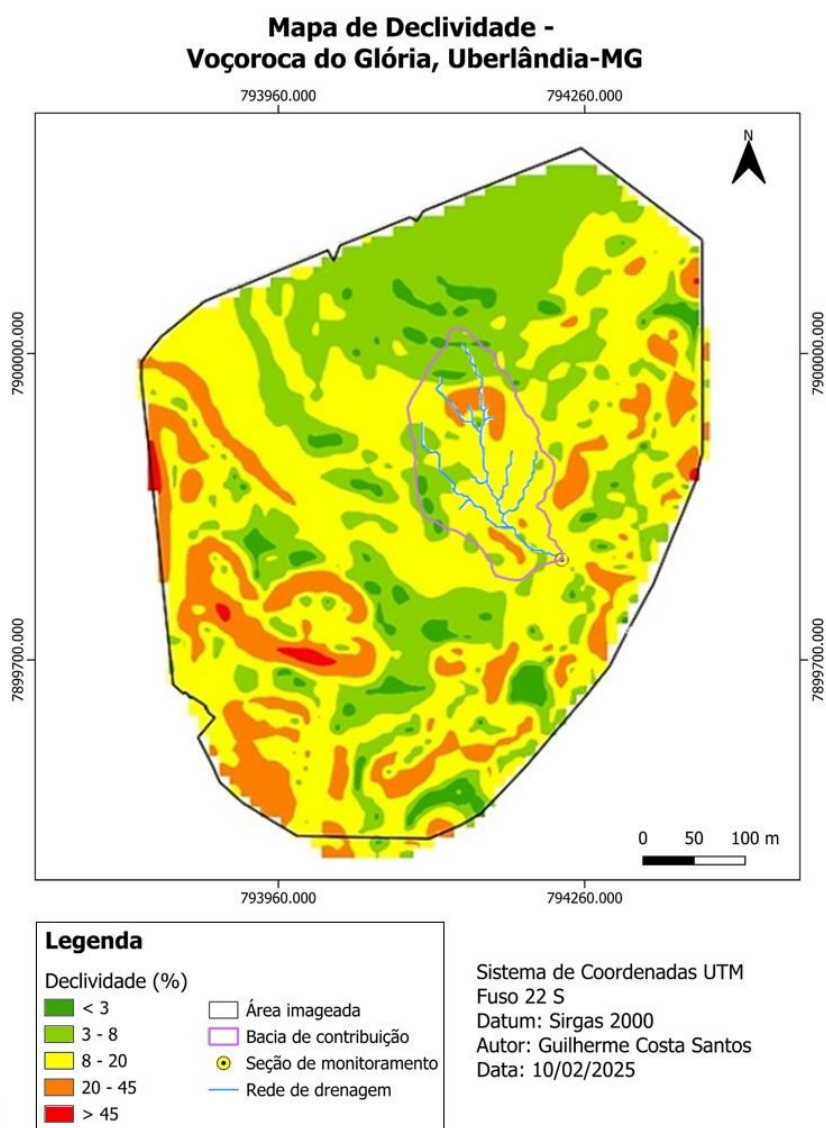
Fonte: Autores.

Richter e Soares (2022) destacam que a revegetação é importante para proteger e controlar o impacto das gotas de chuva (efeito *splash*), auxiliando também na estruturação do solo. Valentin, Poesen e Li (2005), destacam a importância de uma diversificação dos estratos vegetais, sendo que a camada de vegetação mais próxima do solo desempenha um papel muito importante para reduzir a energia de impacto das gotas de chuva no solo. Os autores também destacam que o desenvolvimento de raízes melhora as propriedades físicas

do solo, principalmente sua estabilidade estrutural e infiltrabilidade. Esses benefícios indicam que é necessário o recobrimento do solo exposto para a estabilização dos taludes, estruturação do solo e para minimizar a carga cinética de impacto e escoamento superficial na área de estudo, minimizando o desprendimento e carreamento de sedimentos.

A declividade influencia as condições hidrológicas que propiciam o processo erosivo. O mapa de declividade (Figura 8) indica a predominância de relevo ondulado na área de estudo, sendo possível observar, na cabeceira da voçoroca, declividades de relevo fortemente ondulado. A alta declividade percebida na cabeceira da voçoroca, em algumas seções das ramificações laterais e do canal principal, está associada à grande profundidade da feição erosiva, resultando na formação de seções com paredes verticais.

Figura 8: Mapa de declividade da área de estudo



Segundo Alves (2007), a rampa principal da bacia de contribuição da voçoroca apresenta uma declividade de 6%. No entanto, Giffoni (2010) destaca que os processos erosivos tendem a ocorrer em áreas com declividade média a alta. Nesse contexto, a declividade torna-se um fator relevante para a erosão em terrenos ondulados e fortemente ondulados, especialmente quando o comprimento do talvegue é grande o suficiente para

gerar escoamento superficial com elevada carga cinética, o que não corresponde às características da área de estudo. Contudo, a presença de ravinas sem conexão direta com o canal principal fortalece a hipótese da ocorrência de erosão em dutos, que acaba sendo o principal fator para aumento da feição erosiva.

Considerações finais

De maneira geral, as geotecnologias apresentaram limitações e potencialidades neste estudo. As principais limitações observadas estão relacionadas a fatores intrínsecos ao uso das geotecnologias, como a precisão do posicionamento GNSS em áreas vegetadas, bem como os processamentos internos em ferramentas de processamento digital de imagens e SIG.

Em contraparte, as geotecnologias possuem amplo potencial de aplicação, desde que alinhadas aos objetivos finais dos estudos. Para isso, é fundamental um planejamento sólido que contemple o máximo possível de informações antes da utilização dessas tecnologias. Destaca-se ainda, a importância de se considerar os softwares de pós-processamento de dados a serem utilizados já na etapa de planejamento do levantamento GNSS. Essa recomendação decorre da ausência dessa consideração em documentos orientativos para levantamento GNSS, o que pode gerar dificuldades na etapa de pós-processamento para iniciantes na área, como alunos de graduação.

O posicionamento GNSS, o processamento digital de imagens, a geração de ortomosaico e a criação da nuvem de pontos possibilitaram sucessivas análises quanto aos processos e feições erosivas. No entanto, esses recursos não eliminam a necessidade de visitas a campo, sendo eficazes quando utilizados como ferramentas de suporte às análises ambientais, auxiliando na compreensão dos processos de degradação do solo.

A aplicação das geotecnologias demonstra grande relevância, uma vez que possibilita uma melhor compreensão do processo e das feições de erosão hídrica. Além disso, permite análises mais detalhadas, que contribuem para uma melhor articulação na formulação de estratégias de proteção e recuperação de áreas com solos degradados.

Referências

ALVES, R. R. **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimento de uma voçoroca**: estudo de caso na Fazenda do Glória na zona rural de Uberlândia-MG. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16269>. Acesso em: 15 mar. 2024.

BACCARO, C. A. D. Estudos geomorfológicos no município de Uberlândia. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, ano 1, n. 1, p. 17-21, jun., 1989.

BESERRA NETA, L. C. **Análise evolutiva da paisagem da serra Tepequém - Roraima e o impacto da atividade antrópica**. 2007. 193 f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências Universidade Federal do Pará, Belém, 2007. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/14630>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BIULCHI, D. F. **Uso de leguminosas arbóreas no controle da evolução de voçoroca no domínio do cerrado**. 2012. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012. DOI:

<https://doi.org/10.14393/ufu.te.2012.81>. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/15952>. Acesso em: 19 jun. 2024.

BORGES, R. O. *et al.* Utilização de drones de pequeno porte como alternativa de baixo custo para caracterização topográfica da infraestrutura de transportes no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27., 2017, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: Escola Naval, 2017. Disponível em:
https://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/635/CTO4-138_1506813983.pdf. Acesso em: 19 abr. 2024.

BRASIL. **Norma da especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais de defesa da força terrestre (ET-ADGV DEFESA F Ter)**. 2 ed. Brasília, DF: Ministério da Defesa, 2016.

CAPECHE, C. L. *et al.* Degradação do solo e da água: impactos da erosão e estratégias de controle. In: TAVARES, S. R. L. *et al.* **Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2008. p. 105-132.

COELHO NETTO, A. L. Evolução de cabeceiras de drenagem no médio vale do rio Paraíba do Sul (SP/RJ): a formação e o crescimento da rede de canais sob controle estrutural. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, DF, ano 4, n.2, p.69-100, 2003. DOI:
<https://doi.org/10.20502/rbg.v4i2.25>. Disponível em:
<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/25>. Acesso em: 27 jun. 2024.

FARRET, J. C. *et al.* A precisão possível com GPS l1/CA em georreferenciamento: o desafio do multicaminho – análise de um receptor. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 13, n. 1, p.211-229, 2007. Disponível em:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=393937701012>. Acesso em: 3 fev. 2024.

FERREIRA, F. R. **Propostas para a avaliação da acurácia altimétrica dos dados LIDAR**. 2019. 201 f. Tese (Doutorado em Ciências) –Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.3.2019.tde-21112019-084218>. Disponível em:
<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-21112019-084218/pt-br.php>. Acesso em: 6 abr. 2024.

GIFFONI, S. N. **Caracterização comportamental das feições erosivas na Bacia do Córrego Campo Alegre com base nos estudos geológico-geotécnicos - perímetro urbano de Uberlândia-MG**. 2010. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010. Disponível em:
<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14147>. Acesso em: 4 abr. 2024.

GOMES, A. M. de A.; TEIXEIRA, N. N. Análise da Diferença de Precisão de Coordenadas e Área Obtidas por Receptores GPS/GNSS de Navegação e Geodésico, Para Fins de Medições de Custos em PRAD. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, São Paulo, ano 2, v. 1, p. 174-184, 2017. Disponível em:
<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/geografia/precisao-de-coordenadas>. Acesso em: 4 abr. 2024.

IBAM. **Caderno de estudo: Introdução à geotecnologia**. Rio de Janeiro: IBAM, 2015. Disponível em:
<https://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo->

projetos-cartilhas-outros/IBAM-Introducao-Geotecnologia-caderno-estudo.pdf. Acesso em: 4 fev. 2025.

IBGE. **Especificações e normas para levantamentos geodésicos associados ao Sistema Geodésico Brasileiro**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE. **Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

IBGE. **Serviço online para pós-processamento de dados GNSS (IBGE-PPP)**. Rio de Janeiro: IBGE, [201-]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=processar-os-dados>. Acesso em: 28 out. 2019.

LEAL, P. C. B.; RODRIGUES, S. C. Uso e comparação do método de estaqueamento, o método DGPS e geoprocessamento no monitoramento de uma área erosiva na Fazenda do Glória – Uberlândia-MG. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, n. 29, p. 18-35. 2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2011.74184>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74184>. Acesso em: 23 mar. 2024.

LEMOS, J. E. *et al.* Geotecnologias, sistemas de informação geográfica e suas aplicações na Geografia da saúde. **Humanidades & Tecnologia (FINOM)**, [s.l.], v. 49, n. 1, p. 97-111, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.12682741>. Disponível em: https://revistas.icesp.br/index.php/FINOM_Humanidade_Tecnologia/article/view/5093. Acesso em: 4 fev. 2025.

MENDONÇA, R. A. M. *et al.* **Uso das Geotecnologias para Gestão Ambiental: Experiências na Amazônia Meridional**. Cuiabá: ICV, 2011.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: UNESP, 2008.

MORETO, R. F. *et al.* Potencial das geotecnologias para monitoramento do impacto da colonização na floresta nativa na microbacia do Rio Enganado, Amazônia Ocidental, Brasil. **Recima21**, [s.l.], v. 2, n. 7, e27588, 2021. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i7.588>. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/588>. Acesso em: 4 fev. 2025.

PANAGOS, P. *et al.* Global rainfall erosivity assessment based on high temporal resolution rainfall records. **Nature**, London, v. 7, n. 4175, p. 1-12, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-04282-8>. Acesso em: 23 mar. 2024.

PERDIGÃO, T. D.; SANTOS, A. P. Avaliação da acurácia a partir de diferentes tempos de rastreamento utilizando a solução PPP on-line do IBGE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais [...]**. Recife: CTG/UFPE, 2010.

PEREIRA JUNIOR, R. A. **Uso de barreiras físicas em voçoroca e seus efeitos na retenção de sedimentos: um estudo de caso**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16224>. Acesso em: 7 abr. 2024.

PIX4D. **Pix4D mapper 4.1**: user manual. Lausanne, Switzerland: Pix4D AS, 2017.

RICHTER, L. A.; SOARES, J. F. Recuperação de voçoroca com técnicas de bioengenharia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 13., 2022, Teresina. **Anais** [...]. Teresina: IBEAS, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.13.22.VI-001>. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2022/VI-001.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. 16, p. 81-90, 2011. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0016.0009>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SILVA, J. B. da. **Do diagnóstico às unidades geodinâmicas e de fragilidade ambiental**: uma contribuição a educação e gestão ambientais em Veríssimo-MG. 2016. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia e Gestão do Território) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. DOI: <https://doi.org/10.14393/ufu.te.2016.19>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16018>. Acesso em: 24 mar. 2024.

SILVA, V. O. da; ZUCHERATO, B.; PEIXOTO, D. W. B. A importância das geotecnologias para a Educação Básica. **Revista Geoaraguaia**, Barra dos Garças, v. 11, n. Esp. Geotecnologias, p. 202-226, 2021. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/geo/article/view/12766>. Acesso em: 4 fev. 2025.

SOPCHAKI, C.H. *et al.* Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. **Revista Ra'eGa**, Curitiba, v.43, p. 200 -214, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.56564>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/56564>. Acesso em: 26 mar. 2024.

SOUZA, E. M. de. **Efeito de multicaminho de alta frequência no posicionamento relativo GPS estático**: detecção e atenuação utilizando wavelets. 2004. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/88542>. Acesso em: 7 jun. 2024.

TOPCON. **Universal Tracking**: the truly scalable technology. USA: Topcon, c2019.

TSCHIEDEL, A. F. *et al.* Construção de um modelo digital de superfície de uma voçoroca a partir do uso de drone. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13., 2018, Vitória, Espírito Santo. **Anais** [...]. Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=4064>. Acesso em: 13 abr. 2024.

VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, Y. Gully erosion: Impacts, factors and control. **CATENA**, [s.l.], v. 63, n. 2-3, p. 132-153, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2005.06.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816205000883>. Acesso em: 6 fev. 2025.

ZANETTI, G.; VEIGA, L.; OLIVEIRA JÚNIOR, P. Monitoramento Estrutural por GNSS: Análise do PPP e Posicionamento Relativo na UHE Mauá. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 3, p. 240-249, Rio de Janeiro, 2020. DOI:

https://doi.org/10.11137/2020_3_240_249. Disponível em:
<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/38603>. Acesso em: 26 mar. 2024.

Recebido em: 23/04/2024.
Aprovado para publicação em: 28/01/2025.