

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS III
COORDENAÇÃO DE GEOMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA

ANA MARIA SANTOS DA SILVA
TÂMARA SOARES ROSA

**APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA A DETERMINAÇÃO DE
PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E FISIOGRÁFICOS DE UMA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA**

GOIÂNIA, GO
2022

ANA MARIA SANTOS DA SILVA
TÂMARA SOARES ROSA

**APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE
PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E FISIOGRÁFICOS DE UMA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à
Coordenação de Geomática, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus
Goiânia, como parte dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharelado em Engenharia
Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Fernandes de Sousa
Co-orientador: Dr. Leomar Rufino Alves Júnior

GOIÂNIA, GO

2022

Si381a Silva, Ana Maria Santos da.
Aplicação de geotecnologias para a determinação de parâmetros morfométricos e fisiográficos de uma sub-bacia hidrográfica / Ana Maria Santos da Silva; Tâmara Soares Rosa. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.
99 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Fernandes de Sousa.
Coorientador: Prof. Dr. Leomar Rufino Alves Júnior.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Sistemas de Informação Geográfica. 2. Fotogrametria. 3. Geotecnologias. I. Rosa, Tâmara Soares. II. Sousa, Ricardo Fernandes de (orientador). III. Alves Júnior, Leomar Rufino. IV. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. V. Título.

CDD 526.1

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Karol Almeida da Silva CRB1/ 2.740
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

ATA Nº ECA 05 - TCC/2021.2

ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA / Câmpus Goiânia

ATA DA SESSÃO PÚBLICA VIRTUAL DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 16:00 horas, na sala virtual meet.google.com/mku-figx-utc, foi realizada a sessão pública de apresentação e defesa do Trabalho de Conclusão de Curso das Graduandas **Ana Maria Santos da Silva (matrícula 20151011190116)** e **Tâmara Soares Rosa (matrícula 20151011190264)** do curso de Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, do Departamento III, Câmpus Goiânia, do Instituto Federal de Goiás, no segundo semestre do ano de dois mil e vinte e um. A banca foi composta pelos seguintes membros:

- Ricardo Fernandes de Sousa (Professor-Orientador)
- Leomar Rufino Alves Junior (Professor-Coorientador)
- João Batista Ramos Côrtes
- Max Well de Oliveira Rabelo

sob a presidência do primeiro. O trabalho de conclusão de curso tem como título "**Aplicação de geotecnologias para a determinação de parâmetros morfométricos e fisiográficos de uma sub-bacia hidrográfica**", sob orientação do Prof. **Ricardo Fernandes de Sousa** e coorientação do Prof. **Leomar R. Alves Junior**. Após a apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso, tendo sido as autoras arguidas pela Banca Examinadora, as notas obtidas foram, respectivamente, 8,3 (oito vírgula três) e 8,3 (oito vírgula três).

Encerrou-se a sessão às 18 horas e 20 minutos. Eu, Profa. Marina Alberti Macedo, dato e assino a presente ata que segue assinada por todos os membros da Banca Examinadora.

Profa. Marina Alberti Macedo (Assinado eletronicamente)

Prof. Ricardo Fernandes de Sousa (Assinado eletronicamente)

Prof. Leomar Rufino Alves Junior (Assinado eletronicamente)

Prof. João Batista Ramos Côrtes (Assinado eletronicamente)

Prof. Max Well de Oliveira Rabelo (Assinado eletronicamente)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Marina Alberti Macedo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/02/2022 18:45:59.
- **Max Well de Oliveira Rabelo**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/02/2022 18:45:47.
- **Joao Batista Ramos Cortes**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/02/2022 18:44:52.
- **Leomar Rufino Alves Junior**, TECNICO DE LABORATORIO AREA, em 07/02/2022 18:44:47.
- **Ricardo Fernandes de Sousa**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/02/2022 18:44:29.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.fg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 243211

Código de Autenticação: 039edf2488



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2735 (ramal: 2735)



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Ana Maria Santos da Silva

Matrícula: 20151011190116

Título do Trabalho: Aplicações de geotecnologias para a determinação de parâmetros morfométricos e fisiográficos de uma sub-bacia hidrográfica.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 02/03/20
Local Data

Ana Maria Santos da Silva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Tâmara Soares Rosa

Matrícula: 20151011190264

Título do Trabalho: Aplicações de geotecnologias para a determinação de parâmetros morfo-métricos e fisiográficos de uma sub-bacia hidrográfica.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Tâmara Soares Rosa

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Goiânia, 07/03/22
Local Data

Eu, Ana Maria, dedico esse trabalho a minha mãe e ao meu irmão, Rilmar Santos da Silva e Lucas Junio Santana da Silva, pelo apoio e incentivo que serviram de alicerce para as minhas realizações.

Eu, Tâmara, dedico esse trabalho aos meus familiares e amigos, que me incentivaram e estiveram ao meu lado durante essa longa caminhada. E em especial ao meu noivo, Danilo Silva Mesquita, por toda paciência, compreensão e apoio.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos os nossos pais, familiares e amigos que, ao longo dessa etapa, nos apoiaram e encorajaram a não desistir do nosso objetivo. Em especial, às nossas colegas de turma Tainara Gomes Pereira dos Santos e Julianny Alves Nobres que contribuíram ativamente na execução deste trabalho.

Ao orientador Ricardo Fernandes de Sousa e ao co-orientador Leomar Rufino Alves Júnior por aceitarem participar desta pesquisa nos auxiliando sempre que necessário.

Ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG da Universidade Federal de Goiás, pelo fornecimento do RPAS eBee Plus RTK, do receptor GNSS Hiper Lite + e do computador para o processamento de algumas etapas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG), seu corpo docente, direção, administração e funcionários terceirizados que oportunizaram um ambiente propício para a nossa evolução acadêmica.

Aos professores e membros da banca pelos apontamentos que contribuíram para o enriquecimento deste estudo. Em especial, a professora Marina Alberti Macedo por toda ajuda e suporte fornecidos no decorrer desta pesquisa.

Por fim, a todos que de alguma forma se envolveram, direta ou indiretamente no desenvolvimento deste trabalho, potencializando o nosso processo de aprendizado.

“Quanto mais aumenta nosso conhecimento, mais
evidente fica nossa ignorância.”

(John F. Kennedy)

RESUMO

APLICAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS E FISIAGRÁFICOS DE UMA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA

AUTORAS: Ana Maria Santos da Silva

Tâmara Soares Rosa

ORIENTADOR: Prof. Dr. Ricardo Fernandes de Sousa

CO-ORIENTADOR: Dr. Leomar Rufino Alves Júnior

O Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS) aliado aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) vem crescendo como fonte de obtenção, processamento e análise de dados para estudos do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas. A pesquisa em questão teve como objetivo analisar a aplicabilidade da utilização das geotecnologias RPAS e SIG como subsídio para o mapeamento, a determinação e o dimensionamento dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia do Córrego dos Chaves, situada no município de Morrinhos - GO. A metodologia deste trabalho baseou-se na realização de 10 voos utilizando a aeronave eBee Plus RTK que possui a bordo a câmara do modelo *Sensor Optimised for Drone Applications* (S.O.D.A.), ambas fabricadas pela empresa *senseFly*. Para a obtenção do ortomosaico, do Modelo Digital de Terreno (MDT) e das curvas de nível foi realizado o processamento dos voos no programa *Agisoft Metashape* Professional. A partir dos produtos obtidos no processamento do voo aerofotogramétrico, foi executada a extração automática da sub-bacia e da rede de drenagem em ambiente SIG, que serviram como base para a determinação dos parâmetros propostos nesta pesquisa. Alguns dos resultados determinados para a sub-bacia em estudo foram: área de 12,60 km², perímetro de 20,10 km, ordenamento dos canais de grau 3, comprimento do curso d'água principal de 5,12 km e comprimento total dos cursos d'água de 14,82 km. A partir da declividade, constatou-se que o tipo de relevo predominante na área da sub-bacia é o suave ondulado, o qual ocupa 7,37 km², o que corresponde a 58,52% da área total. Os dados gerados ao final dessa análise podem servir de apoio para futuros estudos hidrológicos envolvendo o planejamento de uso e gestão dos recursos hídricos, bem como o controle e monitoramento ambiental da sub-bacia do Córrego dos Chaves. Recomenda-se a continuidade e o aprofundamento do estudo em questão.

Palavras-chave: Aerofotogrametria. Microbacia. SARP. SIG. MDT. Ortomosaico.

ABSTRACT

APPLICATION OF GEOTECHNOLOGIES FOR THE DETERMINATION OF MORPHOMETRIC AND PHYSIOGRAPHICAL PARAMETERS OF A HYDROGRAPHIC SUB-BASIN

AUTHORS: Ana Maria Santos da Silva

Tâmara Soares Rosa

ADVISOR: Prof. Dr. Ricardo Fernandes de Sousa

CO-ADVISOR: Dr. Leomar Rufino Alves Júnior

The Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) combined with Geographic Information Systems (GIS) has been growing as a source of obtaining, processing and analyzing data for studies of the hydrological behavior of watersheds. The research in question aimed to analyze the applicability of the use of RPAS and GIS geotechnologies as a subsidy for the mapping, determination and dimensioning of morphometric and physiographic parameters of the Córrego dos Chaves sub-basin, located in the municipality of Morrinhos - GO. The methodology of this work was based on the realization of 10 flights using the eBee Plus RTK aircraft that has on board the Sensor Optimised for Drone Applications (S.O.D.A.) camera, both manufactured by senseFly. To obtain the orthomosaic, the Digital Terrain Model (MDT) and the contour lines, the flights were processed in the Agisoft Metashape Professional program. From the products obtained in the processing of the aerophotogrammetric flight, the automatic extraction of the sub-basin and drainage network in a SIG environment was performed, which served as a basis for determining the parameters proposed in this research. Some of the results determined for the sub-basin under study were: area of 12.60 km², perimeter of 20.10 km, ordering of grade 3 channels, length of the main watercourse of 5.12 km and total length of watercourses of 14.82 km. From the slope, it was found that the predominant type of relief in the sub-basin area is the smooth wavy in which it occupies 7.37 km², which corresponds to 58.52% of the total area. The data generated at the end of this analysis can serve as support for future hydrological studies involving the planning of use and management of water resources, as well as the control and environmental monitoring of the sub-basin of the Córrego dos Chaves. It is recommended to continue and deepen the study in question.

Keywords: Aerophotogrammetry. Microbasin. RPAS. SIG. MDT. Orthomosaic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Divisão Hidrográfica Nacional Brasileira.	26
Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.	38
Figura 3 – Receptor GNSS utilizado durante a ocupação do ponto base.	39
Figura 4 – Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada modelo eBee Plus RTK.	40
Figura 5 – Planos de voo criados no programa <i>eMotion 3</i> contendo círculo de segurança e polígono imageado (cor vermelha).	42
Figura 6 – Etapas realizadas no programa <i>Agisoft Metashape Professional</i> para criação do MDS, ortomosaico, MDT e curvas de nível.	44
Figura 7 – Parâmetros utilizados na classificação da nuvem densa de pontos do processamento aerofotogramétrico para a obtenção do MDT.	46
Figura 8 – Etapas metodológicas de delimitação automática da sub-bacia hidrográfica no <i>ArcHydro Tools</i> .	48
Figura 9 – Configuração dos parâmetros para a determinação da rede densa de drenagem.	49
Figura 10 – Seleção das amostras para a classificação da cobertura do solo no programa <i>ArcMap</i> .	52
Figura 11 – Ortomosaico com a delimitação da Sub-bacia do Córrego dos Chaves.	54
Figura 12 – Vértices angulosos presentes na delimitação automática da sub-bacia (A e B).	56
Figura 13 – Erros na extração automática da rede de drenagem da sub-bacia (A e B).	57
Figura 14 – Mapa de caracterização da sub-bacia do Córrego dos Chaves.	58
Figura 15 – Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego dos Chaves.	59
Figura 16 – Mapa hipsométrico com curvas de nível da sub-bacia do Córrego dos Chaves.	61
Figura 17 – Erros da classificação: região que deveria ser considerada como agricultura (B) mas foi classificada como vegetação nativa (A) e região que deveria ser apontada como hidrografia (D) mas foi classificada como vegetação nativa (C).	62
Figura 18 – Mapa da cobertura do solo da sub-bacia do Córrego dos Chaves.	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros morfométricos a serem determinados de maneira interativa em um ambiente computacional.	27
Quadro 2 – Equações a serem utilizadas para a determinação dos parâmetros morfométricos.	28
Quadro 3 – Classificação de RPAS por peso máximo de decolagem.	33
Quadro 4 – Características morfométricas e fisiográficas da sub-bacia do Córrego dos Chaves.	55
Quadro 5 – Distribuição das classes de declividade na sub-bacia, conforme o sistema de classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APP	Área de Preservação Permanente
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
BH	Bacia Hidrográfica
BVLOS	<i>Beyond Visual Line-of-Sight</i> (Além da linha de visada)
CMOS	<i>Complementary Metal-oxide-semiconductor</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CSRS-PPP	<i>Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning</i>
D8	<i>Deterministic eight directions</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPP	Polipropileno Expandido
EVLOS	<i>Extended Visual Line-of-Sight</i> (Linha de visada estendida)
GCP	<i>Ground Control Point</i> (Pontos de controle no solo)
GLONASS	<i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i> (Sistema Global de Navegação por Satélites)
GO	Goiás
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> (Sistema Global de Navegação por Satélite)
GSD	<i>Ground Sample Distance</i> (Distância de amostra do solo)
GSM	<i>Global System for Mobile Communication</i> (Sistema Global para Comunicação Móvel)

IBGE-PPP	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Posicionamento por Ponto Preciso
IGR	Órbita IGS rápida
IGS	<i>International GNSS Service</i>
IGS	Órbita IGS final
IGU	Órbita IGS ultra-rápida
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> (Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço)
Org.	Organizador (a) / Organizadores (as)
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
POE	Parâmetro de Orientação Exterior
POI	Parâmetro de Orientação Interior
PPK	<i>Post Processed Kinematic</i> (Cinemático Pós-Processado)
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBAC-E	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial
RH	Regiões Hidrográficas
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange Format</i>
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> (Cinemático em Tempo Real)
SARP	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
SIG	Sistemas de Informação Geográfica

SIRGAS 2000	Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas
SISVANT	Sistema de Veículo Aéreo não Tripulado
S.O.D.A.	<i>Sensor Optimised for Drone Applications</i>
SR	Sensoriamento Remoto
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i> (Missão Topográfica Radar <i>Shuttle</i>)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo não Tripulado
VLOS	<i>Visual Line-of-Sight</i> (Linha de visada visual)

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Grau
Δ	Diferença
A	Área
B1 e B2	Parâmetros de não afinidade entre os eixos
cm	Centímetro
C	Comprimento axial
Cx e Cy	Coordenada x e y do ponto principal
D _c	Declividade do curso d'água principal
d _c	Distância entre a nascente e a foz
Dd	Densidade de drenagem
F	Distância focal
F	Fator de forma
GB	GigaBytes
K1, K2, K3, K4	Coeficientes de distorção radial simétrica
Kc	Coeficiente de compacidade
kg	Quilograma
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado
km/h	Quilômetro por hora
L _c	Comprimento do curso d'água principal
L _m	Largura média
L _t	Comprimento total dos cursos d'água

M	Mega
m	Metro
mm	Milimetro
n°	Número
P1 e P2	Coeficientes de distorção descentrada
P	Perímetro
s	Segundo
S _c	Sinuosidade do curso d'água principal
S	Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Tema	22
1.2 Justificativa	22
2 OBJETIVOS	24
2.1 Objetivo geral	24
2.2 Objetivos específicos	24
3 REVISÃO DE LITERATURA	25
3.1 Recursos hídricos	25
3.1.1 Parâmetros morfométricos	27
3.1.2 Parâmetros fisiográficos	29
3.1.3 Ordem dos cursos d'água	30
3.2 Geotecnologias	30
3.2.1 Aerofotogrametria	31
3.2.1.1 Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada	32
3.2.1.2 Legislação Brasileira para uso de RPAS	33
3.2.2 Sistema Global de Navegação por Satélite	34
3.2.2.1 Posicionamento por pronto preciso (PPP)	34
3.2.2.2 <i>Post Processed Kinematic</i>	35
3.3 Geotecnologias aplicadas à recursos hídricos	36
4 METODOLOGIA	38
4.1 Localização e caracterização da área de estudo	38
4.2 Material	39
4.3 Procedimentos metodológicos	41
4.3.1 Delimitação prévia da sub-bacia hidrográfica para definição da área do aerolevantamento	41

4.3.2 Planejamento e execução do levantamento aerofotogramétrico	41
4.3.3 Processamento das coordenadas da base e da posição da câmara	43
4.3.4 Processamento aerofotogramétrico	43
4.3.5 Extração automática da sub-bacia hidrográfica e da rede de drenagem	47
4.3.6 Determinação dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia hidrográfica	50
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	64
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A – Plano de voo 1	74
APÊNDICE B – Plano de voo 2	75
APÊNDICE C – Plano de voo 3	76
APÊNDICE D – Plano de voo 4	77
APÊNDICE E – Plano de voo 5	78
APÊNDICE F – Plano de voo 6	79
APÊNDICE G – Plano de voo 7	80
APÊNDICE H – Plano de voo 8	81
APÊNDICE I – Plano de voo 9	82
APÊNDICE J – Plano de voo 10	83
APÊNDICE K – Erros e coordenadas individuais das primeiras 57 fotografias após correção utilizando o método PPK	84
APÊNDICE L – Relatório do processamento aerofotogramétrico da sub-bacia do Córrego dos Chaves para obtenção do MDS e do ortomosaico	85
APÊNDICE M – Relatório do processamento aerofotogramétrico da sub-bacia do Córrego dos Chaves para obtenção do MDT e das curvas de nível	92
ANEXO A – Relatório de processamento IBGE-PPP	100

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está em uma posição privilegiada quando se trata de água doce disponível para uso da sua população. O mesmo conta com cerca de 12% da água doce de todo o mundo, porém, grande parte desse recurso se encontra concentrada na região norte do país embora, por questões climáticas naturais, ocorra escassez nas regiões norte de Minas e nos estados do nordeste do país. Outro fator que inviabiliza o uso da água, além da quantidade, é a qualidade. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tem como função estabelecer normas como forma de garantir a disponibilidade da água a todos com sua devida qualidade (ANA, 2012).

O gerenciamento integralizado dos recursos hídricos é fundamental na percepção de que a água é uma parte integrante do ecossistema, recurso natural, bem social e econômico. Para o uso da água nas inúmeras atividades humanas, considera-se o comportamento do sistema aquoso e a perdurabilidade do recurso a fim de preservar todos os ecossistemas (CAZULA; MIRANDOLA, 2010). A coleta de dados com base na dinâmica de sedimentos, monitoramento dos fluxos, uso e cobertura da terra e reservas de água nas bacias hidrográficas são fundamentais na contribuição das tomadas de decisões para um gerenciamento eficaz do uso da água (PEIXOTO *et al.*, 2021).

O conhecimento dos parâmetros morfométricos e fisiográficos de uma bacia hidrográfica (BH) é um importante recurso para os projetos que interferem diretamente nos recursos naturais de uma dada região (FLAUZINO *et al.*, 2010). Por isso, o geoprocessamento se tornou um aliado para o estudo desses parâmetros, pois possui uma gama de técnicas e ferramentas que auxiliam no entendimento da dinâmica espacial do uso da terra em bacias hidrográficas (ALMEIDA *et al.*, 2015).

As geotecnologias são uma poderosa ferramenta no monitoramento dessas áreas, sobretudo o Sensoriamento Remoto (SR) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Ambas são muito utilizadas nas análises ambientais por trabalharem com um sistema computacional que analisa as informações de uso e ocupação das bacias hidrográficas de maneira rápida e eficaz (VELOSO; LEITE; ALMEIDA, 2011). Os mesmos autores dizem que o SR descreve o crescimento das análises espaciais, desenvolvendo sensores e satélites para as análises da superfície terrestre e modernizando os estudos ambientais.

Segundo Sousa (2017) uma das tecnologias para aquisição de dados espaciais que conquistou espaço no geoprocessamento foi o aerolevantamento por *Remotely Piloted Aircraft*

System (RPAS), devido ao seu baixo custo e rapidez na realização do voo, quando comparado aos métodos fotogramétricos convencionais, executados por aeronaves tripuladas. O uso de ambientes computacionais dos SIG contribuem para a junção dos dados obtidos por sensores remotos ou por outras fontes, bem como a análise espacial e a modelagem dos ambientes possibilitando o planejamento de cenários futuros (FLORENZANO, 2011).

Portanto, este trabalho tem por finalidade utilizar as geotecnologias Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (SARP) e SIG para o mapeamento, a determinação e o dimensionamento dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia do Córrego dos Chaves, situada no município de Morrinhos - Goiás.

1.1 Tema

Aplicação das geotecnologias RPAS e SIG para o mapeamento, a determinação e o dimensionamento dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia do Córrego dos Chaves, localizada no município de Morrinhos-GO, no mês de julho de 2021.

1.2 Justificativa

As águas são um dos recursos naturais com maior importância dentro dos planos de gestão e por essa razão, muitos estudos utilizam as geotecnologias como ferramenta para o tratamento de dados hídricos por permitir análises rápidas e coerentes (CANTADOR; MATIAS, 2017). Dentre estas geotecnologias estão o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informações Geográficas.

É comum encontrar pesquisas que utilizam das técnicas de SR porém, existe uma escassez em estudos a respeito do comportamento hidrológico de bacias e sub-bacias hidrográficas utilizando o Sistema de Veículo Aéreo não Tripulado (SISVANT), também conhecida como Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), RPAS (versão em língua inglesa) ou SARP.

A integração entre SIG e informações hidrológicas têm ganhado muita importância pois permitem descrever, de maneira detalhada, as variáveis territoriais, elementos espaciais e suas relações no espaço geográfico, preenchendo lacunas na modelagem hidrológica para bacias hidrográficas (GAMA, 2011).

Apesar das diversas aplicações envolvendo as técnicas e ferramentas de geoprocessamento aliados aos estudos hidrológicos, esta pesquisa foi importante para demonstrar a aplicabilidade das técnicas e ferramentas mencionadas no planejamento de uso e gestão pública de recursos hídricos, além do controle e monitoramento ambiental, se tornando um grande aliado no subsídio de estudos e dados hidrológicos/hidrográficos para municípios e, também, instituições e órgãos relacionados às áreas de meio ambiente, agricultura, recursos hídricos etc.

Diante do exposto, a realização deste trabalho pode contribuir com informações relevantes acerca do uso das geotecnologias aplicadas ao monitoramento e caracterização de bacias hidrográficas, no caso específico deste estudo, o mapeamento, a determinação e o dimensionamento dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia do Córrego dos Chaves.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Determinar os parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia do Córrego dos Chaves, situada em Morrinhos-GO, utilizando as geotecnologias RPAS e SIG.

2.2 Objetivos específicos

- Adquirir e tratar imagens digitais da área de estudo a partir de um aerolevanteamento utilizando RPAS;
- Determinar e dimensionar os parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia utilizando as imagens obtidas pelo RPAS e os Sistemas de Informação Geográfica; e,
- Elaborar produtos para a representação gráfica, qualitativa e quantitativa dos parâmetros e dados obtidos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura foi limitada aos assuntos que os autores consideraram relevantes para essa pesquisa, presumindo que o leitor possua conhecimentos básicos sobre os conceitos envolvendo Hidrologia, Aerofotogrametria e Geodésia.

3.1 Recursos hídricos

O ciclo hidrológico descreve toda a água do planeta e compreende o movimento contínuo de seus diferentes estados físicos (sólido, líquido e gasoso) dentre os quais, a fase líquida tem maior importância para o uso e as necessidades humanas, da fauna e da flora (TUNDISI; TUNDISI, 2011). O balanço hídrico pode ser determinado para avaliar as componentes cíclicas de regiões hidrologicamente estabelecidas onde podem ser demarcadas por fronteiras políticas, topográficas ou apontadas aleatoriamente (VILLELA; MATTOS, 1975).

As águas subterrâneas e superficiais, podem ser estudadas conforme o ciclo hidrológico em uma bacia hidrográfica. Uma das fontes desse recurso, no Brasil, se dá pelas chuvas e vazões provenientes de outros países, principalmente da Amazônia onde, a água que entra no território é usada em inúmeras atividades, parte retornando para o meio ambiente do país e parte sendo direcionada para os países vizinhos (ANA, 2017).

O termo bacia hidrográfica é utilizado para definir a área de captação natural da água decorrente de precipitações no qual, o escoamento afluente para o ponto mais baixo da bacia, que é chamado de exutório (PAZ, 2004). Como parte da definição de uma bacia hidrográfica também é necessário levar em consideração o efeito dos processos erosivos, assoreamento, entre outros fatores consequentes das ações humanas, que causam alterações nos divisores de água da mesma.

Para Souza e Fernandes (2000), a conceituação de bacia e sub-bacia estão interligadas pois, se associam de acordo com o ordenamento hierárquico constituinte em uma malha hídrica. As sub-bacias ou microbacias são definidas dentro do limite de bacias maiores porém variam conforme a abordagem metodológica de cada autor (TAVEIRA, 2018).

A delimitação de uma bacia hidrográfica é definida por uma linha imaginária topográfica que liga os pontos mais altos entre duas vertentes, dividindo as águas provenientes do escoamento superficial. As bacias têm como componentes principais os divisores de água,

fundos de vale, sub-bacias, nascentes, áreas de descarga e vazão de recarga (FELIZARDO, 2016).

No Brasil, a rede hidrográfica é segmentada em 12 (doze) principais regiões hidrológicas (Figura 1). Essas divisões foram definidas em função dos diferentes ecossistemas existentes no território nacional, bem como foram levados em consideração os fatores de caráter econômico, social e cultural (ANA, 2017). Tais regiões foram definidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) na Resolução nº32 de 2003 (BRASIL, 2003).

Figura 1 – Divisão Hidrográfica Nacional Brasileira.



Fonte: Adaptado de ANA (2017).

Nos últimos anos, a gestão e uso da água tem gerado inúmeras discussões por estarem diretamente ligados aos impactos ambientais, tais como: ocupação do solo indevida, uso indiscriminado da água, desmatamento de matas ciliares, sedimentação, assoreamento, construção de barragens, desvios de cursos d'água, erosão, salinização, contaminação, impermeabilização, compactação, diminuição da matéria orgânica dentre outras degradações ambientais. De tal forma, é notória a importância do papel das bacias hidrográficas nas tomadas de decisões para formular políticas públicas, planejamento e gestão territorial (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Neste âmbito, o estudo do comportamento das características físicas de uma BH vem se tornando uma ferramenta indispensável para a viabilização da gestão das bacias e a conservação dos recursos naturais existentes (FLAUZINO *et al.*, 2010).

Existem diversos fatores que interferem nas características de uma bacia hidrográfica e é importante estudá-los individualmente. Um exemplo disso é a elaboração de projetos, onde pode ser perceptível que em bacias localizadas numa mesma região, os resultados venham a ser diferentes. Por essa razão, faz-se necessária uma análise específica para cada unidade hidrológica, sendo imprescindível conhecer os parâmetros morfométricos e fisiográficos das mesmas (FELIZARDO, 2016).

3.1.1 Parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos são dados quantitativos que representam matematicamente a geometria da bacia. Segundo Paz (2004), alguns desses parâmetros como área, perímetro e comprimento axial, só são possíveis de serem determinados pelas representações gráficas da região em que se encontra a bacia. Com a criação de novas tecnologias para a representação do espaço geográfico, os mapas impressos estão sendo substituídos por programas computacionais.

Os parâmetros de perímetro e comprimento axial são medidas lineares que podem ser determinadas a partir de um programa de SIG (Quadro 1).

Quadro 1 – Parâmetros morfométricos a serem determinados de maneira interativa em um ambiente computacional.

Parâmetro	Descrição	Variáveis
Área	Corresponde à superfície drenada por todos os seus afluentes, projetada em um plano horizontal que tem seus limites definidos por divisores topográficos (TONELLO, 2005).	A – área (km ²).
Perímetro	Corresponde à medida linear sinuosa do divisor de águas (TONELLO, 2005).	P – perímetro (km).
Comprimento Axial	É medido da seção de referência até a cabeceira mais distante, no divisor de águas (CARVALHO <i>et al.</i> , 2009).	C – comprimento axial (km).

Fonte: As autoras (2022).

Quanto aos parâmetros largura média, coeficiente de compacidade, fator de forma, densidade de drenagem e sinuosidade do curso d'água principal são determinados a partir de equações definidas na Hidrologia (Quadro 2).

Quadro 2 – Equações a serem utilizadas para a determinação dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Descrição	Equação	Variáveis
Largura média	É obtida pela divisão da área da bacia por seu comprimento axial (GUIMARÃES, 2017).	$L_m = \frac{A}{C} \quad (1)$	L_m – largura média; A – área (km ²); C – comprimento axial (km).
Coeficiente de compacidade	Associa a forma da bacia hidrográfica com um círculo de mesma área (TONELO, 2005).	$Kc = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$	Kc - coeficiente de compacidade (adimensional); P – perímetro (km); A – área (km ²).
Fator de forma	Relaciona a área da bacia com a forma de um retângulo (TONELO, 2005).	$F = \frac{L_m}{C},$ <i>onde $L_m = \frac{A}{C}$ logo,</i> $F = \frac{A}{C^2} \quad (3)$	F - fator de forma (adimensional); L_m – largura média; A – área (km ²); C – comprimento axial (km).
Densidade de drenagem	Índice que representa o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem sendo expresso pela relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia hidrográfica e sua área total (VILLELA; MATTOS, 1975).	$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (4)$	Dd – densidade de drenagem ($\frac{km}{km^2}$); L_t – comprimento total dos cursos d'água; A – área (km ²).
Sinuosidade do curso d'água principal	Relaciona o comprimento do curso d'água principal com a distância (medida em linha reta) entre a nascente e a foz (PAZ, 2004).	$S_c = \frac{L_c}{d_c} \quad (5)$	S_c - Sinuosidade do curso d'água principal (adimensional); L_c - comprimento do curso d'água principal (km); d_c – distância entre a nascente e a foz (km).

Fonte: As autoras (2022).

De acordo com Villela e Mattos (1975), a área de drenagem é um dado considerado de elevada importância por contribuir com os cálculos dos parâmetros definidores de forma, como: Kc e F .

O coeficiente de compacidade e o fator de forma são indicativos da ocorrência de enchentes em uma bacia hidrográfica. Contudo, bacias com o K_c considerado “muito alto” tendem a ser mais irregulares em termos de vazões e com menor probabilidade de cheias e bacias com o F “muito alto” possuem maior propensão à enchentes (TONELO, 2005; VILLELA; MATTOS, 1975).

A densidade de drenagem permite analisar a eficácia do escoamento da bacia, indicando a velocidade com que a água deixa a mesma. Segundo Villela e Mattos (1975) este índice varia, na maioria dos casos, entre $0,5 \text{ km/km}^2$ à $3,5 \text{ km/km}^2$ indicando, respectivamente, bacias pobres e ricas em drenagem. Vale ressaltar que a densidade de drenagem decorre diretamente do clima e das características físicas da bacia hidrográfica.

A sinuosidade do curso d'água principal também indica a velocidade de escoamento das águas sendo que, quanto mais sinuoso for o leito do rio, menor será a velocidade de vazão da bacia hidrográfica.

3.1.2 Parâmetros fisiográficos

O conhecimento dos parâmetros fisiográficos de uma bacia são aplicados para a compreensão da dinâmica do escoamento superficial da água (CARELLI; LOPES, 2011). Na determinação desses parâmetros, faz-se necessário a utilização de representações do espaço geográfico e das características da área a ser estudada. As ferramentas para essas representações estão em crescente modificações, principalmente em ambientes computacionais (PAZ, 2004).

Os parâmetros fisiográficos retratados neste estudo correspondem à declividade, declividade do curso d'água principal e cobertura do solo.

A declividade de uma bacia hidrográfica determina a velocidade do escoamento superficial da água e influencia no tempo de concentração da mesma. Sendo assim, ela é um fator que atua na capacidade de infiltração do solo e está diretamente relacionada à suscetibilidade do surgimento de erosões no terreno. Segundo Rosa e Brito (2004), quando o solo de uma área apresenta uma variação acentuada na declividade, o escoamento superficial tende a ser mais rápido e consequentemente o tempo de concentração da água é menor, fazendo com que ocorram picos de enchentes.

De acordo com Paz (2004), a declividade do curso d'água principal (D_c) é definida pela relação da diferença de cotas entre dois pontos quaisquer do curso d'água e o comprimento

horizontal entre estes dois pontos conforme apresentado na Equação $D_c = \frac{\Delta COTA}{DIST.HORIZ.}$ (6).

$$D_c = \frac{\Delta COTA}{DIST.HORIZ.} \quad (6)$$

O conhecimento da cobertura do solo da área de uma bacia hidrográfica é um importante dado para explicação do potencial de escoamento superficial e da infiltração da água. Além disso, os diferentes usos do solo sem estudo prévio interferem na dinâmica do ciclo hidrológico de forma a aumentar a ocorrência de enchentes, mostrando assim a necessidade do conhecimento desse parâmetro (VAEZA *et al.*, 2010).

Segundo Poleto (2014), a urbanização tem feito com que a cobertura vegetal diminua de forma drástica contribuindo com o surgimento de processos erosivos e assoreamentos. Um exemplo disso pode ser notado em regiões de mata, onde a infiltração acontece facilmente reduzindo a velocidade de escoamento enquanto, em áreas de culturas e plantio a velocidade de escoamento é maior devido à baixa capacidade de infiltração.

3.1.3 Ordem dos cursos d'água

Sistema de drenagem ou rede de drenagem é definida como a composição de todos os cursos d'água que fazem parte de uma bacia hidrográfica. Essa rede pode ser formada por diferentes tipos de canais classificados como perenes, intermitentes e efêmeros nos quais deságuam em um único ponto da bacia hidrográfica que recebe o nome de exutório (TAVEIRA, 2018).

A classificação dos cursos d'água que compõem o sistema de drenagem está relacionada ao ordenamento dos canais. Segundo Villela e Mattos (1975), o método mais utilizado é o ordenamento definido por Strahler (1954), no qual estabelece que os canais de primeira ordem são aqueles que não recebem a contribuição de outros cursos d'água. Já os canais de segunda ordem são originados da confluência de dois segmentos de primeira ordem e os canais de terceira ordem derivam da junção de dois cursos de segunda ordem e assim por diante.

3.2 Geotecnologias

As geotecnologias são ferramentas tecnológicas que possibilitam a aquisição, análise, tratamento, visualização e processamentos de dados espaciais. Dentre as mais utilizadas e conhecidas estão: o Sensoriamento Remoto, a Fotogrametria, o Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System* - GNSS) e os Sistemas de Informação Geográfica (ALMEIDA *et al.*, 2015).

Os dados oriundos da Fotogrametria e do GNSS fornecem um elevado número de informações geográficas, necessitando de um ambiente computacional para o armazenamento e a manipulação destes dados. Os SIG são ferramentas que possibilitam a análise, a manipulação, o gerenciamento, a saída e a apresentação dos elementos geográficos, sendo essas informações aceitas em apenas dois formatos, a imagem (*raster*) que é uma estrutura mais complexa e o vetorial que são dados mais simples como linhas e pontos.

Com a automação dos processos fotogramétricos, os RPAS se consolidaram como uma ferramenta de baixo custo, fácil operação, rentabilidade, alta resolução geométrica e fácil processamento dos dados para a avaliação ambiental, por possibilitar o levantamento e prevenção de riscos ambientais. Diante disso, essa geotecnologia tem sido utilizada em diferentes áreas de atuação, tais como: agricultura de precisão, mineradoras, estradas, segurança e especialmente em estudos de natureza ambiental (XAVIER, 2013).

3.2.1 Aerofotogrametria

A Fotogrametria é utilizada para obtenção de informações dos objetos sobre a terra pelo registro, medição e interpretação de fotografias e da radiação eletromagnética (WOLF; DEWITT; WILKINSON, 2014). Tal geotecnologia consiste em transformar as coordenadas do sistema bidimensional do espaço fotogramétrico para coordenadas tridimensionais do espaço objeto (COELHO; BRITO, 2007). A aquisição dos dados é feita por uma câmara acoplada a uma aeronave e não possui contato entre o sensor e o objeto.

O aumento das técnicas se deve à utilização em projetos ou pelo incremento da automação fotogramétrica, que demandam um planejamento minucioso, fazendo com que seja imprescindível o conhecimento da superfície da terra. Diante disso, é possível encontrar trabalhos em diferentes áreas que utilizam dessas técnicas para as mais diversas aplicações.

Com o avanço da tecnologia encontram-se disponíveis no mercado uma vasta variedade de *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) ou Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) com funcionalidades e aplicações distintas sendo eles, do tipo asa fixa, multirrotor (asa rotativa) e

híbridas (asa fixa e multirotor simultaneamente). Algumas destas aeronaves contam com GNSS integrado, que auxilia no mapeamento aéreo, possibilitando a obtenção da posição da câmara no momento da tomada da fotografia podendo ser em tempo real *Real Time Kinematic* - RTK ou pós processado *Post Processed Kinematic* – PPK, para a realização da aerotriangulação.

3.2.1.1 Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada

O termo VANT está caindo em desuso devido à nomenclatura oficial adotada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) (MUNARETTO, 2017).

De acordo com a ANAC (2017), o RPAS se refere à aeronave remotamente pilotada, o enlace da pilotagem, a estação de pilotagem remota e qualquer outro componente especificado no seu projeto.

A utilização de dados oriundos do Sistema RPA estão sendo cada vez mais aplicadas em projetos que demandam rapidez e um custo menos dispendioso, diminuindo o tempo do profissional em campo, substituindo em alguns casos a topografia clássica (DANTAS *et al.*, 2019). Outras vantagens a serem destacadas são a viabilidade de revisita da área analisada em reduzidos intervalos de tempo, o imageamento com alta resolução espacial e também o fato das influências meteorológicas serem reduzidas devido à baixa altitude.

Com o passar das décadas, os RPAS sofreram inúmeras evoluções ocasionando na melhoria de suas principais características, sendo elas: a autonomia, a robustez, o alcance e a velocidade (CAMARGO, 2018). Segundo o autor, a seleção do tipo de plataforma (asa fixa, asa rotativa ou híbrida) a ser utilizada é um fator determinante destas características, por afetar diretamente a robustez da aeronave, a carga útil a ser carregada, a velocidade e também a capacidade de recobrimento de voo.

Para a preparação de voos fotogramétricos faz-se necessário a verificação de itens antes do lançamento da aeronave. De acordo com Alves Júnior (2015), são verificadas as baterias, as partes móveis, a conexão de rádio, o sinal GNSS, o plano de voo, a distância e altura dos obstáculos, a direção e velocidade do vento, dentre outros.

Na execução do voo é importante considerar que o piloto remoto é o responsável pela operação segura da aeronave. Para isso é indispensável o monitoramento em solo devido a operação da aeronave ser feita de maneira automática (não autônoma), sempre observando os

seguintes aspectos: as imagens em tempo real (quando disponíveis), as condições meteorológicas e as variações do vento, os obstáculos que possam atrapalhar a trajetória pré-estabelecida no plano de voo, a altura de voo, a carga da bateria, a localização em tempo real do RPAS e a perda de sinal do rádio controlador.

Conforme Costa (2008), as etapas necessárias para o processamento aerofotogramétrico consiste na determinação dos parâmetros de orientação interior (POI) e exterior (POE), na aerotriangulação ou fototriangulação, na ortorretificação de imagens, no ortomosaico e na restituição.

3.2.1.2 Legislação Brasileira para uso de RPAS

O Departamento de Controle do Espaço Aéreo e a Agência Nacional de Aviação Civil são as instituições que dão diretrizes e normas sobre os usos dos RPAS em território nacional. Para utilização dos RPAS no espaço aéreo brasileiro é necessária a autorização do DECEA, da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e, em determinados casos, do Ministério da Defesa (ANAC, 2012), porém essas autorizações só são concedidas à pilotos devidamente certificados.

Segundo a ANAC (2017), o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94 de 2017 estabelece que todos os pilotos remotos e os observadores de RPA devem ser maiores de 18 anos. A RBAC-E nº 94 também define 3 (três) classes de RPAS de acordo com o peso máximo de decolagem (Quadro 3).

Quadro 3 – Classificação de RPAS por peso máximo de decolagem.

Classe	Peso máximo de decolagem (kg)
Classe 1 – RPAS	Maior que 150 kg
Classe 2 – RPAS	Maior que 25 kg e até 150 kg
Classe 3 – RPAS	Até 25 kg

Fonte: Adaptado de ANAC (2017).

As operações do RPAS são classificadas a partir da relação da distância entre o piloto remoto e a aeronave (MUNARETTO, 2017). Dentre as classificações estão:

- Linha de visada visual (*Visual Line-of-Sight* - VLOS) - operação onde o piloto faz contato visual com a aeronave;

- Linha de visada estendida (*Extended Visual Line-of-Sight* - EVLOS) - operação onde o piloto conta com o auxílio de um ou mais observadores que mantêm contato visual com a aeronave ; e,
- Além da linha de visada (*Beyond Visual Line-of-Sight* - BVLOS) - operação onde não é possível manter alcance visual com o RPAS por parte do piloto e nem dos observadores.

3.2.2 Sistema Global de Navegação por Satélite

O GNSS possibilita a obtenção de dados espaciais fornecendo a posição geográfica do usuário sobre o globo terrestre em distintos graus de precisão e sob diversas condições climáticas. O uso dos receptores GNSS tem aumentado significativamente devido ao crescente desenvolvimento e aprimoramento dos sistemas de navegação por satélites (PARANHOS FILHO *et al.*, 2021).

O sistema GNSS é composto pelas constelações do Sistema de Posicionamento Global (*Global Positioning System* – GPS), Galileo, Sistema Global de Navegação por Satélites (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema* - GLONASS) e BEIDOU (COMPASS). Tais sistemas são usualmente aplicados nas áreas de mapeamento geodésico e topográfico, mineração, agricultura de precisão, navegação marítima e terrestre, controle de deformações, entre outras.

O posicionamento GNSS é caracterizado por diferentes métodos e procedimentos. Dentre os métodos existentes, encontram-se os posicionamentos absoluto (por ponto), relativo e diferencial. Quanto à classificação da posição do objeto temos o estático (repouso) e o cinemático (movimento). Outro procedimento para identificar os tipos de posicionamento consiste na estimativa da posição ser realizada em tempo real ou pós-processada.

O método de posicionamento por ponto preciso tem se destacado por apresentar bons resultados quando se trata de alta acurácia, além de não exigir esforço computacional como acontece com o processamento das redes GNSS (MONICO, 2008). Segundo o autor, no posicionamento relativo cinemático a observável fundamental é a fase da onda portadora.

3.2.2.1 Posicionamento por ponto preciso (PPP)

O posicionamento por ponto preciso é vantajoso pois permite usar apenas um receptor para coleta dos dados, não havendo necessidade de rastreamento síncrono com outra base de referência, no entanto é indispensável que tenham no mínimo 4 satélites simultâneos no momento do rastreamento. Vale ressaltar que são utilizadas as observáveis pseudodistância e/ou fase da onda portadora adquiridas manuseando os receptores de simples ou de dupla frequência.

De acordo com Monico (2008), no PPP é indispensável o uso de efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites sendo estas, disponibilizadas pelo *International GNSS Service* (IGS) em três tipos: IGU - órbita IGS ultra-rápida, IGR - órbita IGS rápida e IGS - órbita IGS final. Várias instituições oferecem o serviço *on-line* do posicionamento por ponto preciso, como é o caso do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Posicionamento por Ponto Preciso (IBGE-PPP).

O IBGE-PPP utiliza o programa *Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning* (CSRS-PPP) para o pós-processamento (gratuito) de dados GNSS, possibilitando aos usuários a obtenção de coordenadas referenciadas ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000) e ao *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF) (IBGE,2020). Ao final deste serviço são fornecidos resultados em relatórios (.sum e pdf) bem como os arquivos de posição ao longo do tempo (.pos) e a localização aproximada do rastreamento no *Google Earth* (kml).

3.2.2.2 *Post Processed Kinematic*

Com o passar dos anos, as tecnologias RTK e PPK vem sendo muito utilizadas em levantamentos terrestres para melhorar a precisão dos dados GNSS. Ambos métodos, quando acoplados na aeronave, auxiliam na determinação das coordenadas da posição da câmara e podem eliminar a exigência de *Ground Control Points* (GCP) fazendo com que a precisão das coordenadas da câmara no momento da tomada da fotografia seja reduzida para a casa dos centímetros (cm) (WINGTRA, 2020).

De acordo com Borges (2016), no posicionamento relativo cinemático pós-processado um receptor ocupa uma estação de coordenadas conhecidas armazenando os dados de posicionamento, denominada base, e o outro receptor, chamado *rover* (embarcado na RPA), se move sobre a região de interesse registrando as coordenadas para correção após o voo. A partir

das coletas simultâneas dos dois receptores, são obtidas duplas diferenças, que possibilitam a redução de erros envolvidos nas observáveis.

É importante considerar que as informações das coordenadas geográficas adquiridas no momento da tomada de cada fotografia ficam armazenadas nos metadados (cabeçalho). Este procedimento pode ser chamado de *geotags* ou geocodificação.

No sistema RTK é necessária a utilização de uma antena de radio frequência, e em alguns casos por Sistema Global para Comunicação Móvel (*Global System for Mobile Communication* – GSM) e internet, para manter a conexão entre a base e o rover durante todo o levantamento. No caso do PPK isso não acontece pois a aeronave não precisa manter comunicação com a base uma vez que as informações de posição são armazenadas e processadas posteriormente.

3.3 Geotecnologias aplicadas à recursos hídricos

A quantidade de recursos hídricos que estão sendo contaminados por atividades humanas no Brasil vem crescendo constantemente. Alguns desses cursos d'água são contaminados muitas vezes por indústrias que despejam os efluentes resultantes de suas atividades diretamente nos leitos dos rios. Ou, até mesmo, por áreas agrícolas que fazem uso de diferentes insumos (substâncias químicas diversas) que são transportadas por escoamento superficial e subterrâneo até os rios. Essas substâncias (incluindo alguns poluentes) podem atingir o lençol freático e/ou o leito dos cursos d'água, diminuindo assim a qualidade e a disponibilidade da água para o atendimento das demandas antrópicas. Diante desse fato, faz-se necessário a criação de programas que visem a conservação e utilização adequada e sustentável dos recursos naturais, incluindo os hídricos, com a aplicação sistemática de novas ferramentas tecnológicas (CAVALLARI; TAMAE; ROSA, 2007).

Os dados de sensores remotos se tornaram grandes aliados nos programas e estudos da superfície da Terra. Essas ferramentas permitem obter dados de locais de difícil acesso e informações de diferentes ecossistemas de maneira mais prática. Com o auxílio de um ambiente computacional SIG, tais dados e informações são visualizadas mostrando as características da área e manipuladas de forma a permitir a criação de possíveis cenários de conservação, preservação ou degradação ambiental. Assim, o emprego das geotecnologias pode ser um importante aliado na gestão e planejamento de uso dos recursos naturais (ALMEIDA *et al.*, 2015).

De acordo com Randemann e Trentin (2020), a automatização dos processos fotogramétricos impulsionaram a geotecnologia RPAS e tem sido muito utilizada em diferentes pesquisas, principalmente para estudos em áreas agrícolas e hidrográficas. Segundo os autores, o motivo do uso acentuado dessa tecnologia está no fato da possibilidade dos pesquisadores definirem as principais características dos dados a serem obtidos, como qualidade, resolução espacial e temporal.

A associação dos SIG com as informações hidrológicas têm contribuído para a obtenção de modelos hidrológicos de grandes bacias. Tal associação tem possibilitado a produção de dados distribuídos representativos da geologia, do uso e cobertura do solo, da morfologia a partir de modelos digitais de elevação (MDE). Ainda possibilitam, dentre outras, a definição das características físicas da bacia que são armazenadas em bancos de dados geográficos geocodificados, resultando em simulações em macro-escala (GAMA, 2011).

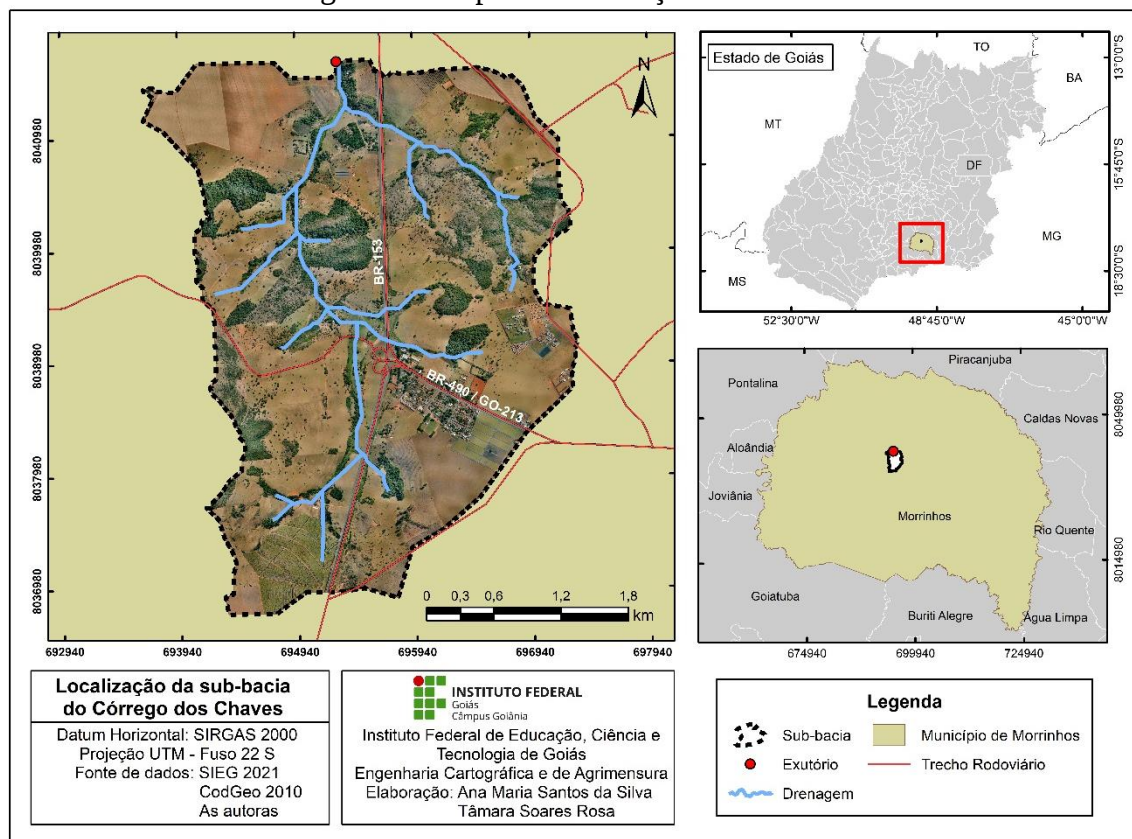
4 METODOLOGIA

Na metodologia foi descrita a localização e caracterização da área de estudo, o material e os procedimentos metodológicos utilizados nessa pesquisa.

4.1 Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo, objeto de pesquisa deste trabalho, compreende a sub-bacia hidrográfica do Córrego dos Chaves (pertencente à região hidrográfica do Paraná) que está localizada no município de Morrinhos, situado na região Sul do estado de Goiás, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: As autoras (2022).

A sub-bacia foi dividida, no sentido longitudinal pela rodovia BR-153 e no sentido transversal pela rodovia BR-490/GO-213 com uso do solo predominante do tipo pastagem.

4.2 Material

Para a obtenção das coordenadas da base foi utilizado um receptor GNSS da marca Topcon e modelo Hiper Lite + (Figura 3). O receptor foi instalado em uma base nivelante e em um tripé sob um ponto topográfico materializado por um piquete de madeira. Os dados obtidos com o receptor GNSS foram descarregados no programa PC-CDU®.

Figura 3 – Receptor GNSS utilizado durante a ocupação do ponto base.



Fonte: As autoras (2022).

Para a delimitação inicial da área a ser imageada utilizou-se o programa *Google Earth Pro*®.

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado com um RPAS, modelo eBee Plus RTK (Figura 4), fabricado pela empresa *senseFly*. A aeronave é do tipo asa fixa e monomotor elétrico, possui estrutura de polipropileno expandido (EPP), decolagem realizada por lançamento manual e pouso por descendência espiral ou por rampa. De acordo com o manual

do fabricante, o RPAS possui autonomia média de voo de aproximadamente 59 minutos, velocidade de cruzeiro de 40 - 110 km/h, resistência máxima a ventos de 45 km/h, peso máximo de decolagem de 1,4 kg e envergadura de 110 cm (SENSEFLY, 2017).

Figura 4 – Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada modelo eBee Plus RTK.



Fonte: As autoras (2022).

A câmara a bordo da aeronave é da fabricante *senseFly* modelo *Sensor Optimised for Drone Applications* (S.O.D.A), distância focal de 10,6 milímetros, sensor *Complementary Metal-oxide-semiconductor* (CMOS) de (12,8 x 9,3)mm, imagem de (5472 x 3648) pixel e tempo de exposição 1/2000 s.

Os planos de voo aerofotogramétricos foram elaborados no programa *eMotion 3*®. O processamento do aerolevantamento e a obtenção do ortomosaico e do Modelo Digital de Terreno (MDT) foram realizados no programa *Agisoft Metashape*®, versão 1.5.0.

Quanto a delimitação automática, a determinação dos parâmetros morfométricos e fisiográficos e a confecção dos produtos cartográficos foi utilizado o programa *ArcMap*®, versão 10.3.

4.3 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos utilizados na execução do presente estudo estão descritos a seguir.

4.3.1 Delimitação prévia da sub-bacia hidrográfica para definição da área do aerolevantamento

Os limites da sub-bacia foram identificados utilizando as imagens e os dados altimétricos disponíveis no programa *Google Earth Pro* que possibilitou aos autores a visualização tridimensional e ampliada das formas do relevo.

A delimitação da sub-bacia do Córrego dos Chaves foi realizada de forma interativa utilizando a metodologia proposta por Freitas, Kloss e Silva (2012) que utiliza os dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM)¹ disponíveis no programa *Google Earth Pro*. O procedimento para a delimitação consiste na ampliação do exagero vertical (elevação) para melhor percepção das mudanças no relevo, sendo possível delimitar a sub-bacia que tem início no exultório (ponto de deságue) e percorre todo o divisor de águas até retornar ao ponto de partida.

É importante considerar que em voos aerofotogramétricos recomenda-se extrapolar a delimitação da área de estudo, a fim de gerar uma margem de segurança contra as distorções causadas devido ao fato da câmara fixada na fuselagem ser solidária a atitude da aeronave, a perda de sobreposições, dentre outras. Assim, a área de cobertura do voo foi extrapolada para garantir o recobrimento total da sub-bacia hidrográfica.

4.3.2 Planejamento e execução do levantamento aerofotogramétrico

Para a elaboração do plano de voo no programa *eMotion 3*, foi estabelecida a área a ser recoberta, a sobreposição lateral de 60%, a sobreposição longitudinal de 70%, o teto máximo (altura limite de voo) de 400m, o tamanho do *Ground Sample Distance* (GSD) de 6,00 cm e trajetória do voo simples.

¹ Missão da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que teve como finalidade o levantamento altimétrico da superfície terrestre através de dados obtidos por um sistema de radares. (SOUZA; FORMIGA; VEIGA, 2013).

Devido a vida útil da bateria utilizada na aeronave e por medidas de segurança (como perdas de sinal entre a aeronave e o rádio, obstáculos, dentre outros) optou-se por realizar voos com duração máxima de 30 minutos, sendo necessário subdividir a área em dez (10) voos para recobrir toda a região de interesse. Todos os voos tiveram duração aproximada de 5 horas, sendo a operação e alcance da aeronave do tipo BVLOS.

Na Figura 5 são apresentados os planos de voo com destaque na área imageada (retângulo vermelho) e o círculo de segurança. Caso a aeronave ultrapasse a região delimitada pelo círculo de segurança, esta retorna para o ponto de lançamento.

Os planos de voo executados podem ser visualizados individualmente nos apêndices A ao J (páginas 74 a 83).

Figura 5 – Planos de voo criados no programa *eMotion 3* contendo círculo de segurança e polígono imageado (cor vermelha).



Fonte: As autoras (2022).

Durante a realização do aerolevantamento, o receptor GNSS instalado na base, permaneceu rastreando no modo estático. Para manter a mesma altura da base durante os dois

dias de campanha, o tripé e a base nivelante permaneceram instalados e imóveis no ponto materializado, retirando-se apenas o receptor GNSS após o final do primeiro dia. A base foi instalada com altura inclinada de 1,532m (medida do solo até o centro de fase da antena), taxa de gravação de 1s, máscara de elevação de 10° e tempo de ocupação de 6 horas e 35 minutos.

4.3.3 Processamento das coordenadas da base e da posição da câmara

As coordenadas da base foram descarregadas com o programa PC-CDU e posteriormente processadas na plataforma IBGE-PPP, onde foi informado o tipo de posicionamento (estático), a altura e modelo da antena, o diretório contendo o arquivo das observações GNSS em formato *Receiver Independent Exchange Format* (RINEX), e um e-mail válido para envio dos resultados. O resultado deste pós-processamento encontra-se no Anexo A.

A correção das coordenadas navegadas da posição da câmara obtidas no momento da tomada das fotografias foi realizada pelo método de posicionamento PPK, utilizando o resultado do processamento (IBGE-PPP) no programa *eMotion 3* (módulo *Postflight*).

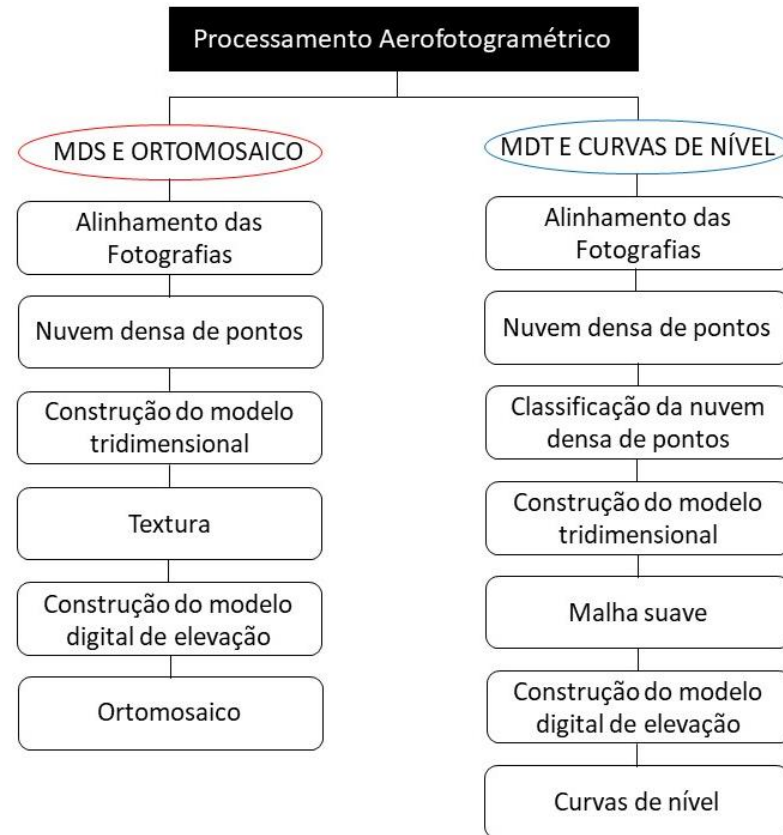
Os erros e as coordenadas individuais das primeiras 57 fotografias após a correção realizada utilizando o método PPK encontram-se no apêndice K.

4.3.4 Processamento aerofotogramétrico

O processamento das fotografias obtidas com os voos foi realizado no programa *Agisoft Metashape Professional* (versão 1.5.0) e seguiu os manuais de processamento aerofotogramétrico de Silva, Campiteli e Arias (2017) e AGISOFT (2016) para classificação dos pontos acima do solo para geração do MDT.

Na Figura 6 é possível visualizar as etapas realizadas para geração do modelo digital de superfície (MDS), do ortomosaico, do modelo digital de terreno e das curvas de nível. Vale ressaltar que foram executados dois processamentos, sendo eles: o primeiro para a obtenção do MDS e do ortomosaico e o segundo para a representação do MDT e das curvas de nível.

Figura 6 – Etapas realizadas no programa *Agisoft Metashape Professional* para criação do MDS, ortomosaico, MDT e curvas de nível.



Fonte: As autoras (2022).

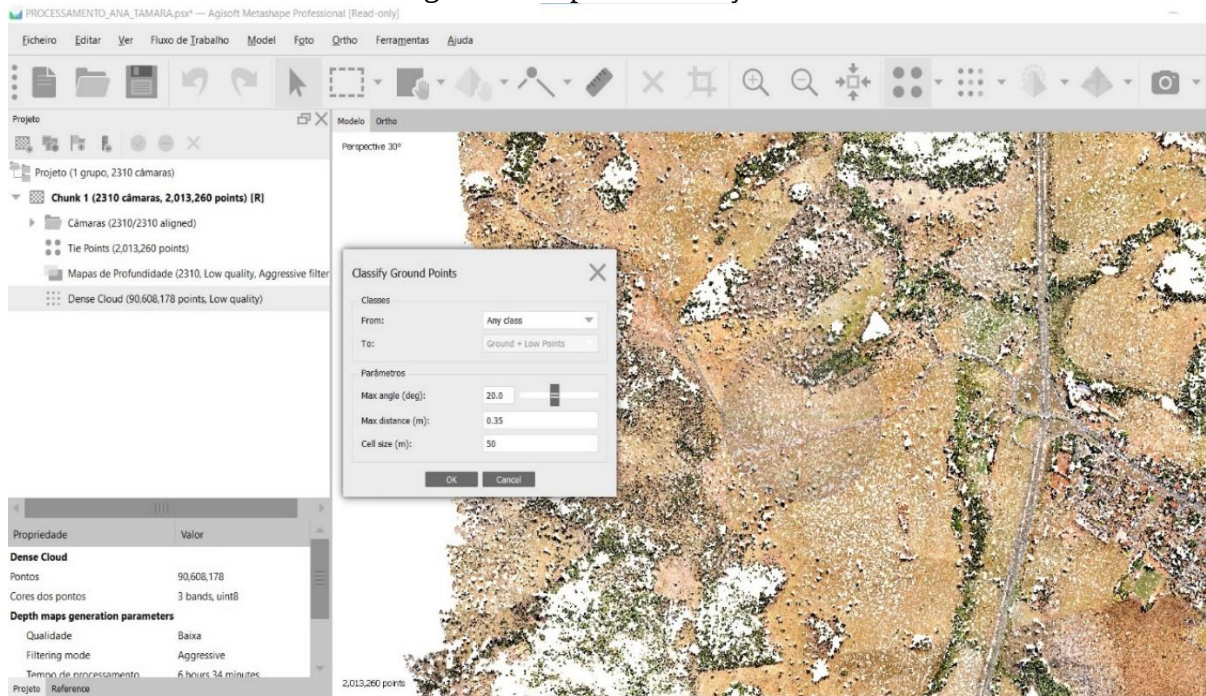
Para o processamento das fotografias obtidas com o RPAS foram seguidos os seguintes passos:

- Configurações iniciais do projeto: consistiu na inserção das fotografias com coordenadas corrigidas pelo método PPK, na importação do arquivo contendo os parâmetros de orientação exterior e no sistema de referência SIRGAS 2000, Universal Transversa de Mercator - UTM - zona 22S. Posteriormente foi realizada a correção de brilho e a análise de qualidade para eliminar as fotografias desfocadas, muito claras ou muito escuras e também as duplicadas. Também foi feita a inserção de máscara nas imagens com o intuito de contribuir na identificação de áreas homogêneas, restringir a criação de pontos de enlace em áreas de confusão (na etapa de alinhamento) e melhorar o mapa de profundidade na densificação da nuvem de pontos;
- Alinhamento (*align photos*): é a primeira etapa automatizada onde o programa procura por pontos homólogos presentes nas fotografias e faz a combinação dos

mesmos. Por se tratar de um grande volume de dados e devido à capacidade de processamento do computador, foi configurada a precisão média (resultando em um detalhamento adequado, na busca pixel a pixel dos pontos em comum entre as imagens sobrepostas, sem uma grande perda nas características das feições). Ainda nas configurações gerais, foi habilitada a opção *reference preselection* por possuir as informações do *log* de voo. Quanto às configurações avançadas foi definido *key point limit* de 40 e *tie point limit* de 4;

- Otimização de câmaras (*optimize camera alignment*): consiste na aplicação dos valores da calibração da câmara no ajustamento da aerotriangulação. Foram habilitadas os seguintes parâmetros: F, Cx, Cy, K1, K2, K3, K4, B1, B2, P1, P2. Também foi selecionada a opção avançada para estimar a covariância dos pontos de enlace;
- Construção da nuvem densa de pontos (*build dense cloud*): a nuvem densa tem por objetivo densificar os pontos de ligação (passagem) sendo criada de maneira automática pelo programa com base nos parâmetros de orientação exterior da câmara no passo, ou seja, na distância entre dois pontos consecutivos. Desse modo, foi possível aumentar o número de pontos utilizados para descrever o relevo. Foi utilizada para construção do MDS qualidade média de detalhamento, filtragem de profundidade moderada e seleção da opção calcular as cores dos pontos.
Na criação da nuvem densa pro MDT foi utilizada qualidade baixa de detalhamento para suavizar as feições e melhorar a representação das curvas de nível, filtragem de profundidade agressiva e seleção da opção calcular as cores dos pontos;
- Classificação da nuvem densa de pontos (*classify ground points*): consiste na filtragem dos pontos, detectando de maneira automática, os pontos do terreno e pontos baixos. O parâmetro de ângulo máximo foi definido em 20° por se tratar de um terreno que apresenta variações no relevo. A distância máxima foi calculada em função do GSD (5 x 6,56), resultando no valor de 0,35m e o tamanho da célula foi de 50m, como apresentado na Figura 7;

Figura 7 – Parâmetros utilizados na classificação da nuvem densa de pontos do processamento aerofotogramétrico para a obtenção do MDT.



Fonte: As autoras (2022).

- Construção do modelo tridimensional (*build mesh*): representa o modelo tridimensional com relevo e volume texturizados. Para o MDS foi utilizado como: dado de entrada a nuvem densa de pontos, tipo de superfície o mapa de altura/terreno, contagem de faces do tipo média (24, 646, 298), interpolação *enable* (*default*), classes de pontos todas (*all*) e seleção da opção calcular as cores dos pontos.

Na construção do modelo para o MDT foi definido como: dado de entrada a nuvem densa de pontos, tipo de superfície o mapa de altura/terreno, contagem de faces 20,000 , interpolação *enable* (*default*), classes de pontos apenas solo (*ground*) e ativar a opção calcular as cores dos pontos;

- Construção da textura (*build texture*): permite uma melhor visualização do modelo tridimensional. Definiu-se como modo de mapeamento a ortofoto adaptativo, modo de combinação mosaico (*default*), tamanho da textura/contagem 4096x1 e habilitou-se as opções *enable hole filling* para eliminar buracos na texturização e *enable ghosting filter* para habilitar filtro fantasma;
- Suavização da malha (*smooth mesh*): consistiu na suavização do terreno a fim de eliminar as quinas (cantos vivos) para gerar as curvas de nível. Foi definido em

strength o valor de 3.00 para que não houvesse perda de informações do relevo e foi selecionada a opção *Fix borders* para corrigir as bordas;

- Construção do modelo digital de elevação (*build DEM*): esse modelo contém informações planialtimétricas para trabalhar em ambiente SIG. Na construção do arquivo raster da superfície (MDS) foi configurado: tipo de projeção geográfica SIRGAS 2000, UTM zona 22S, fonte de dados nuvem densa de pontos, interpolação *enabled (default)*, classes de pontos todas e selecionada a opção definir limites.

Para a criação do arquivo raster do terreno (MDT) foi definido: tipo de projeção geográfica SIRGAS 2000, UTM zona 22S, fonte de dados malha suave, interpolação *enabled (default)*, classes de pontos todas e ativada a opção definir limites;

- Criação das curvas de nível (*generate contours*): criada para representar (de maneira vetorial) as variações de altitude do terreno. A partir do MDT foram geradas as curvas de nível com intervalo de 5m. Obs: para evitar intersecção entre as curvas foi habilitada a opção *prevent intersections*;
- Construção do ortomosaico (*build orthomosaic*): consiste na última etapa de processamento no programa na qual as fotografias são transformadas da projeção cônica para a ortométrica e posteriormente, unidas em um único arquivo. Foi definido o tipo de projeção geográfica SIRGAS 2000, UTM zona 22S, a superfície do tipo DEM (MDS), o modo de combinação *mosaic (default)* e seleção da opção *enable hole filling* para eliminar buracos na texturização.

Após a conclusão do processamento foi gerado dois relatórios, sendo um para o processamento do MDS e outro para o MDT, contendo todas as informações das etapas descritas anteriormente. Os relatórios encontram-se nos Apêndices L e M.

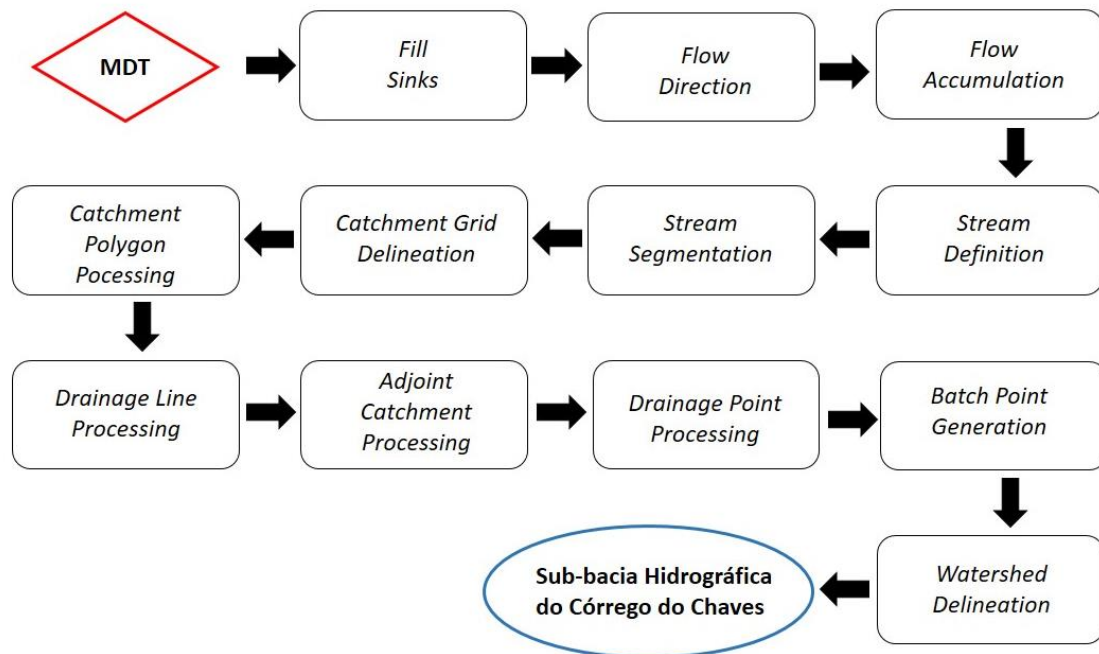
Os arquivos do MDS, MDT e ortomosaico obtidos a partir do processamento aerofotogramétrico subsidiaram o cálculo dos parâmetros morfométricos e fisiográficos e foram utilizados para elaboração dos produtos cartográficos.

4.3.5 Extração automática da sub-bacia hidrográfica e da rede de drenagem

A metodologia empregada na delimitação automática da Sub-bacia do Córrego do Chaves, representada na Figura 8, foi baseada na pesquisa de Ramme e Krüger (2007) e no

tutorial ARCGIS (2015). Ambos delimitam uma bacia hidrográfica a partir da extensão *ArcHydro Tools* do programa *ArcMap* (versão 10.3) e para tal, foi utilizado como dado de entrada o modelo digital de terreno.

Figura 8 – Etapas metodológicas de delimitação automática da sub-bacia hidrográfica no *ArcHydro Tools*.



Fonte: Adaptado de ARCGIS (2015).

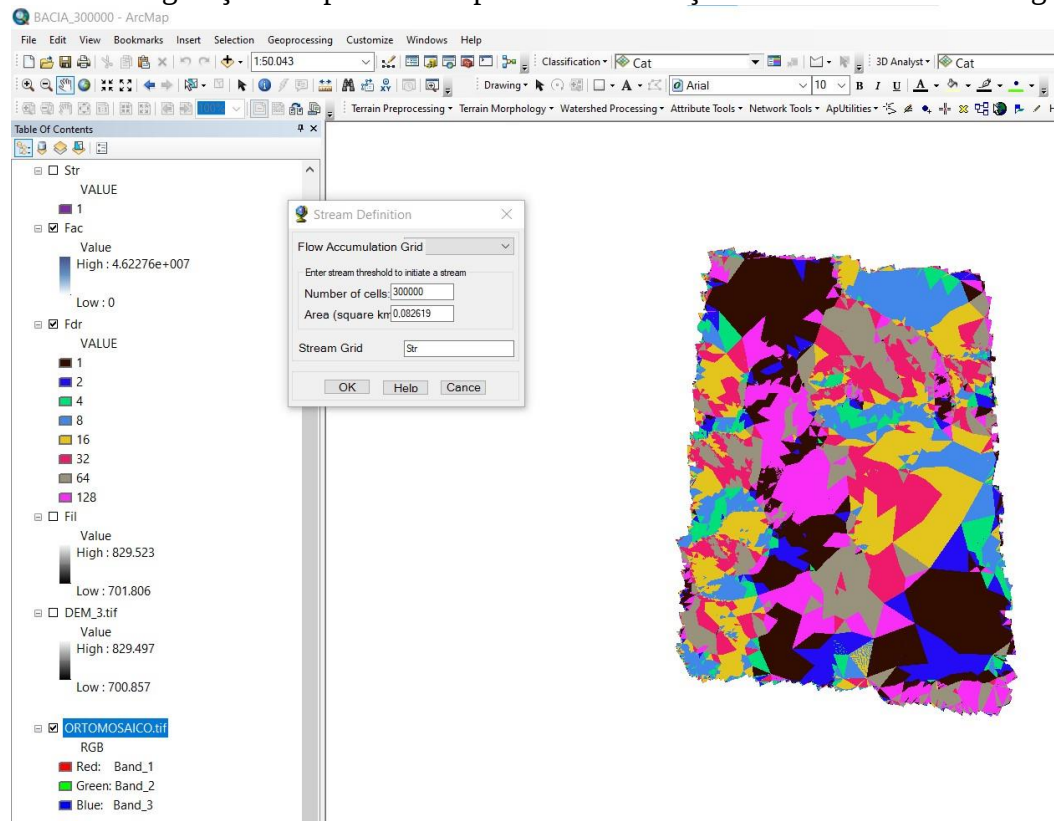
Para dar início à construção da modelagem hidrológica foram preenchidas as falhas existentes no MDT com a ferramenta *Fill Sinks* a fim de torná-lo hidrológicamente consistente. As falhas presentes no modelo são decorrentes de erros na interpolação ao gerar o modelo e representam as discrepâncias no valor do dado altimétrico quando comparado com pontos vizinhos (método de interpolação por vizinho mais próximo). Essas discrepâncias são caracterizadas por picos ou depressões que retêm o fluxo de água da bacia causando interrupções no fluxo da drenagem.

Após a correção das falhas do modelo digital de terreno, foi determinada a direção do fluxo da água pela ferramenta *Flow Direction*. O algoritmo de fluxo simples utilizado na obtenção da direção de fluxo no *ArcHydro Tools* é o *Deterministic eight directions (D8)*. Este considera a topologia da rede de drenagem discretizando o ângulo de movimentação do fluxo em múltiplos de 45°, ou seja, determina o trajeto mais íngreme a partir das oito células circunvizinhas designando a dispersão na mesma direção.

A partir da determinação da direção do escoamento foi gerado o fluxo acumulado pela ferramenta *Flow Accumulation*. Tal procedimento compreendeu na caracterização da área de captação indicando a conexão com os divisores de água à montante bem como a confluência e divergência das linhas de fluxo, ou seja, cada célula da direção de fluxo foi comparada com suas células vizinhas, para em seguida determinar quantas destas fluem para a primeira.

Com base no fluxo acumulado obtido foi possível extrair a rede de drenagem densa utilizando a ferramenta *Stream Definition*. Foi necessário ajustar o valor limite do número de células a fim de definir quais eram considerados corpos d'água e quais eram apenas superfície do terreno, conforme mostrado na Figura 9. Vale considerar que todas as células com o fluxo acumulado maior que 300000 foram caracterizadas como hidrografia e as demais “No data”, resultando em um arquivo raster.

Figura 9 – Configuração dos parâmetros para a determinação da rede densa de drenagem.



Fonte: As autoras (2022).

Em seguida foi gerada a segmentação dos cursos d'água que compõem a rede de drenagem pela ferramenta *Stream Segmentation*. Para isso foi identificado, de maneira automática pelo programa, as intersecções entre os trechos sendo atribuídos valores diferentes para cada curso d'água. Posteriormente foram geradas sub-bacias para cada seção, a partir da

ferramenta *Catchment Grid Delineation*, resultando em uma grade onde cada célula indica a área de captação que o trecho pertence.

A próxima etapa consistiu na conversão dos arquivos das sub-bacias e da rede de drenagem para o formato vetorial onde foram utilizadas as ferramentas *Catchment Polygon Processing* e *Drainage Line Processing*. Cada linha de drenagem foi identificada pela sub-bacia a qual ela pertence, sendo atribuídas, de forma automática, informações de área, perímetro, código do trecho e comprimento do curso d'água ao banco de dados dos arquivos de saída. A partir desta vetorização executou-se a junção e delimitação das sub-bacias por meio da ferramenta *Adjoint Catchment Processing*.

Para concluir a delimitação das sub-bacias foi necessário gerar pontos de exultório correspondentes a cada uma delas utilizando a ferramenta *Drainage Point Processing*. Em seguida, foi indicado, a partir da ferramenta *Batch Point Generation*, a localização do ponto de saída da sub-bacia de interesse.

A partir da localização do exultório e da ferramenta *Watershed Delineation* foi concluída a delimitação da sub-bacia do Córrego do Chaves. A rede de drenagem apresentou alguns cursos d'água não condizentes com a realidade em campo, nos quais foram editados manualmente para ficar fidedigno.

A sub-bacia e os trechos de drenagem obtidos nessa etapa serviram de base para a definição dos parâmetros descritos nesse trabalho (ver na seção 3.1).

4.3.6 Determinação dos parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia hidrográfica

Os parâmetros de área (A), perímetro (P) e comprimento axial (C) foram determinados a partir das ferramentas de geometria (*Calculate Geometry*) do programa *ArcMap*. Quanto aos parâmetros de largura média (L_m), coeficiente de compacidade (K_c), fator de forma (F), densidade de drenagem (Dd), sinuosidade do curso d'água principal (S_c) e declividade do curso d'água principal (D_c) foram estimados na calculadora de campo (*Field Calculator*) do programa *ArcMap* com base nas equações apresentadas na seção 3.1 desse trabalho.

Vale considerar que os parâmetros citados anteriormente foram calculados na tabela de atributos dos arquivos obtidos na extração automática (sub-bacia e rede de drenagem).

A determinação da declividade no ambiente GIS (*ArcMap*), foi realizado o preenchimento do MDT, por meio da ferramenta *fill*, com o intuito de corrigir as falhas presentes no modelo. A partir do modelo hidrologicamente consistente foi gerado um arquivo para a

declividade (medida de saída em porcentagem) utilizando o comando *slope*. Para melhor representação das variações de altitude presentes no relevo, foi definido, de maneira manual, uma simbologia contendo 6 classes estabelecidas de acordo com a EMBRAPA (1979).

Devido ao fato das ramificações excedentes dos trechos da drenagem terem sido excluídas manualmente e da direção de fluxo conter as informações completas da drenagem, não foi possível gerar o ordenamento dos canais com a ferramenta *stream order*. Por esta razão, criou-se um novo campo na tabela de atributos da rede de drenagem para caracterização manual do ordenamento. Conforme descrito na seção 3.1, os canais de primeira ordem receberam o número 1, os de segunda ordem o número 2, os de terceira ordem o número 3 e assim sucessivamente.

A definição dos tipos de cobertura do solo da área de estudo, foi realizada no programa *ArcMap* a partir da classificação supervisionada do ortomosaico obtido no processamento aerofotogramétrico. Para auxiliar na seleção das amostras da classificação executou-se a segmentação do ortomosaico a fim de decompor a imagem em regiões. Devido ao fato do ortomosaico não conter as estatísticas das bandas, foi necessário calculá-las com a ferramenta *Calculate Statistics* pois, sem essas informações, o programa não realiza a segmentação.

Na determinação dos parâmetros para a segmentação, utilizou-se:

- Detalhe espectral de 20 por ser apropriado quando se tem características com comportamento espectral semelhantes mas, que se deseja classificar separadamente;
- Detalhe espacial de 10 por conter uma variedade no tamanho das feições de interesse, sendo algumas agrupadas e outras não; e,
- Tamanho mínimo do segmento em pixel de 20 para mesclar os segmentos menores do que este valor com o segmento vizinho mais apropriado.

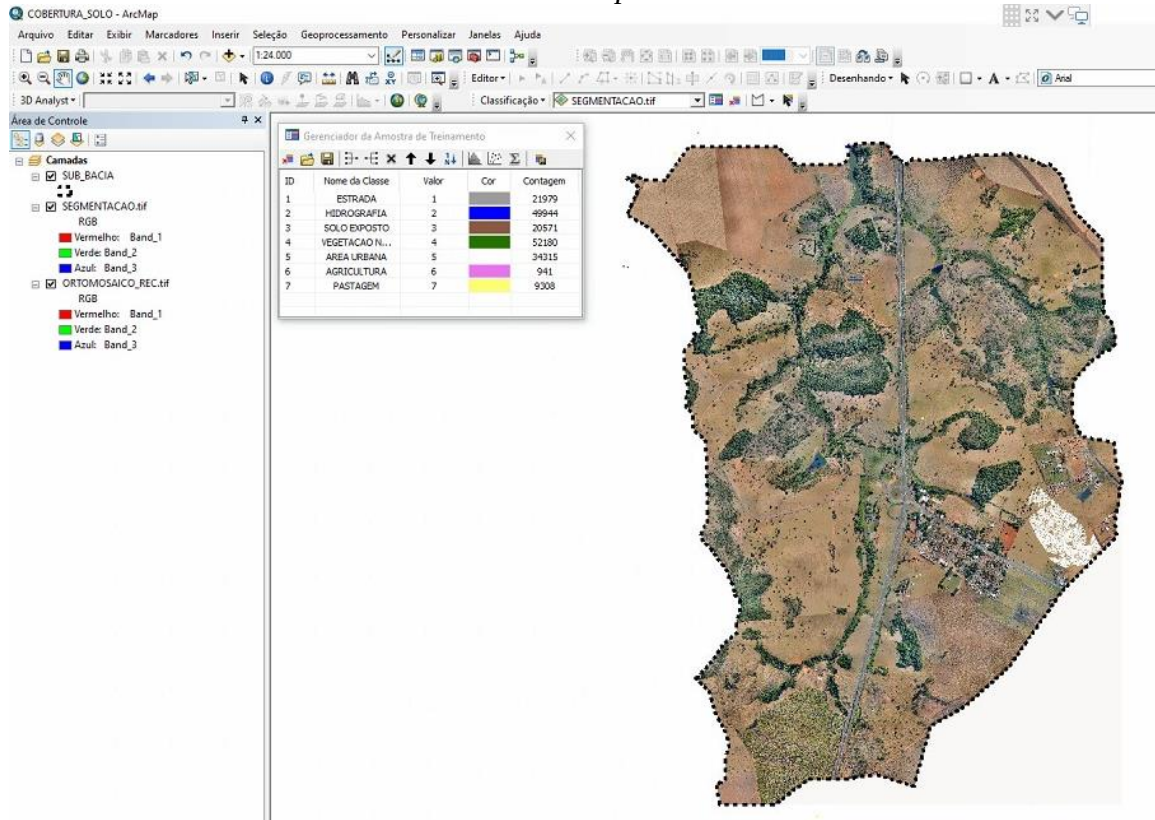
A partir das regiões criadas na segmentação, foi possível visualizar os objetos com formas geométricas bem definidas e delimitadas. O dado obtido na segmentação contribuiu para a escolha do local das amostras na execução do processo de classificação do ortomosaico.

Foram coletadas 75 amostras para cada classe com a finalidade de treinar o classificador acerca do comportamento espectral das amostras, totalizando 7 (sete) classes distintas de cobertura do solo (Figura 10), sendo elas:

1. Agricultura;
2. Área urbana;
3. Estrada;

4. Hidrografia;
5. Pastagem;
6. Solo exposto; e,
7. Vegetação Nativa.

Figura 10 – Seleção das amostras para a classificação da cobertura do solo no programa *ArcMap*.



Fonte: As autoras (2022).

Para representação dos resultados obtidos foram confeccionados no programa *ArcMap*, com base nas normas cartográficas vigentes, os seguintes mapas:

1. Caracterização da sub-bacia (composto pela rede de drenagem, delimitação da bacia e ordenamento dos canais);
2. Hipsometria (composto pelo modelo digital de terreno e curvas de nível);
3. Cobertura do solo; e,
4. Declividade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A princípio, na elaboração do projeto de conclusão de curso, a execução do aerolevante aconteceria com uma das aeronaves (Arator 5A ou Echar 20C) disponíveis no laboratório de topografia e geodésia do Instituto Federal de Goiás – Campus Goiânia e para isso, seria necessário o uso de pontos de controle e de verificação. No entanto, como as aeronaves apresentavam problemas e não estavam em boas condições para uso, recorreu-se ao RPAS eBee Plus RTK cedido pelo LAPIG da Universidade Federal de Goiás.

A partir dos levantamentos aerofotogramétricos foram obtidas 2.429 fotografias que foram reduzidas para 2.310 nas configurações iniciais do processamento. Durante a realização de alguns voos a aeronave perdeu o sinal de comunicação com o rádio controlador fazendo com que retornasse ao ponto de partida. Com isso, considerou-se que as fotografias com superposição acima de 90%, derivadas da repetição dos trechos das linhas de voo, foram eliminadas por afetar diretamente na execução da intersecção espacial que resulta em uma base fotogramétrica muito curta.

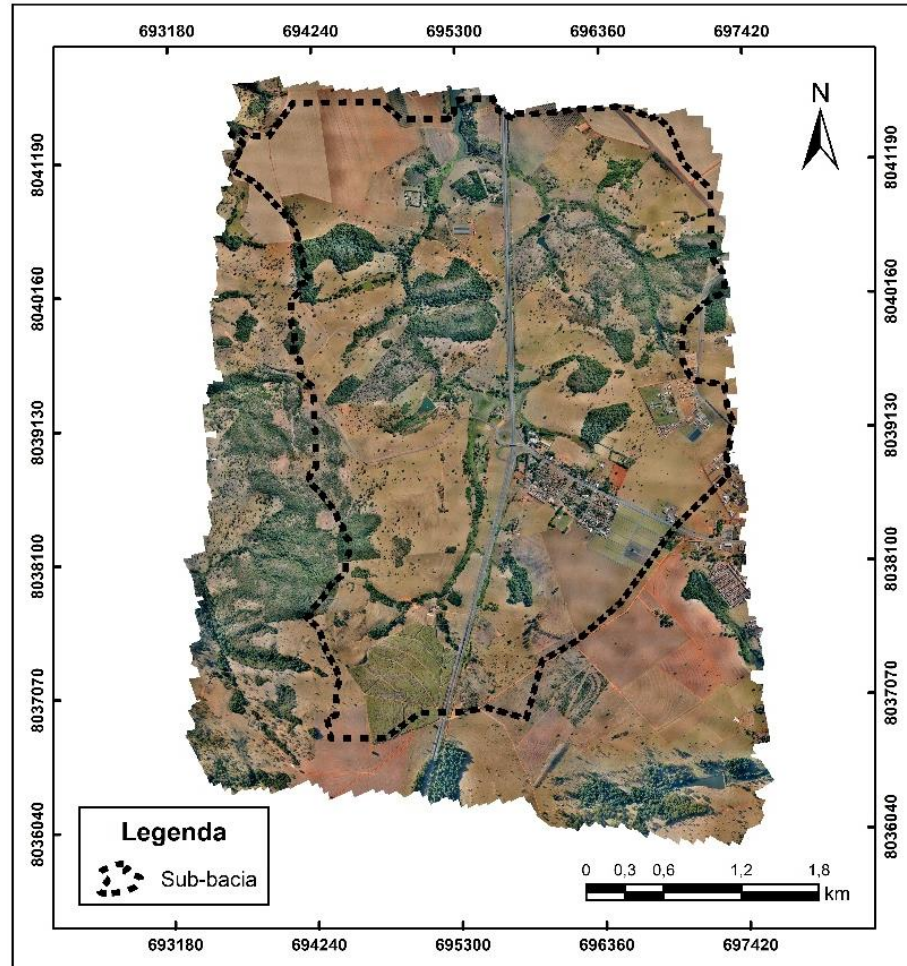
O bloco aerofotogramétrico recobriu uma área de 2140 hectares ou 21,40 km² com altura média dos voos de 308 m e distância focal calibrada de 10,57 mm sendo gerado um modelo digital de superfície com resolução espacial de 26,30 cm, um modelo digital de terreno com resolução espacial de 52,50 cm e um ortomosaico com pixel de 6,56 cm no terreno.

Observando os resultados da calibração dos coeficientes e correlação da matriz presentes no relatório de processamento das fotografias (Apêndice L), foi possível identificar a existência de afinidade entre os eixos x e y do sistema de coordenadas da imagem (B1 e B2). Isso se dá devido à utilização de coordenadas UTM e esse tipo de projeção apresenta algumas deformações. Quanto aos coeficientes de distorção radial simétrica, nota-se que houve correlação entre eles, no entanto, não influenciaram nos resultados por ambos estarem medindo a mesma distorção.

Devido a automatização das etapas do processamento aerofotogramétrico, realizadas no programa *Agisoft Metashape Professional*, o MDT gerado apresentou algumas falhas oriundas de erros na filtragem (classificação) da nuvem densa de pontos e, consequentemente, a representação das informações do terreno não ficaram condizentes com a realidade (características físicas do ambiente natural). Fato que ocorreu devido as limitações do programa no qual não se tem controle total das etapas de processamento, apenas a configuração inicial em cada uma delas.

Na Figura 11 foi apresentado o ortomosaico obtido no processamento realizado no programa *Agisoft Metashape Professional*.

Figura 11 – Ortomosaico com a delimitação da Sub-bacia do Córrego dos Chaves.



Fonte: As autoras (2022).

As características morfométricas e fisiográficas da sub-bacia em estudo foram definidas usando os dados geométricos, de relevo e drenagem a partir do MDT obtido a partir do levantamento aerofotogramétrico e estão representados no Quadro 4.

Quadro 4 – Características morfométricas e fisiográficas da sub-bacia do Córrego dos Chaves.

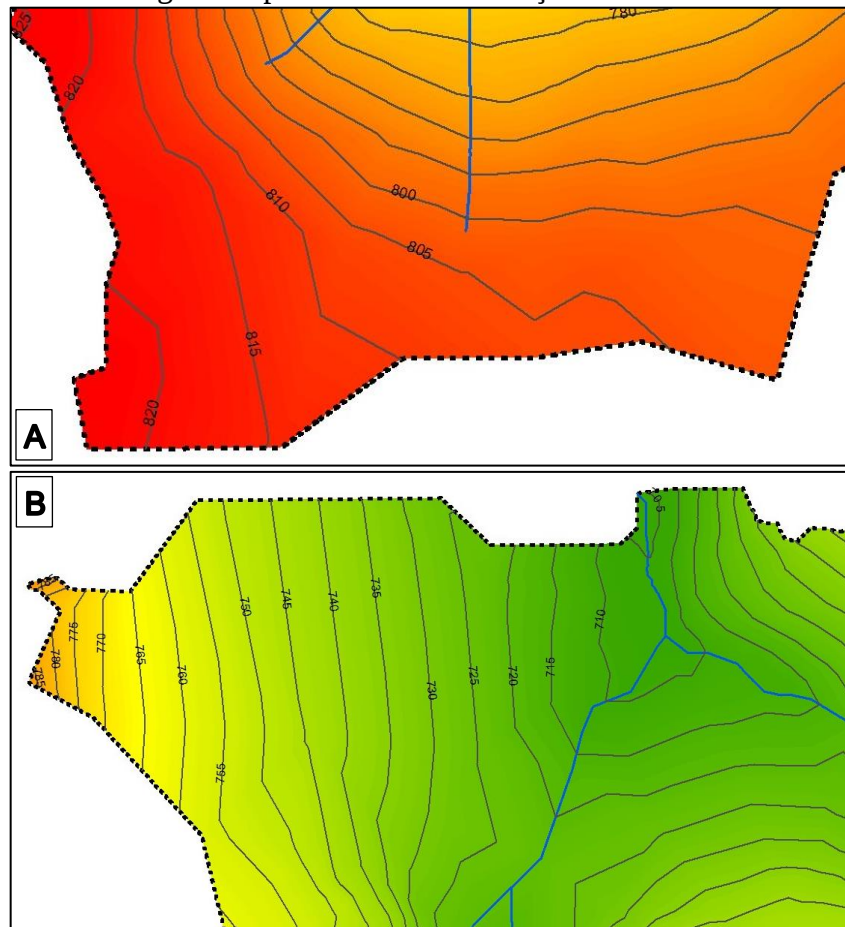
Parâmetros	Resultados	Unidades
Área (A)	12,60	km ²
Perímetro (P)	20,10	km
Comprimento axial (C)	4,99	km
Largura média (L _m)	2,52	km
Comprimento do curso d'água principal (L _c)	5,12	km
Comprimento total dos cursos d'água (L _t)	14,82	km
Coeficiente de compacidade (K _c)	1,59	adimensional
Fator de forma (F)	0,51	adimensional
Densidade de drenagem (D _d)	1,18	km/km ²
Sinuosidade do curso d'água principal (S _c)	1,25	adimensional
Declividade do curso d'água principal (D _c)	0,02	m/m
Grau de ordenamento	3	-

Fonte: As autoras (2022).

É importante ressaltar que a extração da sub-bacia e da rede de drenagem se deu de forma automática em ambiente SIG, não havendo interferência manual do operador. Para esse tipo de interferência seria necessário a utilização de outros programas (que requerem conhecimento avançado acerca das técnicas de fotointerpretação) para geração de um novo MDT ou fazer alterações manuais nas informações de topologia (altimetria) contidas no modelo digital de elevação gerado com o processamento aerofotogramétrico.

A representação do relevo da região da sub-bacia se aproximou de uma área sistematizada fazendo com que, em alguns pontos do divisor de águas, foram criados (automaticamente) vértices angulosos não condizentes com o ambiente natural característico das bacias hidrográficas, conforme apresentado na Figura 12(A e B).

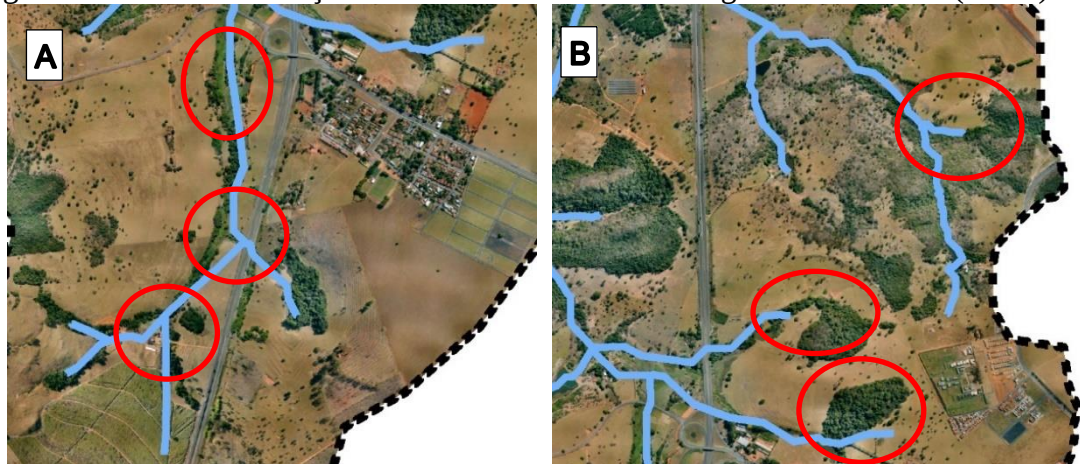
Figura 12 – Vértices angulosos presentes na delimitação automática da sub-bacia (A e B).



Fonte: As autoras (2022).

Nota-se nas regiões destacadas na Figura 13 (A e B) que os erros presentes no MDT (decorrentes da filtragem da nuvem densa de pontos) também afetaram diretamente na definição da rede de drenagem. A partir da visualização do ortomosaico percebe-se o deslocamento da rede de drenagem em relação a vegetação nativa (Figura 13A) e que em alguns trechos o curso d'água ficou incompleto (Figura 13B).

Figura 13 – Erros na extração automática da rede de drenagem da sub-bacia (A e B).

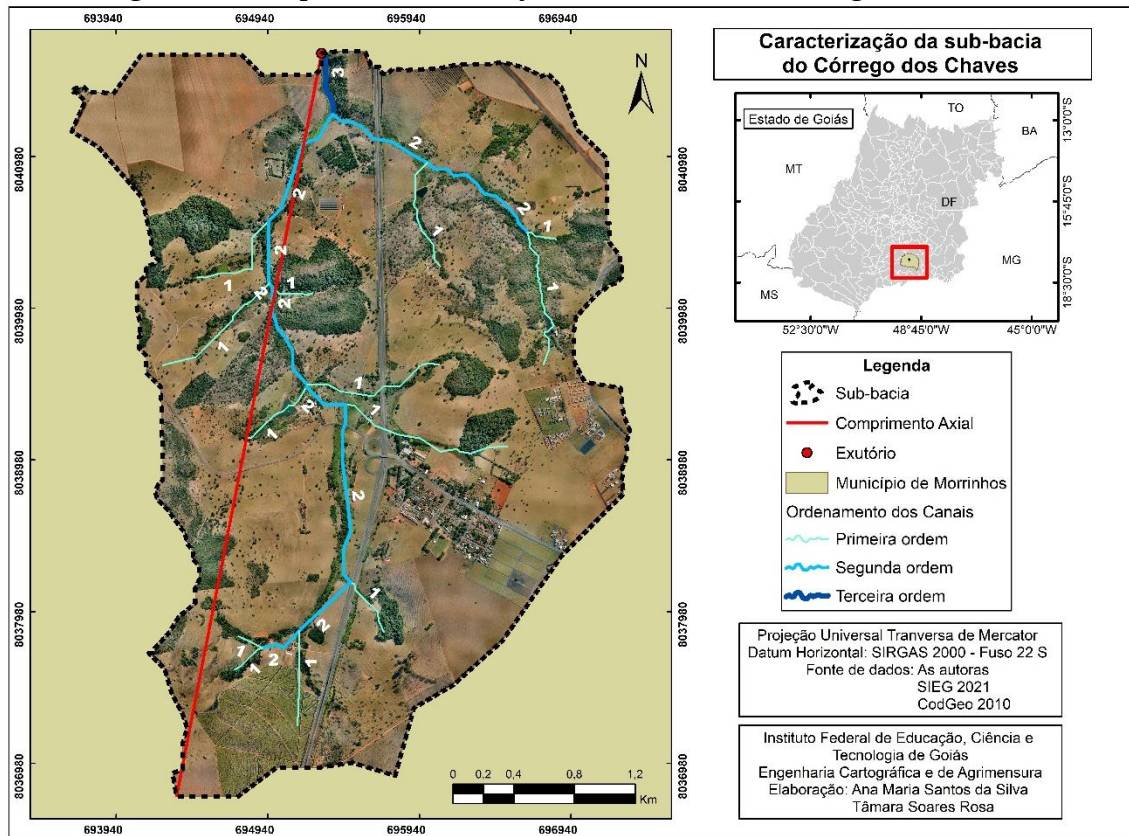


Com o intuito de suavizar a rede de drenagem e deixá-la mais adequada à realidade, os trechos duplicados gerados devido a precisão do MDT foram removidos antes de iniciar a determinação dos parâmetros.

A sub-bacia do Córrego dos Chaves possui uma área de drenagem de 12,60 km², com perímetro de 20,10 km e ordem de ramificação de terceiro grau. A medida da distância entre o exúltório e a cabeceira mais afastada da sub-bacia foi de 4,99 km caracterizando o comprimento axial. O comprimento do curso d'água principal medido e a soma total dos cursos d'água da área de drenagem foram, respectivamente, 5,12 km e 14,82 km.

Na Figura 14 são apresentados o comprimento axial, a área de drenagem da sub-bacia, os graus de ordenamento e os cursos d'água obtidos nesta pesquisa. Os parâmetros A, P, C, L_c e L_t compõem os elementos básicos para os cálculos das características morfométricas.

Figura 14 – Mapa de caracterização da sub-bacia do Córrego dos Chaves.



Fonte: As autoras (2022).

A largura média da sub-bacia foi de 2,52 km, determinada a partir dos parâmetros A e C.

Segundo os autores Villela e Mattos (1975) e Tonello (2005), o menor valor que o K_c pode atingir é 1, indicando que a bacia possui uma forma circular e consequentemente susceptibilidade a enchentes. Com base nessa análise, o coeficiente de compacidade calculado foi de 1,59 sugerindo que a sub-bacia do Córrego dos Chaves apresenta uma forma mais irregular e com menor tendência para picos de cheias em condições normais de precipitação.

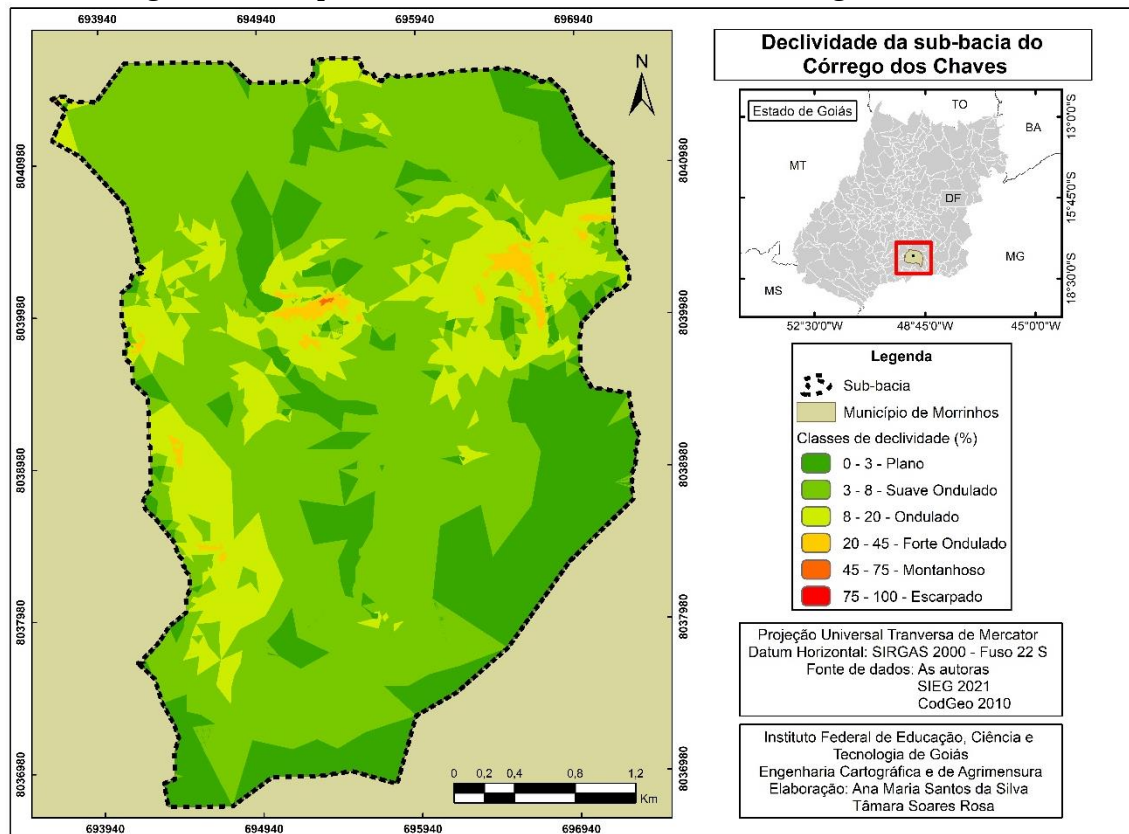
O fator de forma corresponde a outro indicador de propensão à enchentes de uma bacia e está diretamente ligado ao tempo de concentração da água após uma precipitação. De acordo com Villela e Mattos (1975), quanto maior o tempo de concentração menor será a vazão máxima de enchente, desde que as outras características hidrológicas não sofram alterações significativas. Portanto, a partir do valor encontrado para F (0,51), comprovou-se que a sub-bacia em análise apresenta uma forma mais alongada e menor concentração do deflúvio, ocasionando em menor risco de incidentes com enchentes assim como no coeficiente de compacidade.

No cálculo do índice da densidade de drenagem foi encontrado o valor de 1,18 km/km², indicando, conforme Carvalho e Silva (2006), que a sub-bacia do Córrego dos Chaves possui uma capacidade de drenagem regular. Para Ribeiro *et al* (2015), a predominância do relevo com superfícies pouco movimentadas (relevo plano e suave ondulado) influenciam diretamente na Dd, indicando baixa concentração de precipitação (que corresponde a alta capacidade de permeabilidade do solo e rapidez na infiltração da água) e consequentemente, menor propensão a cheias e fortes erosões.

Um outro fator determinante da velocidade de escoamento obtido para a sub-bacia em estudo é o S_c de 1,25. Este valor indica que o curso d'água principal apresenta uma forma transitória. Segundo Santos *et al* (2012), quanto mais sinuoso for o canal principal, maior será a dificuldade de se atingir o exutório gerando assim, uma menor velocidade de escoamento.

Em relação à declividade obtida a partir do MDT, conforme mostrado na Figura 15, a área da sub-bacia em questão apresenta baixas variações no relevo, o que de acordo com Tonello (2005), sugere uma velocidade de escoamento menor e um tempo de concentração maior da água e menos propensão à picos de enchentes.

Figura 15 – Mapa de declividade da sub-bacia do Córrego dos Chaves.



Fonte: As autoras (2022).

No Quadro 5 são apresentadas as informações quantitativas relacionadas às características do relevo da sub-bacia do Córrego dos Chaves.

Quadro 5 – Distribuição das classes de declividade na sub-bacia, conforme o sistema de classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

Declividade (%)	Relevo	Área (km²)	(%)
0 - 3	Plano	2,905	23,07
3 - 8	Suave Ondulado	7,370	58,52
8 - 20	Ondulado	2,161	17,16
20 - 45	Forte Ondulado	0,155	1,23
45 - 75	Montanhoso	0,002	0,02
> 75	Escarpado	0	0
Total		12,593	100

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2022).

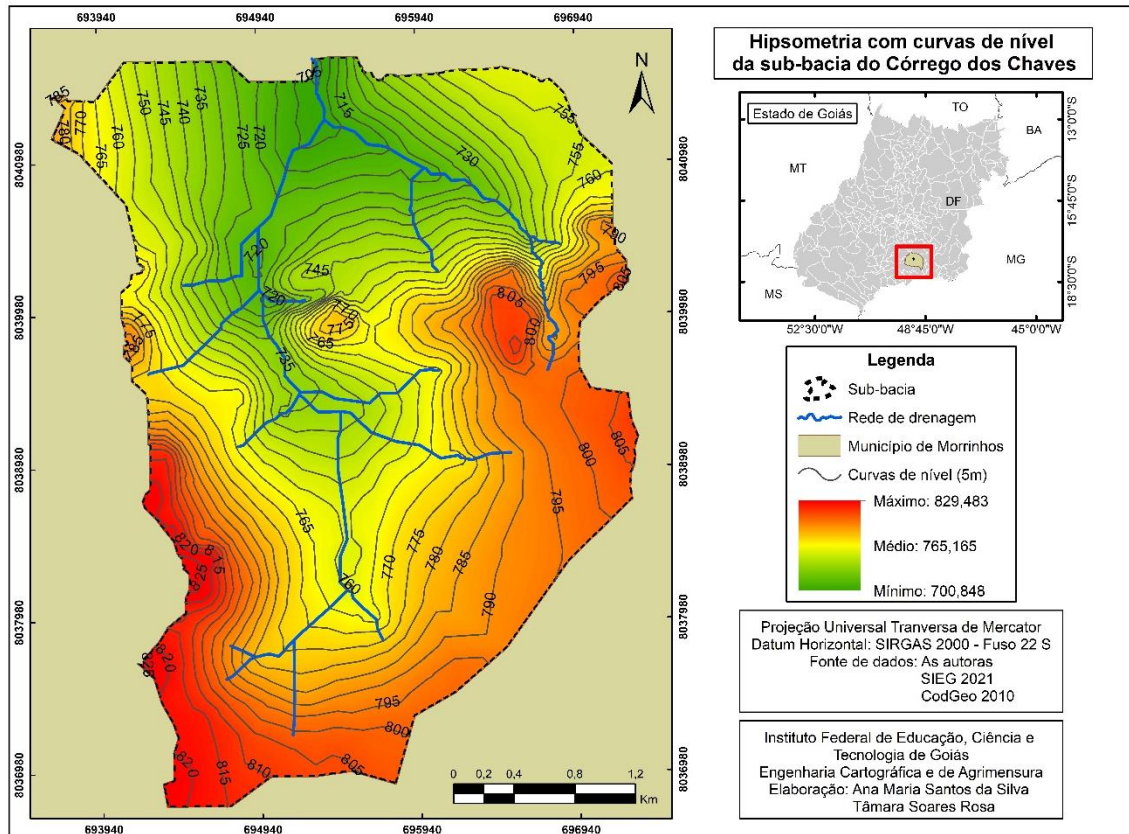
Nota-se que 58,52% da região em estudo possui relevo predominante do tipo suave ondulado, sendo caracterizado por uma superfície pouco movimentada e declives suaves (entre 3% e 8%). Percebe-se também que cerca de 23,07% da área total da sub-bacia apresenta superfícies horizontais com pequenos desnivelamentos correspondendo ao relevo plano e 17,16% pertencem ao relevo ondulado de superfícies pouco movimentadas constituídas por colinas e montes.

Contudo, a partir da análise do Quadro 5, pode-se afirmar que a sub-bacia do Córrego dos Chaves apresenta 98,75% da área total com declividade menor que 20%.

A D_c superestima a declividade média do alvéo principal resultando em um indicativo do pico de cheia da sub-bacia. Portanto, para a definição da declividade do curso d'água principal foram escolhidos dois pontos extremos, sendo a nascente e a foz da Sub-bacia do Córrego dos Chaves. Como cota final e inicial, foram obtidos os valores de 795,89 m e 703,41m, e a distância horizontal entre eles de 4433,65 m, indicando uma D_c de 0,02 m/m. De acordo com Tonello (2005) esse resultado revela que a sub-bacia apresenta um menor escoamento e consequentemente, maior tempo de permanência da água.

Na Figura 16 são exibidas as variações de altitudes presentes no terreno, a partir da representação das curvas de nível com intervalo de 5m.

Figura 16 – Mapa hipsométrico com curvas de nível da sub-bacia do Córrego dos Chaves.



Fonte: As autoras (2022).

Como o ortomosaico obtido no processamento aerofotogramétrico possui uma precisão centimétrica faz-se necessária, segundo Ruiz, Guasselli e Caten (2017), uma classificação baseada em árvore de decisão que não utilize apenas a resposta espectral do alvo mais também utilize os atributos de forma e contexto, textura, dentre outros.

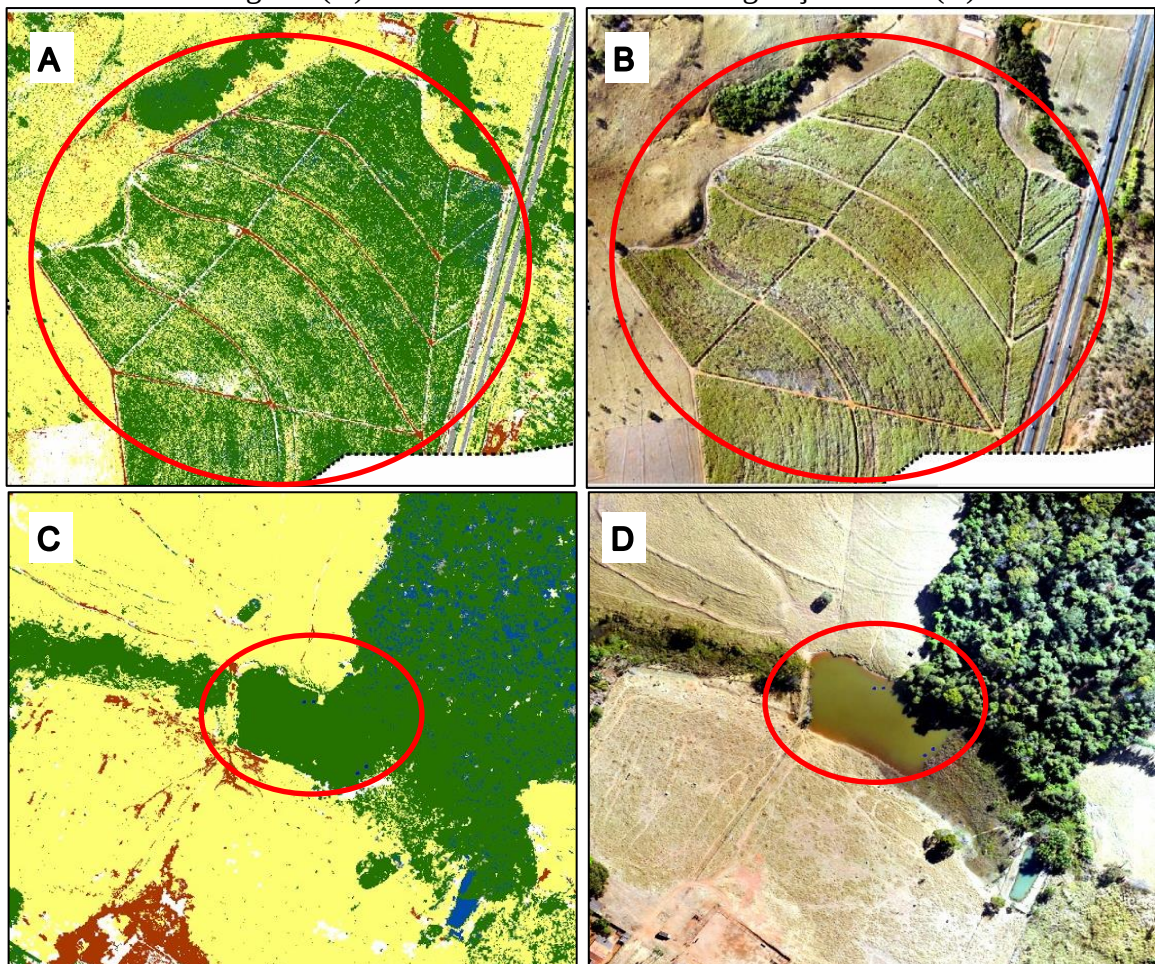
Além do ortomosaico ter 20,30 GB de tamanho e ser necessário um programa específico para realizar a classificação da imagem de alta resolução, é exigido um grande esforço computacional consequentemente, uma máquina com processador e placa de vídeo mais robustos. Na ausência desse tipo de ferramenta, não foi possível utilizar programas recomendados para a classificação por árvore de decisão.

A solução encontrada para a realização da classificação do ortomosaico com as ferramentas disponíveis foi a utilização do programa *ArcMap* e da classificação supervisionada. Percebeu-se no momento da escolha das amostras de treinamento, que alguns objetos

apresentaram comportamentos espectrais complexos e heterogêneos causados pelas formas, composições variadas e diferentes tamanhos, o que acabou por confundir o classificador como mostrado por Passo (2013).

Alguns exemplos de erros envolvendo o classificador podem ser visualizados na Figura 17. Nota-se na Figura 17A, que a classe atribuída pelo classificador foi vegetação nativa porém, deveria ter sido agricultura (Figura 17B) e onde teria de ser definido como hidrografia (Figura 17D), foi caracterizado como vegetação nativa (Figura 17C).

Figura 17 – Erros da classificação: região que deveria ser considerada como agricultutra (B) mas foi classificada como vegetação nativa (A) e região que deveria ser apontada como hidrografia(D) mas foi classificada como vegetação nativa (C).

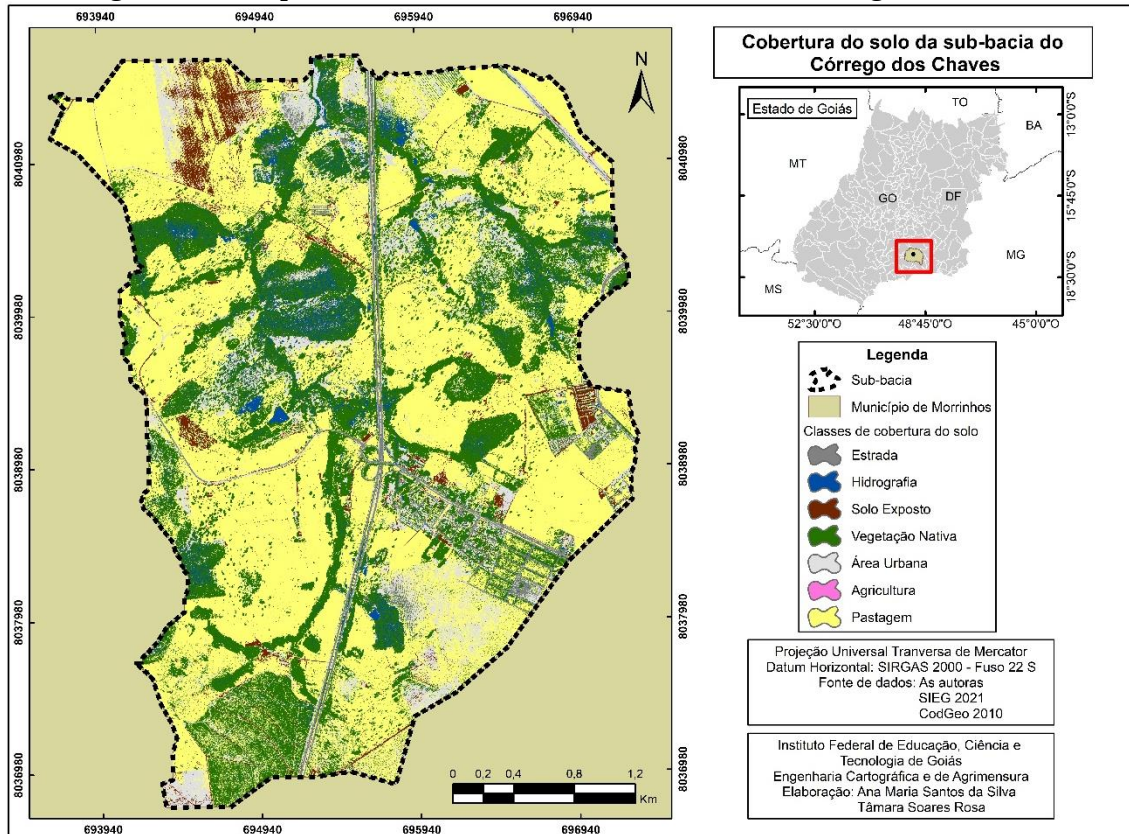


Fonte: As autoras (2022).

Percebe-se que o tipo de cobertura do solo predominante na área da sub-bacia (Figura 18) foi a pastagem. No entanto, o resultado obtido para essa classificação não ficou condizente com a realidade em campo.

Vale considerar que foram realizadas tentativas para esta classificação nos programas *TerraView* - versão 5.4.0, *Erdas Imagine* 2014 e *eCognition Developer* - versão 9.0 nos quais não foi possível concluir devido às limitações quanto ao processador e placa de vídeo da máquina disponível para utilização.

Figura 18 – Mapa da cobertura do solo da sub-bacia do Córrego dos Chaves.



Fonte: As autoras (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A metodologia utilizada neste trabalho propôs determinar e dimensionar os parâmetros morfométricos e fisiográficos da sub-bacia do Córrego dos Chaves baseando-se na aplicação das geotecnologias RPAS e SIG, demonstrando a possibilidade de aplicação dessas tecnologias para a obtenção de resultados que podem permitir o levantamento/mapeamento e o dimensionamento dos parâmetros mencionados, desde que os procedimentos executados sejam realizados em conformidade à metodologia indicada (por desenvolvedores de programas, fabricantes de equipamentos e literaturas especializadas) e, também, se disponha do aparato técnico e tecnológico adequado (equipamentos, programas e profissionais qualificados tecnicamente).

O dimensionamento dos parâmetros morfométricos e fisiográficos poderá servir como base para uma análise mais detalhada e representativa do comportamento hidrológico e do monitoramento da sub-bacia hidrográfica contribuindo para o planejamento de uso e gestão pública de recursos hídricos, além do monitoramento ambiental, tornando-se útil para municípios, instituições e órgãos ligados ao meio ambiente, agricultura, dentre outros.

Ressalta-se que devido a quantidade de informações relativas ao relevo, o programa utilizado não foi capaz de filtrar corretamente o MDT. Assim, a extração automática da sub-bacia e da rede de drenagem para a determinação dos parâmetros morfométricos e fisiográficos ficaram deslocadas de sua posição real. Esse aspecto se mostrou um fator limitante à adequada aplicação da metodologia descrita no presente trabalho de implementação, considerando, no caso, o levantamento geotecnológico (conforme metodologia referida) de áreas com dimensões comparáveis à sub-bacia hidrográfica objeto do estudo realizado.

Os parâmetros obtidos nessa pesquisa sugerem que a sub-bacia possui um relevo predominantemente suave ondulado, forma irregular e, em condições meteorológicas normais, apresenta menor tendência a picos de cheia, menor velocidade de escoamento e maior tempo de concentração da água.

É importante salientar que, para estudos hidrológicos mais aprofundados, seria necessário analisar o comportamento de outras bacias presentes na mesma região para obter resultados mais precisos acerca da caracterização da sub-bacia, possibilitando uma análise morfométrica de natureza comparativa, uma vez que os índices/fatores que representam as características fluviomorfológicas das BH permitem, em muitos casos, tirar conclusões sobre o comportamento das vazões.

Recomenda-se para estudos futuros:

- Aplicar a utilização da tecnologia para áreas menores, visto que a sub-bacia objeto de estudo deste trabalho não apresentou bons resultados plenamente compatíveis com o ambiente físico natural observado nas imagens/fotografias resultantes do levantamento aerofotogramétrico realizado;
- Extrapolar ainda mais a área de recobrimento aéreo;
- Utilizar outro método de classificação para a determinação da cobertura do solo visto que, a classificação supervisionada não apresentou bons resultados quando se trata de dados com alta resolução espacial;
- Acrescentar a análise de Áreas de Preservação Permanente (APP) degradada;
- Analisar o produto cartográfico final de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC) a partir da implantação de pontos de checagem na área imageada; e,
- Considerar os custos e limitações de execução do aerolevantamento, comparativamente a outras técnicas de Sensoriamento Remoto aplicáveis.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília-DF: Agência Nacional de Águas - ANA, 2017. 169p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2017_rel-1.pdf. Acesso em: 15 de fev. 2021.

_____. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil**: 2012. Brasília: Agência Nacional de Águas - ANA, 2012. 264p. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/panorama_qualidade_aguas_superficiais_br_2012.pdf. Acesso em: 05 de fev. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Instrução Suplementar - IS nº21 - 002**. Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados. Brasília-DF: ANAC, 4 de outubro de 2012. Disponível em: <https://pergamum.anac.gov.br/arquivos/IS21-002A.pdf>. Acesso em: 21 de fev. 2021.

_____. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Espacial: RBAC-E nº 94**. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Brasília-DF: ANAC, 2 de maio de 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 19 de fev. 2021.

AGISOFT Photoscan Manual Do Usuário: Professional Edition, Versão 1.2, 2016, 104 p. Disponível em: https://www.academia.edu/40890807/Agisoft_PhotoScan_Manual_do_Usu%C3%A1rio_Professional_Edition_Vers%C3%A3o_1_2. Acessado em: 19 de jul. de 2021.

ALMEIDA, T.M.; TEIXEIRA, A. C. de O.; OLIVEIRA, V. P. V. de; COSTA, C. A. da. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio das Pedrinhas-BA. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. 21, 2015 Brasília - DF. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/sbrh/download-2015-UEFQMDE5ODQxLnBkZg>. Acesso em: 15 de fev. 2021.

ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás**. 2015. 112 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Estudos Socioambientais - Universidade Federal de Goiás , Goiânia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/4952/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Leomar%20Rufino%20Alves%20J%C3%BAnior%20-%202015.pdf>. Acesso em: 12 de fev. 2021.

ARAÚJO, L. E. de; SOUSA, F. de A. S. de; MORAES NETO; J. M. de; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. L. R. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualitas Revista Eletrônica**, v. 8, n. 1, 2009. Disponível em: <http://revista.uepb.edu.br/index.php/qualitas/article/viewFile/399/366>. Acesso em: 03 de fev. 2021.

ARCGIS 10.2: Delimitação de Bacias Hidrográficas com ArcHydro. Processamento Digital. **YouTube**. 04 mar. 2015. 31m57s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=kCEaCz7mukg&t=56s>. Acesso em 15 jun. 2021.

BORGES, P. A. F. **Posicionamento pelo GNSS**. IFG Sul de Minas Gerais – Campus Inconfidentes, 2016. Disponível em : <https://docplayer.com.br/70198427-Posicionamento-pelo-gnss-prof-paulo-augusto-ferreira-borges.html>. Acesso em: 09 de jan. 2022.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente; Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 32, 15 de outubro de 2003**. Brasília – DF, Ministério do Meio Ambiente/Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2003. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2032.pdf>. Acesso em: 12 de fev. 2021.

CAMARGO, D. C. S. de. **Aplicabilidade do uso de veículos aéreos não tripulados no monitoramento e gestão de unidades de conservação**: estudo de caso da Estação Ecológica do Taim–RS. 2018. 132p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - Universidade Federal do Rio Grande do Sul , Porto Alegre, 2018. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/178745/001068058.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 de fev. 2021.

CANTADOR, D. C.; MATIAS, L. F. Aplicabilidade de geotecnologias para subsidiar a gestão de recursos hídricos em Americana (SP). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 29, n. 1, p. 155-171. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320170411>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/35508/pdf>. Acesso em: 30 de jan. 2021.

CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização fisiográfica da bacia Olhos D’água em Feira de Santana/BA: Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 31, n. 2, p. 43-54, 2011. DOI: 10.5216/bgg.V31i2.16844. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3371/337127156003.pdf>. Acesso em: 15 de fev. 2021.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Capítulo 3. Bacia Hidrográfica. In: **Hidrologia**. 2006. p. 15-32. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>. Acesso em: 25 de jan. 2022.

CARVALHO, W. M. De; VIEIRA, E. de O.; ROCHA, J. M. J.; PEREIRA, A. K. dos S.; CARMO, T. V. B. Do. Caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do córrego do Malheiro, no município de Sabará–MG. **Irriga**, v. 14, n. 3, p. 398-412, 2009. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n3p398-412>. Disponível em: <http://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3427/2182>. Acesso em: 14 de jan. 2021.

CAVALLARI, R. L.; TAMAE, R. Y.; ROSA, A. J. A importância de um sistema de informações geográficas no estudo de microbacias hidrográficas. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, v. 6, n. 11, 7 p. , 2007. Disponível em:

http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/b659XY730u80PB9_2013-5-3-11-28-57.pdf. Acesso em: 04 de fev. 2021.

CAZULA, L. P.; MIRANDOLA, P. H. Bacia Hidrográfica – conceitos e importância como unidade de planejamento: um exemplo aplicado na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado/SP-Brasil. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros Seção Três Lagoas**, p. 101-124, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/RevAGB/article/view/638/438>. Acesso em: 14 de jan. 2021.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: Editora da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://files.labtopope.webnode.com/200000166592785a262/APOSTILA_FOTOGAMETRIA_A_DIGITAL_UERJ_2009.pdf. Acesso em: 10 de fev. 2021.

COSTA, G. C. **Análise dos produtos obtidos com aerolevantamentos utilizando câmaras digitais não-métricas para elaboração de anteprojetos rodoviários**. 2008. 132 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008. Disponível em: https://attena.ufpe.br/bitstream/123456789/3144/1/arquivo2059_1.pdf. Acesso em: 11 de fev. 2021.

DANTAS, B. O.; COSTA, M. E. L.; CICERELLI, R. E.; ROIG, H. L.; KOIDE, S. Aplicação de geotecnologias na drenagem urbana- Estudo de caso da bacia de retenção do Guará/DF. In: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. 23, 2019. 10 p. Foz do Iguaçu - PR. **Anais**. Foz do Iguaçu: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Maria_Elisa_Costa2/publication/337828235_APLICACAO_DE_GEOTECNOLOGIAS_NA_DRENAGEM_URBANA_ESTUDO_DE_CASO_DA_BACIA_DE_DETENCAO_DO_GUARADDF/links/5ded75ba4585159aa46e7eff/APLICACAO-DE-GEOTECNOLOGIAS-NA-DRENAGEM-URBANA-ESTUDO-DE-CASO-DA-BACIA-DE-DETENCAO-DO-GUARA-DF.pdf. Acesso em: 15 de fev. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro – RJ: EMBRAPA-SNLCS, Série Miscelânea, 1, 1979, 83p.

FELIZARDO, L. M. **Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana**. 2016. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia - UNESP, Ilha de Solteira, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/144450/felizardo_lm_me_ilha.pdf?sequence=3. Acesso em: 31 de jan. 2021.

FLAUZINO, F. S.; SILVA, M. K. A.; NISHIYAMA, L.; ROSA, R. Geotecnologias aplicadas à gestão dos recursos naturais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba no cerrado mineiro. **Sociedade & Natureza (Online)**, v.22, n.1, p. 75-91, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-45132010000100006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sn/v22n1/06.pdf>. Acesso em: 09 de fev. 2021.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na Geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2011a. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0002>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47272>. Acesso em: 16 de fev. 2021.

FREITAS, E. P. de.; KLOSS, D.; SILVA, I. R. da. Delimitação de bacia hidrográfica no ambiente Google Earth. **Irriga**, Botucatu, ed. especial, v. 1, p. 97-104, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p97>. Disponível em: <http://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/440/236>. Acesso em: 09 de fev. 2021.

FREITAS, E. P. de; KLOSS, D.; SILVA, I. R. da. Delimitação de bacia hidrográfica no ambiente Google Earth. **Irriga**, Botucatu, ed. especial, v. 1, p. 97-104, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v1n01p97>. Disponível em: <http://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/440/236>. Acesso em: 09 de fev. 2021.

GAMA, W. M. **Impactos das mudanças climáticas na resposta hidrológica da bacia geográfica do rio Paraíba do Meio (AL/PE)**. 2011. 112 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/425/1/Impactos%20das%20mudan%c3%a7as%20clim%c3%a1ticas%20na%20resposta%20hidrol%c3%b3gica%20da%20bacia%20geogr%c3%a1fica%20do%20rio%20Para%c3%adba%20do%20Meio%20%28AL/PE%29.pdf>. Acesso em: 31 de jan. 2021.

GUIMARÃES, R. C. Bacia Hidrográfica. In: Guimarães, R. C.; Shahidian, S.; Rodrigues, C. M. (Editores). **Hidrologia Agrícola**, 2ª edição. Évora: Escola de Ciência e Tecnologia Universidade de Évora - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas (ICAAM), 2017. 18 p. Évora, 5-22. Disponível em: https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/22476/1/Capitulo_2_Bacia_Hidrogr%c3%a1fica_2Edi%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 22 de fev. 2021.

INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE-PPP - Serviço online para pós-processamento de dados GNSS**. 2020. 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=o-que-e>. Acesso em: 10 de jan. 2022.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2008.

MUNARETTO, L. **VANT e DRONES: A aeronáutica ao alcance de todos**. 2. ed. São Paulo: Edição independente, 2017. 176 p.

PARANHOS FILHO, A. C.; MIOTO, C. L.; OLIVEIRA, J. R. S. de; MARCATO JUNIOR, J. GNSS/GPS. In: Paranhos Filho, A. C.; Mioto, C. L.; Pessi, D. D.; Gamarra, R. M.; Silva, N. M. da; Ribeiro, V. de O.; Chaves, J. R. (Org.). **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá - PR: Uniedusul, 2021. Disponível em: <https://www.uniedusul.com.br/wp-content/uploads/2021/01/GEOTECNOLOGIAS-PARA-APLICACOES-AMBIENTAIS.pdf>. Acesso em: 12 de jan. 2021.

PASSO, D. P. **Análise da qualidade de classificadores para identificação de alvos urbanos em imagens de alta resolução espacial – uma aplicação com as imagens do satélite Worldview II**. 2013. 106p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade de Brasília, Brasília. 2013. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13435/1/2013_DenilsonPereiraPasso.pdf. Acesso em: 24 de jan. 2022.

PAZ, A. R. da. **Hidrologia Aplicada**. Rio Grande do Sul, 138 p. 2004. Disponível em: http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UERGS.pdf. Acesso em: 05 de fev. 2021.

PEIXOTO, F. da S.; DIAS, G. H.; FILGUEIRA, R. F.; DANTAS, J.; Caracterização hidrológica e do uso e cobertura da Terra no alto curso da bacia hidrográfica do Rio do Carmo – RN/Brasil. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.43, vol. 2, p. 138 – 158, 2021. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/7693/6111>. Acesso em: 05 de jul. 2021.

POLETO, C. Bacias hidrográficas urbanas. In: Poleto, C. (Org.). **Bacias hidrográficas e recursos hídricos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/41942/pdf/0>. Acesso em: 18 de fev. 2021.

RAMME, E. J.; KRÜGER, C. M. Delimitação de bacias hidrográficas com auxílio de geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 17, 2007, São Paulo. **Anais**. São Paulo-SP: ABRH, 2007, p. 1-17. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/09701c056380d391b732c8ed68eb42cb_e3f6962ac31256e3e899b8856b4eead0.pdf. Acesso em: 19 de jul. 2021.

RANDEMANN, L. K.; TRENTIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi - RS. GeoTextos, v. 16, n. 1, p. 209-230. 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.9771/geo.v16i1.35474>. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/geotextos/article/view/35474/21430>. Acesso em: 10 de jan. 2021.

RIBEIRO, E. G. P.; FERREIRA, B. M.; MACIEL, M. de N. M.; PEREIRA, B. W. de F.; SOARES, J. A. C. Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Igarapé do Una por meio de Geotecnologias. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.11, n.21, p. 2960-2974, 2015. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2015b/multidisciplinar/caracterizacao%20morfometrica.pdf>. Acesso em: 25 de jan. 2022.

ROSA, R.; BRITO, J. L. S. Uso de geotecnologias na elaboração de mapas do meio físico da bacia hidrográfica do Rio Araguaia - MG. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia - I

Encontro Sul-americano de Geomorfologia, 5, 2004, UFSM - RS. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/2/Roberto%20Rosa.pdf>. Acesso em: 15 de fev. 2021.

RUIZ, L. F. C.; GUASSELLI, L. A.; CATEN, A. T. Árvore de decisão e análise baseada em objetos na classificação de imagens com resolução espacial submétrica adquiridas por VANT. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 23, n. 2, p.252 - 267, abr - jun, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000200016>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bcg/a/jV8P7fqTn5NszbGJnvFDTCh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 de jan. 2022.

SANTOS, A. M. dos; TARGA, M. dos S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.945>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/tYpMVzyHC7Gw49N4FvHF7qb/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 de jan. 2022.

SENSEFLY. **eBee** +. senseFly. (2017) Disponível em: <http://www.newgeotecnologia.com.br/produtos/catalogos/vant/SenseFly-eBee-Plus-RTK-PPK-PT.pdf>. Acesso em: 27 de jul. de 2021.

SILVA, L. C. da; CAMPITELI, M.; ARIAS, A. **Material de apoio: Proceesamento Aerofotogramétrico – Agisoft Photoscan Pro**. 2017. 23p. https://bseu.info/compress-pdf.html?fileurl=https%3A%2F%2Fxdocs.com.br%2Fdownload-file%2Fmaterial-de-apoi-agisoft-photoscan-propdf-6nw56p46gpn1%3Fhash%3D4545a4bf7b24ec1fab88c4e8f55e0583&title=Material+de+Apoi+o+-+Agisoft+Photoscan+Pro.pdf&utm_source=xdocspt&utm_medium=queue&utm_campaign=dl. Acesso em: 19 de jul. de 2021.

SOUSA, B. de C. **Modelo digital de elevação a partir de imagens de Vant aplicado na identificação de áreas suscetíveis a alagamentos e, uma sub-bacia hidrográfica da cidade de Teresina–Piauí**. 2017. 55 p. Monografia (Tecnologia em Geoprocessamento) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí - Campus Teresina Central, 2017. Disponível em: http://bia.ifpi.edu.br:8080/jspui/bitstream/prefix/69/3/2017_tcc_bcsousa.pdf. Acesso em: 07 de jan. 2021.

SOUZA, E. R. de; FERNANDES, M. R. Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.21, n.207, p.15-20, 2000. Disponível em: http://www.cecs.unimontes.br/media/k2/attachments/Sub_bacias_hidrograficas_unidades_basicas_para_o_planejamento_e_a_gestao_sustentavel.pdf 00bf8b3f122812658f0c8c914235ec64.pdf. Acesso em: 06 de fev. 2021.

SOUZA, R. M.; FORMIGA, K. T. M.; VEIGA, A. M. Caracterização morfométrica e delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia - GO a partir de dados do SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. Foz do Iguaçu

- PR: INPE, 2013, p. 5880-5887. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.52.17/doc/p0676.pdf>. Acesso em: 22 de fev. 2021.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of erosional landscapes. In: XIX International Geological Congress - IGC, Algiers, 1954. p. 341-354.

TAVEIRA, B. D. de A. Hidrogeografia e gestão de bacias [Livro eletrônico]. Curitiba: InterSaberes, 2018. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Acervo/Publicacao/158944>. Acesso em: 18 de fev. 2021.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** 2005. 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9559/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 08 de fev. 2021.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. Recursos hídricos no século XXI. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br/Leitor/Publicacao/38866>. Acesso em: 18 de fev. 2021.

VAEZA, R. F.; OLIVEIRA FILHO, P. C.; MAIA, A. G.; DISPERATI, A. A. Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.003>. Disponível em: <https://floram.org/article/10.4322/floram.2011.003/pdf/floram-17-1-23.pdf>. Acesso em: 15 de fev. 2021.

VELOSO, G. A.; LEITE, M. E.; ALMEIDA, M.I.S. de. Geotecnologias aplicadas ao monitoramento do uso do solo na bacia hidrográfica do Riachão, no Norte de Minas Gerais. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife, v. 28, n. 2, p. 165-184, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/228811/23222>. Acesso em: 03 de fev. 2021.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

WINGTRA. What's the difference between PPK and RTK drones, and which one is better? WINGTRA, 2020. Disponível em: <https://wingtra.com/ppk-drones-vs-rtk-drones/>. Acesso em: 31 de out. 2021.

WOLF, P. R.; DEWITT, B. A.; WILKINSON, B. E. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. 4. ed. McGraw-Hill Education, 2014.

XAVIER, R. **A utilização do VANT em levantamentos ambientais**. 2013. Artigo (Especialização em Análise Ambiental) - Departamento de Geografia - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. 35 p. Disponível em:

<https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/52180/R%20-%20E%20-%20RODRIGO%20XAVIER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 de fev. 2021.

APÊNDICE A – Plano de voo 1



APÊNDICE B – Plano de voo 2



APÊNDICE C – Plano de voo 3



APÊNDICE D – Plano de voo 4



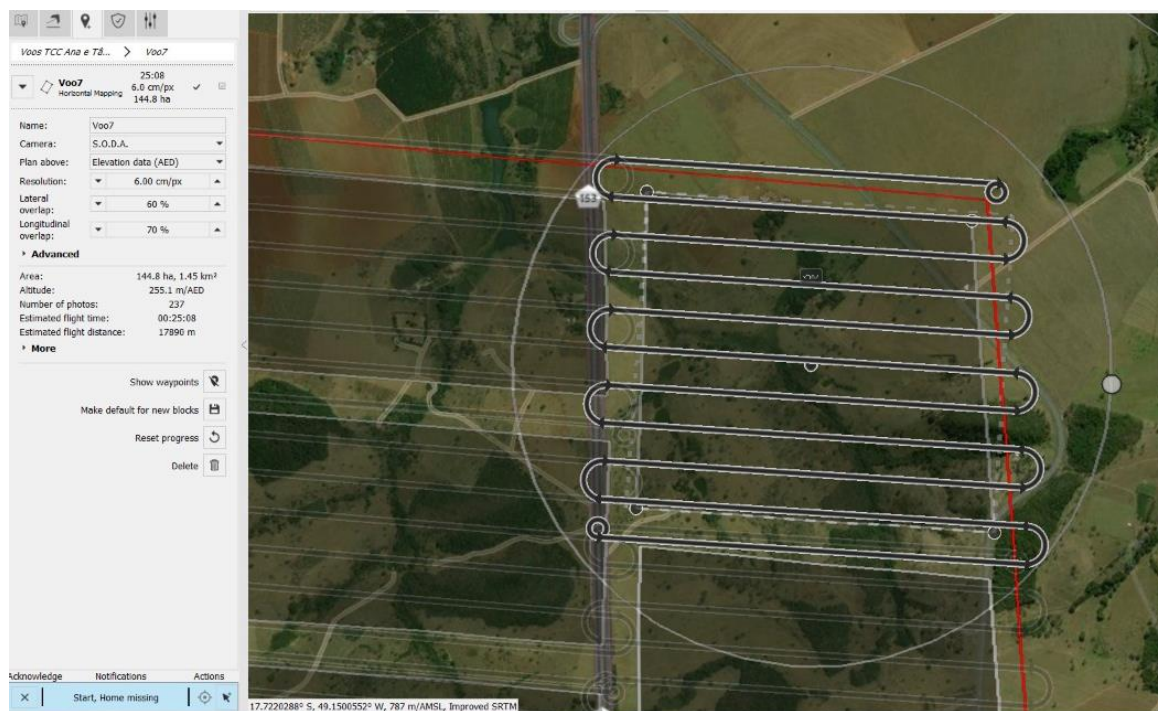
APÊNDICE E – Plano de voo 5



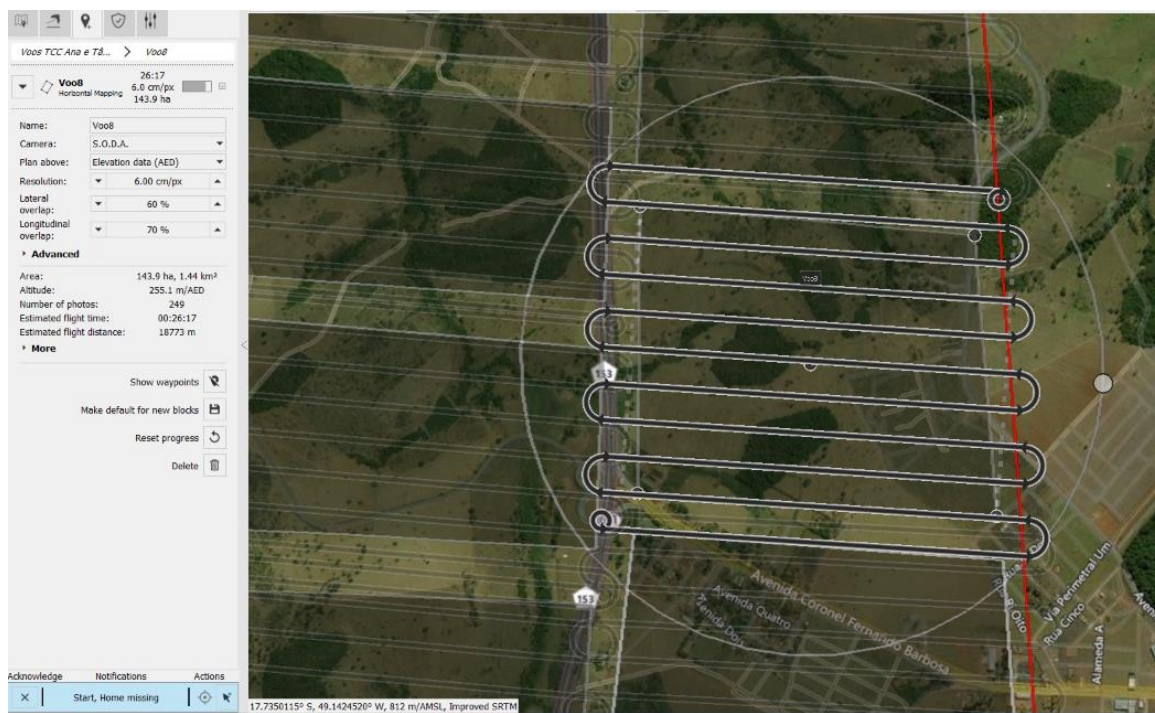
APÊNDICE F – Plano de voo 6



APÊNDICE G – Plano de voo 7



APÊNDICE H – Plano de voo 8



APÊNDICE I – Plano de voo 9



APÊNDICE J – Plano de voo 10



APÊNDICE K – Erros e coordenadas individuais das primeiras 57 fotografias após correção utilizando o método PPK

 POE lat long UTM - Bloco de Notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

fileName	latitude	longitude	altitude wgs84	Accuracy X	Accuracy Y	Accuracy Z	E	N		
EP-11-21655_0193_0001.JPG	-17.7050153185	-49.1545326814	1031.4456787109	0.0180877764	0.0180877764	0.0326708704	695716.032	8041491.125		
EP-11-21655_0193_0002.JPG	-17.7050132559	-49.1551722626	1033.2019042969	0.0179769155	0.0179769155	0.0319107100	695648.186	8041492.018		
EP-11-21655_0193_0003.JPG	-17.7049454647	-49.1557811198	1034.5550537109	0.0177862104	0.0177862104	0.0309461150	695583.670	8041500.154		
EP-11-21655_0193_0004.JPG	-17.7048916623	-49.1564015209	1036.6656494141	0.0173531733	0.0173531733	0.0290746279	695517.915	8041506.753		
EP-11-21655_0193_0005.JPG	-17.7048147676	-49.1570227462	1033.0423583984	0.0172213409	0.0172213409	0.0288160946	695452.097	8041515.909		
EP-11-21655_0193_0006.JPG	-17.7048226491	-49.1576466518	1032.0983886719	0.0170379467	0.0170379467	0.0281024314	695385.903	8041515.684		
EP-11-21655_0193_0007.JPG	-17.7047762228	-49.1582965265	1030.9462890625	0.0169162750	0.0169162750	0.0276112165	695317.013	8041521.497		
EP-11-21655_0193_0008.JPG	-17.7047057739	-49.1588919119	1034.3231201172	0.0172813796	0.0172813796	0.0294096600	695253.929	8041529.912		
EP-11-21655_0193_0009.JPG	-17.7046727037	-49.1595433055	1034.0588378906	0.0169713236	0.0169713236	0.0282423515	695184.864	8041534.247		
EP-11-21655_0193_0010.JPG	-17.7046343644	-49.1601585783	1034.4519042969	0.0169384684	0.0169384684	0.0280424785	695119.636	8041539.128		
EP-11-21655_0193_0011.JPG	-17.7045934865	-49.1607843169	1033.9376220703	0.0170121640	0.0170121640	0.0281690676	695053.300	8041544.301		
EP-11-21655_0193_0012.JPG	-17.7045486184	-49.1614143241	1033.4104003906	0.0169562288	0.0169562288	0.0277084224	694986.516	8041549.920		
EP-11-21655_0193_0013.JPG	-17.7044990201	-49.1620370057	1031.5699462891	0.0170692448	0.0170692448	0.0281725321	694920.514	8041556.054		
EP-11-21655_0193_0014.JPG	-17.7044310780	-49.1626589075	1032.6890869141	0.0170013569	0.0170013569	0.0277879965	694854.615	8041564.217		
EP-11-21655_0193_0015.JPG	-17.7044078091	-49.1632975872	1032.6081542969	0.0171602778	0.0171602778	0.0283611361	694786.887	8041567.454		
EP-11-21655_0193_0016.JPG	-17.7043655383	-49.1639149460	1032.6935593750	0.0172087364	0.0172087364	0.0281135458	694721.442	8041572.771		
EP-11-21655_0193_0017.JPG	-17.7043440668	-49.1645615524	1033.3242187500	0.0173695162	0.0173695162	0.0289126169	694652.871	8041575.816		
EP-11-21655_0193_0018.JPG	-17.7042708475	-49.1651677747	1033.1606445312	0.0173767470	0.0173767470	0.0293384399	694588.641	8041584.546		
EP-11-21655_0193_0019.JPG	-17.7042436597	-49.1657795874	1032.8531494141	0.0180038251	0.0180038251	0.0313361660	694523.768	8041588.187		
EP-11-21655_0193_0020.JPG	-17.7041841591	-49.1664123135	1032.3479003906	0.0181232654	0.0181232654	0.0315228254	694456.711	8041595.426		
EP-11-21655_0193_0021.JPG	-17.7041450977	-49.1670342607	1034.2891845703	0.0182780586	0.0182780586	0.0321125463	694390.775	8041600.392		
EP-11-21655_0193_0022.JPG	-17.7041040438	-49.1676513785	1033.6501464844	0.0182791464	0.0182791464	0.0318037458	694325.354	8041605.573		
EP-11-21655_0193_0023.JPG	-17.7040561082	-49.1682807595	1032.4694824219	0.0184293613	0.0184293613	0.0322593860	694258.640	8041611.528		
EP-11-21655_0193_0024.JPG	-17.7039723735	-49.1689087851	1033.8593750000	0.0177711528	0.0177711528	0.0291398708	694192.107	8041621.443		
EP-11-21655_0193_0025.JPG	-17.7039761661	-49.1695157259	1033.2512207031	0.0186381433	0.0186381433	0.0329499729	694127.718	8041621.649		
EP-11-21655_0193_0026.JPG	-17.7039202103	-49.1701591884	1033.6540527344	0.0182262398	0.0182262398	0.0307534207	694059.518	8041628.506		
EP-11-21655_0193_0027.JPG	-17.7038771081	-49.1707808361	1033.8642578125	0.0179934502	0.0179934502	0.0293077622	693993.616	8041633.917		
EP-11-21655_0193_0028.JPG	-17.7038540029	-49.1713883178	1032.9797363281	0.0180404410	0.0180404410	0.0292203669	693929.200	8041637.100		
EP-11-21655_0193_0029.JPG	-17.7037960536	-49.1720212617	1032.9521484375	0.0188845862	0.0188845862	0.0330954529	693862.118	8041644.165		
EP-11-21655_0193_0030.JPG	-17.7037577320	-49.1726226872	1032.7163085938	0.0189275220	0.0189275220	0.0326838307	693798.359	8041649.026		
EP-11-21655_0193_0031.JPG	-17.7049061696	-49.1729040653	1032.3903808594	0.0185362510	0.0185362510	0.0306477137	693767.277	8041522.208		
EP-11-21655_0193_0032.JPG	-17.7049380098	-49.1722615612	1032.1043701172	0.0183604956	0.0183604956	0.0303185582	693835.400	8041518.022		
EP-11-21655_0193_0033.JPG	-17.7049808150	-49.1716553227	1032.7949218750	0.0182260666	0.0182260666	0.0297013912	693899.665	8041512.660		
EP-11-21655_0193_0034.JPG	-17.7050472680	-49.1710480921	1031.6781005859	0.0181568433	0.0181568433	0.0295967218	693964.010	8041504.680		
EP-11-21655_0193_0035.JPG	-17.7050898139	-49.1704219340	1031.7014160156	0.0180831850	0.0180831850	0.0295219533	694030.388	8041499.326		
EP-11-21655_0193_0036.JPG	-17.7051179395	-49.1697776360	1032.4632568359	0.0180434119	0.0180434119	0.0299361944	694098.706	8041495.549		
EP-11-21655_0193_0037.JPG	-17.7051964997	-49.1691389727	1031.2653808594	0.0185230188	0.0185230188	0.0319672413	694166.372	8041486.195		
EP-11-21655_0193_0038.JPG	-17.7052375825	-49.1685279721	1031.8391113281	0.0178641453	0.0178641453	0.0291288029	694231.143	8041481.018		
EP-11-21655_0193_0039.JPG	-17.7052826439	-49.1678872708	1032.4649658203	0.0178017933	0.0178017933	0.0289936457	694299.061	8041475.370		
EP-11-21655_0193_0040.JPG	-17.7052978255	-49.1672477761	1033.6986083984	0.0176727828	0.0176727828	0.0292074196	694366.884	8041473.029		
EP-11-21655_0193_0041.JPG	-17.7053691303	-49.1666098986	1032.0468750000	0.0176911559	0.0176911559	0.0291115530	694434.474	8041464.479		
EP-11-21655_0193_0042.JPG	-17.7054012075	-49.1659880368	1030.9702148438	0.0176720805	0.0176720805	0.0297586508	694500.407	8041460.286		
EP-11-21655_0193_0043.JPG	-17.7054460028	-49.1653796760	1031.3778076172	0.0170014743	0.0170014743	0.0265661571	694564.895	8041454.700		
EP-11-21655_0193_0044.JPG	-17.7054780755	-49.1647656114	1030.5493164062	0.0169354267	0.0169354267	0.0268044379	694630.001	8041450.515		
EP-11-21655_0193_0045.JPG	-17.7055462998	-49.1641117824	1033.4428710938	0.0168786999	0.0168786999	0.0264658164	694699.287	8041442.288		
EP-11-21655_0193_0046.JPG	-17.7055741438	-49.1635287687	1034.8105468750	0.0167714674	0.0167714674	0.0259804614	694761.104	8041438.603		
EP-11-21655_0193_0047.JPG	-17.7056189149	-49.1628921705	1029.9637451172	0.0166884400	0.0166884400	0.0256680064	694828.587	8041432.990		
EP-11-21655_0193_0048.JPG	-17.7056451252	-49.1622550520	1032.4893798828	0.0167388152	0.0167388152	0.0261766557	694896.145	8041429.429		
EP-11-21655_0193_0049.JPG	-17.7057088314	-49.1616267402	1032.3508837891	0.0166378152	0.0166378152	0.0257940143	694962.729	8041421.728		
EP-11-21655_0193_0050.JPG	-17.7057879042	-49.1610169212	1031.3449707031	0.0166220106	0.0166220106	0.0260081645	695027.334	8041412.344		
EP-11-21655_0193_0051.JPG	-17.7058207243	-49.1604040129	1030.9165039062	0.0165678635	0.0165678635	0.0254657045	695092.317	8041408.077		
EP-11-21655_0193_0052.JPG	-17.7058600753	-49.1597712665	1033.8334960938	0.0167166032	0.0167166032	0.0260124244	695159.397	8041403.066		
EP-11-21655_0193_0053.JPG	-17.7058684117	-49.1591344961	1029.1510009766	0.0165526178	0.0165526178	0.0253382754	695226.938	8041401.483		
EP-11-21655_0193_0054.JPG	-17.7059587332	-49.1585184283	1032.1997070312	0.0167855825	0.0167855825	0.0261860229	695292.193	8041390.847		
EP-11-21655_0193_0055.JPG	-17.7059808122	-49.1578933308	1033.8270263672	0.0166626088	0.0166626088	0.0257505570	695358.481	8041387.755		
EP-11-21655_0193_0056.JPG	-17.7060283495	-49.1572552249	1031.3110351562	0.0165994521	0.0165994521	0.0252994951	695426.121	8041381.831		
EP-11-21655_0193_0057.JPG	-17.7060964223	-49.1566398798	1032.0821533203	0.0167156160	0.0167156160	0.0257337969	695491.324	8041373.658		

**APÊNDICE L – Relatório do processamento aerofotogramétrico da sub-bacia do
Córrego dos Chaves para obtenção do MDS e do ortomosaico**

TCC ANA E TÂMARA

Sub-bacia do Córrego dos Chaves

12 August 2021



Survey Data

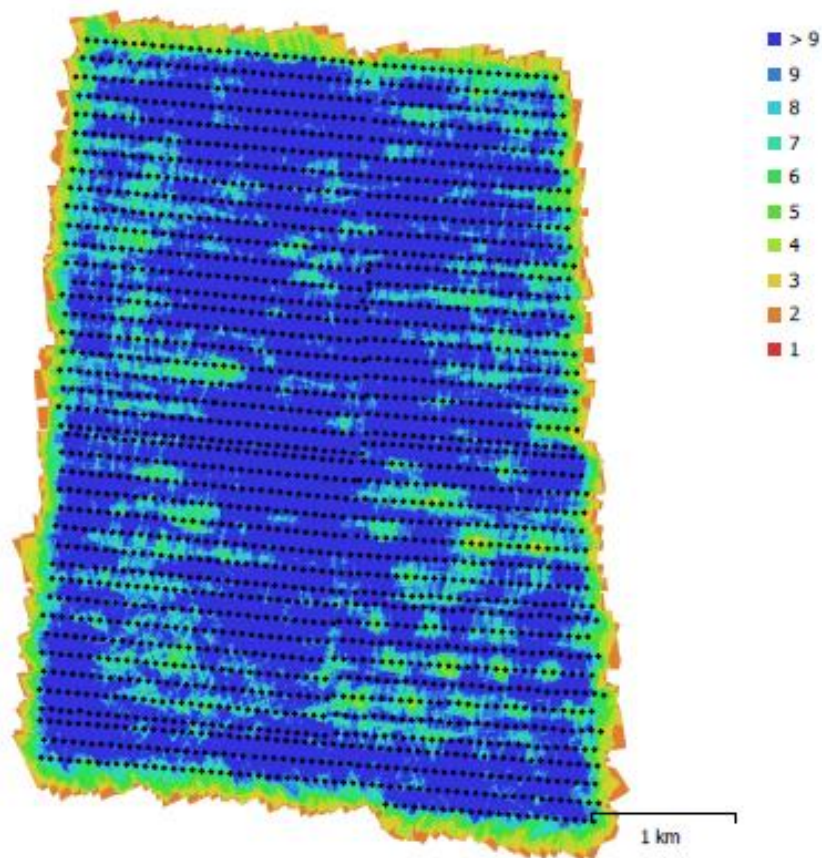


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	2,310	Camera stations:	2,310
Flying altitude:	308 m	Tie points:	2,013,260
Ground resolution:	6.56 cm/pix	Projections:	8,598,912
Coverage area:	21.4 km ²	Reprojection error:	1.07 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
S.O.D.A. (10.6mm)	5472 x 3648	10.6 mm	2.4 x 2.4 μ m	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

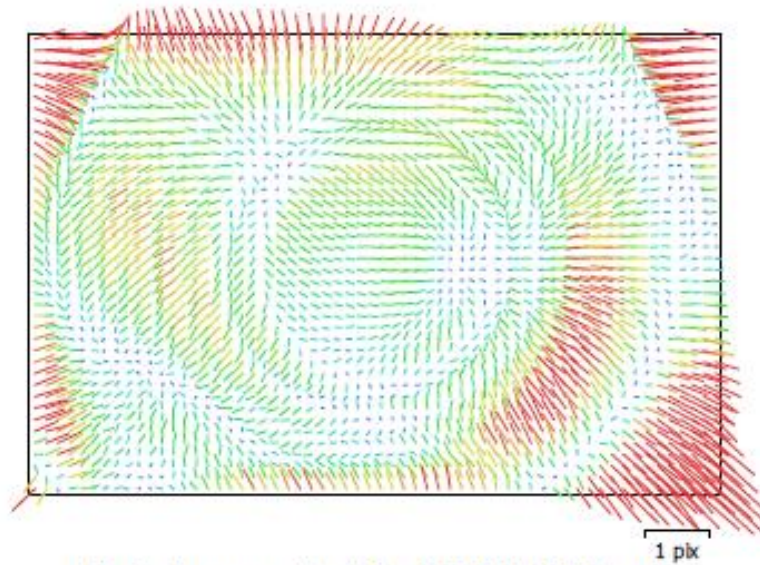


Fig. 2. Image residuals for S.O.D.A. (10.6mm).

S.O.D.A. (10.6mm)

2310 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.6 mm	2.4 x 2.4 μm

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4405.54	0.015	1.00	0.05	-0.35	-0.08	0.02	-0.43	0.38	-0.34	0.31	-0.02	-0.02
Cx	-53.0739	0.01		1.00	-0.04	-0.05	0.01	-0.00	0.01	-0.01	0.01	0.93	-0.02
Cy	-22.7084	0.0082			1.00	0.02	-0.04	-0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.01	0.80
B1	2.09865	0.0024				1.00	-0.00	0.03	-0.04	0.04	-0.03	-0.03	0.04
B2	-0.567951	0.0025					1.00	0.00	-0.00	0.01	-0.01	-0.01	-0.04
K1	0.0465965	3.4e-005						1.00	-0.98	0.93	-0.88	-0.01	-0.00
K2	-0.352026	0.00024							1.00	-0.99	0.96	0.01	-0.00
K3	0.761129	0.00069								1.00	-0.99	-0.01	0.00
K4	-0.464965	0.00066									1.00	0.01	-0.00
P1	-0.00224388	9e-007										1.00	-0.02
P2	-0.00102664	6.9e-007											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

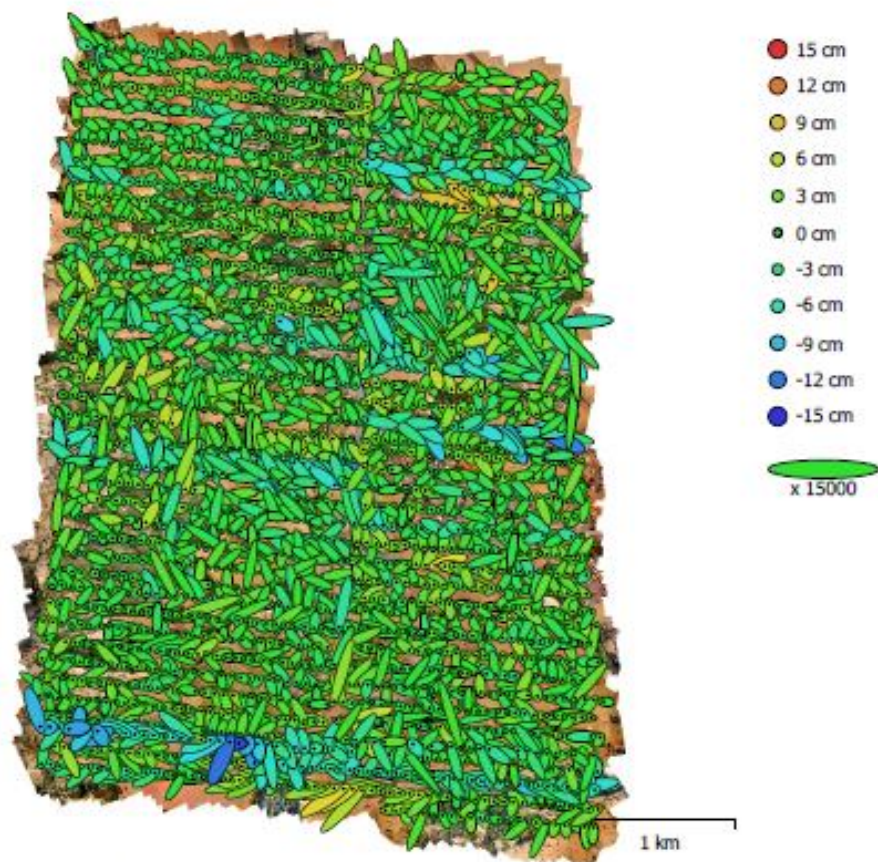


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
0.672294	0.691511	2.56946	0.964451	2.7445

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

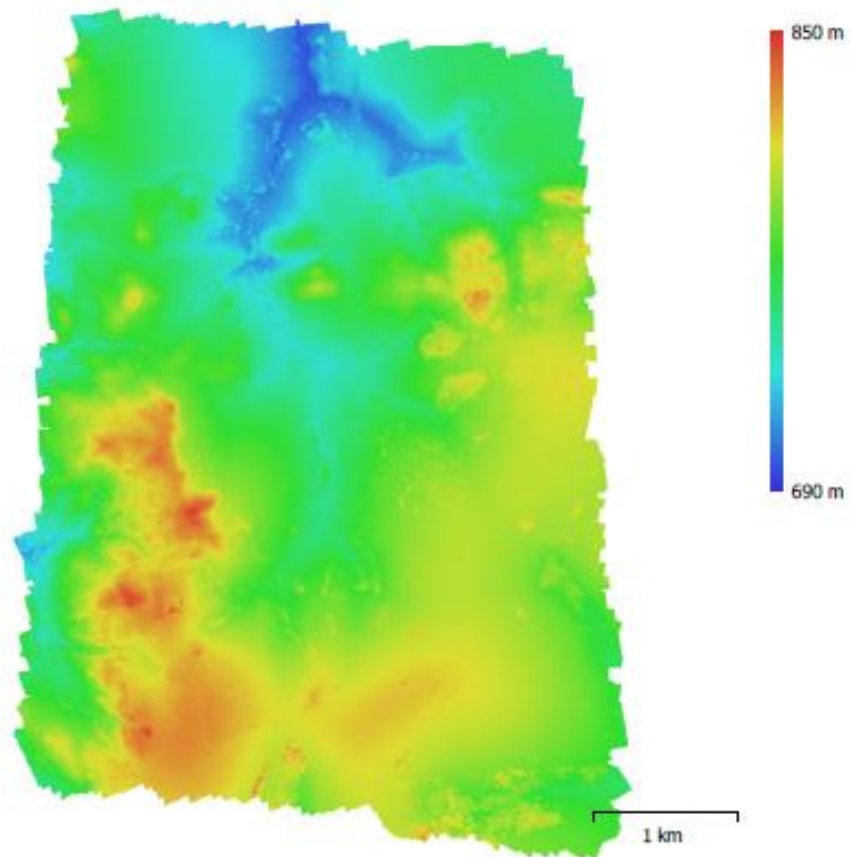


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 26.3 cm/pix
Point density: 14.5 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	2310
Aligned cameras	2310
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	2,013,260 of 2,161,793
RMS reprojection error	0.151666 (1.06838 pix)
Max reprojection error	0.584919 (50.073 pix)
Mean key point size	6.25648 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	4.43418

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Média
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	4 hours 6 minutes
Alignment time	14 minutes 5 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	49 seconds

Mapas de Profundidade

Número	2310
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Filtering mode	Moderate
Tempo de processamento	18 hours 51 minutes

Dense Point Cloud

Pontos	369,694,483
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Média
Depth filtering	Moderate
Depth maps generation time	18 hours 51 minutes
Dense cloud generation time	1 hours 36 minutes

Modelo

Faces	24,491,321
Vértices	12,259,250
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Média

Geral	
Depth filtering	Moderate
Número de faces	24,646,298
Tempo de processamento	20 minutes 38 seconds
Parâmetros de texturização	
Modo de mapeamento	Ortofoto adaptativo
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Sim
UV mapping time	4 minutes 42 seconds
Blending time	13 hours 57 minutes
DEM	
Tamanho	25,008 x 31,065
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	14 minutes 39 seconds
Orthomosaic	
Tamanho	66,111 x 90,719
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Tempo de processamento	1 hours 28 minutes
Software	
Version	1.5.0 build 7492
Platform	Windows 64

**APÊNDICE M – Relatório do processamento aerofotogramétrico da sub-bacia do
Córrego dos Chaves para obtenção do MDT e das curvas de nível**

TCC ANA E TÂMARA
SUB-BACIA DO CÓRREGO DOS CHAVES
26 October 2021



Survey Data

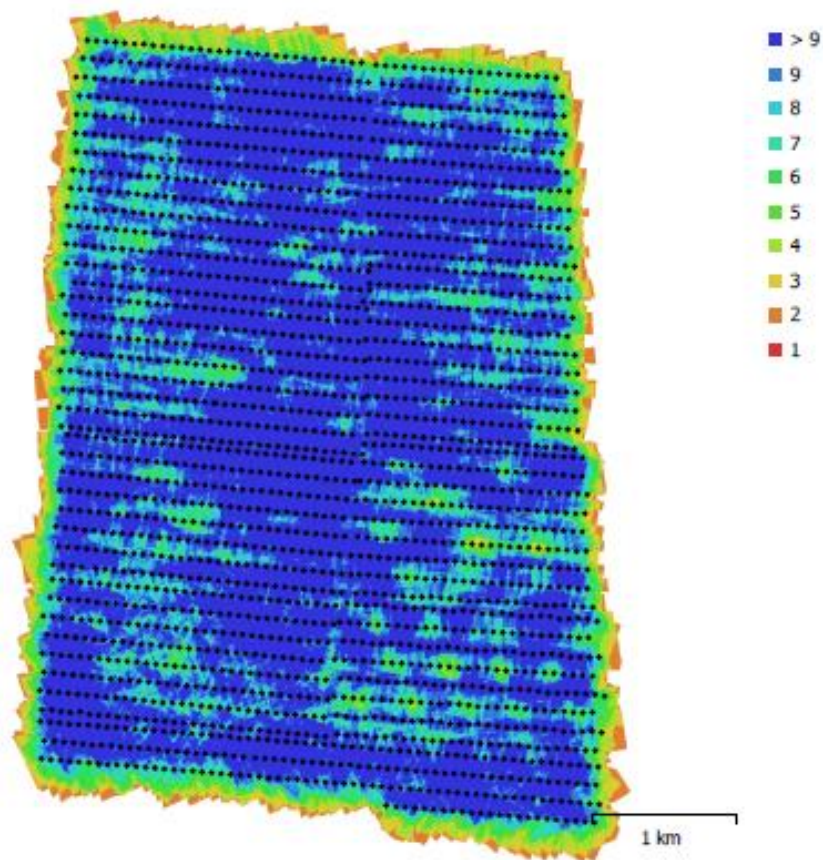


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	2,310	Camera stations:	2,310
Flying altitude:	308 m	Tie points:	2,013,260
Ground resolution:	6.56 cm/pix	Projections:	8,598,912
Coverage area:	21.4 km ²	Reprojection error:	1.07 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
S.O.D.A. (10.6mm)	5472 x 3648	10.6 mm	2.4 x 2.4 μ m	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

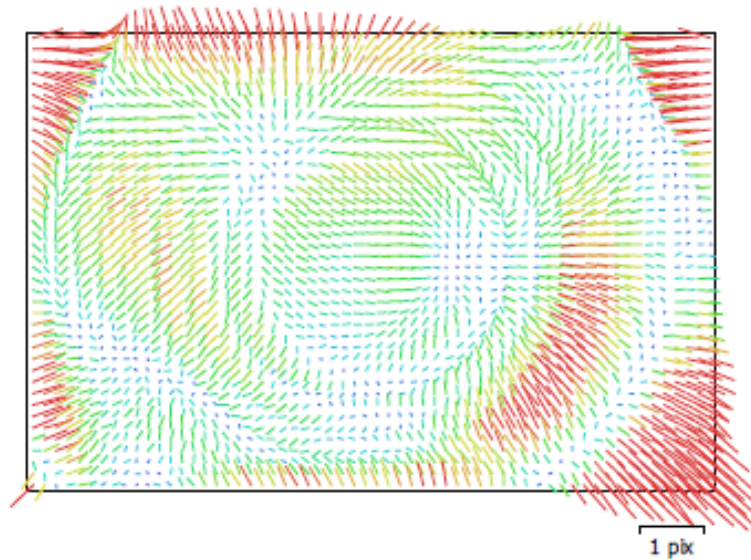


Fig. 2. Image residuals for S.O.D.A. (10.6mm).

S.O.D.A. (10.6mm)

2310 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	10.6 mm	2.4 x 2.4 μm

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4405.54	0.015	1.00	0.05	-0.35	-0.08	0.02	-0.43	0.38	-0.34	0.31	-0.02	-0.02
Cx	-53.0739	0.01		1.00	-0.04	-0.05	0.01	-0.00	0.01	-0.01	0.01	0.93	-0.02
Cy	-22.7084	0.0082			1.00	0.02	-0.04	-0.00	0.01	-0.01	0.02	-0.01	0.80
B1	2.09865	0.0024				1.00	-0.00	0.03	-0.04	0.04	-0.03	-0.03	0.04
B2	-0.567951	0.0025					1.00	0.00	-0.00	0.01	-0.01	-0.01	-0.04
K1	0.0465965	3.4e-005						1.00	-0.98	0.93	-0.88	-0.01	-0.00
K2	-0.352026	0.00024							1.00	-0.99	0.96	0.01	-0.00
K3	0.761129	0.00069								1.00	-0.99	-0.01	0.00
K4	-0.464965	0.00066									1.00	0.01	-0.00
P1	-0.00224388	9e-007										1.00	-0.02
P2	-0.00102664	6.9e-007											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

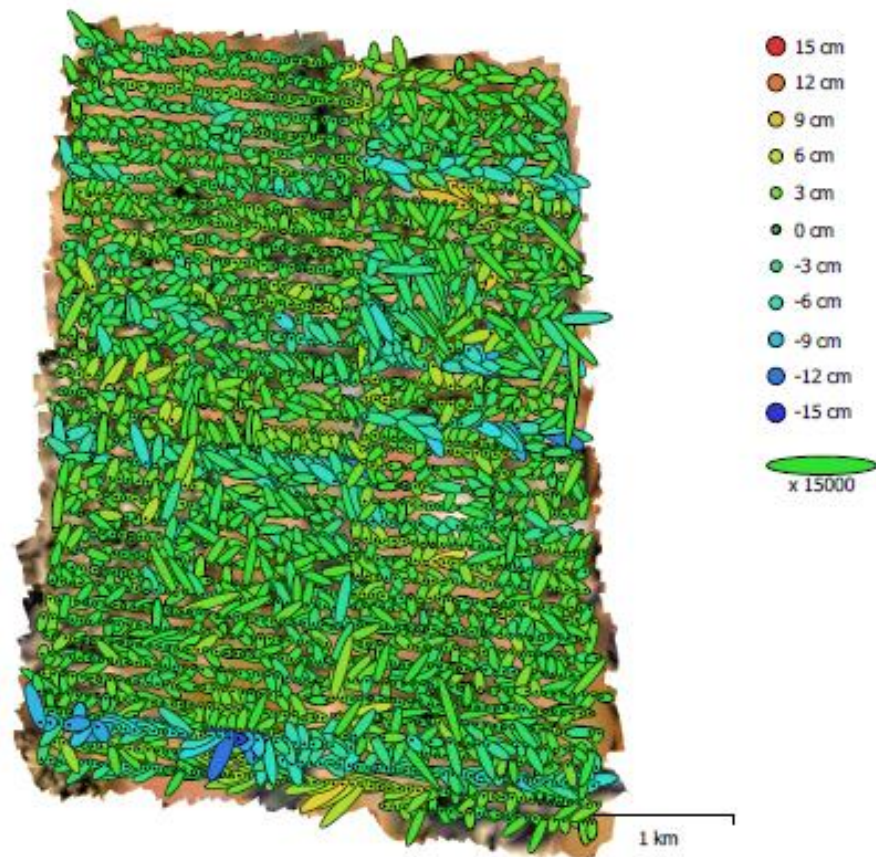


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
0.672294	0.691511	2.56946	0.964451	2.7445

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

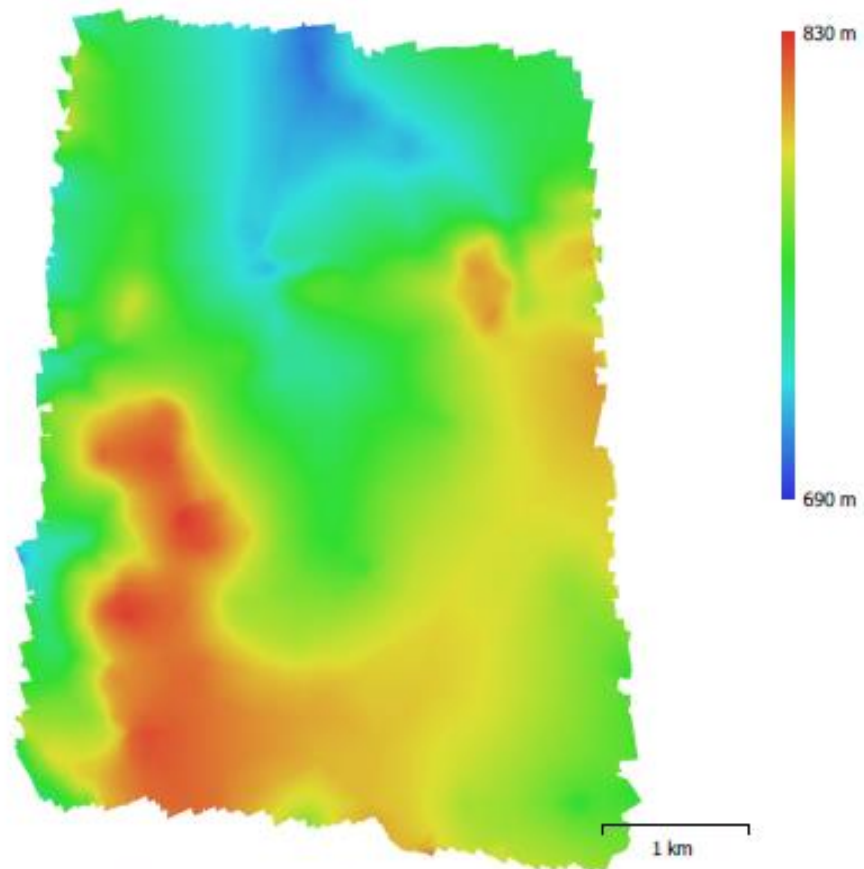


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 52.5 cm/pix
Point density: 3.63 points/m²

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	2310
Aligned cameras	2310
Shapes	
Polylines	222
Polygons	41
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Nuvem de Pontos	
Pontos	2,013,260 of 2,161,793
RMS reprojection error	0.151666 (1.06838 pix)
Max reprojection error	0.584919 (50.073 pix)
Mean key point size	6.25648 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	4.43418
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Média
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	4 hours 6 minutes
Alignment time	14 minutes 5 seconds
Optimization parameters	
Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	49 seconds
Mapas de Profundidade	
Número	2310
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Baixa
Filtering mode	Aggressive
Tempo de processamento	6 hours 34 minutes
Dense Point Cloud	
Pontos	90,608,178
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Baixa
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	6 hours 34 minutes
Dense cloud generation time	28 minutes 37 seconds
Modelo	
Faces	10,903
Vértices	7,064
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense

Geral

Interpolation	Enabled
Qualidade	Baixa
Depth filtering	Aggressive
Número de faces	20,000
Tempo de processamento	2 minutes 50 seconds

DEM

Tamanho	12,512 x 15,543
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Mesh
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	4 minutes 18 seconds

Software

Version	1.5.0 build 7492
Platform	Windows 64

ANEXO A – Relatório de processamento IBGE-PPP



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: log_0719l_X05C

Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2021/07/19 11:31:48,00
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2021/07/19 18:07:41,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPPER_LITE NONE
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena³(m):	1,532
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,77 GPS 2,18 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,85 GPS 0,58 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) ⁴	-17° 41' 59,8965"	-49° 09' 33,8265"	701,95	8042054.450	695205.548	-51
Na data do levantamento ⁵	-17° 41' 59,8884"	-49° 09' 33,8287"	701,95	8042054.700	695205.486	-51
Sigma(95%)⁶ (m)	0,001	0,003	0,007			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-10,98					
Altitude Ortométrica (m)	712,93					

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori
log_2001.210

