

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial

Carlos Frederico De Souza Lott

**O USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS COMO SUPORTE
PARA ESTUDOS NA PAISAGEM CÁRSTICA: um ensaio no Monumento Natural
Experiência da Jaguará, Minas Gerais.**

Belo Horizonte
Março de 2019

Carlos Frederico de Souza Lott

**O USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS COMO SUPORTE
PARA ESTUDOS NA PAISAGEM CÁRSTICA: um ensaio no Monumento Natural
Experiência da Jaguará, Minas Gerais.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Sandro Laudaes

Área de Concentração: Análise Espacial

Belo Horizonte
Março de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

L884u	Lott, Carlos Frederico de Souza O uso de aeronaves remotamente pilotadas como suporte para estudos na paisagem cárstica: um ensaio no Monumento Natural Experiência da Jaguará, Minas Gerais / Carlos Frederico de Souza Lott. Belo Horizonte, 2019. 131 f. : il. Orientador: Sandro Laudares Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial 1. Drone – Minas Gerais. 2. Sensoriamento remoto. 3. Fotogrametria. 4. Engenharia geotécnica. 5. Carste. 6. Sistemas de informação geográfica. 7. Geomorfologia. 8. Cartografia. I. Laudares, Sandro. II. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial. III. Título. SIB PUC MINAS CDU: 528.7
-------	--

Ficha catalográfica elaborada por Claudia Cristina Carvalho Tavares - CRB 6/2647

Carlos Frederico de Souza Lott

**O USO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS COMO SUPORTE
PARA ESTUDOS NA PAISAGEM CÁRSTICA: um ensaio no Monumento Natural
Experiência da Jaguará, Minas Gerais.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Banca examinadora:

Professor Dr. Sandro Laudaes (orientador)
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Professor Dr. Jarbas Lima Dias Sampaio
Universidade Federal de Minas Gerais

Professor Dr. João Henrique Rettore Totaro
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Professor Dr. Luiz Eduardo Panisset Travassos
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Belo Horizonte, 27 de março de 2019.



Jardim Canadá, Nova Lima - MG, 1983

Dedico esse trabalho a minha Marina, meu porto seguro.

Dedico a poetisa e volovelista Lygia Britto (*in memoriam*), mãe, que despertou em mim o interesse por navegar pelos ares e páginas.

Dedico ao meu pai Carlos Lott, que me acompanhou em todos os passos das minhas experiências com aeromodelos, da infância à última linha dessa dissertação.

AGRADECIMENTOS

Esta lauda em branco, a lauda dos agradecimentos, talvez tenha sido a mais angustiante de ser preenchida em todo o processo de elaboração dessa dissertação. A constante sensação de se estar cometendo injustiças me faz agradecer, em primeiro lugar, justamente a todos aqueles que passaram pela minha vida e, de alguma forma, contribuíram para me direcionar aos caminhos que trilho agora.

Em primeiro lugar agradeço à Marina Rossi, motivo de tudo. Minha esposa, minha torcida, minha menina, minha galera.

Agradeço a minha família. Aos meus avós, cerne de toda família, pelos exemplos e ensinamentos. Agradeço as palavras de apoio de meus pais e irmãos. Aos meus sogros, extensão de minha família, por toda a preocupação e incentivos. A todos os familiares, tios, Irmãos, primos e cunhado agradeço pelas palavras entusiasmadas de apoio;

Aos amigos/irmãos Cândida Amaral, Eduardo Dias Aquino e Léo Vaz que, de uma maneira ou de outra, simplesmente sempre estão ali;

Aos Comandantes Ramon Eulálio e Sylvio Amaral, aeronautas e amigos, pelas palavras de apoio e por todas as discussões sobre segurança de voo;

Ao meu orientador Professor Sandro Laudares por me conduzir por essa jornada acadêmica sempre com serenidade e com conselhos positivos e encorajadores, bem como por despertar em mim uma visão contemporânea sobre o lado tecnológico da Geografia e pelos diversos momentos de discussões epistemológicas sempre visionárias;

Ao Professor Oswaldo Bueno por alimentar o meu espírito geográfico e o orgulho pela escolha da Geografia;

Aos professores João Henrique Rettore Totaro, Luiz Eduardo Travassos e Bruno Durão pelas contribuições e constante disponibilidade em ajudar e orientar;

Ao Professor Jarbas Sampaio por sua ajuda aos quarenta e cinco do segundo tempo; sua visão democrática sobre o conhecimento e informação deve ser exemplo para toda academia;

Ao professor André Golgher pelos infindáveis conselhos sobre a vida acadêmica;

Aos amigos que me acompanharam no campo e muitas vezes ajudaram no trabalho pesado com equipamentos e ferramental, Roberto Cassimiro, Ramon Eulálio, Jorge Duarte e Thadeu Pietrobon, meu muito obrigado. Valeu a força!

Aos amigos habituais de campo, verdadeira Seita, Allan Callux, Xavier Prous, Thadeu Pietrobon, Robson Zampaulo, Mariane Ribeiro agradeço pelos infindáveis conselhos sobre a experiência acadêmica;

A Thami Silva, Marcus de Oliveira, Matheus Mescolotti e toda a equipe da Bioespeleo pela compreensão, disponibilidade e incentivo;

A toda equipe da Gerência de Espeleologia da Vale pelos anos de convívio e aprendizado. Especial agradecimento a Georgete Dutra e Iuri Brandi que me deram a oportunidade de trabalhar com essa equipe e ao Ramon Araújo pela troca de experiências com RPAs;

À equipe do IEF que sempre me recebeu e ajudou com a maior presteza e cordialidade;

A todo o pessoal da Fazenda Jaguará que, literalmente, abriu as portas da fazenda, sempre com um sorriso no rosto, para que eu conduzisse a minha pesquisa;

Aos amigos Mylène Berbert, Thiago Lima, Marcelo André, Sérgio Salles, Ewerton Gontijo e Diego Alves pelos constantes auxílios em questões técnicas;

A todos os amigos do Grupo Bambuí de Pesquisas Espeleológicas que, desde 1994, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a minha formação espeleológica;

Aos amigos do Espeleo Grupo de Brasília e do Observatório Espeleológico;

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



Todos os acidentes podem e devem ser evitados.
Filosofia SIPAER

RESUMO

Atualmente o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPAs está cada vez mais incorporado em nosso cotidiano e tanto a sociedade civil quanto a Administração Pública vêm lançando mão dessa tecnologia para otimizar pesquisas e serviços. Nos estudos ambientais não seria diferente e diversos campos das ciências se valem das RPAs. Se por um lado a Geografia faz uso dessa geotecnologia como instrumento de Sensoriamento Remoto nos estudos da paisagem, por outro pairam dúvidas sobre o uso indiscriminado e tecnicizado delas. Com isso surge a pergunta central dessa pesquisa: seriam as RPAs realmente efetivas como plataforma de aquisição de imagens de alta resolução espacial e temporal para suporte aos estudos da paisagem cárstica? É sob esse mote que a presente pesquisa se desenvolveu e pretende responder quais seriam os ganhos de tal uso e estabelecer os limites para o emprego dessas aeronaves. Partindo-se de um ensaio prático na região cárstica de Lagoa Santa – MG, foi realizado o imageamento do Monumento Natural Experiência da Jaguará, unidade de conservação de 38,48 ha, que preserva um dos mais notáveis afloramentos rochosos da região. Para alcançar as respostas que possam servir de base conceitual para estudos futuros, foram realizados voos de imageamento associados ao uso de pontos de apoio geodésico planimétrico de maneira a garantir a precisão e a acurácia do bloco de imagens que serviu para a extração de ortofotomosaico e produtos associados, como curvas de nível, modelos digitais de elevação e um modelo digital tridimensional do terreno. Com esses dados em mãos foi realizado o mapeamento morfométrico que serviu para embasar toda a discussão que é travada nas análises. Também foram discutidas as aplicações das RPAs como fonte geradora de imageamentos oblíquos sistematizados e de suas funcionalidades enquanto instrumento de investigação remota em campo. Por fim os resultados apontam para viabilidade do uso de RPAs nos estudos do carste desde que sejam observadas as limitações impostas pela relação entre custo, área imageada, resolução espacial e temporal. Tais limites são propostos em um gráfico que poderá auxiliar na tomada de decisão quanto ao uso ou não dessa Geotecnologia.

Palavras chaves: Aeronaves Remotamente Pilotadas, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria, Geotecnologia, Carste.

ABSTRACT

The use of Remotely-Piloted Aircrafts (RPA) is nowadays well incorporated in our daily life and the civil society and public administrations are taking advantage of such geotechnology to optimize surveys and services. This is also true in environmental studies and other knowledge fields. For instance, studies in Geography, in particular concerning landscape, use this technology as instrument of Remote Sensing. However, the non-critical use of this technique has been condemned. In this vein, the central question addressed by this thesis is based on these critics: are RPAs effective as a platform of acquisition of high-resolution spatial and temporal images to support studies of karstic landscape? More specially, this research intends to analyze which would be the benefits and limits of using RPAs in an empirical study took place in the karstic region of Lagoa Santa (MG). The geographical area of analysis was the Monumento Natural Experiência da Jaguará, a conservation unit of 38.48 hectares that preserves some of the most remarkable rocky outcrop of the area. In order to obtain results that may be used as theoretical framework for future studies, we did imaging flights associated with the use of geodesic and planimetric support points to ensure the precision and accuracy of the images. They were used for the extraction of orthophoto mosaics and associated products, such as level curves, digital models of elevation and a three dimension digital model of the landscape. The morphometric mapping was done with these data and was it was the basis for all the posterior analysis and discussions. Applications of the RPAs were also used as sources of systematic oblique imaging and its functions as instrument for remote field investigation. Finally, the results indicate the viability of the use of RPAs in studies of karstic regions if the limitations imposed by costs, size of the studied area, spatial and temporal resolutions are taken into account. These limitations were sketched in a graph, which can be the basis for decisions regarding whether or not to use this geotechnology.

Key-words: Remotely-Piloted Aircrafts, Remote Sensing, Photogrammetry, Geotechnology , Karst.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Feições cárstica típicas (torre e paredão).	37
Figura 2 - Feições cárstica típicas (lapiás, ressurgência e dolina).	38
Figura 3 - Principais feições encontradas no modelado cárstico.	39
Figura 4 - Síntese das reações químicas básicas do carste.	41
Figura 5 - Precisão versus acurácia.	49
Figura 6 - Visão orbital da terra à partir da Apolo 17 e do Google Earth	50
Figura 7 - Esquema de classificação de sensores e plataformas.	52
Figura 8 - Características do espectro eletromagnético.	53
Figura 9 - Principais tipos de RPAs.	57
Figura 10 - Coluna estratigráfica simplificada da APA Carste Lagoa Santa.	59
Figura 11 - Aspectos geomorfológicos e pedológicos	61
Figura 12 - Massa d'água formada em dolina contígua	62
Figura 13 - Aspectos da vegetação na área de estudo.	65
Figura 14 - Aspectos de uso e ocupação do solo.	66
Figura 15 - Aspectos do patrimônio espeleológico.	68
Figura 16 - Organograma metodológico.	69
Figura 17 - Registro do processo de instalação das bases fixas para PAs.	74
Figura 18 - Detalhes da instalação dos alvos nos PAs – Protótipo 1.	76
Figura 19 - Detalhes da instalação dos alvos nos PAs – Protótipo 2.	77
Figura 20 - Reflectância dos alvos de vinil durante processamento.	77
Figura 21 - Nitidez dos alvos de MDF durante processamento.	78
Figura 22 - Esquema de representação do ângulo de visada das fotografias.	80
Figura 23 - Exemplo de registro fotográfico no ponto de monitoramento H1.	80
Figura 24 - Tipos de receptores satelitais GNSS.	81
Figura 25 - Elementos envolvidos na operação aérea.	83
Figura 26 - Nuvem de pontos não refinada e posicionamento dos PAs.	86
Figura 27 - Vista em perspectiva dos pontos de coleta das imagens.	87
Figura 28 - Representação gráfica dos principais resultados.	88
Figura 29 - Perspectivas oblíquas do PMAO-05.	93
Figura 30 - Perspectivas oblíquas e modelos 3D.	94
Figura 31 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:400.	95

Figura 32 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:200.	96
Figura 33 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:100	96
Figura 34 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:50.	97
Figura 35 - Exemplo de visualização durante fotointerpretação.	99
Figura 36 - Alinhamentos das diaclases e fraturas lineares.	99
Figura 37 - Curvas de geradas pela RPAs (resolução 1 m).	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média pluviométrica na estação de Confins.	64
Gráfico 2 - Média pluviométrica na estação Lagoa Santa.	64

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Localização da área de estudo (contextualização simplificada).	23
Mapa 2 - Localização da área de estudo no contexto da RMBH.	30
Mapa 3 - Localização da área de estudo no contexto da APA Carste.	31
Mapa 4 - Localização da área de estudo no contexto do MONAE.	32
Mapa 5 - Distribuição mundial das áreas com rochas na carbonáticas.	37
Mapa 6 - Carta imagem da situação do patrimônio espeleológico.	68
Mapa 7 - Carta imagem de situação dos pontos de apoio geodésicos.	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Municípios integrantes da APA Carste Lagoa Santa.	66
Tabela 2 - Patrimônio espeleológico do MONAE-EJ.	67
Tabela 3 - Síntese das campanhas de campo.	72
Tabela 4 - Relação dos pontos de controle.	74
Tabela 5 - Grandezas envolvidas no imageamento aéreo.	82
Tabela 6 - Precisão esperada para um levantamento estático (m.).	85
Tabela 7 - Síntese de escalas e projeções utilizadas na cartografia.	85
Tabela 8 - Erros médios quadráticos – RMSE.	87
Tabela 9 - Principais barreiras das observações em campo.	92
Tabela 10 - Quantitativos Morfométricos do MONAE-EJ.	98
Tabela 11 - Quantitativos Morfométricos do afloramento.	98
Tabela 12 - Projeção custo benefício.	101

LISTA DE SIGLAS

AGL	<i>Above Ground Level</i>
ANAC	<i>Agência Nacional de Aviação Civil</i>
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
APA	Área de Proteção Ambiental
API	Application Programming Interface
CANIE	<i>Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CECAV	Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CNC	Cadastro Nacional de Cavernas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CP	Check Point
CPRM	<i>Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais</i>
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DETCEA	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GCP	Ground Control Point
GDEM	<i>Global Digital Elevation Model</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>

GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IBAMA	<i>Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IEF	<i>Instituto Estadual de Florestas</i>
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMU	Inertial Measurement Unit
IN	Instrução Normativa
INMET	<i>Instituto Nacional de Meteorologia</i>
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MONA	Monumento Natural
MONAE	Monumento Natural Estadual
PA	Pontos de Apoio
PE	Parque Estadual
PMAO	Pontos de Monitoramento Aéreo Obliquo
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBAC-E	Regulamento Brasileiro Da Aviação Civil Especial
RETA	Responsabilidade do Explorador e transportador Aeronáutico
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
RMSE	Root Mean Square Error
RPA	Remotely-Piloted Aircraft
RPAS	Remotely-Piloted Aircraft System

RPPN	<i>Reserva Particular do Patrimônio Natural</i>
RPS	<i>Remote Pilot Station</i>
SAP	<i>Sistema de Áreas Protegidas</i>
SAP-VN	Sistema de Áreas Protegidas do Vetor Norte
SARPAS	<i>Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas</i>
SBE	Sociedade Brasileira de Espeleologia
SED RU	Secretaria de Desenvolvimento Regional e Política Urbana
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIAM	Sistema Integrado de Informações Ambientais
SIAM	Sistema Integrado de Informações Ambientais
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINIMA	Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISANT	Sistema de Aeronaves não Tripuladas
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TEV	Tempo Estimado de Voo
UC	Unidade de Conservação
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	<i>Veículo Aéreo não Tripulado</i>
VIDA	Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental
VLOS	Visual Line of Sight
WMO	World Meteorological Organization

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivos	23
1.2 Hipóteses	24
1.3 Justificativa e contextualização	25
1.4 Localização e importância da Área de Estudo	29
1.5 Contextualização da Unidade de Conservação	33
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	35
2.1 Geomorfologia Cárstica	35
2.2 Cartografia – do analógico ao digital	41
2.3 Fotografia documental e fotointerpretação	45
2.4 Fotografia Aérea e Aerofotogrametria	47
2.5 Fotografia orbital e Sensoriamento remoto	49
2.6 SIG e Geoprocessamento	54
2.7 Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPAs	55
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	58
3.1 Geologia	59
3.2 Geomorfologia	60
3.3 Hidrografia	61
3.4 Clima	63
3.5 Vegetação	64
3.6 Uso e ocupação	65
3.7 Patrimônio Espeleológico	67
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	69
4.1 Revisão Bibliográfica	70
4.2 Enquadramento Legal	71

4.3 Pré-Campo	71
4.5 Campanhas de Campo	72
4.6 Geoprocessamento	84
4.7 Cuidados éticos	89
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	91
5.1 Perspectivas Obliquas	91
5.2 Resolução espacial e fotointerpretação.	95
5.4 Quantitativos Morfométricos	97
5.2 Modelamento digital do terreno.	100
5.5 Resolução temporal	100
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
ANEXOS	

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPAs¹ está cada vez mais incorporado em nosso cotidiano. Não raro vemos essas aeronaves sobrevoando áreas públicas e sendo utilizadas como aeromodelo, designação essa dada ao uso estritamente recreativo.

Também as vemos quase que diariamente nos noticiários sendo utilizadas pela Administração Pública em questões relacionadas à saúde pública como por exemplo controle de focos de reprodução de vetores epidemiológicos. Corpo de bombeiros, forças policiais e diversos órgãos fiscalizadores já lançam mão desse recurso para otimizar a exploração das áreas de interesse ou obter registros fotográficos de ângulos aéreos. O próprio jornalismo já se apropriou das RPAs como plataforma de filmagem, assim como o cinema e a teledramaturgia.

Nesse panorama de popularização e consequente redução dos custos para aquisição e manutenção as RPAs também estão sendo incorporadas cada vez mais aos estudos ambientais. Na maioria das vezes são utilizadas como mera plataforma de obtenção de fotografias panorâmicas aéreas ou como forma de investigação remota da paisagem em campo, sendo utilizadas para compreensão de suas formas e processos como vegetação, hidrografia, alterações antrópicas (uso e ocupação), movimentação de massa entre outros. Além disso, elas vêm se firmando como importantes ferramentas geotecnológicas, especialmente no que tange ao sensoriamento remoto e à geomática.

As RPAs, no estágio atual de sua automação, podem ser utilizadas com pouco ou nenhum conhecimento técnico e sem nenhum treinamento prévio, bastando, no muito, a leitura do manual de instruções. Tal qual os receptores GNSS², que hoje são nativos de qualquer *smartphone*, de bons relógios e de diversos outros *gadgets*, a diferença entre o uso trivial dessas duas tecnologias (GNSS e RPAs) e o emprego em pesquisas de ponta reside não necessariamente na aquisição de dados com elas, mas sim na capacidade de análises realizadas sobre os dados adquiridos por elas e os produtos derivados de tais dados.

O emprego de RPAs como plataforma de sensoriamento remoto no Brasil remonta à década de setenta, mas a popularização só ocorreu quando a indústria,

¹ Do inglês *Remotely-Piloted Aircraft*.

² Do inglês *Global Navigation Satellite Systems*

especialmente a chinesa, lançou, em meados de 2013, uma aeronave pronta para voar – RTF³ com aplicativos de comando para uso em Android⁴ e IOS⁵.

Um problema usualmente decorrente da popularização de ferramentas tecnológicas é a extrema tecnicização do uso delas e na Geografia não seria diferente. É possível ver as discussões sobre a tecnicização exacerbada das análises espaciais com uso de softwares de geoprocessamento, nas quais existe, por vezes, um abandono de preceitos fundamentais da geografia. Não raro se ouvem críticas a trabalhos de baixa qualidade executados por “pilotos de *softwares*” ou “GISzeiros”, ambos apelidos pejorativos dados aos trabalhos realizados com uso de geotecnologia sem aplicação de embasamentos técnico-científicos adequados e, por vezes, desprovidos de experiência dos executores.

Da mesma maneira, tanto para quem participa dos fóruns especializados sobre RPAs, quanto para aqueles que vivenciam o cotidiano da consultoria em meio ambiente e, até mesmo dentro do universo acadêmico, é possível observar que em muitos momentos os “Drones⁶” são apresentados como a “panaceia” dos estudos ambientais sem, contudo, serem discutidos as limitações de seu emprego. Em muitos casos as sugestões de uso de RPAs são feitas sem haver o questionamento se o uso delas gerará resultados realmente úteis ou se esse uso é vantajoso em termos de economia de tempo e de recursos financeiros.

É justamente com esse mote que a presente pesquisa se propõe a compreender os limites do emprego das RPAs em relação à resolução, escala e viabilidade econômica nos estudos morfométricos em paisagens cársticas. Quais seriam a efetividade e as limitações do emprego dessas aeronaves nesse tipo de estudo?

Partindo-se de um ensaio prático em campo e em laboratório, o trabalho ora apresentado trata, por um lado, de disciplinas consagradas nas ciências da Terra, especialmente pela Geografia, como Geomorfologia, Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Geoprocessamento. Já por outro, trata do emprego de geotecnologias mais contemporâneas como o uso de Aeronaves Remotamente

³ Do inglês *Read to Fly*.

⁴ Sistema operacional desenvolvido pela Google para smartphones e tablets.

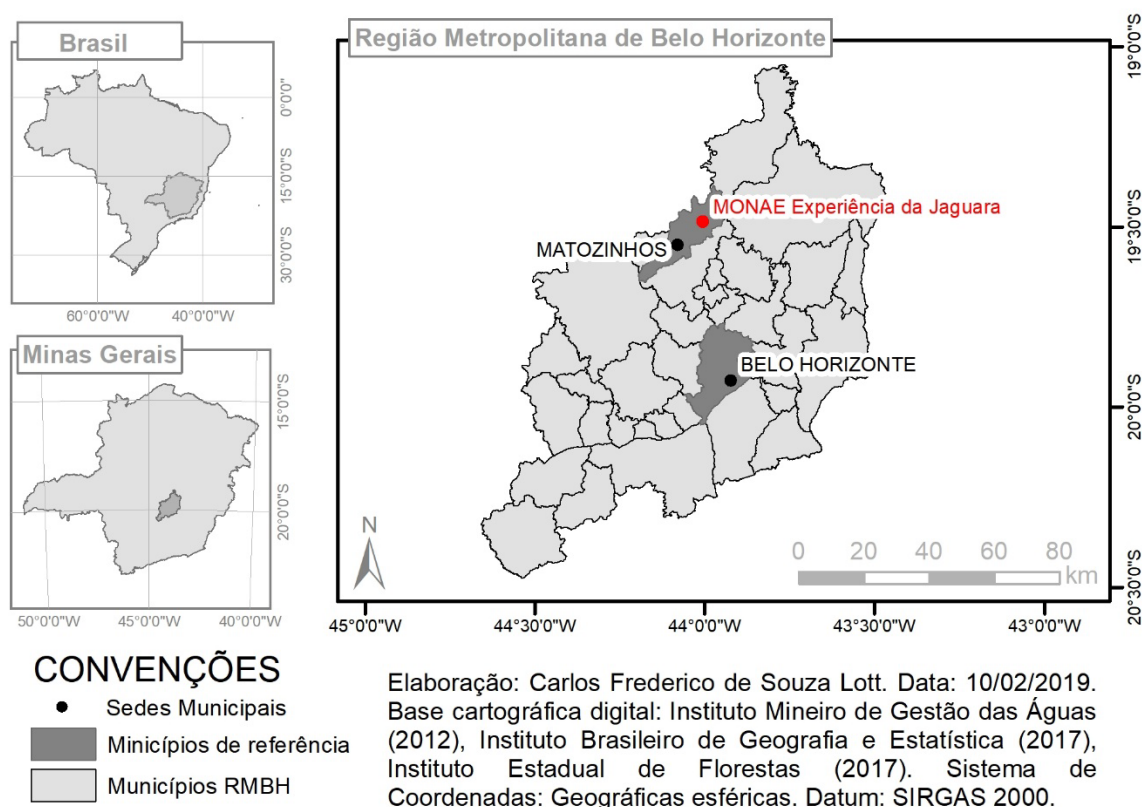
⁵ Sistema operacional desenvolvido pela Apple para seus smartphones e tablets.

⁶ Nome popular dado às RPAs que faz referência ao zumbido feito pelo voo do zangão (em inglês, drone). Tal terminologia não existe na legislação nem na literatura técnica aeronáutica.

Pilotadas que neste estudo foram utilizadas como plataforma de aquisição de imagens aéreas.

Para tanto, o cenário escolhido foi a realização de análises morfométricas em uma área cárstica através de sensoriamento remoto e fotointerpretação. A área escolhida é uma unidade de conservação com 38,48 ha. denominada Monumento Natural Experiência da Jaguará – MONAE localizada ao norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (Mapa 1) onde foram realizados os voos para imageamento, os campos para investigação da paisagem e os levantamentos geomáticos de alta precisão para georreferenciamento do ortofotomosaico.

Mapa 1 - Localização da área de estudo (contextualização simplificada).



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.1 Objetivos

O objetivo geral dessa dissertação é a análise da efetividade do uso de RPA como plataforma de obtenção de imagens aéreas em alta resolução espacial e temporal para suporte nos estudos morfométricos em grande escala através de

técnicas de Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação no Monumento Natural Experiência da Jaguará, em Matozinhos, Minas Gerais.

Para que o objetivo geral seja alcançado, delineou-se os seguintes objetivos específicos:

- a) realizar imageamento aéreo nadiral e oblíquo sistematizado com o RPA;
- b) gerar ortofotomosaico georreferenciado;
- b) realizar análises morfométricas em ambiente SIG identificando e quantificando os principais elementos da paisagem através de fotointerpretação nas imagens aéreas geradas com o RPA e em imagens satelitais gratuitas;
- c) analisar a efetividade do uso de RPAs como suporte para estudos morfométricos em paisagens cársticas levando-se em consideração resolução espacial, resolução temporal, escala de imageamento e economia.

1.2 Hipóteses

O desenvolvimento desse estudo adotou como hipótese que o uso de RPAs representa um ganho global em estudos ambientais ao possibilitar: a) aumento de resolução espacial devido à baixa altura de voo; b) aumento da resolução temporal devido à maior taxa de revisitas possibilitada por baixas restrições meteorológicas de operação e; c) obtenção de ortofotomosaicos de baixo custo. Todos esses quesitos podem impactar diretamente na exequibilidade de levantamentos que dependam de imagens aéreas ou orbitais. Seja para estudos acadêmicos ou para gestão do patrimônio ambiental, possuir tais imagens em alta resolução e atualizadas são essenciais para pesquisas ou manejo de áreas cársticas de pequenas dimensões.

Adotou-se também como hipótese que os limites para o emprego de aeronaves remotamente pilotadas ainda não são bem delimitados quando relacionados aos estudos geomorfológicos da paisagem cárstica.

Para subsidiar as investigações propostas na pesquisa ora apresentada foi considerada a premissa postulada por Kohler (1989) de que "metodologicamente, os estudos morfométricos deveriam preceder os morfológicos" (KÖHLER, 1989).

Dessa maneira realizou-se a análise morfométrica da área de estudo, baseado na fotointerpretação de imagens satelitais adquiridas de fontes gratuitas e de imagens aéreas adquiridas com plataforma remotamente pilotadas, objetivando esclarecer as seguintes indagações:

- Seria o uso de RPAs efetivo no aumento da qualidade das análises morfométricos em paisagens cársticas?
- Caso esse aumento exista, seriam eles importantes e significativos?
- Qual seria o limite areal máximo para o uso de RPAs de maneira economicamente viável?
- Qual seria a curva custo-benefício para o uso de RPAs considerando como variáveis o tamanho da área imageada e as resoluções espacial e temporal?

1.3 Justificativa e contextualização

A pesquisa se justifica pelas lacunas existentes no concernente aos limites de emprego das RPAs em estudos morfométricos da paisagem. De fato, a própria legislação específica aponta para a contemporaneidade da temática e pode ser constatada pela data da promulgação dos atos normativos.

No tocante à legislação aeronáutica referente ao uso das RPAs, somente em maio de 2017 foram publicados os requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil através do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94. Aponta ainda nesse sentido a publicação da Portaria IEF Nº 34 em junho de 2018, que traz restrições ao uso de RPAs em unidades de conservação, conforme estabelece o inciso XVI, Art. 32.

Apesar das RPAs serem consideravelmente utilizadas no cotidiano, em sua maioria como plataforma de aquisição de imagens publicitárias, jornalísticas e cinematográficas, quando partimos para o campo científico, os levantamentos bibliográficos realizados para essa pesquisa apontaram que os estudos envolvendo essas aeronaves se concentram em mapeamentos voltados para vegetação e modelagem de terrenos, sendo que as aplicações com viés carstológico são ainda incipientes.

Nesse sentido, o trabalho se depara com dois campos de pesquisa com reduzido investimento quando comparados com outros campos da ciência. De um lado temos que, estudos diversos quando realizados no Carste, ocorrem em menor quantidade como pode ser observado em Alt (2008), Rodrigues (2011) e Travassos (2011). De outro, os estudos com RPAs por serem uma nova tecnologia, também sofrem com a reduzida disponibilidade de estudos conforme afirmado por Lajús et al. (2015).

Rodrigues (2011) utilizou técnicas de Sensoriamento Remoto para identificação de florestas estacionais decíduais em ambiente cárstico e apontou que estudos nesse tipo peculiar de relevo “no contexto global e nacional são extremamente esparsos e genéricos” (RODRIGUES, 2011).

Travassos (2011) quando realiza trabalhos sobre geografia cultural relacionados ao relevo cárstico, faz constatação semelhante referente a essa temática no Brasil quando afirma que:

Sítios culturais e sagrados ocorrem em uma variedade de paisagens e, dessa forma, objetiva-se abrir um caminho em meio à Carstologia e à Espeleologia nacional, em um campo de pesquisas ainda muito pouco trabalhado sistematicamente no Brasil (TRAVASSOS, 2011, p. 107).

No campo das Aeronaves Remotamente Pilotadas os estudos também são reduzidos, entretanto, nesse caso, a redução está relacionada à contemporaneidade da tecnologia. Em uma descrição do cenário científico das RPAs apenas quatro anos atrás Lajús et al. (2015) dizem que:

[...] falta de pesquisas técnico científicas relacionadas ao uso de VANTs⁷ com as especificidades intrínsecas e extrínsecas dos cultivos agrícolas e a condições edafoclimáticas proporcionam uma série de indagações no emprego desta nova tecnologia (LAJUS et al., 2015, p. 3).

Tal constatação foi baseada em um estudo de patentes, em diversas dimensões, desde a robótica e engenharia relacionadas a *hardwares* e *softwares*, até as patentes relacionadas ao processo, ou seja, patente de método. O estudo de Lajús et al. (2015) possuiu um viés voltado à Agricultura de Precisão, mas os autores revelam que quando a aplicação ocorre no campo das geociências a lacuna é ainda maior pois em uma pesquisa mais verticalizada constatou-se que “o uso de VANTs aplicados na coleta de imagens e no georreferenciamento ainda tem poucas patentes registradas” (LAJÚS et al., 2015).

Já a escolha da área de estudo foi motivada pela imensa fragilidade ambiental da mesma que já era apontada há três décadas atrás por Kohler (1989), quando o mesmo pontua que “[...] a região acha-se hoje, sujeita a pressões da expansão urbana e industrial da metrópole” (KOHLE, 1989). Essa fragilidade, especialmente potencializada pelas características intrínsecas dos ambientes cársticos, também foram apontadas por Auler (1994), Mendonça (1998), Herrmann e

⁷ Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT, terminologia original utilizada no texto do autor em questão. RPA é uma das duas categorias de VANT, sendo a outra as aeronaves autônomas

Outros (1998), Brina (1998), Piló (1998), Berbert-Born (2000), Alt (2008), Sampaio (2010), Baeta (2011) e Pereira (2015).

Todos esses autores manifestam preocupações similares em relação à exploração exacerbada de insumos para a construção civil e indústria como calcário, areia, cascalho e argila, bem como a utilização, igualmente excessiva de água para usos agropecuários e para abastecimentos urbanos e industriais.

Obras de infraestrutura e loteamentos não planejados também são pontos comuns nos alertas desses autores que sempre os relacionam com a expansão urbana do vetor norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH.

Da-Glória et al. (2017) apontam que a região possui 180 anos de história de pesquisas e completam dizendo que a região é extremamente relevante no contexto das pesquisas pois "[...]apresenta uma rica e longa história de intercâmbios de conhecimento, que cruzam as fronteiras disciplinares, envolvendo tanto instituições nacionais como internacionais" (DA-GLORIA et al., 2017). Tais estudos se iniciaram em meados do século XIX com a chegada do naturalista dinamarquês Peter Wilhelm Lund à região em 1835 onde, segundo Neves e Piló (2008), "por mais de dez anos realizou pesquisas sobre fósseis de animais extintos em caverna de Lagoa Santa, em Minas Gerais, sendo hoje intitulado **pai da paleontologia brasileira**" (NEVES; PILO, 2008, grifo dos autores).

A importância histórica da região fica ainda mais evidente quando se resgata a relação de províncias cársticas brasileiras elaborada por Christofolletti (1936), províncias essas ainda pouco conhecidas nas primeiras décadas do século vinte, tendo ele compartilhado que "a que se encontra melhor desenvolvida está localizada ao norte de Belo Horizonte, nas vizinhanças de Sete Lagoas e Cordisburgo" (CHRISTOFOLETTI, 1936).

A maioria desses autores ainda destaca a necessidade de continuidade e aprofundamento de estudos na área como observado em Alt (2008) quando apontado que "este universo é apenas parcialmente conhecido, exigindo ainda a continuidade de estudos científicos para ser completamente desvendado" (ALT, 2008) ou em Sampaio (2010) quando o mesmo aponta a necessidade de ampliação dos estudos, afirmando que "ações que propiciem uma melhor compreensão do ambiente cárstico de Lagoa Santa e suas relações com o meio circundante merecem ser apoiadas, desenvolvidas e aplicadas" (SAMPAIO, 2010).

É nesse cenário de grande beleza cênica, necessidade de estudos complementares e ameaças, já incidentes ou iminentes, sobre o frágil ambiente cárstico que a pesquisa foi direcionada para a região. Com isso, nutre-se a expectativa de que ela contribua um pouco mais para a ampliação do conhecimento sobre o patrimônio cárstico do MONAE Experiência da Jaguará e da APA Carste Lagoa Santa como um todo.

Espera-se ainda que essa dissertação possa servir de referência metodológica para estudos futuros. Justamente por esse motivo a mesma foi organizada e ilustrada de maneira mais didática possível. Em diversos momentos buscou-se adotar uma abordagem de caráter epistemológico relacionando o saber fazer geográfico e a reflexão sobre o uso das RPAs como uma ferramenta geotecnológica da disciplina.

Acredita-se que essa discussão deva estar constantemente presente em todos os estudos da geografia, principalmente em um momento em que diversas profissões possuem alta probabilidade de extinção em decorrência da informatização. Frey e Osborne (2013) apontam que algoritmos cada vez mais sofisticados aumentam a capacidade de realização de tarefas cognitivas não rotineiras e que robôs avançados estão ganhando sentidos e destreza aprimorados que os permitem, cada vez mais, ampliar as possibilidades de realizarem tarefas manuais (FREY; OSBORNE, 2013).

Os mesmos autores ainda ranqueiam 702 profissões, sendo que o primeiro lugar é o que possui menor suscetibilidade à troca de profissionais por *softwares* e *hardwares* e revelam que a geografia estaria no 222º lugar com apenas 25% de probabilidade de tecnicização. Já outras profissões correlatas à geografia se encontram muito mais vulneráveis à informatização. A cartografia por exemplo, ocupa a posição 515º, o que representa 88% de probabilidade de ceder lugar às tecnologias com seus algoritmos (FREY; OSBORNE, 2013). Nesse sentido, tal discussão contribui para que a Geografia se aproprie das novas tecnologias sem, contudo, abandonar os conceitos clássicos, e assim se reafirme como uma ciência de síntese (GEORGE, 1972).

1.4 Localização e importância da Área de Estudo

A área de estudo está localizada em Mocambeiro, distrito do município de Matozinhos que se localiza no extremo noroeste da região metropolitana de Belo Horizonte – MG (RMBH). Geograficamente a sede municipal de Matozinhos se encontra à noroeste de Belo Horizonte e à sudeste de Sete Lagoas, os dois maiores e mais próximos centros urbanos (Mapas 1 e 2).

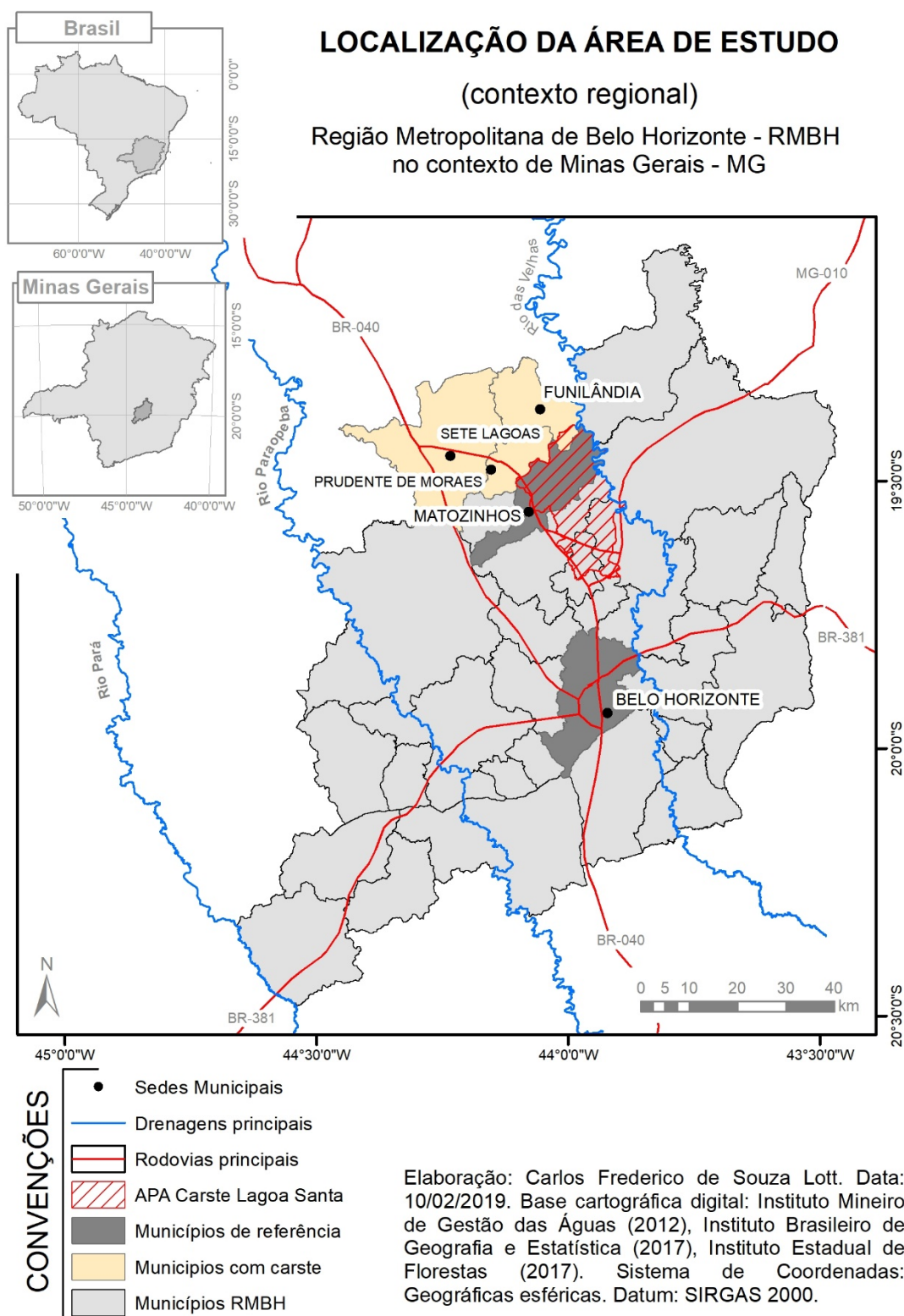
A área de estudo compreende todo o limite da unidade de conservação de proteção integral Monumento Natural Estadual Experiência da Jaguará MONAE-EJ (Mapa 3), criada pelo Decreto Estadual N° 45.391/10, e possui uma área de 38,48 hectares (MINAS GERAIS, 2010).

Por vias terrestres a sede municipal de Matozinhos se encontra distante cerca de 48 km de Belo Horizonte e 25 km de Sete Lagoas. O caminho mais usual para quem parte da Capital Mineira é pela saída norte adotando-se a MG-010 até a bifurcação entre Confins e Pedro Leopoldo onde, a partir desse ponto, adota-se a rodovia MG-424 até Matozinhos. Logo após a entrada na zona urbana de Matozinhos, adota-se o acesso para Mocambeiro e dali por diante o caminho é feito por vias não pavimentadas na zona rural até a região do MONAE-EJ.

O MONAE-EJ, por sua vez, está integralmente contido dentro dos limites da Área de Preservação Ambiental Carste Lagoa Santa – APA-CLS, unidade criada através do Decreto n° 98.881 de 1990, com status de unidade de conservação federal de uso sustentável. Possui uma área de 35.600 hectares, abrangendo partes dos territórios municipais de Lagoa Santa, Pedro Leopoldo, Matozinhos e Funilândia bem como a totalidade do território municipal de Confins. Todos esses municípios mineiros são integrantes da região metropolitana de Belo Horizonte – RMBH (Mapa 2). A região também é uma das 25 áreas úmidas brasileiras (Mapa 03) constante na lista RAMSAR, tendo sido incluída em 5 de junho de 2017 (RAMSAR, 2017).

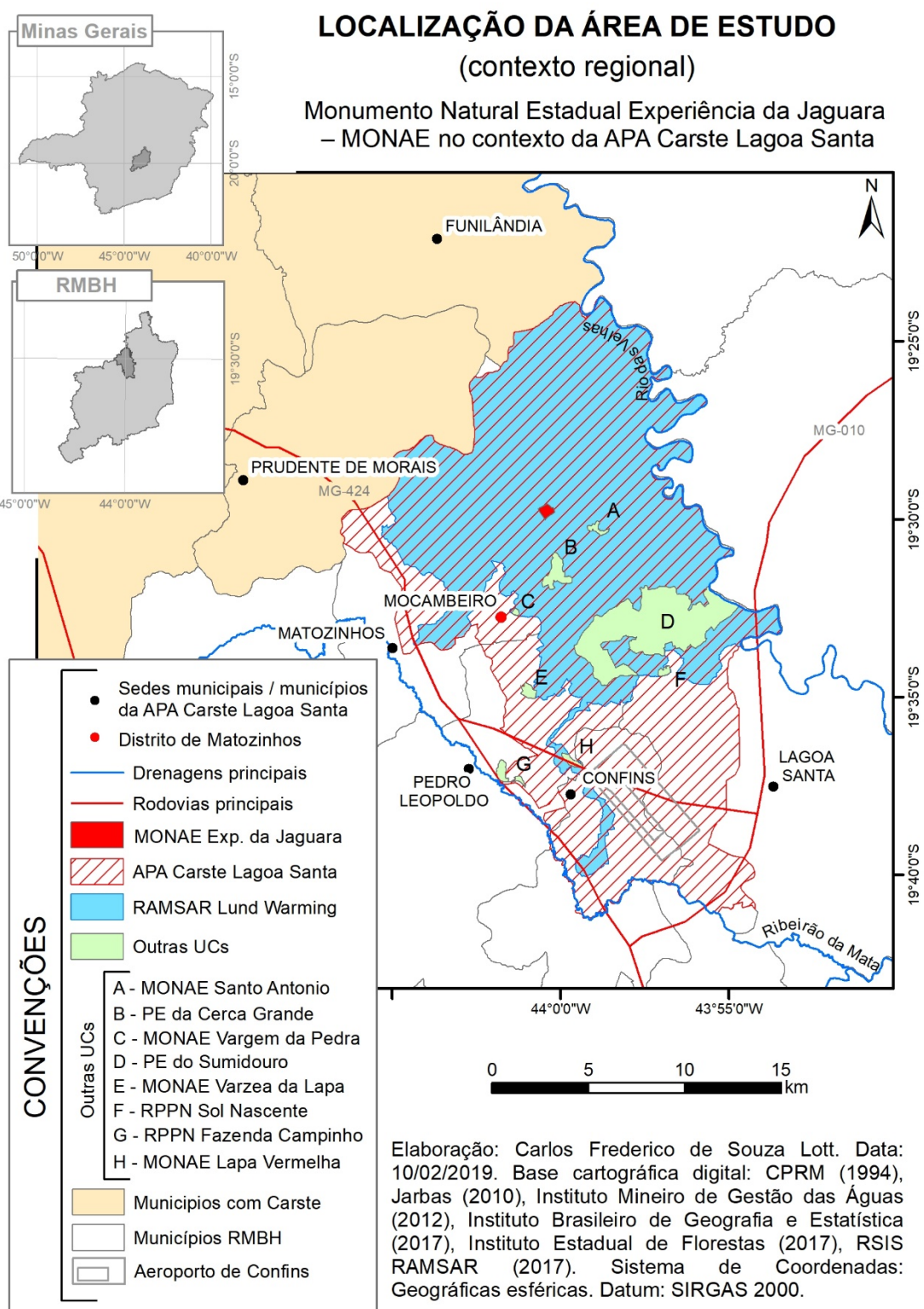
Entretanto, juntamente com a importância científica e ambiental, a área apresenta grande vulnerabilidade devido às peculiaridades dos ambientes cársticos, com especial destaque para contaminações do aquífero.

Mapa 2 - Localização da área de estudo no contexto da RMBH.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Mapa 3 - Localização da área de estudo no contexto da APA Carste.

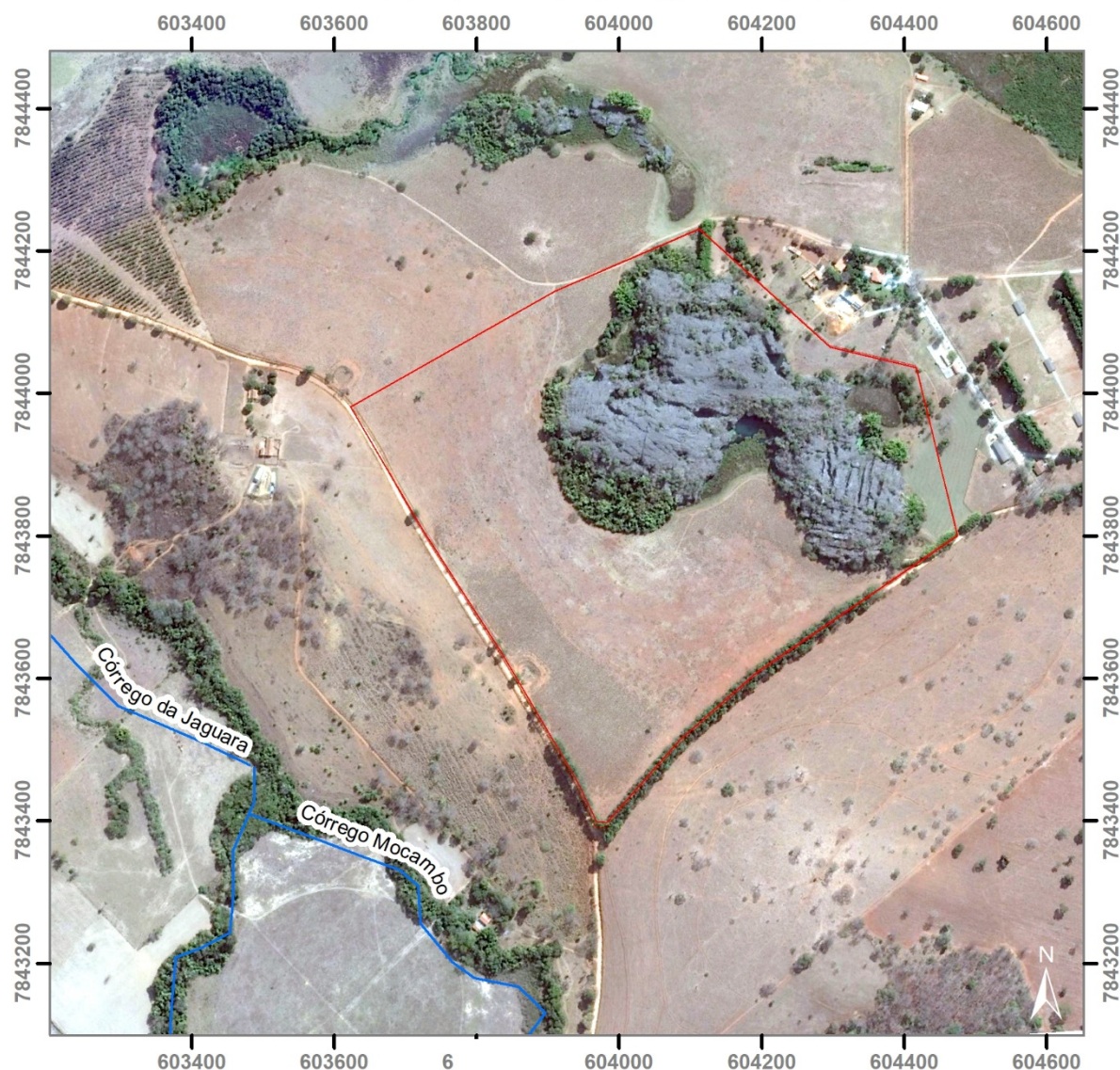


Fonte: Elaborado pelo autor.

Mapa 4 - Localização da área de estudo no contexto do MONAE.
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

(contexto Local)

Imagem satelital e limites do Monumento
 Natural Experiência da Jaguará – MONAE.



CONVENÇÕES

- Drenagens
- MONAE Experiência da Jaguará

0 100 200 300 400 500
 m.

Elaboração: Carlos Frederico de Souza Lott. Data: 10/02/2019. Base cartográfica digital: CPRM (1994), Instituto Estadual de Florestas (2017) e Imagem Satelital DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017). Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator. Datum: SIRGAS 2000 (Fuso 23K).

Fonte: Elaborado pelo autor.

1.5 Contextualização da Unidade de Conservação

Unidades de Conservação - UCs são espaços ambientais territoriais protegidos divididos entre unidades de proteção integral e de uso sustentável sendo as primeiras subdivididas em cinco categorias e as outras em sete categorias, cada qual com usos distintos e específicos. As mesmas são previstas pela União através da Lei Federal nº 9.985 de 2000 que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000).

Tal instrumento foi criado para regulamentar o parágrafo primeiro do artigo 255 da Carta Magna que incumbe à Administração Pública o dever de, entre outros, preservar e restaurar os processos ecológicos essenciais, promover a educação ambiental e prover o manejo ecológico das espécies e ecossistemas (BRASIL, 1988).

A criação de UCs na região cárstica de Lagoa Santa remonta a uma extensa política ambiental que tem como marco inicial a criação do Parque Ecológico do Vale do Sumidouro em 1980 através da promulgação do Decreto Estadual N° 20.375⁸ de 03 de janeiro de 1980 (MINAS GERAIS, 1980).

Uma década depois a área passa a ser foco de atenção federal dada sua notória importância científica e fragilidades ambientais e, em 1990, é criada a Área de Proteção Ambiental do Carste Lagoa Santa – APA-CLS, pelo Decreto Federal número 98.881 em 25 de janeiro de 1990. A mesma foi criada com enfoque na conservação de aspectos culturais e paisagísticos daquela região bem como para preservar as cavernas e demais formações cársticas (BRASIL, 1990).

Dezessete anos depois, o Decreto Estadual nº 44.500 de 03 de abril de 2007, que institui o Plano de Governança Ambiental e Urbanística da Região Metropolitana de Belo Horizonte, cria o Sistema de Áreas Protegidas do Vetor Norte (SAP-VN) da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) (MINAS GERAIS, 2007).

Já o Decreto Estadual 45.097, promulgado em maio de 2009 e que estabelece o regime jurídico especial de proteção ambiental de áreas integrantes do Vetor Norte da RMBH, em seu Artigo 11, determina que o Sistema de Áreas Protegidas e as áreas de conectividade serão identificados em resolução conjunta

⁸ Outros quatro instrumentos alteram do Decreto original de criação ou tratam do Parque Estadual do Sumidouro quais sejam: Decreto nº 20.598, de 04 de junho de 1980; Decreto 44935 de 03 de novembro de 2008; Lei 19.998 de 29 de dezembro de 2011 e, Decreto com numeração especial 408 de 07 outubro de 2015.

da Secretaria de Desenvolvimento Regional e Política Urbana – SEDRU (MINAS GERAIS, 2009). Nesse documento, uma das áreas indicadas para a criação de uma unidade de conservação, modalidade Monumento Natural Estadual, foi a área de aproximadamente 38,48 hectares localizada nas terras da fazenda Experiência da Jaguara. Diante dessa demanda foi conduzido o “Estudo Técnico para a criação do Monumento Natural Estadual Experiência da Jaguara executado pela associação civil Ambiente Brasil Centro de Estudos.

O referido estudo aponta para a grande importância espeleológica do monumento, situação esperada em relevos cársticos, descrevendo a existência de nove cavernas e dois abrigos. Ainda é possível observar a grande importância da região através da quantidade de estudos acadêmicos que revelam a magnitude do patrimônio histórico, científico e ambiental da APA-CLS.

Para além dos estudos acadêmicos, estudos governamentais e de licenciamento como o Projeto VIDA, realizado pela CPRM-MG e publicado em 1994, Projeto APA Carste Lagoa Santa, realizado pelo IBAMA/CPRM-MG e publicado em 1998, o Levantamento do Acervo Científico Cultural da Fazenda Experiência da Jaguara, realizado pelo IEPHA-MG em 1987 e o Estudo de Impacto Ambiental – EIA da Mineração Rezende Ltda., realizado pela Brandt Meio Ambiente Ltda em 2004 (AMBIENTE BRASIL, sem data) também revelam a importância da área.

Os dois principais cadastros espeleológicos do Brasil também fazem referências às cavernas cadastradas no maciço da Experiência da Jaguara, quais sejam: Cadastro Nacional de Cavernas – CNC, da Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE e o Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE, do Centro Nacional de Estudo Proteção e Manejo de Cavernas – CECAV.

Além da importância espeleológica e cárstica, objeto do projeto de pesquisa ora apresentado, o estudo ainda aponta para a importância histórica, religiosa e arqueológica do monumento proposto. Em termos florísticos o estudo destaca as matas secas, trechos de caatinga arbórea e formações campestres dos Campos Rupestres nos afloramentos (AMBIENTE BRASIL, sem data).

Finalmente em junho de 2010 é promulgado o Decreto Estadual 45.391 que cria o Monumento Natural Estadual Experiência da Jaguara e o declara de utilidade pública para desapropriação de pleno domínio dos terrenos e benfeitorias no Município de Matozinhos (MINAS GERAIS, 2010).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geomorfologia Cárstica

A expressão carste, de acordo com a literatura especializada, seria uma adaptação do termo alemão Karst. Tal raiz germânica é destacada por Travassos (2010b) ao esclarecer que a germanização do termo ocorreu no planalto esloveno denominado Kras, situado no sudoeste daquele país, e completa informando que:

O termo *kras* é amplamente utilizado na Eslovênia para designar regiões rochosas ou não favoráveis à agropecuária, sendo aplicado para identificar algumas regiões do Carste Dinárico caracterizado por campos de lapíás e dolinas (TRAVASSOS, 2010b, p. 28).

Para Auler e Zogbi (2005) o termo foi cunhado pela primeira vez em uma região calcária entre a Eslovênia e a Itália. Já para Christofolletti (1936) “a palavra ***karst*** foi inicialmente empregada para designar a morfologia regional de área de calcários maciços situada nas proximidades de Rijeka (Iugoslávia) (CHRISTOFOLETTI, 1936, grifo do autor).

Karmann (2009), por sua vez, afirma que:

Carste é a tradução do termo alemão Karst, originado da palavra Krasz, denominação dada pelos camponeses a uma paisagem da atual Croácia e Eslovênia (antiga Iugoslávia), marcada por rios subterrâneos com cavernas e superfície acidentada denominada por depressões com paredões rochosos e torres de pedras (Karmann, 2009, p. 202).

Apesar de pequenas variações etimológicas do termo, a definição do mesmo como uma feição geomorfológica, com características próprias, é bem estabelecida, e o ponto de partida reside no fato do carste ser formado por rochas altamente solúveis. Tal definição é encontrada em Christofolletti (1936) e Kohler (1989). O primeiro diz que o termo é utilizado para “designar as áreas calcárias ou dolomíticas que possuem uma topografia característica, oriunda da dissolução de tais rochas” (CHRISTOFOLETTI, 1936) e o segundo define que “a particularidade do carste, perante os outros tipos de relevo, consiste na corrosão da rocha sobre a qual se desenvolve” (KOHLE, 1989).

Corroborando com a característica de solubilidade das rochas Karmann (2009) defende que os “sistemas cársticos são formados pela dissolução de certos tipos de rochas pela ação da água subterrânea (KARMANN, 2009) e Andreychouk (2014) revela que geólogos consideram o carste como, acima de tudo, tipos de

rochas submetidos a alterações causadas pelo efeito de dissolução das águas que circulam nos maciços (ANDREYCHOUK, 2014).

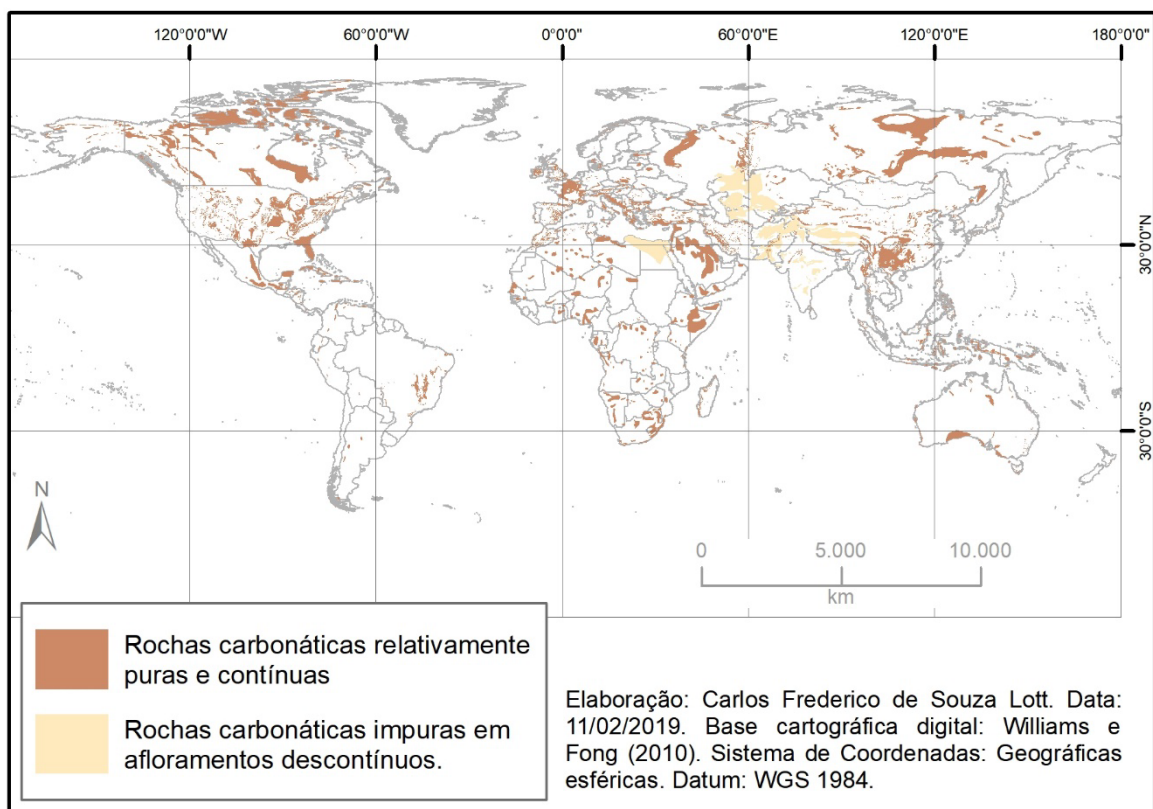
Determinados tipos de rochas são mais favoráveis à formação de sistemas cársticos do que outras. As rochas carbonáticas, como calcários, dolomitos e mármore, são consideradas altamente solúveis e têm seus principais minerais facilmente dissociados pela ação das águas (KARMANN, 2009). Nesta perspectiva tem-se que os principais sistemas cársticos do mundo e, conseqüentemente do Brasil, ocorrem em rochas calcárias, assim como as maiores cavidades naturais subterrâneas do mundo ocorrem nesses tipos de rochas.

O Mapa 5 apresenta a distribuição das áreas cársticas no mundo, onde “cerca de 10 a 15% da superfície terrestre é constituída por carstes bem desenvolvidos” (PALMER, 2007). De fato, quando Auller, Rubbioli e Brandi (2001) apresentam uma compilação de informações das trinta maiores cavernas brasileiras, e seus respectivos mapas, é possível observar que o panorama nacional é semelhante ao mundial.

Como todos os demais tipos de relevo, o cárstico é constituído por interações entre formas exógenas e endógenas. As primeiras são aquelas que ocorrem na superfície, enquanto as outras são constituídas por uma rede subterrânea de fraturas, condutos e cavernas. Ambas dependem da ação das águas em suas dinâmicas evolutivas, mas as formas exocársticas são modeladas com extrema influência das formas endocársticas (KOHLE, 1989; PILÓ, 1989; KARMANN, 2009).

As formas resultantes desse modelamento são muito características e peculiares no ambiente cárstico, sendo algumas das feições mais comumente encontradas as torres calcárias (Figura 1 a), paredões rochosos (Figura 1 b), relevos ruiformes (Figura 2 a), ressurgências (Figura 2 b) e dolinas (Figura 2 c). As duas últimas guardam extrema ligação com a circulação das águas subterrâneas, sendo que as dolinas são pontos de recarga do aquífero enquanto as ressurgências cumprem a função de retornar as águas subterrâneas ou confinadas nas rochas de volta para a circulação fluvial. As dolinas guardam ainda relação com movimentações de massa causadas por subsidências e abatimentos que correm no meio subterrâneo.

Mapa 5 - Distribuição mundial das áreas com rochas na carbonáticas.



Fonte: Williams e Fong (2010)

Figura 1 - Feições cárstica típicas (torre e paredão).



Fonte: a) acervo pessoal (2011) – região cárstica de Pedro Leopoldo, Minas Gerais e b) acervo pessoal (2007) região cárstica de Waitomo, Nova Zelândia.

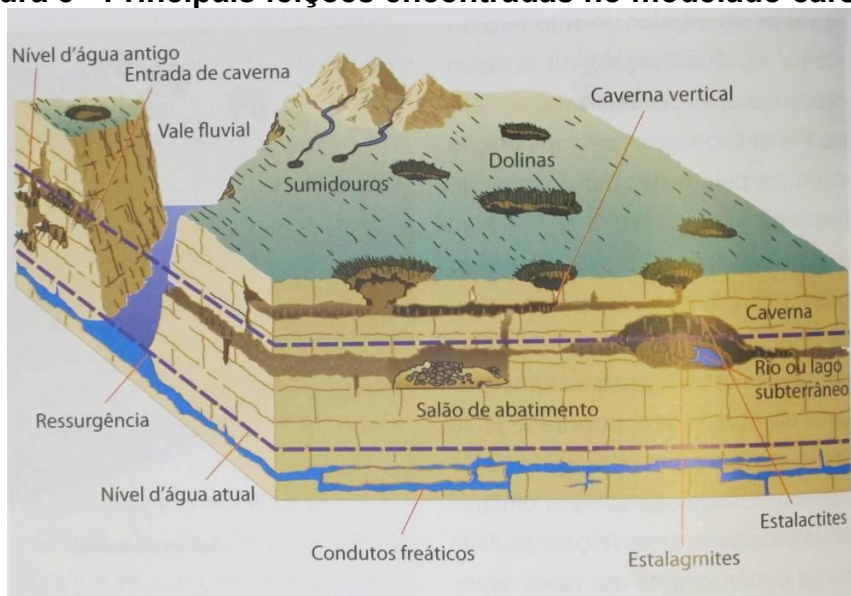
Figura 2 - Feições cárstica típicas (lapiás, ressurgência e dolina).



Fonte: acervo pessoal do autor. a) relevo ruíniforme com lapiás na região cárstica de Monjolos, MG (2012), b) ressurgência na região cárstica de Monjolos, MG (2012); c) Dolina na região cárstica de Pedro Leopoldo (2011).

A Figura 3 apresenta um bloco diagrama com as feições básicas encontradas nos relevos cársticos. A dissecação e modelamento desse relevo ocorre através de um processo dinâmico de dissolução que contribui tanto para a formação das feições exocársticas, quanto para as endocársticas. Cabe ressaltar que esta descrição se limita ao processo de formação de cavidades naturais no carste clássico, ou seja, o carste que ocorre em rochas solúveis, em especial o calcário. Essa observação é necessária uma vez que a formação de cavidades naturais subterrâneas ocorre também em outros tipos de litologia como arenito, quartzito, itabirito dentre outras.

Figura 3 - Principais feições encontradas no modelado cárstico.



Fonte: Karmann (2009).

A formação do relevo cárstico tradicional ocorre em função de condições morfoclimáticas muito específicas que envolvem um balanço hidroquímico igualmente particular e que tem como principal assinatura as altas taxas de dissolução das rochas carbonáticas. Kohler (1989) afirma que a carstificação do calcário é função direta de um conjunto de fatores e que os principais seriam o teor de carbonato de cálcio contido naquele tipo de rocha, as suas estruturas geológicas como acamamento e fraturas, o aporte hídrico e o clima (KOHLE, 1989).

A história evolutiva de um relevo cárstico se inicia com a formação das rochas carbonáticas, que posteriormente receberão energias que formarão dobras, falhas e fraturas. No caso do carste de Lagoa Santa, essa história se inicia com rochas neoproterozoicas com idades entre 750 e 600 milhões de anos (PILO, 1998).

Conforme a evolução do terreno se direciona para a maturidade, processos relacionados com o clima e circulação de águas começam a agir e as cavernas, formas mais populares desse relevo, começam a ser formadas. Conjuntamente a essas cavernas, as feições superficiais associadas a elas passam a ser delineadas. Entretanto Kohler alerta que esses processos nunca se dão de forma separada, sendo que as análises geomorfológicas sempre revelarão componentes tanto exógenos quanto endógenos (KOHLE, 1989).

Uma vez surgidas as primeiras dobras, falhas e outras zonas de fraqueza na rocha, o principal agente formador de cavernas entra em ação: a água saturada por

dióxido de carbono. As fraturas abertas inicialmente por processos mecânicos passarão a sofrer um gradativo alargamento por dissolução, formando as cavidades. Segundo Karmann (2009), para que ocorra a dissolução do calcário é necessário que a água possua algumas condições específicas como, por exemplo elevada acidez. Essa característica especial das águas circulantes no carste é observada na diferença entre a concentração máxima de cálcio em solução na água pura, que é de aproximadamente 8 mg/l, enquanto em águas naturais, aquelas águas saturadas em gás carbônico, as concentrações de cálcio e magnésio podem atingir cerca de 250 mg/l (KARMANN, 2009).

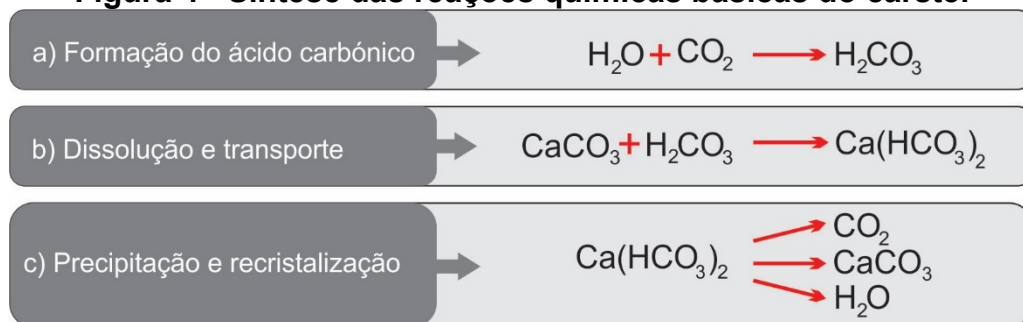
A água natural pode ser entendida como toda água meteórica que em seu trajeto através da vegetação e do solo vai, gradativamente, se acidificando. Inicialmente a água meteórica se acidifica com o dióxido de carbono - CO_2 atmosférico, entretanto, o grande enriquecimento ocorre quando esta infiltra pelo solo, na medida que sua composição contém elevadas concentrações de dióxido de carbono, oriundos da respiração das raízes das plantas e da decomposição de matéria orgânica. O resultado desse processo é a geração de ácido carbônico que uma vez em contato com as rochas carbonáticas, promoverá a dissolução do carbonato de cálcio - CaCO_3 que é o principal componente da rocha calcária (KARMANN, 2009).

Assim, o processo de acidificação da água - H_2O ocorre quando ela é saturada por dióxido de carbônico - CO_2 que resulta na formação de ácido carbônico - H_2CO_3 (Figura 4 a). Esse, por sua vez, dissolve o carbonato de cálcio - CaCO_3 resultando em uma solução (Figura 4 b) saturada em bicarbonato de cálcio - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (KÖHLER, 1989; PILO, 1988; AULER; ZOGBI, 2005; PALMER, 2007; KARMANN, 2009).

Esse processo em que as rochas são dissolvidas e transportadas junto às águas constitui uma fase destrutiva das rochas que gera os espaços vazios que constituem as cavernas na forma que as conhecemos. Em fase posterior, esse processo pode se reverter quando as águas, agora saturadas de bicarbonato de cálcio - $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, chegam ao interior das cavernas e encontram condições atmosféricas distintas das que ocorriam no momento da formação dessa solução (Figura 4 c). Assim, a solução que se formou sob pressão em estreitas fissuras, tende a se reequilibrar quando encontra pressões e temperaturas diferenciadas na

caverna. Inicialmente existe a tendência de perda de dióxido de carbono - CO_2 para a atmosfera cavernícola o que faz com que a solução entre em desequilíbrio. Secundariamente ocorre a precipitação do carbonato de cálcio - CaCO_3 que se recristalizará formando a calcita. Por fim a água - H_2O excedente na solução segue o curso das águas subterrâneas (KOHLE, 1989; PILO, 1989; AULER; ZOGBI, 2005; PALMER, 2007; KARMANN, 2009).

Figura 4 - Síntese das reações químicas básicas do carste.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa etapa se constitui em uma fase construtiva do endocarste e é a responsável pela formação de depósitos químicos denominados espeleotemas que constituem as ornamentações características das cavernas com as mais variadas formas como estalactites, estalagmites, pérolas, colunas, cortinas e diversos outros.

O modelado cárstico é o resultado desse balanço hidroquímico, das dinâmicas endógenas e exógenas, sendo essa última relacionada às modificações na mesosfera, em função de alterações climáticas registradas na atmosfera (KOHLE, 1989). Na presente pesquisa são as formas exocársticas o alvo das análises morfométricas que será realizado através de imageamento aéreo remoto e apresentados em forma de documentação cartográfica.

2.2 Cartografia – do analógico ao digital

No contexto dos estudos geográficos podemos afirmar que a cartografia é uma ferramenta de abstração fundamental, sem a qual, seria impossível analisar, compreender, representar ou gerar modelos de maneira tão clara como as que experimentamos quando essas informações são suportadas em mapas analógicos ou digitais.

Na atualidade os produtos cartográficos estão tão inseridos em nosso cotidiano que por vezes esquecemos suas origens primitivas impulsionadas pela necessidade elementar da humanidade em localizar recursos naturais para a sua sobrevivência (RAISZ, 1969; OLIVEIRA, 1971; GOMES, 2004; ROSSATO, 2006; CASTRO, 2012; FITZ, 2012). Além da necessidade de se conhecer esses recursos, fossem eles alimentos, moradia ou matéria prima para produção de ferramentas, a humanidade sedentária desenvolveu a necessidade de conhecer e demarcar territórios.

A necessidade de mapear a realidade seria intrínseca à existência humana, o que pode ser observado em Castro (2012) que aponta que a cartografia seria pretérita à escrita e que fazer mapas seria uma aptidão inata da humanidade. De fato, a história dos mapas se mistura com a história da humanidade tendo seu primeiro registro datado de 2.500 anos a.C. em uma tabuleta de barro conhecida como mapa de Sippar ou Mapa-múndi babilônico (FRANCISCHETT, 2010; BROTON, 2014). Ainda falando de mapas primitivos podemos destacar as cartas náuticas das Ilhas Marshall, no Oceano Pacífico, onde os aborígenes registraram as correntes marinhas valendo-se de bambus ou fibras de palmeiras (RAISZ, 1969).

Menezes e Fernandes (2013) identificam três fases de transformação da cartografia. Uma transformação geométrica seguida por uma transformação projetiva e, por fim, a última de caráter cognitivo.

Essa primeira fase, que possuiu um momento referente à escala e outro referente às coordenadas (MENEZES; FERNANDES, 2013) recai fortemente sobre os gregos sendo que Tales de Mileto é apontado como tendo medido por triangulação a altura das pirâmides egípcias no século VII a.C. (OLIVEIRA, 1971). Um século mais tarde Pitágoras mediu a obliquidade da eclíptica terrestre e afirmou que a mesma seria uma esfera equilibrada no espaço (OLIVEIRA, 1971). Esse autor ainda nos traz que:

Os primeiros empreendimentos de natureza científica, ou, mais precisamente, astronômica, no sentido de aplicá-las a assuntos práticos de cartografia ou de topografia, parece não caber dúvida, partirem dos gregos, já há milênios antes da nossa era (OLIVEIRA, 1971, p. 144).

A cartografia segue sua evolução ganhando novo impulso nos séculos XIV a XVI, período do Renascimento europeu, quando ocorreu uma “intensificação do comércio entre Oriente e Ocidente – exigido pelo desenvolvimento da navegação e

pela necessidade de mapas como meios para a respectiva orientação” (FRANCISCHETT, 2010).

Entretanto a cartografia só deixa de ter um caráter tecnicista no século XX quando, após um salto secular no conhecimento da disciplina, a mesma passa a incorporar elementos epistemológicos (GOMES, 2004). Tal momento tem como marco a exposição *Cartes et figures de la Terre* realizada em 1980 no Centro Georges Pompidou, e o projeto enciclopédico americano *The History of Cartography Project*, iniciado em 1982 pela Universidade de Chicago, o que representa o início das discussões epistemológicas sobre a história da cartografia (GOMES, 2004).

Sendo assim é possível ver uma infinidade de definições sobre cartografia que vão desde suas funções mais elementares como tendo a finalidade de “coletar dados e medidas das formações da terra e representá-los em escala tão reduzida quanto conseguimos discernir a sua configuração” (RAISZ, 1969) ou que seria a representação simplificada dos elementos constituintes da Terra, bem como de seus fenômenos, de maneira que esses possam ser distinguidos em um mapa (FITZ, 2012) até conceitos mais contemporâneos que incutem o conceito de que “os mapas devem ser instrumentos de reflexão e de descoberta do real conteúdo da informação; devem dirigir o discurso e não ilustrá-lo” (FRANCISCHETT, 2010) ou que as novas teorias consideravam o mapeamento como uma ciência cognitiva que envolvia comunicação entre o cartógrafo e o usuário.” (GOMES, 2004).

Fácil perceber também na leitura especializada, que a cartografia é disciplina correlata e complementar a outras como topografia, agrimensura e geografia quando Raisz (1969) diz que “o processo de representação da figura da superfície da terra consta de três fases: o agrimensor mede o terreno, o cartógrafo reúne os resultados das medidas anteriores e os transporta para um mapa e o geógrafo interpreta os fatos assim expostos.” (RAISZ, 1969).

Sagan (1996) corrobora com essa visão transdisciplinar da cartografia quando aponta que marinheiros, certamente engenheiros cartográficos, “fizeram um levantamento meticuloso das costas litorâneas dos continentes. Os geógrafos traduziram essas descobertas em mapas e globos.” (SAGAN, 1996).

Com esse panorama posto, pode-se apropriar de Rossato (2006) quando esse diz que “a Cartografia compactua com essa prerrogativa da ciência e, portanto,

também precisa participar incessantemente da luta pelo seu aprimoramento epistemológico” (ROSSATO, 2006).

Ainda se valendo do mesmo autor, e embasando a discussão sobre a importância de se estudar e compreender as aplicações das geotecnologias contemporâneas no método geográfico, Rossato (2006) aponta para a necessidade de se padronizar, conceituar, compreender e, acima de tudo, de ensinar (transmitir) os conceitos corretos, e que isso seria:

[...] uma prerrogativa do método científico, pois contribui tanto para a proposição de novas pesquisas quanto para a validação e avanço das já existentes. Um conceito é produto da criação imaginativa, mas, em contrapartida, restringe a imaginação dos pesquisadores e dos demais leitores, na medida em que tenta prendê-la à realidade dos objetos ou fenômenos conceituados. Entretanto, além de poder ser contestado quanto a sua eficiência, um conceito pode gerar novos conceitos ou ser fruto de outros conceitos pré-existentes (ROSSATO, 2006, p. 22).

É com base nessa necessidade de conceituar e passar para a frente os conceitos da forma mais clara, que dizemos nesse ponto que, contemporaneamente é possível ver o emprego do termo “cartografia digital” de maneira indiscriminada e, por vezes, posto como uma ciência distinta do que seria tratado como “cartografia analógica”. Entretanto, para esse estudo, considera-se que o termo “cartografia digital” serve apenas para diferenciar o conjunto de ferramentas e técnicas empregados na elaboração dos mapas bem como a mídia de saída dos produtos cartográficos. No que tange a elaboração, a cartografia analógica se vale de papel, canetas, esquadros, transferidores e outros instrumentos para elaboração dos produtos, ao passo que a cartografia digital se vale de *softwares*. Já em relação às mídias de saída, a cartografia analógica utiliza papel e depende de reprografia para reprodução da informação enquanto a digital é elaborada em ambiente computacional e é distribuída, por vezes em papel, por vezes no próprio ambiente computacional.

Em tempos modernos, com tamanha profusão de recursos informacionais de baixo custo, as ciências da Terra como a Cartografia e a Geografia precisam constantemente repensar sua função e seu lugar como postulado por Rossato (2006). Brotton (2014) quando discorre sobre doze dos mapas mais importantes da humanidade coloca o *Google Earth* ao lado de importantes nomes como Ptolomeu, al-Idrisi, Mercator, família Cassini e outros.

De fato, é fácil concordar que “desde Gutemberg nenhuma invenção deu poder aos indivíduos e transformou o acesso à informação de forma tão profunda quanto ao *Google*” (VISE, 2016 *apud* Brotton, 2014) pois dificilmente passamos um dia sem olhar para o gigantesco mosaico cibernético do Google. Os principais aplicativos de navegação, turismo, comércio e outros utilizam a API do Google e rotineiramente encontramos trabalhos acadêmicos com imagens orbitais originárias do Google Earth.

Entretanto, Brotton (20014) também aponta as principais críticas desferidas em relação ao Google:

[...] muita gente que trabalha com geografia acadêmica e cartografia vê o Google Earth com desconfiança e até mesmo alarme. Para alguns, ele sinaliza o fim da tradicional indústria cartográfica impressa e a morte dos mapas em papel. Para outros, é um retrocesso na qualidade da cartografia: mapas personalizados feitos por “amadores” parecem básicos e não têm os protocolos usuais de verificação e revisão profissional (Brotton, 2014, p. 451).

Parte das críticas é alarmista e parte pertinente, mas nenhuma possui força contra o que está posto. Os aplicativos de geovisualização, geocolaboração e WEBGis vieram para ficar e a discussão deve se ater não somente aos problemas, mas à adequação aos novos tempos. Cabe à Geografia se apropriar de cada geotecnologia existente, pois com a popularização delas, pode-se observar uma queda na qualidade de muitos trabalhos pois, não se trata apenas da “criação dos mapas”, muitos deles demasiadamente simples, mas sim de identificar formas, funções, correlações e propor soluções viáveis através de sua linguagem específica. Tais soluções necessitam muito mais que algoritmos sofisticados e requerem um arcabouço conceitual próprio do Geógrafo e de seu olhar sobre o meio.

2.3 Fotografia documental e fotointerpretação

As fotografias possuem uma importante função documental em diversos campos do conhecimento e desde sua criação em 1826 por Joseph Nicéphore Niépce (1765 – 1833) as mesmas vêm se firmando como fonte de registro da história da humanidade (DISPERATI,1991; JENSEN, 2009; OLIVEIRA, 2008).

Rouillé (2009) pontua que uma importante função da fotografia seria “erigir um novo inventário do real, sob a forma de álbuns e, em seguida, de arquivos”. De fato, ele chama esse tipo de fotografia técnica de “fotografia-documento” (ROUILLE,

2009). Segundo esse mesmo autor “a fotografia teria modernizado o saber científico” (ROUILLE, 2009) ao proporcionar economias e reduzir o viés pessoal do cientista.

[...] reproduz mais rapidamente, mais economicamente, mais fielmente do que o desenho, que registra sem omitir nada, que dissimula as impressões da mão, que, em resumo, que troca o homem pela máquina, - impõe-se imediatamente como a ferramenta por excelência, aquela que a ciência moderna necessita (ROUILLE, 2009, p. 109).

Defende-se nesse ponto que não se pode concordar integralmente com Rouille (2009) quando ele diz que a foto “registra sem omitir nada”, pois, dependendo do enquadramento e da escala, pode-se mudar a mensagem transmitida pela foto. Mas o certo é que em comparação com o desenho e a descrição textual, a fotografia é a que entrega o panorama de um dado momento de maneira mais fidedigna.

Também cabe ressaltar que quando Rouille (2009) se refere à troca do homem pela máquina, é preciso ponderar que está fazendo uma relativização em relação ao pintor ou ao desenhista sobre o fotógrafo. Não obstante a sua afirmação de troca do “homem pela máquina”, a figura do fotógrafo sempre existirá exigindo que esse conheça tanto as técnicas fotográficas quanto conheça as especificidades do motivo fotografado. Mas, independentemente de se tratar de um laudo cautelar para a engenharia, uma prova forense para o direito, uma fotografia pericial para o meio ambiente ou um registro descritivo para artigos científicos, a fotografia documental segundo Oliveira (2008) possui:

[...] os mesmos/problemas de outros tipos de fotos, tem suas especificidades. Diferentemente da fotografia dita artística, nas quais determinados efeitos são permitidos e até mesmo desejáveis para comunicar emoções subjetivas aos observadores, ela deve primar pela capacidade de clareza e legibilidade de informações (OLIVEIRA, 2008, p. 58).

Decerto, o impacto do advento da fotografia no campo científico foi notório e para a Geografia não podia ser diferente. George (1972) afirma que se:

[...] os cartógrafos adaptam seus métodos à utilização de fotografia aérea, não ficam os geógrafos só por isso desobrigados de recorrer à fotografia direta sempre que essa for praticável, pois a tradução cartográfica e a tradução geográfica, possuem cada qual sua significação específica (GEORGE, 1972, p. 28).

Nesse sentido, a interpretação das fotografias, ou fotointerpretação, pode ser entendida como a análise visual direta de elementos da fotografia. Identificarmos

formas, cores, nuances e demais elementos contidos nela. Corroborando com o que diz George (1972), Loch (2008) nos traz o conceito de “fotointérprete” e ainda destaca a necessidade de diferentes formações específicas quando diz que:

[...] sempre que se fala em fotointerpretação ou em fotointérprete, menciona-se a sua especialidade: fotogeólogos, fotogeomorfólogos, fotopedólogos, fotointérpretes especializados em cadastro, vegetação, sensoriamento, agricultura, etc. (LOCH, 2008, p. 9).

Nesse ponto já é possível estabelecer que a fotointerpretação vai além da interpretação direta das imagens para reconhecimento dos objetos (forma, tamanho, tonalidade, textura e padrão) e de suas significâncias. Segundo Temba (2000), é possível determinar o posicionamento relativo de pontos através da feitura de medições sobre as imagens. Para esse autor tal técnica é conhecida como fotogrametria métrica e através dela:

É possível determinar, em razão de técnicas e processos correntes da fotogrametria métrica: a. distâncias, ângulos, áreas, volumes, elevações e, tamanhos e formas de objetos; b. cartas planimétricas e altimétricas, mosaicos, ortofotos e demais subprodutos das fotografias tomadas. (TEMBA, 2000, p. 5)

A fotogrametria quando realizada a partir de plataformas aéreas recebe a designação de aerofotogrametria. Tradicionalmente os levantamentos aéreos são realizados com aeronaves tripuladas o que representa altos custos envolvidos, mas com a popularização das RPAs, principalmente após 2013, esses custos vêm experimentando considerável redução e elas tendem a se tornar cada vez mais acessíveis.

2.4 Fotografia Aérea e Aerofotogrametria

A fotografia aérea, assim como a satelital ou orbital, é uma designação relacionada ao posicionamento da plataforma de tomada das imagens, ou seja, o ponto de vista do fotógrafo ou do equipamento fotográfico quando esses são automatizados. Nesses casos, as fotografias são realizadas a partir de aeróstatos (balões), aeródinos (aviões ou helicópteros) ou de satélites.

Além da classificação em relação ao posicionamento da plataforma de aquisição, temos ainda a classificação em relação ao ângulo de visada das fotografias. Elas podem ser oblíquas ou nadirais, sendo as primeiras geralmente relacionadas às fotografias panorâmicas de motivos específicos da paisagem e as

outras relacionadas à aquisição de fotografias para composição de mosaicos fotográficos de grandes áreas.

Antes mesmo das possibilidades fotogramétricas, as fotografias aéreas convencionais já existiam sendo o primeiro desses registros datados de 1852, apenas 32 anos após a primeira fotografia da humanidade. Tal fotografia é atribuída a Félix Nadar [1820-1910] (DISPERATI, 1991).

A partir daí equipamentos fotográficos e aeronaves foram evoluindo o que possibilitou a sistematização da fotogrametria, terrestre ou aérea, como ciência conforme aponta Andrade (2003) quando esse a define como “a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis por meio de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens” (ANDRADE, 2003).

A fotogrametria enquanto ciência estruturada, em específico a aérea, passa a ter importante função na cartografia que, anteriormente a ela, era feita exclusivamente por demorados processos topográficos. Isso bem pode ser observado quando Disperati (1991) aponta que “qualquer pessoa envolvida com o mapeamento de recursos naturais, renováveis ou não, deve conhecer os aspectos referentes à elaboração de mapas seja topográfico ou temático” (DISPERATI, 1991). E nesse sentido, o mesmo autor aponta três tipos de mapeamento sendo eles a topografia, a fotogrametria e o sensoriamento remoto (DISPERATI, 1991).

Entretanto, para aqueles estudos que geram suas próprias imagens, antes de se realizar as análises morfométricas é imperativo que as mesmas sejam georreferenciadas, processo que consiste em correlacionar um *pixel* ou conjunto de *pixels* que retratem uma feição no terreno (ambiente computacional) com a respectiva feição em solo (mundo real). Em solo essas feições recebem o nome de apoio geodésico planimétrico que são pontos “[...] materializados no terreno, que proporciona aos levantamentos topográficos o controle de posição em relação à superfície terrestre determinada pelas fronteiras do país, referenciando-os ao datum planimétrico do país” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994).

Esses pontos de apoio geodésico planimétricos são utilizados de duas maneiras distintas, sendo a primeira como “amarrações” para georreferenciamento da imagem, e são usualmente tratados por GCPs (Ground Points Control), e outra como referência para conferência da acurácia do processo de georreferenciamento, onde são geralmente tratados por CP (Check Point). Nas duas aplicações estão

sendo aferidas precisão e acurácia, sendo que essas expressões matemáticas são independentes como apontado por Veiga et al. (2007). Dessa maneira é possível termos medidas precisas sem, contudo, serem acuradas (Figura 05).

A precisão está ligada a repetibilidade de medidas sucessivas feitas em condições semelhantes, estando vinculada somente a efeitos aleatórios. A acurácia expressa o grau de aderência das observações em relação ao seu valor verdadeiro, estando vinculada a efeitos aleatórios e sistemáticos. (VEIGA et al., 2007, p. 14)

Figura 5 - Precisão versus acurácia.



Fonte: Adaptado de Veiga et al. (2007).

2.5 Fotografia orbital e Sensoriamento remoto

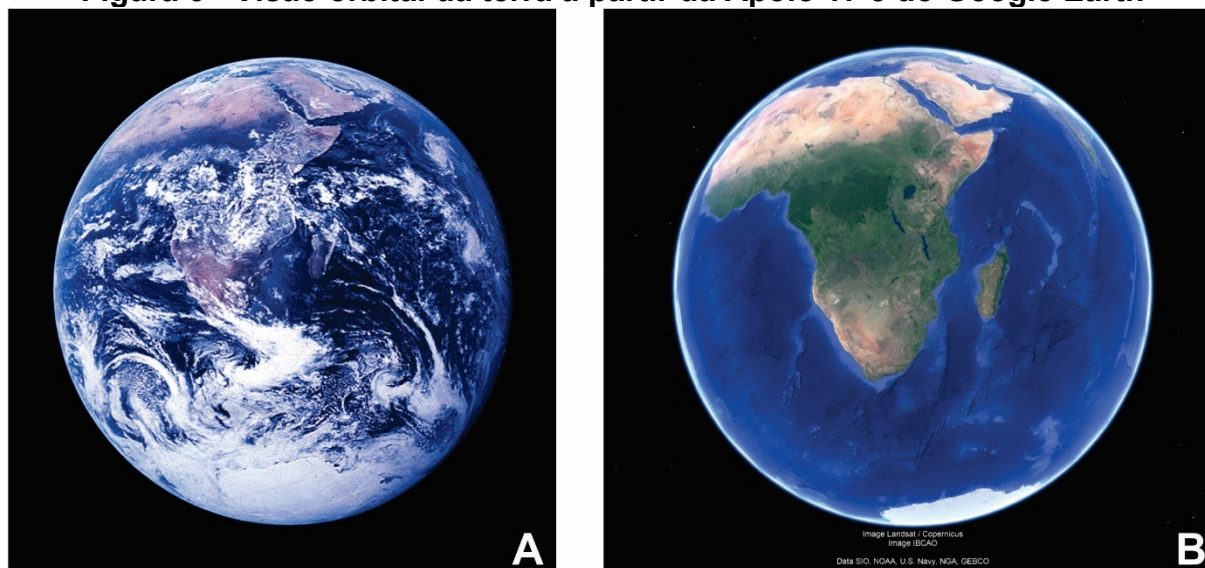
Segundo nos apresenta Sagan (1996), as “fotografias de pequenos fragmentos da Terra foram tiradas, primeiro de balões e aviões, depois de foguetes em vôos balísticos curtos e, finalmente, por naves espaciais em órbita.” (SAGAN, 1996, p. 26).

A realidade da nossa circunstância só começou, de fato, a penetrar em nosso entendimento com a famosa fotografia *Apollo* da Terra inteira ocupando todo o quadro – tirada pelos astronautas da *Apollo 17* na última viagem de seres humanos à Lua. (SAGAN, 1996, p. 27).

A fotografia que Sagan (1996) descreve (Figura 6a) é uma fotografia orbital convencional que foi tirada com o uso de uma câmera de médio formato (70mm) diretamente das mãos dos astronautas. Na Figura 5b temos uma “captura de tela” do Google Earth, posicionada em posição aproximada da tomada da primeira foto. Essa segunda imagem é um produto computacional do mosaicamento a partir de dezenas de fotografias orbitais, que diferente da primeira, foi coletada de maneira remota.

Ambas ilustram o desfecho de toda uma existência e evolução humana que sempre teve no imaginário a visão dos pássaros. Brotton (2014) faz uma descrição da Terra e conjectura que essa seria uma “visão do mundo como Platão imaginou há quase 2.500 anos, no *Fédon*.” Nesse seu diálogo Platão descreve “uma esfera perfeita, reluzente, maravilhosa por sua beleza”. (BROTTON, 2014).

Figura 6 - Visão orbital da terra à partir da Apollo 17 e do Google Earth



Fonte: (a) Tripulação da missão Apollo 17⁹, (b) Captura de tela realizada pelo autor¹⁰

A concepção mais elementar de sensoriamento remoto diz respeito à propriedade de obter imagens da superfície da terra através da captação de energia eletromagnética com o uso de sensores embarcados em balões, aeronaves ou satélites, ou seja, de maneira remota. (ROSA, 2007; LOCH, 2008; MOREIRA, 2011; FLORENZANO, 2011; NOVO, 2011).

Rosa (2017) aponta que apesar do uso de fotografias aéreas enquanto meio de obtenção remota de imagens convencionais aéreas ter sido “amplamente utilizada durante a primeira e segunda guerra mundial no planejamento de missões com fins militares” (ROSA, 2011) apenas na “década de 70 o termo sensoriamento foi incorporado à linguagem científica”. (ROSA, 2011)

⁹ Imagem disponível no endereço da Agencia Nacional Aeronáutica e Espacial do Governo norte-americano https://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/a17_h_148_22725.html acessada em 21 de agosto de 2018.

¹⁰ Captura da tela do Google Earth pelo autor em 21 de agosto de 2018.

Entretanto segundo Blaschke e Kux (2007) o sensoriamento remoto se afastou do que seria a sua origem, ou seja, da fotografia aérea (BLASCHKE; KUX, 2007). Para eles essa diferenciação estaria no fato de que:

Para a transmissão de informações, ao lado da luz de faixa visível, são usados outros comprimentos de onda eletromagnética, que se encontram do infravermelho próximo e médio, no infravermelho termal ou na faixa de microondas (radar) (BLASCHKE; KUX, 2007, p. 20).

Nessa linha de uma classificação mais completa, Jensen (2009) conceitua o sensoriamento remoto como sendo:

O registro da informação das regiões ultravioleta, visível, infravermelho, microondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas, tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagens (JENSEN, 2009, p. 4).

Em uma abordagem mais completa, Novo (2011) inclui na classificação do sensoriamento remoto, além dos conceitos de sensores embarcado em plataformas diversas para a captação de radiação eletromagnética, visível ou não, o conceito de “processamento de dados” com o objetivo de estudar:

[...] eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do Planeta Terra a partir do registro de análises das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2011, p. 28).

Com essa última classificação não resta dúvida que o Sensoriamento Remoto se configura como uma técnica completa que vai desde aquisição de imagens até a geração de produtos das análises passando pelo processamento digital dos dados coletados.

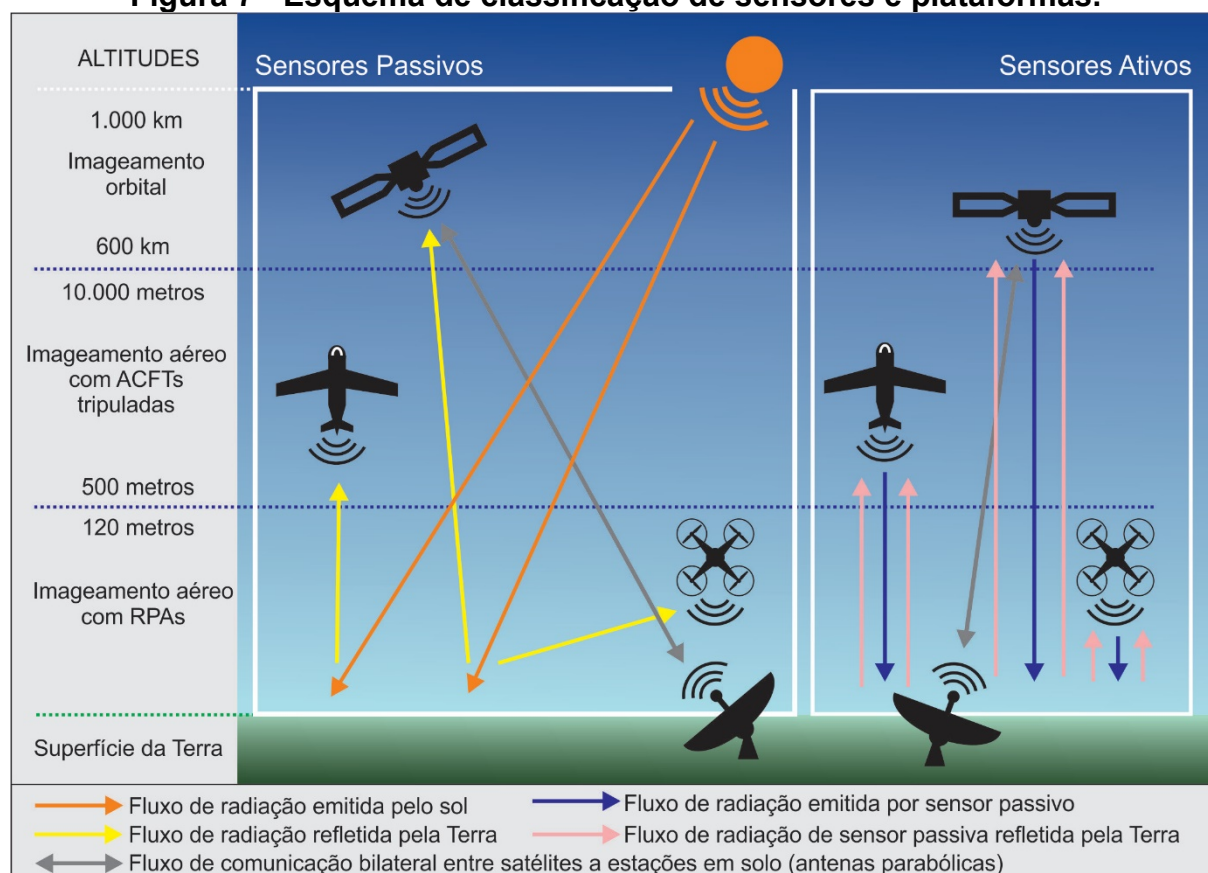
Para além, no que concerne o processamento de dados, há que se dizer que o sensoriamento remoto avança para o campo do SIG e do Geoprocessamento. Isso pode ser bem observado quando Blaschke e Kux (2007) preconizavam que o SIG e o sensoriamento remoto estão cada vez mais amalgamados” e destacam ainda que inicialmente os dois foram tratados como dois universos separados (BLASCHKE; KUX, 2007).

Entretanto, é imperativo afirmar que apesar de na atualidade o sensoriamento remoto já ser considerado como um processo completo que vai além da simples aquisição de dados como apresentado acima, é possível identificar em toda a literatura especializada que o Sensoriamento Remoto está mais intimamente

ligado aos tipos de sensores do que à plataforma de aquisição. Sendo assim, os dois grandes grupos de sensores são denominados de Passivos, que dependem da energia externa para o imageamento – predominantemente o Sol, e Ativos, que geram a própria energia eletromagnética – como por exemplo radares. (ROSA, 2007; LOCH, 2008; MOREIRA, 2011; FLORENZANO, 2011, NOVO, 2011).

A Figura 7 representa esquematicamente os tipos de plataforma como satélites, aeronaves (ACFTs) tripuladas e não tripuladas, a diferença de fluxo de energia entre os sensores ativos e passivos e as altitudes de aquisição de dados para cada plataforma.

Figura 7 - Esquema de classificação de sensores e plataformas.

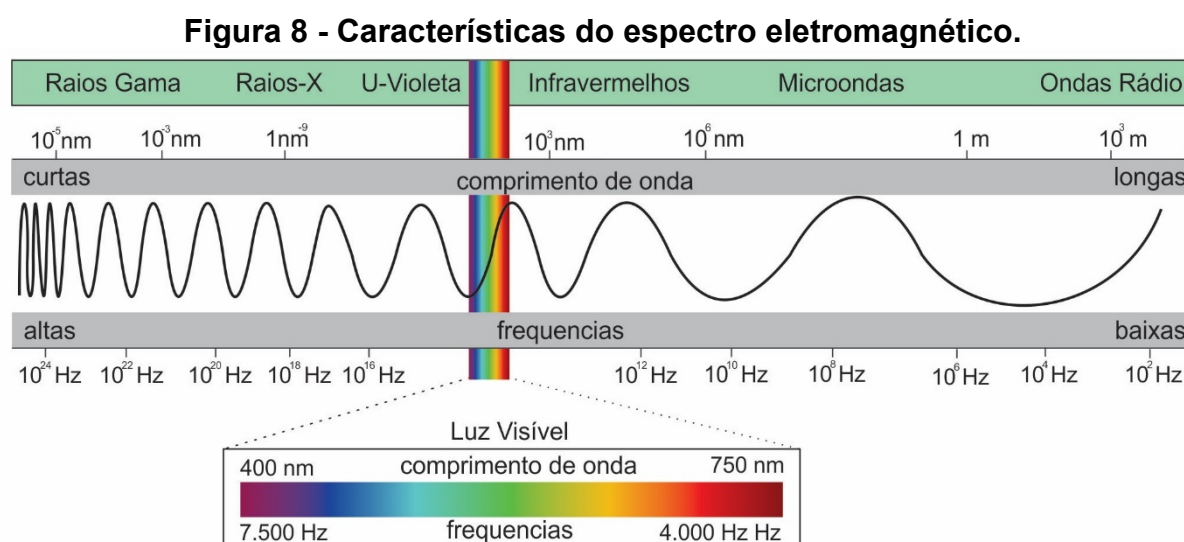


Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de Moreira (2011) e Florenzano (2011)

Ainda em relação aos tipos de sensores, além da classificação em relação à fonte de aquisição, temos ainda que os definir quanto às diferentes regiões espectrais que operam. Moreira (2011), nesse sentido, nos aponta que “os radiômetros são dotados de dispositivos que registram a radiação eletromagnética em determinadas faixas espectrais” (MOREIRA, 2011). O mesmo autor apresenta

ainda as três categorias de radiômetros quais sejam “(i) os que operam na região do visível, infravermelho próximo, e médio; (ii) os que operam na região do infravermelho termal; e (iii) os que operam na região do das micro-ondas” (MOREIRA, 2011).

Ao conjunto de ondas detectáveis por essas três categorias de radiômetro é dado o nome de espectro eletromagnético, e esse por sua vez, é composto por características específicas de frequência e comprimento de ondas que vão desde os raios gama até as ondas de rádio. As primeiras são caracterizadas pelas ondas mais curtas e as frequências mais altas e as últimas possuem características inversamente opostas ao primeiro (ROSA, 2007; LOCH, 2008; MOREIRA, 2011; FLORENZANO, 2011, NOVO, 2011). A figura 8 mostra um esquema simplificado dos principais comprimentos de ondas do espectro eletromagnético.



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de MOREIRA, 2011 e FLORENZANO, 2011.

Como colocado até o momento, após coletados as imagens são fundamentais o tratamento através de *softwares* específicos de Processamento Digital de Imagens – PDI, interpretação e elaboração dos resultados em ambiente computacional. De fato, Lang e Blaschke (2013) destacam que “para a documentação e visualização, bem como para a análise de fenômenos” é preciso se valer de um Sistema de Informações Geográficas que irá acoplar as informações de localização e conteúdo temático (LANG, BLASCHKE, 2013).

2.6 SIG e Geoprocessamento

Os Sistemas de Informações Geográficas - SIG, ou GIS quando referido no termo inglês *Geografic Information System*, surgiram na década de 60 (ROSA; BRITO, 1996; LANG; BLASCHKE, 2013; BROTTON, 2014). O próprio criador do primeiro sistema de informação geográfica informa que a data de início das tentativas teria sido o ano de 1960 quando afirma que começou “a experimentar mapas em formato numérico e os resultados parecem promissores”. (TOMLINSON; 1990). De fato, Tomlinson (1990) nos descreve claramente tal feito.

Em 1962, propus que o Inventário de Terras do Canadá desenvolvesse tal capacidade e os agentes do governo mais visionários (Lee Pratt e Al Davidsosn) apoiaram a ideia. Mudei-me para o departamento de governança e me tornei responsável por iniciar e direcionar o desenvolvimento do Sistema de Informação Geográfica do Canadá, o primeiro sistema de informação no mundo (TOMLINSON, 1990, p. 17).

Entretanto, Lang e Blaschke (2013) informam que “somente à partir do final dos anos 80 se formou, de modo crescente, a estrutura metodológica com relação à utilização de SIG”. (LANG; BLASCHKE, 2013). É possível observar que a evolução do SIG e do Geoprocessamento tiveram íntima relação com a evolução dos computadores e dessa forma tal evolução teria sido multidisciplinar.

Brotton (2014) coloca a matemática nesse rol de eventos importantes do GIS quando fala da sistematização do código binário pelo matemático estadunidense Claude Shannon [1916-2001] (Brotton, 2014). Mais adiante na elucidação do sincretismo existente na evolução do SIG, Brotton afirma que nas décadas de 70 e 80, “os cartógrafos começaram a adotar a teoria de Shannon para desenvolver uma nova maneira de entender mapas...” (Brotton, 2014).

Consolidando os conceitos sobre SIG e Geoprocessamento, Rosa e Brito (1996) fazem considerações sobre os ramos de atuação dos profissionais bem como conseguem deixar claro que são atividades correlatas, mas independentes.

O conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações com diferentes níveis de sofisticções. Em linhas gerais o termo Geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com processamento digital de imagens, cartografia digital e sistema de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes, estão inter-relacionadas, usando as mesmas características de hardware, porém softwares diferentes. (ROSA; BRITO, 1996, p. 07)

Autores como Lang e Blaschke (2013) e Brotton (2014) começaram a dar conceituações mais funcionalistas e que remetem à solução de problemas do

cotidiano como gestão de recursos naturais, medições e mapeamentos na paisagem e referenciamento dessas informações para posterior devolução à população.

GIS são sistemas que utilizam hardware e software para gerenciar, analisar e exibir dados geográficos na resolução de problemas do planejamento e da gestão de recursos. Para garantir a padronização, os resultados são referenciados a um mapa em um sistema de coordenadas terrestres estabelecido que trata a terra como um esferoide oblato (Brotton, 2014, p. 456).

Lang e Blaschke (2013) afirmam que o SIG engloba três componentes que são “hardware, software e dados” e que com essa tríade através dessa tríade se revela nas duas principais características do GIS: a “possibilidade de fazer interpretações analíticas poupando tempo e recursos” e capacidade de apoiar diversas análises espaciais com “diferentes opções de questionamento espacial” (LANG; BLASCHKE, 2013).

Corroborando com tais conceitos de manipulação dos dados geoespaciais, Ferreira (2014) apresenta cinco categorias de análise geoespacial quais sejam: localização, distribuição, associação, interrelação e mudança (FERREIRA, 2014). Segundo esse autor:

Muitas das etapas de análise geoespacial realizadas em um contexto de SIG são iniciadas a partir de perguntas espaciais construídas com a sintaxe própria e adaptada à solução de problemas de natureza espacial, no formato de mapas. As perguntas espaciais podem ser agrupadas em categorias de acordo com as técnicas de análise geoespacial envolvidas na construção destas perguntas e encadeadas na combinação sequencial de comandos de um SIG (FERREIRA, 2014, p.59)

2.7 Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPAs

As aplicações possíveis para as RPAs perpassam diversos campos do conhecimento e diversas áreas de atividades humanas como monitoramento ambiental, prospecção mineral, agricultura, acompanhamento de programas de contingência em catástrofes naturais, segurança pública, guerras, parcelamento de solo, planejamentos urbanos e rurais entre diversas outras possibilidades como cinema e artes diversas.

Tal polivalência pode ser observada nas obras de diversos pesquisadores como Medeiros et al. (2008) que resgatam Antuniassi e Salvador quando afirma que “a coleta de imagens para a identificação de manchas nas lavouras pode ser obtida de vários tipos de plataforma, tais como aeromodelos, balões e aeronaves de pequeno porte” (ANTUNIASSI e SALVADOR *apud* MEDEIROS et al., 2008).

Já Gonçalves et al., citado por Agostinho e Oliveira Filho (2011), ressalta as vantagens de fotografias de pequeno formato que foram obtidas com aeronaves não tripuladas remotamente controladas quando afirma que:

“...a utilização de fotografias aéreas de pequeno formato, na identificação de áreas restritas de preservação permanente (APPs) pode ser uma alternativa à utilização de cenas de alta resolução espacial obtidas a partir de sensores orbitais”. (GONÇALVES et al. *apud* AGOSTINHO E OLIVEIRA FILHO, 2011, p.8985)

O conceito de RPA remonta de meados do século XIX, mais especificamente em 12 de julho de 1849, em Veneza na Itália, quando o exército Austríaco lançou balões carregados de explosivos contra o front inimigo. Esse tipo de alternativa militar foi utilizado de maneira semelhante durante a Guerra Civil Norte Americana [1861-1865] e na 1ª Guerra Mundial [1914-1918] (ALVES NETO, 2008).

Assim como quase todas as tecnologias militares, as RPAs tiveram a sua utilização empregada no mercado civil. A primeira produção em larga escala ocorreu nos Estados Unidos logo após a 1ª Grande Guerra, quando um ex-militar da Força Aérea Britânica, Reginald Denny, montou uma indústria de aeronaves remotamente controladas (AGOSTINHO; OLIVEIRA FILHO, 2011).

Ainda segundo Agostinho e Oliveira Filho (2011), a chegada histórica das RPAs brasileiras se inicia na década de 80 com o desenvolvimento do Projeto Acauã pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA), mas dezenas de diversos países desenvolvem projetos para aplicação militares, comerciais e recreacionais dessa tecnologia. Segundo Simpson (2003) os RPAs têm um imenso potencial inovativo e atrativo para aplicações na agricultura de precisão e DeGarmo (2004) destaca que nesse campo o Japão já se destacava naquela época com mais de 2.000 RPAs empregados em pulverização e outras aplicações na agricultura (DEGARMO, 2004).

Para Jensen (2009) o uso de RPAs no campo civil representa economia para o sensoriamento remoto e destaca que há muitos anos os cientistas buscam qualidade e alta resolução espacial à baixo custo e que esses cientistas já embarcavam sensores em aeromodelos com essa finalidade (JENSEN, 2009).

As RPAs por fim, no seu estágio de automação atual, representam a alternativa buscada pela comunidade acadêmica conforme posto por Jensen (2009) e Agostinho e Oliveira Filho (2011). Exercendo a função de plataforma alternativa para embarque de sensores, hoje temos diversos modelos e fabricantes que fornecem soluções ultra automatizadas. As RPAs são classificadas da mesma

maneira que as aeronaves tripuladas, podendo se enquadrar basicamente em duas categorias: asas fixas (Figura 9b e 9c) e asas rotativas (Figura 9d). A diferença operacional está relacionada com o tipo de decolagem e pouso sendo que a primeira possui característica STOL (*short take-off and landing*) e necessita de pistas ou área para rolagem e a segunda possui característica VTOL (*vertical take-off and landing*) e operam em qualquer local aberto. (HOMA, 1997; SAINTIVE, 1998). Já os multicópteros (Figura 9 a) não possuem uma classificação bem definida na literatura aeronáutica, sendo popularmente classificadas pelo apelido “drones”, mas possuem a mesma característica de decolagem das asas rotativas sem, contudo, possuir a mesma eficiência aerodinâmica. A escolha do modelo deverá ocorrer em função da parametrização de fatores operacionais como os tipos de sensores embarcados, área de decolagem disponível, autonomia de voo necessária e os objetivos da operação como, tipo de dado coletado, resolução esperada e área imageada.

Figura 9 - Principais tipos de RPAs.



Fonte: Acervo pessoal do autor; a) quadricóptero durante imageamento em campo (2018); b) demonstração de voo do XMobots Echar 30 (2015); c) aeronave de asa fixa exposta na feira GeoConect (2016); d) aeronave de asa rotativa exposta na feira GeoConect (2016).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é uma unidade de conservação com 38,48 hectares que está integralmente contida dentro dos limites da APA Carste Lagoa Santa.

Apesar de sua reduzida área, possui muitas das formas exocársticas existentes na região cárstica de Lagoa Santa, com destaque para um grande afloramento calcário, extremamente fraturado, onde se pode encontrar lapiás, diaclases, paredões, pontes de pedra e dolinas. O maciço florado possui ainda nove cavernas cadastradas nos bancos de dados do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV e da Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE. Ainda dentro dos limites do Monumento Natural Experiência da Jaguará, contíguo ao corpo calcário, existem dolinas de dissolução, algumas delas com pequenas lagoas.

Como o MONAE Experiência da Jaguará se encontra integralmente dentro dos limites da APA Carste Lagoa Santa, a qual já foi alvo de significativas pesquisas com descrições menos ou mais detalhadas dos meios físico, biótico e socioeconômico, a caracterização da área será feita de maneira regional, tratando-se da APA Carste como um todo.

Tais pesquisas foram adotadas como embasamento bibliográfico para a caracterização ora apresentada com destaque para a mais robusta delas, que foi o projeto Viabilidade Industrial e Defesa Ambiental – VIDA realizado pela Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais CPRM entre 1992 e 1997.

Além do projeto VIDA, outros estudos importantes ocorreram como os de Auler (1994), Cabral (1994), Berbert-Born (1998), Piló (1998), Berbert-Born (2000), Meneses (2003), Silva (2003), Vieira (2007), Alt (2008), Sampaio (2010), Pereira (2015), Tayer (2016) e Henriques (2017). Importante dar destaque para Kohler (1989) que tem seu estudo pioneiro sobre a geomorfologia cárstica de Lagoa Santa citado em todos aqueles elencados acima. Essa importância pode ser observada em Travassos (2010) quando ele ressalta que o trabalho de Kohler no início da década de 80 é uma obra de referência e que teve papel motivador para outros pesquisadores (TRAVASSOS, 2010).

Dessa forma será realizada uma breve caracterização da área, com abordagem regional, tratando-se de toda APA Carste Lagoa Santa.

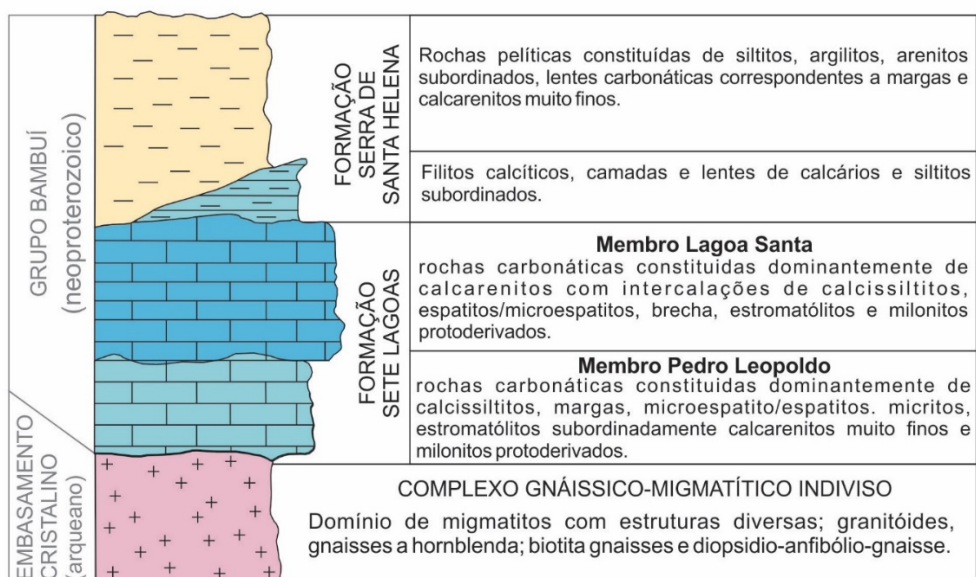
3.1 Geologia

Segundo Herrmann et al. (1998) a região da APA Carste de Lagoa Santa possui predominância dos calcários que compõem o grupo Bambuí (HERMMANN et al., 1998), grupo esse que “corresponde a uma espessa sucessão carbonática, depositada durante o Neoproterozóico, que cobre toda a Bacia do São Francisco [...]” (VIEIRA, 2007) sendo que essas rochas datam de 750 a 600 milhões de anos. (PILO, 1998).

Esse carste se insere no Craton de São Francisco (Auler, 1994; Piló, 1998, p. 29) e é composto por uma sequência deposicional que, além do embasamento cristalino, é constituída pelas Formações Sete Lagoas e Serra de Santa Helena, sendo que a primeira se divide nos membros Lagoa Santa e Pedro Leopoldo. (KOHLE, 1989, p.26).

Na sequência deposicional tem-se na parte inferior o embasamento cristalino constituído por rochas arqueanas, caracteristicamente gnaisses, migmatitos e granitoides, que suportam sobre si as rochas do grupo Bambuí. Imediatamente acima do embasamento cristalino, estão rochas do neoproterozóico superior agrupadas na Formação Sete Lagoas e acima dessas a Formação Serra de Santa Helena. A formação Sete Lagoas ainda se divide em dois membros, sendo eles o Pedro Leopoldo sotoposto ao Lagoa Santa. (Figura 10). (KOHLE, 1989; HERRMANN et al., 1998; PILO, 1998; DARDENE, 1998; BERBERT-BORN, 2000, VIEIRA, 2007).

Figura 10 - Coluna estratigráfica simplificada da APA Carste Lagoa Santa.



Fonte: Elaborado pelo autor adaptado de Auler (1994), Dardene (1978) e Berbert-Born (1998).

Estruturalmente as rochas do Grupo Bambuí são afetadas por deformações de fraca à moderada e a região do Carste Lagoa Santa em específico sofreu influência da Faixa Brasília à oeste. (VEIERA, 2007). Essa baixa atividade tectônica pode ser observada em Kohler (1989) quando esse traz que o planalto de Lagoa Santa é uma unidade fisiográfica com mergulhos suaves não superiores ao 10°, características essas que foram condicionadas pelo modelado característico o relevo desenvolve-se “sobre litologias filíticas e carbonáticas, cujas camadas sub-horizontais mergulham ligeiramente para NE, dando origem aos relevos de dissecação dos filitos e de corrosão dos calcários.” (KOHLE, 1989).

3.2 Geomorfologia

A geomorfologia da área de estudo está inserida no contexto regional da APA Carste Lagoa Santa, a qual está inserida, e contém a grande maioria das feições que são comumente encontradas nesse tipo de relevo.

Segundo Berbert-Born (2000) a APA possui “uma geomorfologia cárstica típica e diversificada, com algumas feições especialmente marcantes [...]” e possui dolinas com morfologias diversificadas, afloramentos de maciços rochosos (Figura 11a), lagos com dinâmicas hídricas variadas entre outros. (BERBERT-BORN, 2000; p.416). Para Kohler (1989) essa região é caracterizada como um bloco interfluvial formado entre o ribeirão da Mata e o rio das Velhas e possui 70% de sua área constituída por relevos cársticos bem constituídos. (KOHLE, 1989)

Já os limites do MONAE Experiência da Jaguará estão localizados na depressão mocambeiro que corresponde às áreas mais baixas e dissecadas da APA Carste, localizadas à nordeste dessa, e tem suas cotas variando uma ou duas dezenas de metros em torno da cota média de 650. Essa depressão, segundo Kohler (1989), Auler (1994), Herrmann et al. (1998) constitui-se em uma planície ligeiramente ondulada com conformação alongada disposta no sentido SW-NE e com superfícies contínuas que ultrapassam os quatro quilômetros. (KOHLE, 1989; AULER, 1994; HERRMANN et al., 1998).

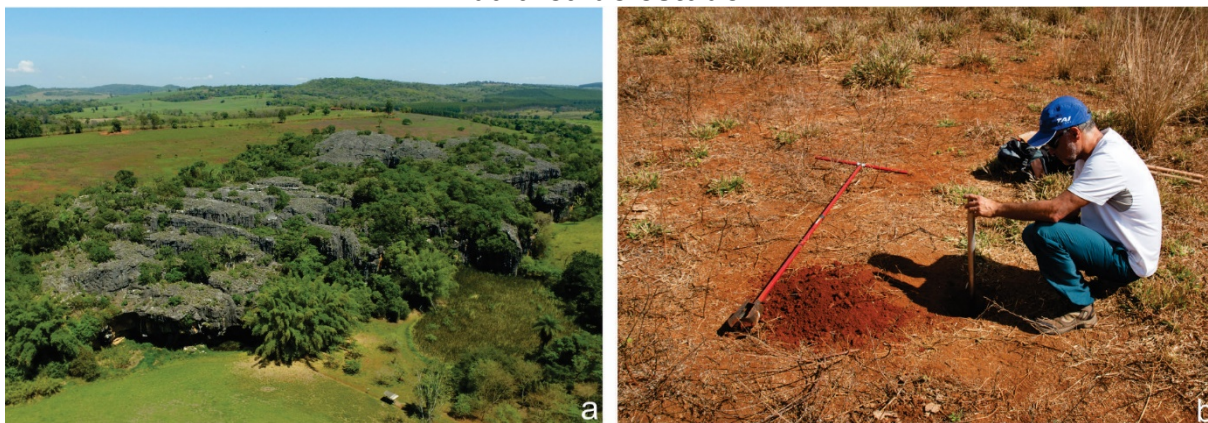
Localmente a área se encontra nas cotas mais baixas, na borda de uma das áreas mais deprimidas, que conforme Berbert-Born (2000) “constituem-se em planícies relativamente amplas, de fundo plano e vertentes abruptas recuadas

(poljés), ocupadas por lagoas temporárias ou canais de drenagem subaérea” (BERBERT-BORN, 2000)b.

No que tange a pedologia, Berbert-Born (2000) destaca que partes significativas da formação Sete Lagoas são recobertas por formações pedológicas que de maneira geral são compostas por latossolos vermelho-escuro álico, podzólico vermelho-amarelo álico e podzólico vermelho-amarelo distrófico com ocorrência pontual no extremo norte da APA de cambissolo álico. (HERRMANN et al., 1998)

A área do MONAE possui apenas um dos onze tipos de solos descritos na APA Carste Lagoa Santa. Segundo Meneses (2003) e Sampaio (2010) as partes que não são constituídas de afloramentos rochosos são recobertas por latossolos vermelho-escuro (Figura 11b). Para o primeiro autor, esses se caracterizam como solos “com avançado estágio de intemperização, muito evoluídos, como resultado de enérgicas transformações no material de origem”. (MENESES, 2003). Já para o segundo autor, áreas constituídas por esse tipo de solo “apresentam acentuada deficiência de fertilidade natural, expressa pela pobreza em nutrientes e elevada acidez.” (SAMPAIO, 2010).

Figura 11 - Aspectos geomorfológicos e pedológicos da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor. a) fotografia aérea da área tomada de SE para NW, b) detalhe da coloração do solo revolvido durante instalação de pontos de apoio geodésico.

3.3 Hidrografia

Em termos hidrográficos a APA Carste Lagoa Santa pode ser delimitada à leste-nordeste pelo rio das Velhas e à oeste-sudoeste pelo Ribeirão da Mata, sendo esse segundo, tributário do Rio das Velhas. Auler (2004) aponta o Rio das Velhas como o nível de base para drenagem das águas na porção nordeste da APA Carste (AULER, 1994).

Segundo Cabral (1994), a região possui hidrografia "relativamente pobre em cursos d'água. À exceção do Rio das Velhas que constitui o limite oriental da área, a região não apresenta cursos d'água de grande volume" (CABRAL, 1994).

As principais sub-bacias encontradas na área interfluvial desses dois cursos, de noroeste para sudoeste, são o riacho da Gordura, córrego Jaguará, córrego Mucambo, córrego Samambaia, córrego Jacques e córrego do Fidalgo, todos drenando para rio das Velhas. Já no extremo oeste-nordeste da APA Carste, o córrego palmeiras que verte suas águas para o ribeirão da Mata.

Berbert-Born (2000) descreve a hidrografia da região cárstica de Lagoa Santa como sendo "caracterizada como mista de componentes fluviais (subaéreos) e cársticos (subterrâneos)" (BERBERT-BORN, 2000) sendo que a presente caracterização hidrográfica se refere apenas ao primeiro.

O MONAE Experiência da Jaguará está situado no contexto hidrológico da depressão Mocambeiro que segundo Berbert-Born (1998) é uma unidade "coletora da água drenada pelo Planalto Cárstico, sendo comuns nascentes, cursos d'água superficiais e lagos (BERBERT-BORN, 1998). Ainda segundo a autora, os inúmeros dolinamentos capturam as águas meteóricas e as conduzem por fluxos subterrâneos ainda desconhecidos e que por esse motivo "os limites dessas bacias ainda não estão perfeitamente reconhecidos [...] (BERBERT-BORN, 2000).

Essa função coletora das águas meteóricas pelas dolinas pode ser observada no contexto pontual da área de estudo, sendo que após atingirem a área, boa parte dos cursos d'água vertem para diversas dolinas adjacentes ao afloramento rochoso. Cabe ressaltar que quatro delas formam lagoas (Figura 12).

Figura 12 - Massa d'água formada em dolina contígua à face SE do afloramento.



Fonte: Elaborado pelo autor. a) vista terrestre da lagoa b) vista aérea da lagoa.

3.4 Clima

O clima da região é condicionado, segundo Ribeiro citado por Piló (1998), por uma circulação atmosférica com ventos NE e SE resultantes da atuação do Anticiclone semi-estacionário do Atlântico Sul. Ainda segundo o mesmo autor, tal anticiclone proporciona o estabelecimento de sistemas de alta pressão que possuem como característica estabilidades atmosféricas de longos períodos com alta insolação e elevadas temperaturas. (RIBEIRO, 1994 *apud* PILO, 1998).

Auler (1994) descreve o clima na região como bem marcado pelos períodos úmidos e secos, sendo que o primeiro ocorre de outubro à março e o segundo de abril a setembro. Auler (1994) informa ainda que o período úmido recebe 90% das chuvas sendo que existe a tendência de concentração delas em dezembro e janeiro. (AULER, 1994). Sampaio (2010) descreve as mesmas características climáticas ao informar que a APA Carste Lagoa Santa pode ser classificada segundo Köppen como tropical savânico – Aw. (SAMPAIO, 2010).

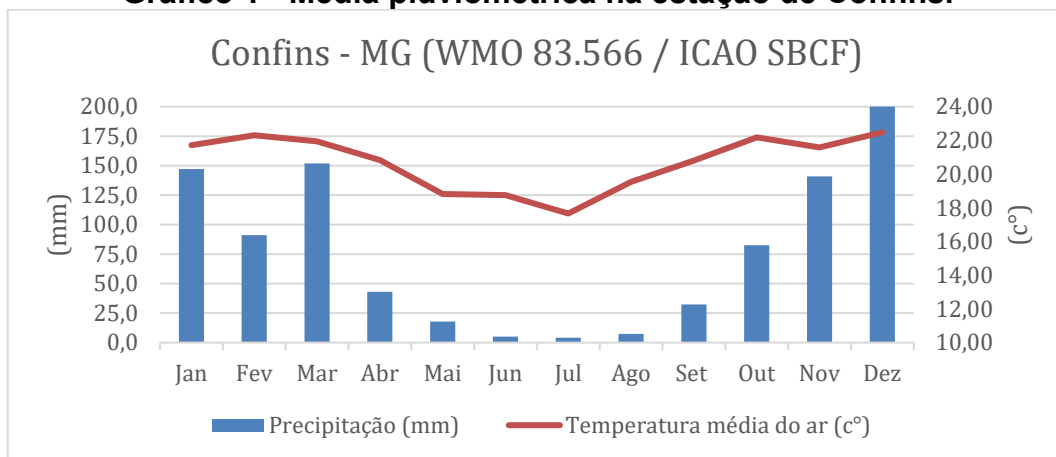
A pluviosidade média é da ordem de 1.380 mm e os extremos térmicos variam entre 11,2°C e 29,6° C, ambas médias das mínimas e das máximas computadas em um intervalo de 30 anos. A temperatura média anual orbita a casa dos 23°C. (PATRUS, 1996 *apud* BAETA, 2011).

Em pesquisa por normais climáticas mais contemporâneas identificou-se que os dados da estação meteorológica que seriam os mais adequados devido à proximidade com a área da pesquisa seria a do aeroporto de Confins (código ICAO: SBCF e código WMO 83.566) e o de Lagoa Santa (código ICAO: SBLS e código WMO 83.588), entretanto os estudos consultados trabalham com os dados das estações mais próximas da área de estudo quais sejam: a estação de Belo Horizonte Pampulha (WMO 83587) à sul da área de estudo e a estação de Sete Lagoas (WMO 83586) à noroeste da área de estudo. Durante os levantamentos de dados secundários observou-se que de fato os dados de Confins e Lagoa Santa não se encontram disponíveis nos repositórios mais comumente utilizados como o do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET nem tampouco no da Organização Meteorológica Mundial – WMO.

Após muita pesquisa e contato com diversos órgão do Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA descobriu-se que esses dados estão, mesmo

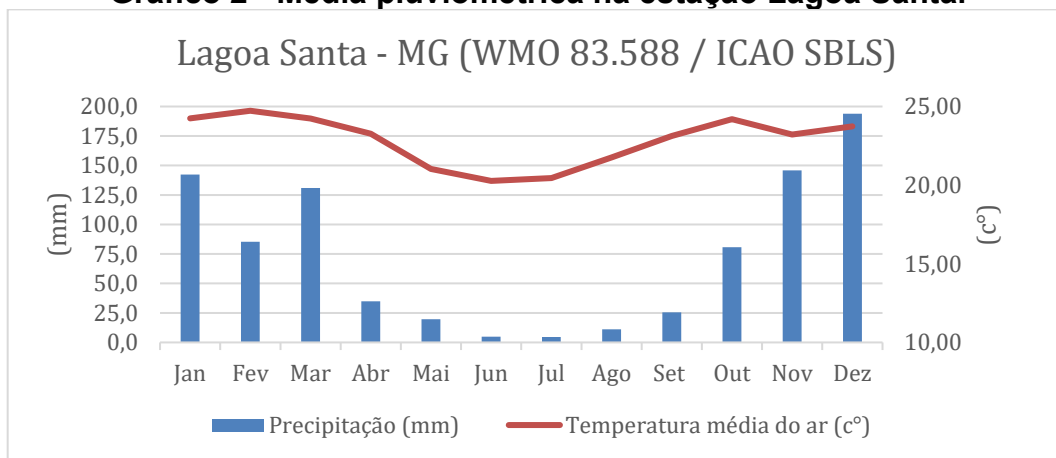
que parcialmente, disponibilizados em uma página eletrônica do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro – SISCEAB¹¹. Com os dados levantados é possível observar que o regime meteorológico permanece semelhante aos já descritos nos estudos que vem sendo realizados na região desde 1994.

Gráfico 1 - Média pluviométrica na estação de Confins.



Fonte: Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro.

Gráfico 2 - Média pluviométrica na estação Lagoa Santa.



Fonte: Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro.

3.5 Vegetação

Segundo o mapa de biomas do Brasil elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2004) a APA Carste Lagoa Santa se encontra integralmente no domínio fitogeográfico do bioma cerrado, entretanto a sua porção sudeste está distante da zona ecotonal com o bioma mata atlântica apenas dezessete quilômetros em linha reta. Brina (1998) define três tipos de associações entre vegetação e

¹¹ <http://clima.icea.gov.br/clima/>

feições cársticas quais sejam: área de transição entre maciços aflorantes, vegetação sobre esses maciços e aquelas que ocorrem em dolinas e encostas com solos rasos. (BRINA, 1998). A composição vegetal constitui-se em manchas remanescentes de cerrado, floresta estacional semidecidual nas bases dos afloramentos (Figura 13a) ou em dolinas e floresta estacional decidual que ocorre imediatamente sobre os afloramentos rochosos (Figura 13b).

Figura 13 - Aspectos da vegetação na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor. a) vista terrestre da vegetação b) vista aérea da vegetação.

3.6 Uso e ocupação

A área do MONAE Experiência da Jaguará se encontra integralmente na área rural do município de Matozinhos e possui, conforme levantamentos fotogramétricos dessa pesquisa, aproximadamente 58% da sua área utilizada como pastagem.

Enquanto a área não é desapropriada, a mesma continua exercendo função agropecuária, que, apesar de não ser uma atividade econômica muito expressiva em comparação com a indústria de cimentos e de extração calcário (MENDONÇA, 1998), representa ameaças ambientais importantes. Tal desapropriação é prevista no o Artigo 2º do Decreto número 45.391 de 2010, onde se tem que:

Ficam declarados de utilidade pública e de interesse social, para desapropriação de pleno domínio, mediante acordo ou judicialmente, os terrenos e as benfeitorias necessários à implantação do Monumento Natural Estadual Experiência da Jaguará [...] (MINAS GERAIS, 2010, p.1).

Segundo Mendonça (1889), Alt (2008) e IBGE (2017), dos cinco municípios que compõem a APA Carste Lagoa Santa, Matozinhos é o que mais contribui em termos de área cedida para esta unidade de conservação, compondo 43% da mesma. Essa contribuição representa o segundo maior comprometimento de áreas

municipais, sendo que 61% do seu território municipal está contido dentro dos limites da APA, ficando atrás apenas de Confins, único município que contribui com 100% do território municipal. (MENDONÇA, 1998; ALT, 2008; IBGE, 2010).

O município mais à norte da APA Carste Lagoa Santa é Funilândia, seguido, no sentido noroeste para sudeste por Matozinhos, Pedro Leopoldo, Confins e, no extremo sudeste, Lagoa Santa. Apenas Confins possui sua sede municipal dentro dos limites da APA Carste Lagoa Santa. Uma síntese com as principais informações areais dos cinco municípios e suas contribuições em termos de áreas é apresentado na Tabela 1.

O MONAE-EJ se encontra em área rural e a atividade agropecuária bem como a função de veraneio condicionam fortemente a paisagem. As áreas com benfeitorias (Figura 14a) são adjacentes aos limites da unidade de conservação, mas suas atividades estão ligadas ao manejo agropecuários das áreas do MONAE-EJ propriamente dito e essa por sua vez, correspondem segundo os estudos morfométricos pouco mais da metade da área total da unidade de conservação. (Figura 14b).

Tabela 1 - Municípios integrantes da APA Carste Lagoa Santa.

Municípios	Área Municipal em km ²	Área comprometida na APA		Participação em %
		em km ²	em %	
Funilândia	202,30	15,17	7,50	4,18
Matozinhos	253,60	155,22	61,21	42,76
Pedro Leopoldo	294,50	76,36	25,93	21,04
Confins	38,22	38,22	100,00	10,53
Lagoa Santa	234,08	77,99	33,32	21,49

Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos de Mendonça (1998) citado por Alt (2008).

Figura 14 - Aspectos de uso e ocupação do solo.



Fonte: Elaborado pelo autor. a) vista terrestre das benfeitorias b) vista aérea da pastagem.

3.7 Patrimônio Espeleológico

As cavernas da região cárstica de Sete Lagoas, Lagoa Santa e de Cordisburgo são demasiadamente famosas e ganharam projeção internacional com as pesquisas de Lund e caráter lúdico com a Literatura de Guimarães Rosa.

Pereira (2015) ao tratar do uso turístico-pedagógico do MONAE-EJ dá destaque à beleza cênica das feições cársticas e aponta que o interior das cavernas pode ser utilizado com ponto de observação dos vestígios de morfogênese (PEREIRA, 2015).

Para a ciência, as cavernas da região possuem grande importância uma vez que as condições climáticas das mesmas possuem grande capacidade de preservação de material foceis como ossos e conchas de moluscos. (DRUTRA et al. 1889, p. 9). Tais cavernas se desenvolveram sob influência de controles estruturais e ocorrem na APA Carste Lagoa Santa na ordem das centenas. (BERBERT-BORN, 2000, p. 415).

O levantamento nos dois principais bancos de dados espeleológicos, o Cadastro Nacional de Cavernas – CNC mantido pela Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE e o do Cadastro Nacional de Informações Espeleológicas – CANIE mantido pelo Centro Nacional de Estudo Proteção e Manejo de Cavernas – CECAV revelaram que a área possui 08 cavernas e 02 abrigos cadastrados e um sítio arqueológico que aparentemente está fora da área da UC em estudo (Tabela 02). Contudo é importante frisar que esse universo certamente é bem inferior do que o potencial esperado para a área e que esforços prospectivos são fundamentais. Também há que se destacar que os erros de posicionamento geodésico das cavernas em questão são históricos e de amplo conhecimento da comunidade espeleológica conforme apresentado no Mapa 6.

Tabela 2 - Patrimônio espeleológico do MONAE-EJ.

Feição	Nome	nº CNC	Feição	Nome	nº CNC
Caverna	Gruta da Jaguará I	MG0194	Caverna	Gruta da Pedra Alta	MG0471
Caverna	Gruta da Jaguará II,	-	Caverna	Gruta do Portal	MG0913
Caverna	Gruta da Coruja (do Balaio)	MG0476	Caverna	Gruta do Pomar	MG0477
Caverna	Gruta da Inundação	MG0914	Abrigo	Abrigo Zum	MG0917
Caverna	Gruta do Vale Perdido	MG0475	Abrigo	Abrigo Zem	MG0918

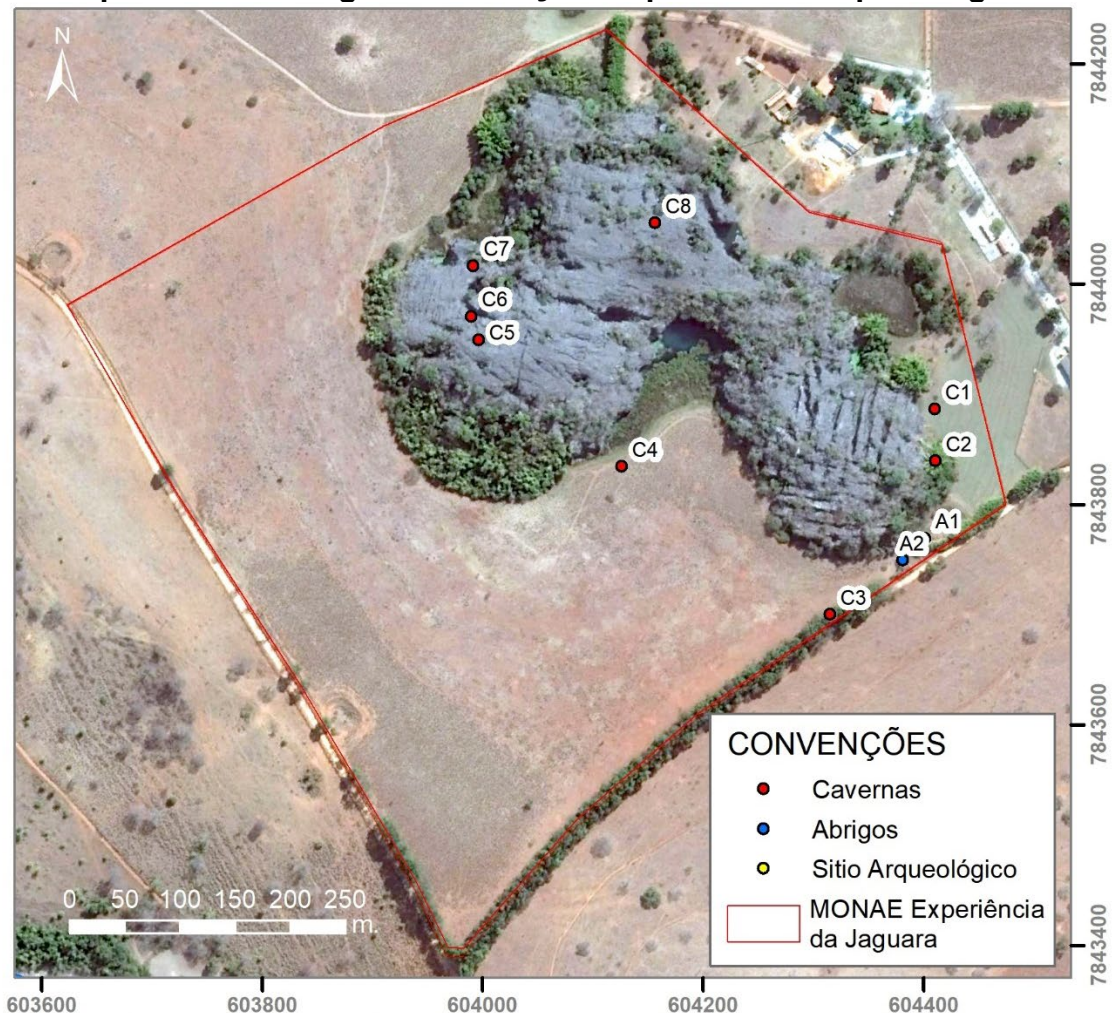
Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos do CNC (2018) e CANIE (2018).

Figura 15 - Aspectos do patrimônio espeleológico.



Fonte: Acervo pessoal. a) registro da inserção da caverna Gruta da Jaguará I na paisagem (2018) e b) detalhe da zona disfótica da Gruta da Jaguará I (2009).

Mapa 6 - Carta imagem da situação do patrimônio espeleológico.



Relação dos Pontos: C1 - Gruta da Jaguará I; C2 - Gruta da Jaguará II; C3 - Gruta da Coruja (Gruta do Balaio); C4 - Gruta da Inundação; C5 - Gruta do Vale Perdido; C6 - Gruta da Pedra Alta; C7 - Gruta do Portal; C8 - Gruta do Pomar; A1 - Abrigo Zum; A2 - Abrigo Zem.

Elaboração: Carlos Frederico Lott. Data: 14/02/2019. Base cartográfica digital: CANIE-CECAV (2018); CPRM (1994), Jarbas (2010), IEF (2017) e Imagem Satelital DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017). Sistema de Coordenadas: UTM. Datum: SIRGAS 2000 (Zona 23K).

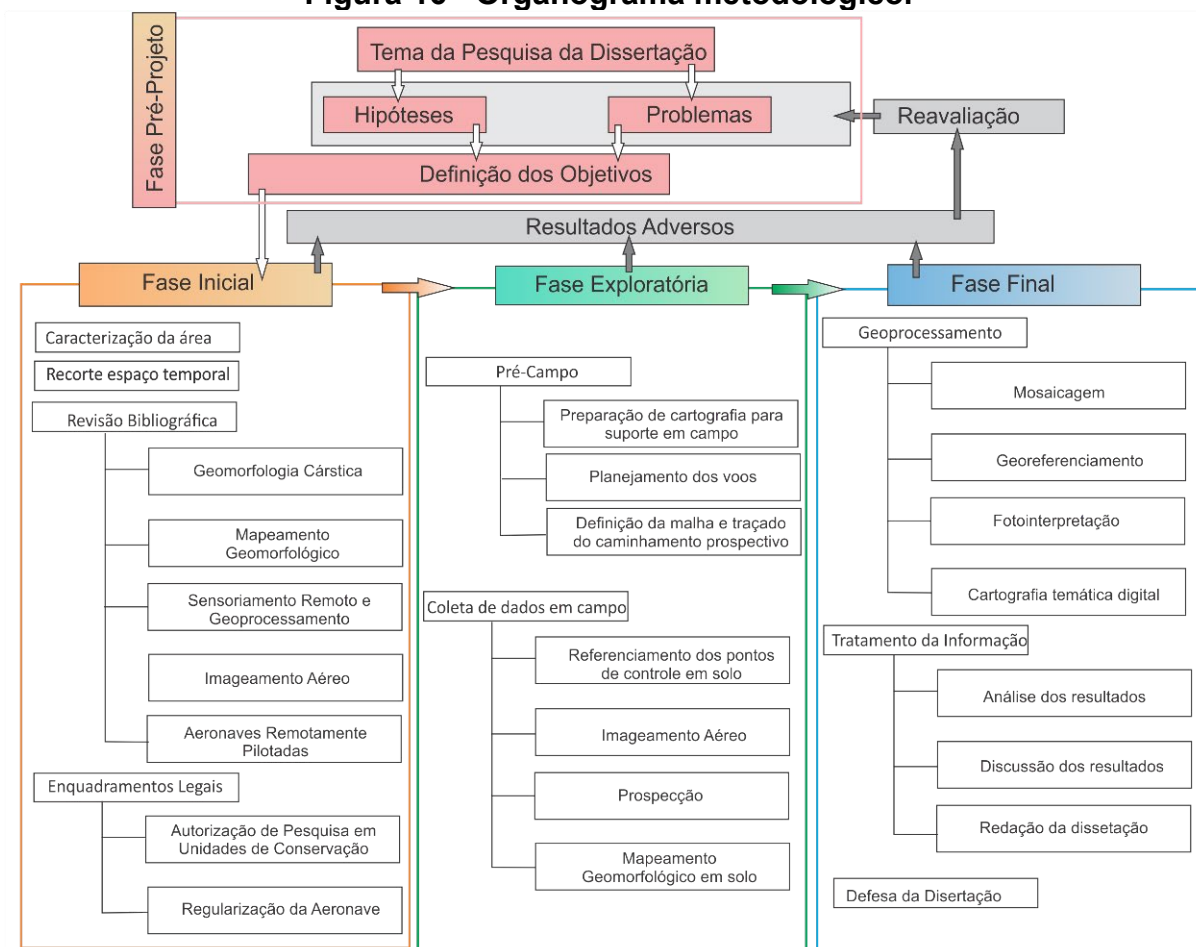
Fonte: Elaborado pelo autor.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo foi dividido quatro fases, cada qual com um conjunto de técnicas a serem aplicadas e etapas a serem vencidas conforme organograma apresentado na Figura 16.

O estado caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que essas “se destinam a aplicar leis, teorias e modelos, na solução de problemas que exigem ação e/ou diagnóstico de uma realidade” (SALOMON – 1999).

Figura 16 - Organograma metodológico.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As quatro primeiras etapas, contidas na fase pré-projeto, representaram a escolha do tema e foram trabalhadas na elaboração do projeto de pesquisa. O tema da pesquisa foi escolhido baseado nas afinidades do pesquisador com a temática e após a escolha do tema, os problemas e hipóteses foram discutidos com vistas ao delineamento dos objetivos geral e específicos.

4.1 Revisão Bibliográfica

Essa investigação foi baseada na literatura especializada, nacional e internacional e pode ser dividida em três grandes campos: a) Geomorfologia Cárstica, que deu suporte à fotointerpretação realizada nos estudos morfométricos; b) Imageamento da terra, que tratou dos conceitos de sensoriamento remoto, desde a aquisição de imagens aéreas e orbitais e aéreas até a elaboração dos produtos cartográficos finais, passando pelo processamento dessa informação nos diversos ambientes SIG e; c) Aeronaves Remotamente Pilotadas, que diz respeito à plataforma de obtenção de dados geoespaciais.

Nessa etapa ocorreram também os levantamentos dos dados primários de temáticas diversas, desde buscou-se desde normais climatológicas até geometrias vetoriais em formato *shapefile*, passando pela aquisição de imagens satelitais gratuitas, entre outros. Tais dados foram levantados nas seguintes fontes:

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE;
- Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC;
- Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais – CODEMIG;
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
- Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais – IEF/MG;
- Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM;
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM;
- Agência Nacional de Águas – ANA;
- The University of Auckland;
- Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE;
- Cadastro Nacional de Unidades de Conservação - CNUC;
- United States Geological Survey – USGS
- World Meteorological Organization – WMO
- Sociedade Brasileira de Espeleologia – SBE;
- Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas – CECAV;
- Rede de Meteorologia do Comando da Aeronáutica – REDEMET;
- Informações Aeronáuticas do Brasil – AISWEB;
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA.

4.2 Enquadramento Legal

Concomitantemente à etapa anterior, procedeu-se aos trâmites necessários para autorização de pesquisas em unidades de conservação conforme determinados pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF (ANEXO I). Dentre os documentos solicitados estão o Termo de Compromisso para Autorização de Pesquisa Científica e os cadastros de pesquisador, orientador, projeto de pesquisa em Unidade de Conservação e a carta de apresentação de projeto.

Ainda em relação a regularidade legal da pesquisa, foi necessário obter os registros e licenças necessários à operação de aeronaves remotamente pilotadas no espaço aéreo brasileiro. Para tanto foram realizados os procedimentos de cadastramento, regularização e solicitação de autorizações de voo junto aos órgãos competentes: a) Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC responsável pelo registro da aeronave utilizada na pesquisa através do Sistema de Aeronaves não Tripuladas - SISANT; b) Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA responsável por autorizar o ingresso no espaço aéreo através do Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas - SARPAS; c) Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL responsável pela homologação do enlace transmissor – TX / receptor – RX.

Ainda para a operação integralmente dentro da legalidade, foi contratado o Seguro de Responsabilidade do Explorador e Transportador Aeronáutico – RETA e para todos os voos foram elaborados a Avaliação do Risco Operacional conforme determinado pela Instrução Suplementar Nº E94-003 da ANAC.

Toda a operação foi realizada no enquadramento da classe 3, para aeronaves que operem na altitude máxima de 400 pés AGL (acima da linha do solo do inglês *above ground level*) e em condição VLOS (linha de visada visual do inglês *visual line of sight*) conforme previsto pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94/17.

4.3 Pré-Campo

O pré-campo consistiu em planejamento dos trabalhos que foram desenvolvidos na segunda fase da pesquisa, denominada fase exploratória. Toda preparação de equipamentos para os levantamentos geodésicos, desenvolvimento dos pontos de apoio, planejamento de voo e outros foram realizadas em gabinete,

com base em dados secundários como cartografias temáticas, tanto analógicas como digitais, incluindo mapas e arquivos vetoriais de solos, geomorfologia, limites físicos-políticos, ocorrência de cavernas, hidrografia e demais informações..

Também foram levantadas imagens orbitais de distribuição gratuita dos satélites LANDSAT8, Sentinel e CERBS, bem como as disponíveis no programa online de geovisualização Google Earth que utiliza imagens multiplataformas.

4.5 Campanhas de Campo

Para o desenvolvimento da pesquisa foram realizadas oito campanhas de campo (Tabela 3) entre os meses de julho de 2018 a fevereiro de 2019 sendo o primeiros deles destinado ao reconhecimento geral da área onde foram levantados os principais elementos encontrados na paisagem e realizado o confrontamento das informações adquiridas e interpretadas previamente na etapa anterior através dos dados primários disponíveis.

Nessa etapa ainda foram definidos os locais ideais para a instalação dos Pontos de Apoio – PAs, ponto esses que se dividem em pontos de controle para ortorretificação do imageamento aéreo - GCPs (*ground control point*) e pontos de conferência da precisão cartográfica – CPs (*Check Point*) que são utilizados nas etapas finais do processamento digital das imagens. Nessa etapa ainda foram definidos os Pontos de Monitoramento Aéreo Obliquo – PMAOs.

Tabela 3 - Síntese das campanhas de campo.

Datas	Atividade Desenvolvida	Autorização DECEA
03/07/2018	Definição do P-MAOs	não se aplica
	Identificação dos pontos ideais para instalação do PAs.	
05/07/2018	Instalação dos PAs.	não se aplica
17/07/2018	Voo de imageamento aéreo obliquo sistematizado	#AE3500
06/08/2018	1° Imageamento aéreo.	#2CA4B6
03/10/2018	2° Imageamento aéreo.	#5C1ADE
27/11/2018	Georreferenciamento de precisão do PAs.	não se aplica
21/02/2019	Instalação de PAs complementares.	não se aplica
	Georreferenciamento de precisão do PAs complementares.	
25/02/2019	3° Imageamento aéreo.	#97D31F

Fonte: Elaborado pelo autor.

Cabe destacar que devido aos atrasos na aquisição de algumas das autorizações, juntamente com um longo período de reparo necessário à única

aeronave da pesquisa que se acidentou durante as operações, os ensaios relacionados ao monitoramento com suporte de imageamento oblíquo sistematizado que inicialmente se pretendia realizar com resolução bimestral não ocorreram. Entretanto os dados gerados no único ensaio serviram para fomentar importantes discussões sobre a efetividade das RPAs para os estudos da paisagem e, dessa maneira, os mesmos serão apresentados nas discussões dos resultados.

Nessa primeira campanha foram planejados os locais para instalação dos pontos de apoio respeitando-se uma distribuição mínima como determina a NBR 13133 que trata dos apoios geodésicos planialtimétricos (ABNT, 1994).

Atenção especial a essa escolha deve ser dispendida no início de qualquer estudo pois são esses pontos que formarão o sólido de fotografias georreferenciadas de onde serão extraídos os modelos digitais de elevação – MDE e de terreno – MDT, ortofotografias, curvas de nível e as geometrias das morfológicas encontradas em terreno (JENSEN, 2009). Tal importância relaciona-se com a qualidade dos dados que entrarão nos SIGs tendo em vista que “em modelos com base físicas, todos os valores dos parâmetros são derivados de mensurações de campo, de modo que nenhum deles pode ser variabilizado para melhorar a eficiência (CHRISTOFOLETTI, 1999).

No campo subsequente ocorreu a instalação dos pontos de apoio e os voos para imageamento oblíquo sistematizado.

a) Pontos de Apoio

Usualmente os Pontos de Apoio – PAs são materializados em campo de maneira não fixa, com a inscrição à base giz agrícola, cal virgem, com anteparas apoiadas diretamente ao solo como pedaços de madeira ou azulejos, ou ainda com pedaços de cartolina ou tecido.

Entretanto essas técnicas estão relacionadas com mapeamentos únicos ou com taxas de revisitas muito altas, de maneira que o custo de realizar um novo levantamento geodésico dos PAs é mais vantajoso que o trabalho de fixá-los ao solo.

Entretanto, como esse ensaio pretendia realizar um monitoramento com resolução temporal bimestral e dependia de locação de equipamentos GNSS pós processados, optou-se por fixá-los ao solo de maneira a garantir a rigidez

locacional, a precisão e a acurácia necessária aos procedimentos científicos-metodológicos.

Tal estratégia se revelou fundamental uma vez que houve tanto a necessidade de se realizar novos voos de imageamento quanto a necessidade de se instalar dois PAs complementares, perfazendo um total de 18 pontos de apoio distribuídos em 05 pontos de controle - GCPs, 08 pontos de checagem - CPs e 05 pontos de monitoramento aéreo oblíquo - PMAOs. (Tabela 4) (Mapa 6)

Tabela 4 - Relação dos pontos de controle.

Pontos	Coordenadas Projetadas			Pontos	Coordenadas Projetadas		
	E	N	Altitude		E	N	Altitude
GCP-01	604174	7843763	651	CP-05	604459	7844015	655
GCP-02	603983	7843769	651	CP-06	604431	7844060	655
GCP-03	603889	7844060	650	CP-07	604429	7844100	655
GCP-04	604119	7844246	645	CP-08	604331	7844205	654
GCP-05	604417	7843931	648	PMAO-01	604499	7843902	653
CP-01	603839	7843948	658	PMAO-02	604282	7843699	653
CP-02	604093	7843750	648	PMAO-03	603872	7843805	651
CP-03	604481	7843842	653	PMAO-04	603854	7844117	645
CP-04	604511	7843957	656	PMAO-05	604082	7844224	658

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fixação dos mesmos em solo ocorreu com o auxílio de canos de alumínio de 1-1/4 pol. *Schedule* de 1,5 metros que foram fixados no solo em covas de 1 metro com enterramento extra de mais 20 centímetros por impacto. A porção de 30 centímetros para fora da terra é a base utilizada para instalação dos alvos nos dias dos voos para imageamento (Figura 17).

Figura 17 - Registro do processo de instalação das bases fixas para PAs.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Mapa 7 - Carta imagem de situação dos pontos de apoio geodésicos.



CONVENÇÕES

- GCPs - Pontos de controle
- PCs - Pontos de check
- PMAO - Pontos de monitoramento aéreo oblíquo
- MONAE Experiência da Jaguará

Elaboração: Carlos Frederico Lott. Data: 20/02/2019. Base cartográfica digital: Instituto Estadual de Florestas (2017) e Imagem Satelital DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017). Sistema de Coordenadas: UTM. Datum: SIRGAS 2000 (Fuso 23K).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para otimizar os trabalhos de campo, usualmente são utilizadas construções com ângulos retos, sinalizações horizontais de trânsito ou estruturas que possam ser facilmente fotoidentificadas em ambiente SIG. Dessa maneira foram utilizados marcos físicos já existentes na área como mourões de cerca onde as bases dos alvos foram fixadas com abraçadeiras de *nylon* do tipo *hellermann*®. O acoplamento do alvo à base se deu através de um suporte inferior confeccionado com perfis e tarugos de aço carbono de maneira a proporcionar um encaixe do tipo baioneta nas bases fixas (Figura 18).

Figura 18 - Detalhes da instalação dos alvos nos PAs – Protótipo 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A experiência em campo revelou que essa etapa é mais trabalhosa e demorada que as etapas de voo, que ocorrem de maneira muito automatizada, e deixou claro que os pontos de controle devem, além da rigidez locacional, possuir usabilidade e visibilidade adequadas.

No quesito usabilidade, o primeiro protótipo revelou ser inadequado devido ao peso excessivo e ao grande tamanho nos deslocamentos uma vez que esses foram confeccionados com material sintético MDF (*Medium Density Fiberboard*) e são rígidos e muito volumosos.

Mediante a dificuldade de transporte durante o caminhamento, um segundo protótipo desmontável foi desenvolvido. A confecção foi com materiais mais leves como perfis de alumínio e vinil (Figura 19) e os testes em campo demonstraram mais praticidade no transporte uma vez que os mesmos são desmontáveis e cabem em uma mochila. Essa característica de portabilidade é desejável principalmente em áreas remotas onde sejam necessários grandes deslocamentos a pé.

Figura 19 - Detalhes da instalação dos alvos nos PAs – Protótipo 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao buscar alternativas físicas para utilizar como ponto de apoio na expectativa de redução de custos financeiros e de tempo, surge a necessidade de acrescentar mais medidas nos cálculos diferenciais de aquisição de altitudes ortométrica. Essa alternativa se mostrou crítica uma vez que tais medidas adicionais são coletadas com trenas convencionais e com precisão inferior ao levantamento geodésico de precisão e isso pode significar aumentos significativos dos erros médios quadráticos – RMSE (*Root Mean Square Error*).

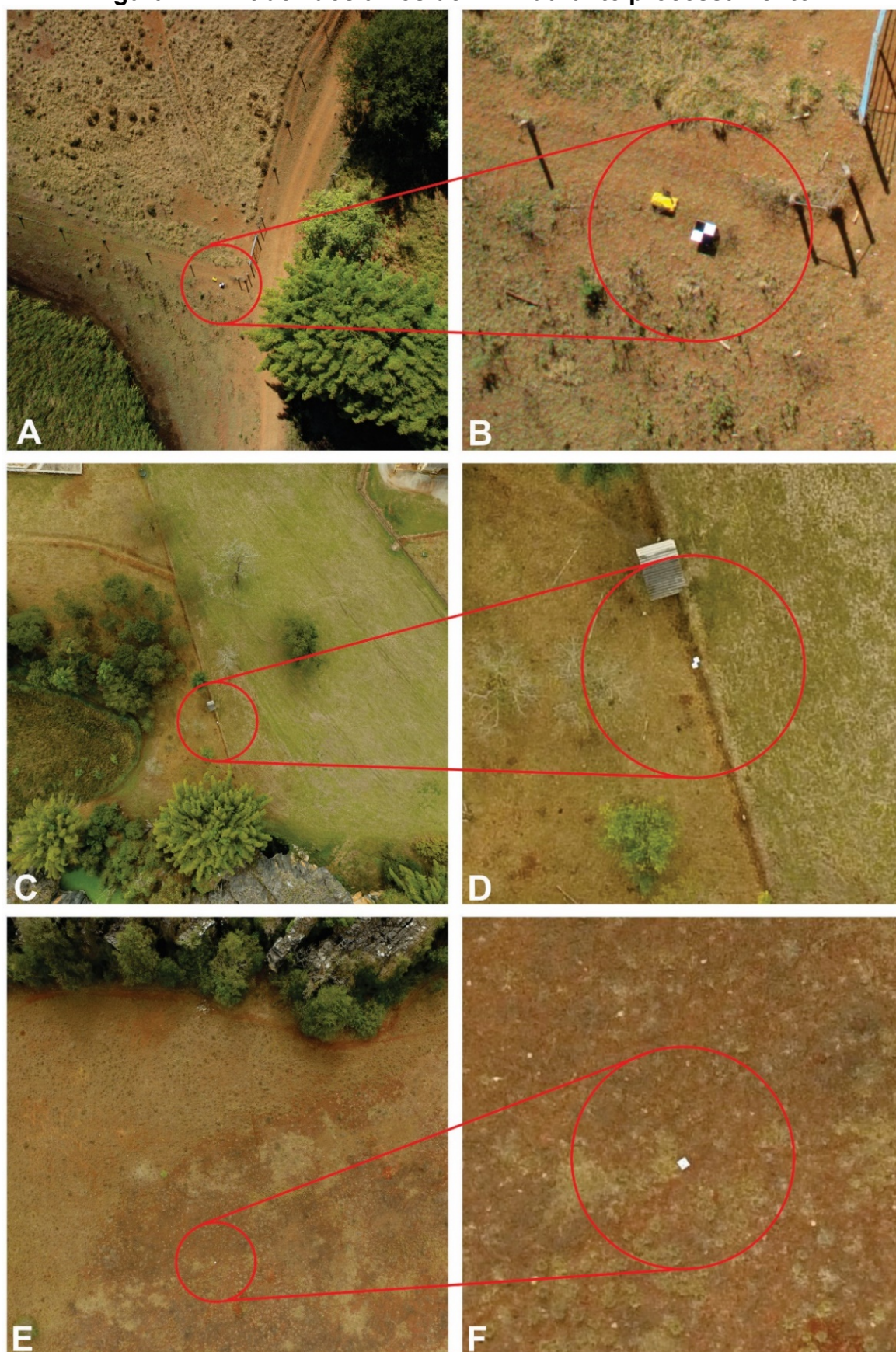
Quanto ao quesito visibilidade e nitidez, o primeiro protótipo foi pintado em formato quadriculado nas cores preto e branco com tinta fosca e o segundo recebeu impressão igualmente preto e branca, entretanto, a albedo do vinil se revelou mais elevada e a elevada reflectância em alguns casos a superexposição fotográfica eliminou toda a informação do arquivo digital (Figura 20). Outros materiais ou cores com albedos mais baixos devem ser encontradas pois os *softwares* trabalham com similaridades e vizinhança e a nitidez é preponderante (Figura 21).

Figura 20 - Reflectância dos alvos de vinil durante processamento.



Fonte: Captura de tela durante o processamento no *AGisoft photoscan*.

Figura 21 - Nitidez dos alvos de MDF durante processamento.



Fonte: Captura de tela durante o processamento no *Adobe Photoshop*.

No que diz respeito à nitidez, o primeiro protótipo a 50 metros de altitude apresentou uma boa resposta para a resolução espacial de 2,7 cm/pix (Figura 21 A e B). Já o mesmo protótipo à 120 m. não apresentou resultados tão bons para a resolução espacial atingida de 6,56 cm/pix. Ainda é possível identificar o centro do alvo, entretanto, com menor precisão devido à superexposição das partes brancas (Figura 21 C e D). Já o segundo protótipo apresentou resultado muito baixo em termos de nitidez devido à grande superexposição das partes brancas (Figura 21 E e F).

b) Inventariamento aéreo oblíquo sistematizado

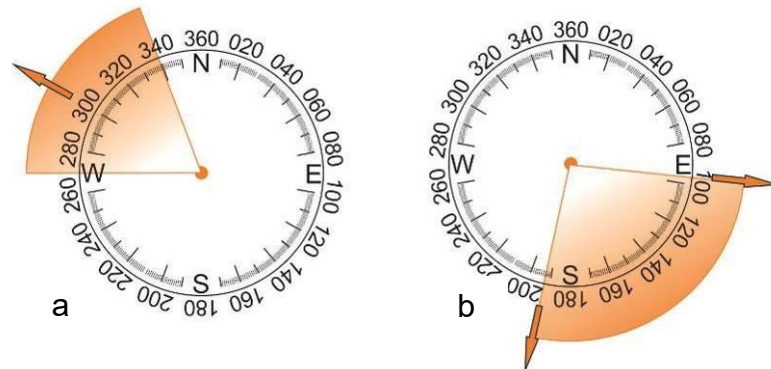
No terceiro campo foi realizado um ensaio de imageamento oblíquo sistematizado que avaliou a efetividade das RPAs nesse tipo aplicação. Importante destacar que residem diferenças significativas entre as fotografias aéreas oblíquas aleatórias e o levantamento sistematizado, principalmente no tocante às investigações posteriores em gabinete.

Tal investigação em ambiente computacional requer, reproduzir o ponto de tomada das imagens e orientá-los em ambiente computacional sobre as imagens satelitais ou sobre as ortofotografias. Saber o posicionamento exato da tomada da imagem com as informações de altitude e distância em relação ao motivo imageado são fundamentais para que não ocorram interpretações erradas em função de perspectivas forçadas, por exemplo.

Para tanto todo o inventariamento fotográfico foi georreferenciado com o uso de receptores satelitais L1 modelo GPSmap 62s (Garmim) e bússola com limbo móvel modelo KB 14 (Sunnto). Apesar das fotografias do RPAs vir com os metadados do sistema inercial da aeronave IMU (*inertial measurement unit*) essas informações auxiliaram na construção de um banco de metadados geográficos para a futura utilização de tais fotografias.

No banco de imagens oblíquas gerados nessa pesquisa, cada arquivo possui as informações do rumo em que a imagem foi coletada. Esses podem ser um ângulo único (ex. foto017_300) ou duplo (ex. foto032_095185) sendo que, no primeiro caso é representado o rumo central da fotografia (Figura 22a) e no segundo representado os rumos referentes às extremidades de uma fotografia panorâmica que é referente a mosaicagem de duas ou mais fotografias (Figura 22b).

Figura 22 - Esquema de representação do ângulo de visada das fotografias.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 23 representa um dos registros fotográficos realizados no antigo ponto H01 referente ao registro fotográfico de um afloramento rochoso. Na referida ilustração, à esquerda, temos um esquema ilustrativo do rumo da foto. Na imagem satelital, ao centro, vemos a inserção aproximada da mesma na paisagem e o motivo enquadrado na cena. À direita é observado o resultado fotográfico onde é possível identificar o enquadramento geral do motivo.

Figura 23 - Exemplo de registro fotográfico no ponto de monitoramento H1.



Fonte: Elaborado pelo autor com suporte da imagem satelital DigitalGlobe/Google Earth (2017).

De maneira geral, quando são utilizados recursos digitais de aproximação da imagem (zoom) em ambiente computacional, vários elementos da paisagem são revelados como paredão calcário, entrada de caverna, lapiezamento, níveis de fraturas entre outros. Dependendo da resolução da câmera utilizada e da teleobjetiva aproximações podem ser realizadas ao nível de detalhe centimétrico em locais de difícil acesso.

Essas possibilidades serão abordadas nas discussões sobre os resultados, mas cabe ressaltar que o método só é efetivo quando as imagens são georreferenciadas e armazenadas ou disponibilizadas sempre com os metadados.

c) Posicionamento por Ponto Preciso.

O campo para o levantamento geodésico de alta precisão foi realizado no sexto campo e, apesar de já terem ocorridos imageamentos nos dois campos anteriores, essa coleta de dados tardia não afetou os resultados. Isso porque ao se optar por trabalhar com pontos de apoio geodésico planialtimétrico fixos, pode-se coletar tais dados a qualquer momento antes do processamento.

Todas as coletas de dados geodésicos desse trabalho foram realizadas com base no elipsoide legal para o Brasil, SIRGAS 2000 e para a tomada delas foi utilizado em receptor GNSS pós-processado modelo X90R do fabricante CHC. Foi utilizado o sistema de Posicionamento por Ponto Preciso – PPP que fornece precisão centimétrica. Entretanto é necessário períodos de aquisição de dados longos e processamentos posteriores.

Figura 24 - Tipos de receptores satelitais GNSS.



Fonte: Elaborado pelo autor. a) receptor Garmin GPS Map 64s; b) receptor CHC X91R; c) e d) aspectos dos trabalhos de campos com geotecnologias integradas.

Essa diferença de precisão está diretamente relacionada com a capacidade de recepção de sinais provenientes das constelações satelitais. Enquanto o modelo utilizado em campo (Garmin GPS Map 64s), geralmente chamado de “portátil” ou “de navegação”, é mono frequência, recebe apenas a portadora L1 e capta apenas 12 satélites das constelações GPS e GLONASS, o modelo pós processado é de múltipla frequência, com capacidade de captar 216 canais paralelos habilitados para rastrear e gravar os sinais dos sistemas GPS captando as portadoras L1, L2, L2C e L5 e o sistema GLONASS captando as portadoras L1 e L2.

d) Operação aérea

Para o planejamento e execução do voo foi utilizado o software *DroneDeploy* (Figura 25 a, b) na versão para o sistema operacional IOS da Apple. A plataforma para gerenciamento de voo escolhida foi o *tablet Ipad Air 2 64gb* (Figura 25 a). Os voos foram realizados em alturas que variaram de 50 a 200 pés (15 a 60 metros) para os voos de imageamento aéreo oblíquo e de 200 a 400 pés (60 a 120 metros) para os voos de imageamento aéreo nadiral.

Para essas altitudes e com as especificações da câmera embarcada é possível atingir resoluções espaciais alcançadas entre 1,5 a 4,4 centímetros por *pixel* dependendo da altura de voo (Tabela 5).

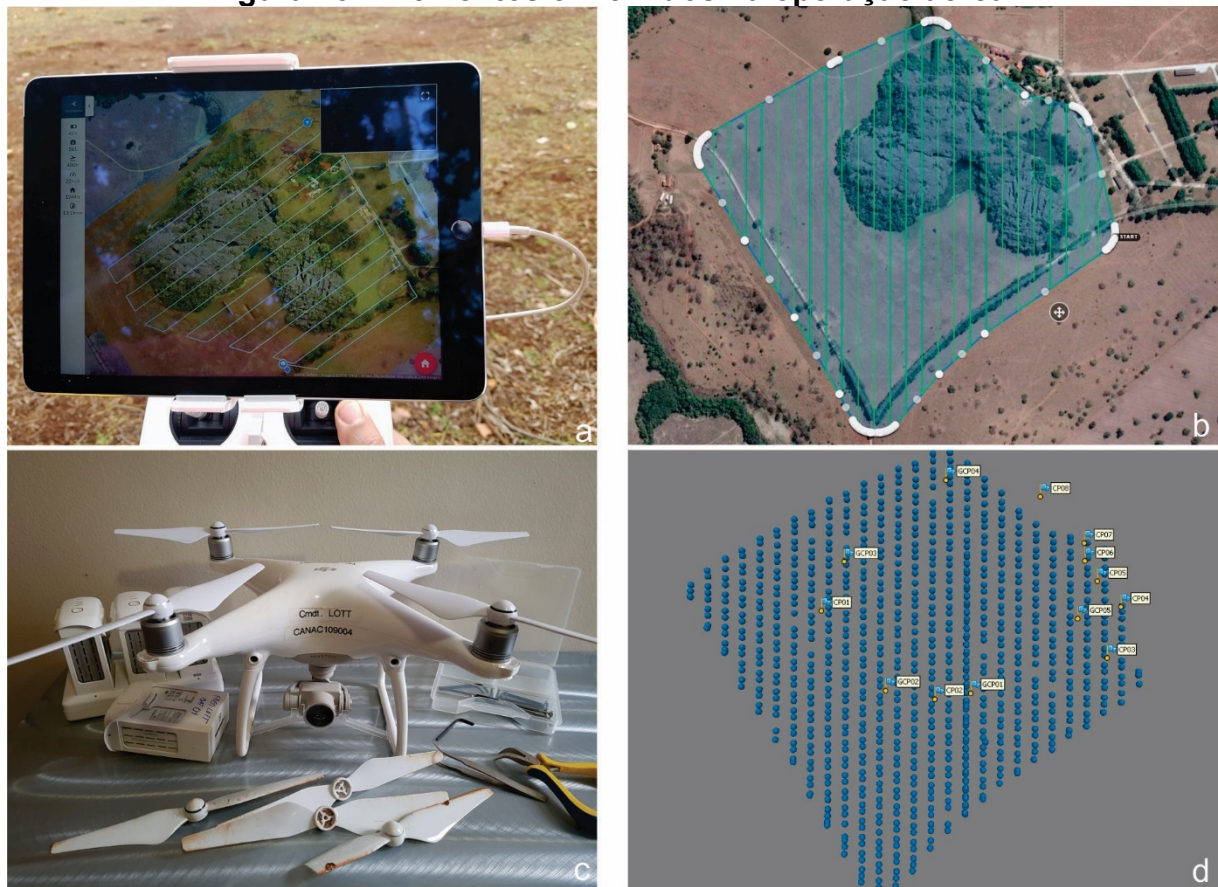
A aeronave utilizada foi um quadricóptero modelo *Phantom 4* da fabricante DJI (Figura 25c) peso total de decolagem de 1,380 kg, autonomia de voo de 28 minutos em condições ISA alimentada por bateria LiPo de 15.2V e 5.350 mAh. O equipamento opera com enlace de 2.4 GHz a 2.483 GHz e possui sistema inercial de navegação GNSS com capacidade de operar na portadora L1 das constelações GPS / GLONASS e cruza com velocidade de solo de 35 nós (64,8 km/h).

Tabela 5 - Grandezas envolvidas no imageamento aéreo.

Atura de voo	Res. Espacial	TEV. (min.)	Nº de imagens	Volume de Inf. (Gb)
100 ft.	1,5 cm/px	216	4807	819,7
200 ft.	2,6 cm/px	60	1205	205,5
300 ft.	3,7 cm/px	30	536	11,7
400 ft.	4,4 cm/px	19	303	6,6

Fonte: Elaborado pelo autor. TEV = Tempo Estimado de Voo.

Figura 25 - Elementos envolvidos na operação aérea.



Fonte: Elaborado pelo autor. a) retrato da plataforma de controle; b) captura de tela do planejamento de voo no software *DroneDeploy*; c) retrato da aeronave utilizada na bancada de manutenção e; d) captura de tela do *AGisoft photosca* com a distribuição de fotos após aquisição com base no planejamento de voo.

A escolha da resolução impacta fortemente no tempo estimado de voo – TEV, o que representa esforço estrutural generalizado na aeronave quando, por exemplo, um voo à 100 pés (30,5 m) para cobrir a área de pesquisa de 26 ha necessita de 11 voos ao passo que a 400 pés apenas 2.

O impacto no volume de informação gerado também é significativo o que reflete em maior tempo de processamento e maiores chances de erros acumulativos. Dessa maneira a escolha da resolução deve ser pensada em termos de ganhos efetivos uma vez que os riscos de erros no processamento das imagens aumentam de maneira diretamente proporcional ao aumento da resolução espacial.

Para a confecção do mapa morfométrico foi escolhida a altitude de voo de 200 pés com uma malha de recobrimento frontal de 75% (*frontlap*) e lateral de 65% (*sidelap*). Destaca-se que quanto maior o recobrimento mais fácil o processamento

digital das imagens bem como proporciona maior segurança na cobertura das bordas em caso de imagens danificadas.

4.6 Geoprocessamento

As etapas apresentadas a seguir representam as etapas de pós-processamento e correspondem a última fase do fluxograma metodológico.

Nessa etapa foram aplicadas técnicas para processamento dos dados primários e para o tratamento e mosaicagem das imagens geradas no imageamento aéreo foram utilizados os *softwares Adobe Photoshop® CC 1018* e *Agisoft Photoscan® 1.4.5*.

A fotointerpretação, delimitação das feições geomorfológicas, o delineamento das geometrias e as medições morfométricas foram realizadas no *software ArcGis® 10.1*.

a) Pós processamento dos dados geodésicos

Os dados coletados em campo foram submetidos ao Posicionamento por Ponto Preciso - PPP do IBGE, uma vez que procedimentos de correção diferencial, especialmente os relativos às cotas altimétricas (eixo Z) são necessários. Isso porque a distância que os receptores GNSS medem são em relação ao elipsoide, e nos entregam uma altitude geométrica ou elipsoidal (h) e a que é necessária para o geoprocessamento é a altitude ortométrica ou geoidal que se relaciona com o nível médio do mar. (JENSEN, 2009). Para tanto precisamos subtrair a ondulação geoidal (N) dos dados coletados em campo o que é feito pelo PPP do IBGE que possui esse modelo matemático atualizado e distribui os parâmetros de correção.

Após coletados os dados em campo, os mesmos foram convertidos do formato proprietário do receptor GNSS para um arquivo KNEX, formato oficial do IBGE. Os resultados obtidos nos três levantamentos geodésicos computaram uma ondulação geoidal para a região de 7,75 metros (ANEXOS II, III e III) e o levantamento se enquadra na classe de precisão planimétrica de 0,017cm. e altimétrica de 0,018 cm pois foi processado em na frequência L3 com um tempo superior a 2 horas (Tabela 06).

Tabela 6 - Precisão esperada para um levantamento estático (m.).

Tempo de coleta	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

Fonte: Elaborado pelo autor com dados extraídos de (IBGE, 2017)

b) Cartografia Digital e SIG

Toda a Cartografia Digital foi desenvolvida no *software Arcis 10.1* utilizando a projeção do sistema geodésico SIRGAS 2000 que é o sistema legal brasileiro desde 2015. Para as cartografias de contextualização regionais em escalas menores foi trabalhado com o sistema de coordenadas geográficas esféricas e para as cartografias de caráter regional e local o sistema de coordenadas planas projetadas UTM de maneira a facilitar a navegação em campo com o auxílio da cartografia produzida. (Tabela 7)

Tabela 7 - Síntese de escalas e projeções utilizadas na cartografia.

Escala	Projeção	Finalidade
1:1.200.000	Geográfica esférica	Contextualização Regional
1:300.000	Geográfica esférica	Contextualização Regional
1:10.000	Plana - UTM	Contextualização Local
1:5.000	Plana - UTM	Contextualização Local
1:3.500	Plana - UTM	Mapeamento Morfométrico

Fonte: Elaborado pelo autor.

c) Processamento Digital de Imagens

Com a finalidade de responder a pergunta central sobre a viabilidade do uso de RPAs nos mapeamentos morfométricos, foi realizado um ensaio comparando a imagem adquirida com o imageamento em campo e as de satélites com distribuição gratuita.

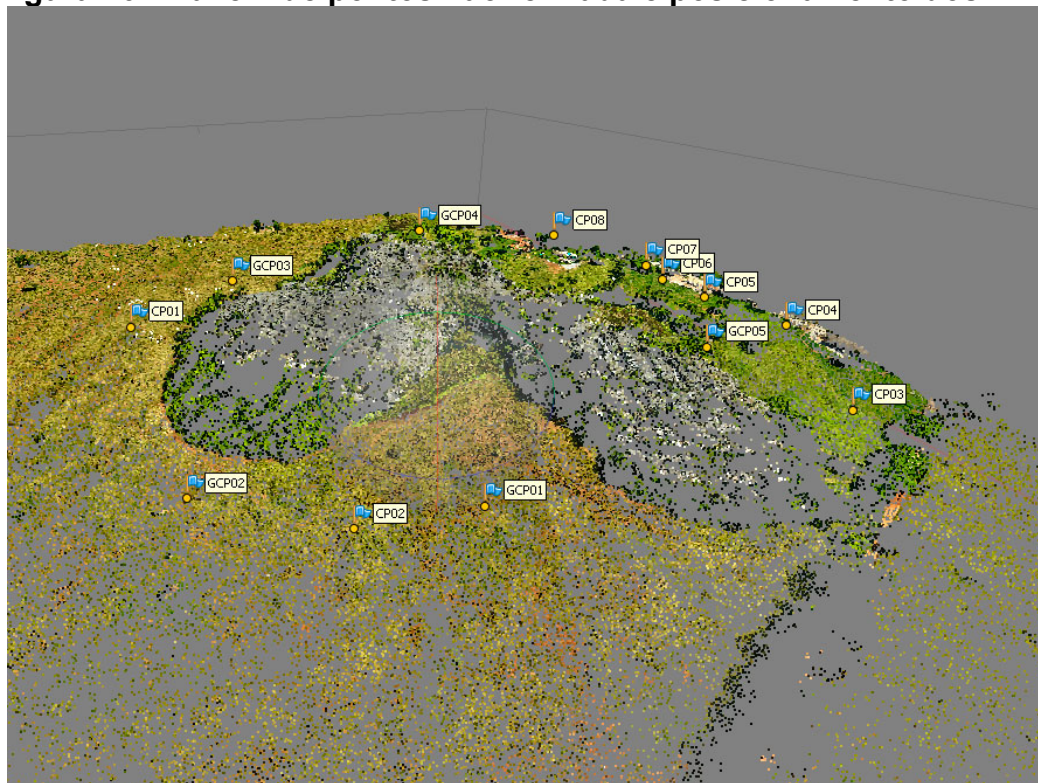
Das imagens satelitais disponíveis gratuitamente fornecidas pelo INPE, aquelas que serviriam como base para a fotointerpretação e extração das geometrias que seriam compradas com a ortofotografia gerada pela RPA eram as dos satélites CERBS-4, SENTINEL e LANDSAT8. Esses satélites entregam

resoluções espacial na composição PAN/MULTI de 10, 15 e 30 metros/pixel, respectivamente. Já as imagens do Google Earth para a área, que são fornecidas pela *DigitalGlobe*, possuem composições multi-sensores dos satélites da família *WorldView* e entregam resolução de 15 metros/pixel.

Como as diferenças de resolução entre os sensores satelitais e a ortofotografia do RPA são muito grandes, sendo as primeiras na ordem decamétrica e as do RPA na ordem centimétrica, optou-se por fotointerpretar apenas a imagem DigitalGlobe. Além da resolução, outro critério favorece essa escolha é a popularidade de uso da plataforma Google Earth, e nesse quesito a imagens fornecidas pelo Google Earth se configuram como a mais utilizada no mundo (BROTTON, 2014).

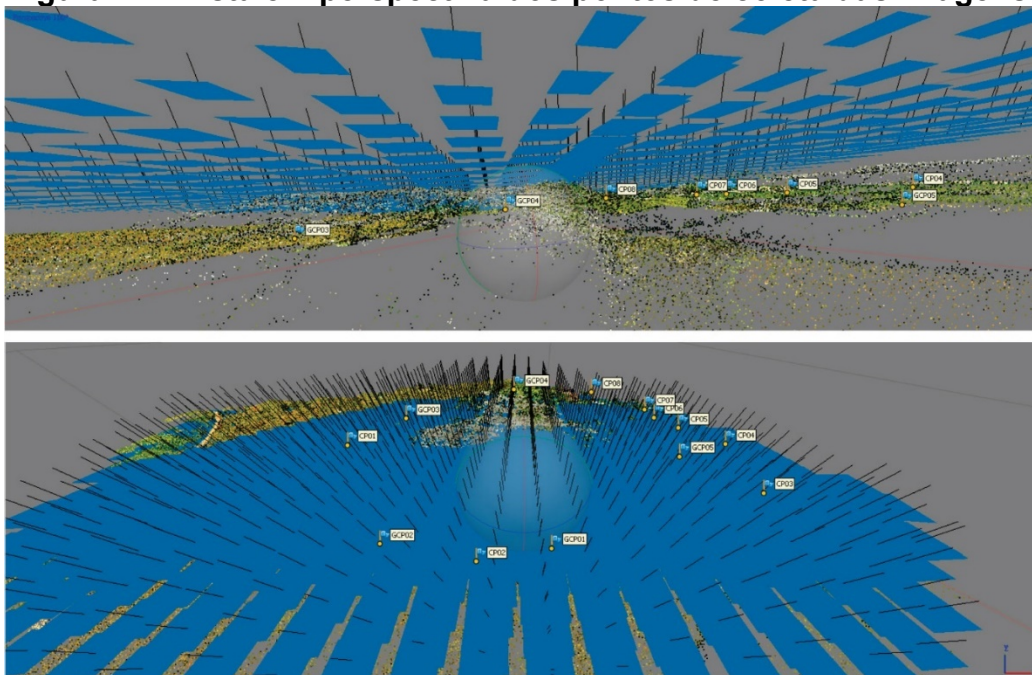
Já para as ortofotografias, o tratamento das mesmas pós-coleta foi no *software Agisoft Photoscan*. Nele foram gerados o ortofotomosaico, MDT, MDE, curvas de nível e modelo 3D. Nas fases iniciais ocorrem calibrações diversas na formação das nuvens de pontos (Figura 26) baseada nos dados geodésicos dos pontos de apoio e na construção do sólido de imagens (Figura 27).

Figura 26 - Nuvem de pontos não refinada e posicionamento dos PAs.



Fonte: Captura de tela durante o processamento no *software Agisoft Photoscan*® 1.4.5.

Figura 27 - Vista em perspectiva dos pontos de coleta das imagens.



Fonte: Captura de tela durante o processamento no software *Agisoft Photoscan*® 1.4.5.

Após todas as etapas do processamento é gerado um relatório contendo informações como, por exemplo, a resolução espacial atingida e a precisão do georreferenciamento da imagem (Figura 28). No caso do imageamento realizado, a resolução alcançada foi próxima da esperada, 2.62 cm/pix, entretanto os valores de erro médio quadrático ficaram muito acima do esperado (Tabela 8).

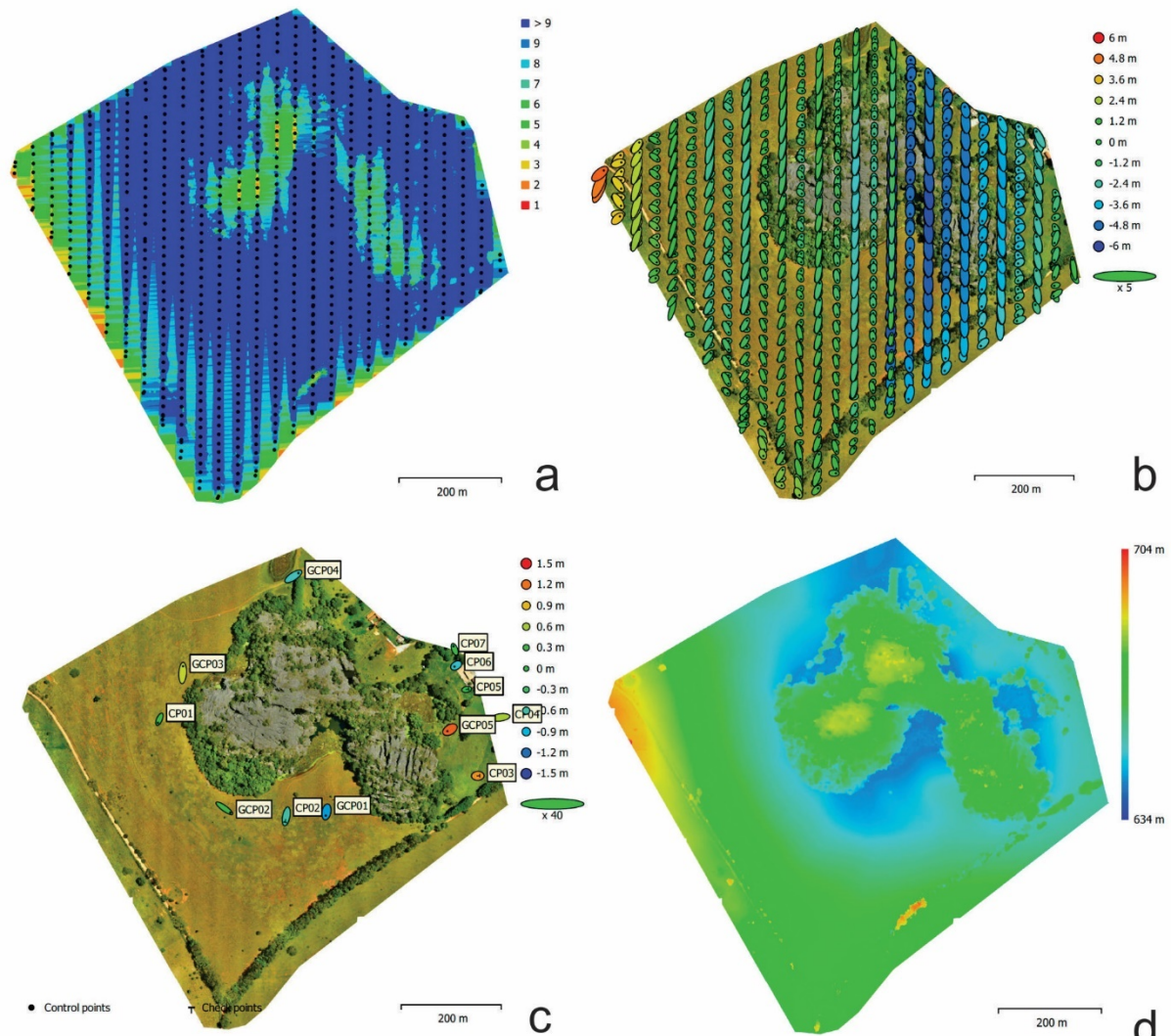
Acredita-se que esses erros tenham ocorrido devido a escolha de alguns pontos de controle inadequados, especialmente aqueles instalados em cima de mourões pois para alvos mais elevados os efeitos de paralaxe são mais deletérios o que altera toda a conformação do sólido de imagens.

Tabela 8 - Erros médios quadráticos – RMSE.

RMSE para os pontos de controle (cm)					
Número	X error	Y error	Z error	XY error	Total
5	35.2929	35.8877	71.142	50.334	87.1476
RMSE para os pontos de check (cm)					
Número	X error	Y error	Z error	XY error	Total
6	3 16.6726	33.5679	70.7716	37.4803	80.0837

Fonte: Elaborado com os dados do relatório de processamento.

Figura 28 - Representação gráfica dos principais resultados.



Fonte: Elaborado com os dados do relatório de processamento. a) localização das câmeras; b) localização das câmeras com os erros estimados; c) pontos de apoio com os erros estimados e; d) modelo digital de elevação reconstruído.

d) Imagens satelitais comerciais

Além da investigação dos eventuais ganhos em detalhamento relacionados à resolução espacial das imagens satelitais de fornecimento gratuito e as geradas por RPAs, essa pesquisa se propôs a compreender aspectos de viabilidade econômica do uso das RPAs em relação às imagens de alta resolução fornecidas por operadoras satelitais comerciais.

Dessa maneira foram realizados orçamentos e consultas às principais empresas de fornecimento desse tipo de material. As informações relacionadas às áreas maiores serviram para criar uma matriz de área imageada versus custo que serviu de bases para delimitação efetiva do uso do RPAs.

Importantes observações sobre as regras dessas operadoras são fundamentais para a compreensão dos limites do uso dessas imagens como:

a) As áreas de interesse (cenas) mínimas para resolução espacial de um metro por *pixel* é de 25 km². A relação resolução espacial versus cena é diretamente proporcional, sendo assim, quanto maior a resolução espacial maior o tamanho das cenas.

c) Os valores das cenas variam em função do grau de recobrimento de nuvens, sendo uma relação inversamente proporcional onde, quanto maior o recobrimento ou menor o valor da imagem.

b) Os valores das cenas variam entre imagens já geradas disponíveis em banco de imagens ou imagens programadas (aquelas que ainda serão adquiridas). O valor médio das cenas encomendadas é 5,6 vezes mais alto do que as de banco de imagens.

d) As imagens programadas dependem de condições meteorológicas muito favoráveis e da frequência de revisita dos satélites. Sendo assim, as operadoras de satélite se limitam a fornecer cenas de determinadas janelas de tempo e não em datas específicas, sendo ainda que garantem uma cobertura mínima de nuvens apenas de 10 a 15%. Para áreas muito pequenas como no caso do NONAE, esse percentual pode representar a ocultação integral do objeto de pesquisa.

Durante a elaboração dos orçamentos das cenas programadas, foi simulado um monitoramento trimestral de um ano com quatro cenas ao todo. Os fornecedores informaram que não poderiam garantir essa periodicidade justamente devido às questões meteorológicas.

Foram realizados orçamento em quatro empresas de fornecimento de imagens satelitais, exclusivamente no Brasil. A variação de valor é relativamente pequena, sendo o valor médio de uma única cena para a área de estudo é de R\$ 3.500, 00 (três mil e quinhentos reais).

4.7 Cuidados éticos

Toda a pesquisa foi pautada em cuidados éticos atinentes à tutela jurídica da privacidade e do direito patrimonial. Para tanto foram tomados cuidados em relação aos direitos autorais, da personalidade (imagem própria), da privacidade de propriedades privadas e da inviolabilidade das correspondências.

Dessa maneira a pesquisa foi conduzida observando-se os seguintes cuidados éticos: a) Preservação da imagem dos colaboradores voluntários: em relação à exposição indevida de imagens, todos os cuidados necessários para a preservação das imagens dos voluntários serão tomados e quando essas foram exibidas, serão sob expressa autorização dos voluntários; b) preservação da privacidade de propriedade privada: apesar de parte da propriedade privada estar visível nas imagens satelitais do DigitalGlobe/Google, optou-se por encobrir as áreas que correspondem à sede da fazenda e suas áreas de recreação e; c) sigilo das negociações comerciais: os orçamentos e demais consultas sobre as imagens satelitais comerciais foram realizadas com empresas privadas, envolvendo comunicações nominais com o corpo técnico das mesmas, e para não incorrer em nenhum tipo de quebra de sigilo, a presente pesquisa suprimiu qualquer tipo de informação que possa identificar as mesmas.

5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados discutidos foram obtidos a partir das imagens aéreas oblíquas e da comparação entre o processo de fotointerpretação e vetorização de morfologias de uma imagem satelital DigitalGlobe/Google e do ortofotomosaico gerado pela RPA bem como da comparação quantitativa das morfologias encontradas.

5.1 Perspectivas Oblíquas

Uma das possibilidades de emprego das RPAs é a investigação da paisagem através de fotografias aéreas oblíquas que, no presente trabalho, representou uma melhora na identificação das morfologias em campo refletindo em melhora nas análises morfométricas.

Tal melhora é possível porque com a mudança de perspectiva das fotografias ocorre tanto a eliminação de barreiras entre ponto de observação e o motivo observado, quando a revelação de espaços intersticiais que são exibidos quando algumas dessas barreiras são vencidas.

Tais fotografias foram realizadas em todos os Pontos de Monitoramento Aéreos Oblíquos, em altitudes padronizadas com equidistância de 10 metros até o teto máximo de 50 metros. Devido ao volume de informações, apenas o PMAO-05 foi utilizado para ilustrar a pesquisa. Na Figura 29 é possível observar na parte superior a inserção da fotografia georreferenciada na paisagem e é possível identificar que a mesma foi realizada a partir do ponto com visada para SE, na direção do afloramento calcário, em região de extrema exuberância vegetal.

Na análise desse ponto a primeira fotografia (Figura 29a) exibe apenas uma vegetação exuberante que obstrui completamente a visão do afloramento calcário.

Conforme pode-se perceber ao longo da análise das fotografias, o uso da RPA proporcionou uma mudança de perspectiva. O ensaio foi realizado de maneira escalonada sendo realizadas fotografias em altitudes pré-definidas com ajustes específicos na inclinação da câmera. As fotografias foram sistematicamente realizadas à 2, 10, 20, 30, 40 e 50 metros de altitude, sendo que as fotografias à 40 e 50 metros de altitude receberam ajustes na inclinação da câmera para proporcionar um melhor enquadramento do motivo imageado.

Conforme a RPA ganha altura altera-se a perspectiva de observação é alterada, mas no primeiro nível de registro ainda não há diferenças significativas

entre as fotografias aéreas oblíquas tomadas nas alturas de 2 m (Figura 29a) e 10 m (Figura 29b) e as paisagens intersticiais continuam ocultas.

Continuando a ascensão, a foto seguinte (Figura 29c), à 20 m, já revela algumas estruturas da área rural à esquerda, uma boa porção do paredão e um morro ao fundo na linha do horizonte. Já as fotografias mais elevadas, tomadas nas alturas de 40 m (Figura 29e) e 50 m (Figura 29f), revelam cada vez mais elementos da paisagem e demonstram nitidamente a importância das RPAs como ferramenta de análise da paisagem.

Essa afirmação se suporta no fato delas ajudaram a vencer determinados fatores que impedem a observação da paisagem como no caso analisado, onde as fotografias em níveis mais baixos tinham a visualização do afloramento rochoso obstruída por uma vegetação exuberante. Vencida essa barreira, as paisagens intersticiais à sudeste da área se revelaram.

Outras situações em campo impediram a observação de determinados motivos por razões que se relacionavam, ora com a distância em relação ao objeto de análise, ora com a existência de construções ou cercas. Todos os problemas encontrados em campo foram sintetizados e tratados como barreira de observação (Tabela 9).

Tabela 9 - Principais barreiras das observações em campo.

Tipo de barreiras	Descrição
Vegetal	Relacionada à vegetações exuberantes.
Topográfica	Relacionada à conformação do relevo ou à feições geomorfológicas proeminentes.
Antrópica	Relacionada à edificações ou impedimentos de acesso às áreas.
Espacial	Relacionadas com a distância do objeto de pesquisa.
Locacional	Relacionada à posição fixa da observação em terra ou a conformação desfavorável do relevo (paredões, vales, abismos e outros).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29 - Perspectivas oblíquas do PMAO-05.

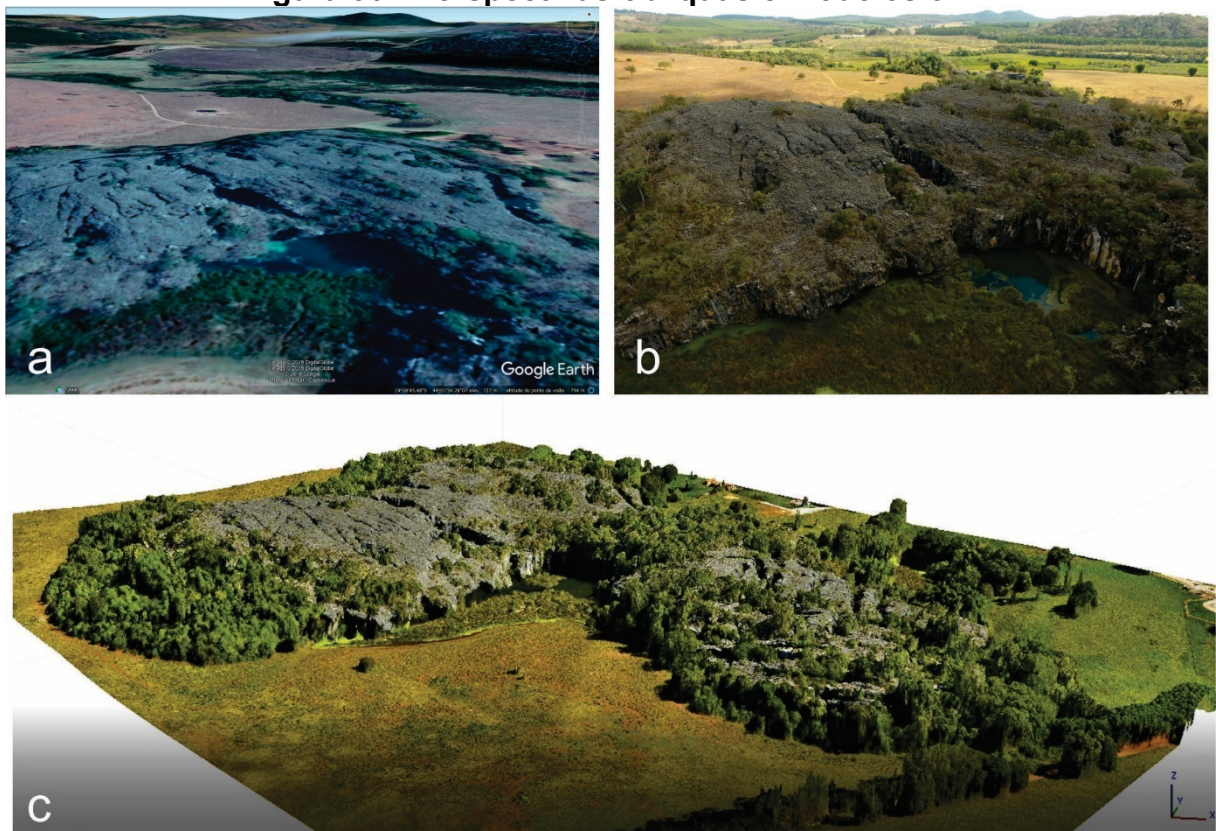


Fonte: Elaborado pelo autor. Foto a) imagem tomada à 2 m; b) imagem tomada à 10 m; c) imagem tomada à 20 m; d) imagem tomada à 30 m; e) imagem tomada à 40 m e; f) imagem tomada à 50 m com ajuste da inclinação de câmera.

Outra análise possível que comprova a efetividade das RPAs como ferramenta de estudo da paisagem é em relação aos modelos digitais 3D, que juntamente com as fotografias oblíquas ajudam a dirimir dúvidas em relação às fitofisionomias e morfologias diversas de difícil interpretação em imagens satelitais ou aéreas nadirais como as ortofotografias tradicionais.

Comparando uma imagem em perspectiva oblíqua fornecida pela plataforma Google Earth (Figura 30a) com uma fotografia aérea oblíqua gerado pela RPA (Figura 30b) e com um modelo tridimensional gerado também à partir do imageamento com o RPA (Figura 30c), observa-se com facilidade que elementos como a grande diaclase no centro do maciço e outros elementos como dolinas e a própria vegetação se tornam mais identificáveis. Esse ganho contribui sobremaneira para a compreensão da paisagem e consequentemente representa ganhos nos mapeamentos geomorfológicos.

Figura 30 - Perspectivas oblíquas e modelos 3D.



Fonte: Elaborado pelo autor. Figura a) imagem em perspectiva oblíqua fornecida pela plataforma Google Earth; b) fotografia aérea oblíqua da RPA e; c) modelo tridimensional gerado à partir do imageamento do RPA.

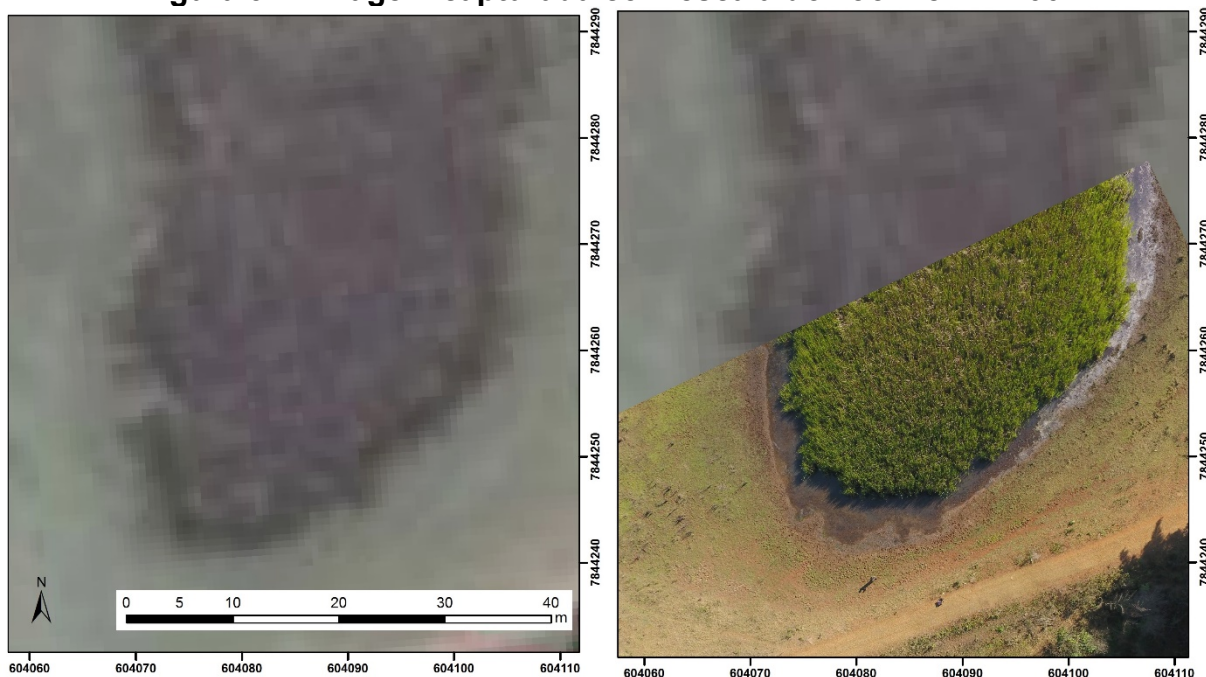
5.2 Resolução espacial e fotointerpretação.

A fotointerpretação de imagens digitais é viabilizada pelos recursos de ampliação digital das imagens (zoom in) onde os detalhes das morfologias são identificados para garantir maior precisão às delimitações geométricas durante as vetorizações, ao passo que, quando surgem incertezas nessas vetorizações, a redução digital (zoom out) é aplicado para poder se compreender o cenário mais abrangente de escalas menores que revelam o todo.

No caso da imagem satelital utilizada, a variação de zoom ocorreu entre as escalas 1:1.000 e 1:300 e na imagem aérea ocorreu entre as escalas 1:500 e 1:60. Essa enorme diferença já aponta para a resolução espacial superior da ortofoto que atingiu resolução espacial de 2,62 cm/pix. Entretanto, ambas possuem pontos de incerteza gráfica, pontos em que independente da escala de observação não é possível afirmar com certeza de qual morfologia se trata.

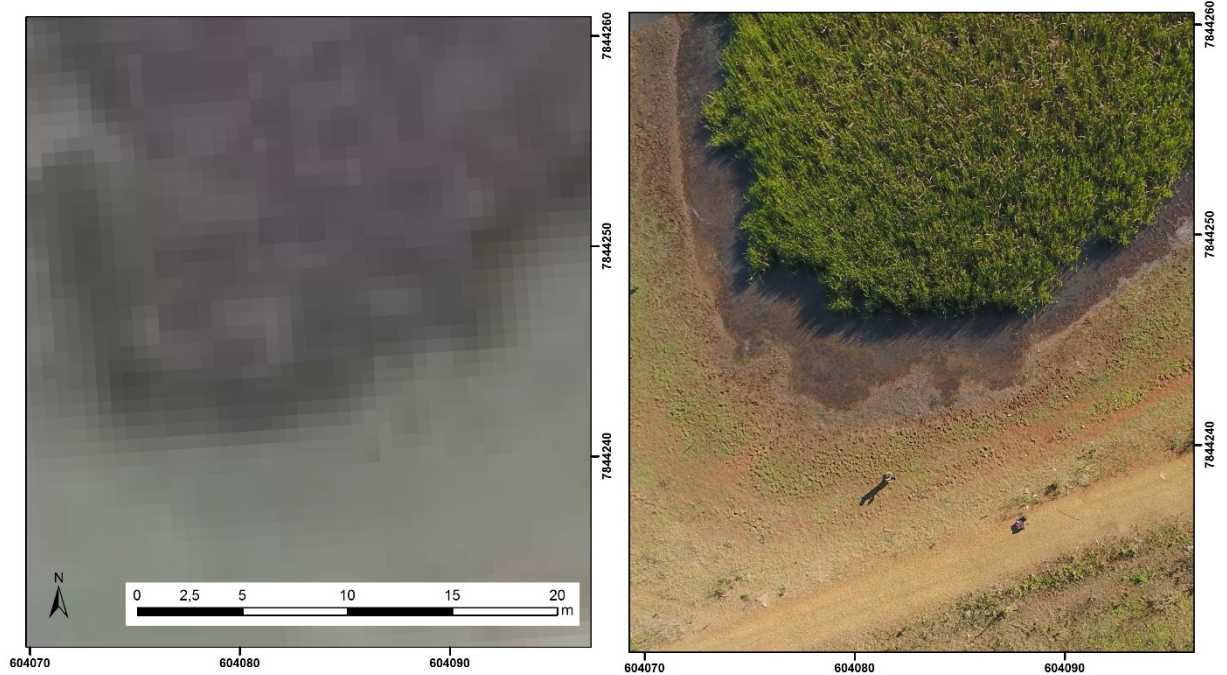
Nas imagens satelitais essas incertezas ocorrem em bordas de vegetações de maior porte e nas bordas do afloramento. Já sobre o maciço, na identificação das feições cársticas, os pontos de incerteza foram muito grandes e se relacionaram às variações de tons de cinza. A sequência abaixo, Figuras 31 a 34, retratam bem a diferença de resolução entre as imagens de RPAs e satelitais com fornecimento gratuito.

Figura 31 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:400.



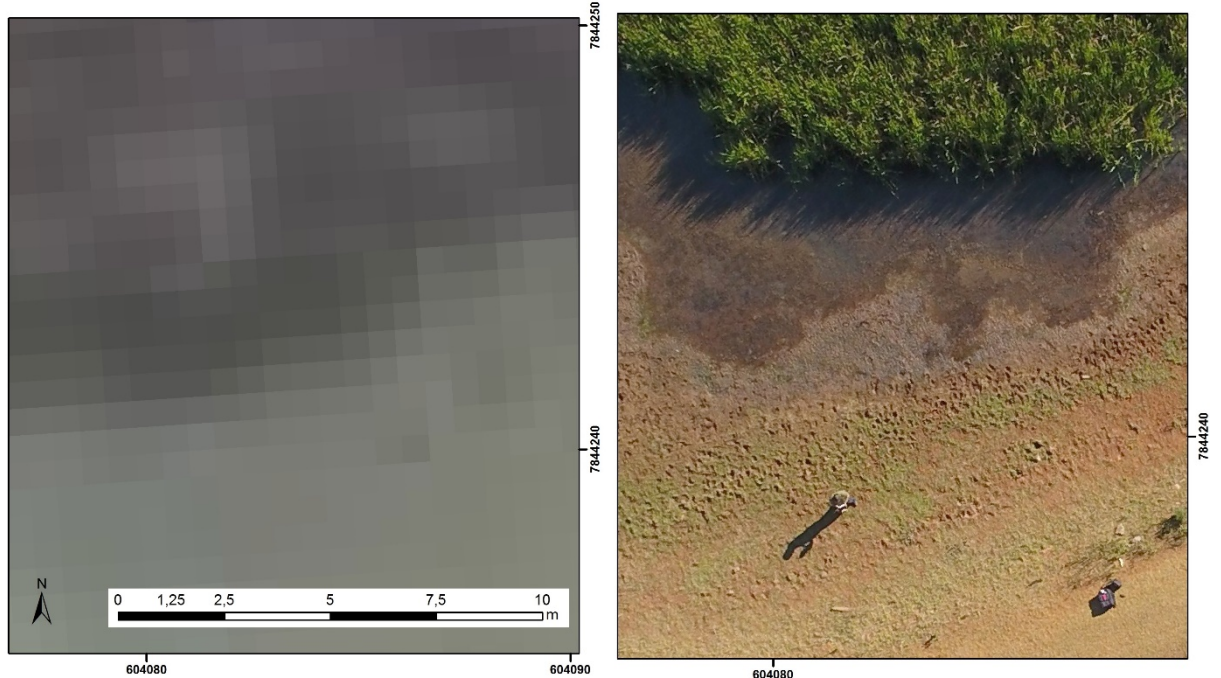
Fonte: esquerda DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017); direita RPA (2018).
Cartografia: UTM SIRGAS 2000 (Fuso 23k).

Figura 32 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:200.



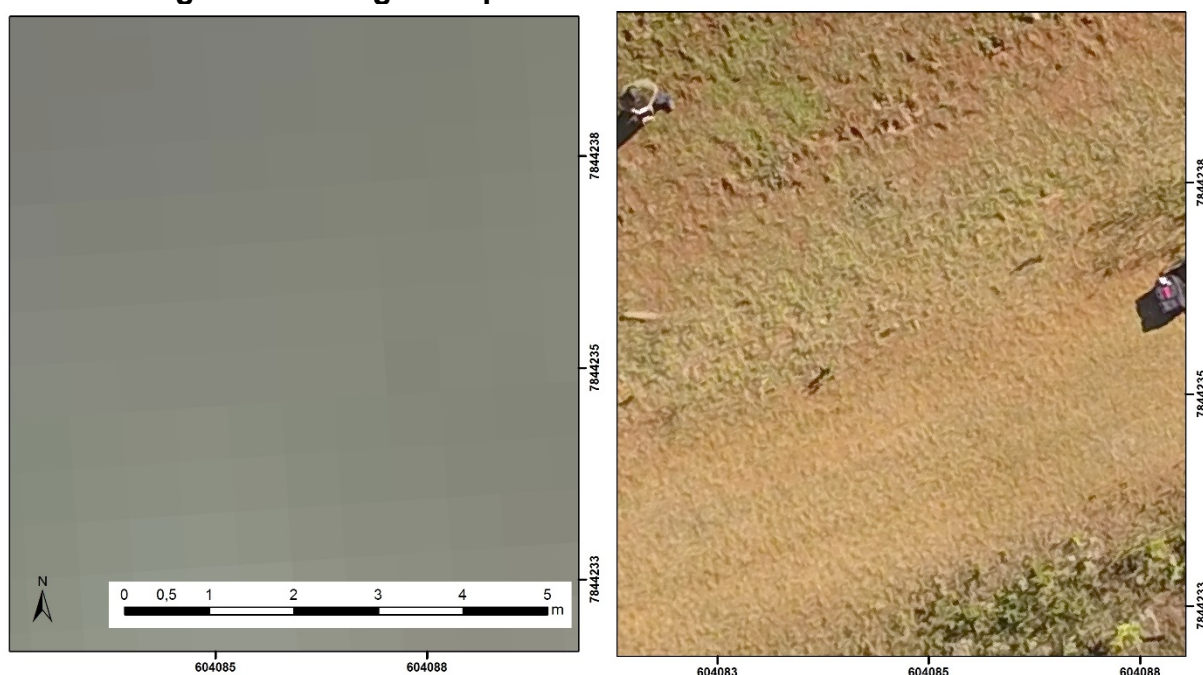
**Fonte: esquerda DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017); direita RPA (2018).
Cartografia: UTM SIRGAS 2000 (Fuso 23k).**

Figura 33 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:100



**Fonte: esquerda DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017); direita RPA (2018).
Cartografia: UTM SIRGAS 2000 (Fuso 23k).**

Figura 34 - Imagem capturada com escala do zoom em 1:50.



**Fonte: esquerda DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017); direita RPA (2018).
Cartografia: UTM SIRGAS 2000 (Fuso 23k).**

Os ganhos obtidos com a utilização de imagens de alta resolução se refletiram nos resultados dos mapeamentos morfométricos (ANEXOS V e VI) quando observado os quantitativos das áreas mapeadas. A quantidade de feições identificadas no mapeamento com RPA é muito superior às identificadas na imagem de satélite.

5.4 Quantitativos Morfométricos

Para discutir sobre os reais ganhos do uso de RPAs nos estudos da paisagem cárstica foram realizadas análises comparativas entre os resultados dos mapeamentos morfométricos realizados em ambas as imagens, DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017) e ortofoto da RPA (2018). A extração das geometrias revelou que existem diferenças em relação aos quantitativos das cinco fitofisionomias mapeadas. As maiores discrepâncias estão relacionadas às fitofisionomias com menores dimensões ou com contrastes suaves entre as fitofisionomias vizinhas o que dificulta a fotointerpretação dos elementos básicos como texturas, formas, tamanho e tonalidade. Essa característica é mais visível nas massas d'água como pode ser observado na Tabela 10.

Tabela 10 - Quantitativos Morfométricos do MONAE-EJ.

Forma / Ponto	Fonte da Imagem			
	DigitalGlobe/Google		RPA	
	ha.	%	ha.	%
Afloramento calcário	9,98	25,93	9,46	24,58
Massas d'água	0,17	0,44	0,44	1,14
Pastagens	22,97	59,68	22,57	58,66
Vegetação	4,71	12,23	4,99	12,95
Vegetação aquática	0,66	1,72	1,03	2,67
TOTAL	38,48	100,00	38,48	100,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Mas a grande diferença está no mapeamento das feições cársticas extremamente fraturadas. Durante a fotointerpretação foram identificadas grandes quantidades de pontos de incerteza relacionados às zonas de sombreamento dessas feições.

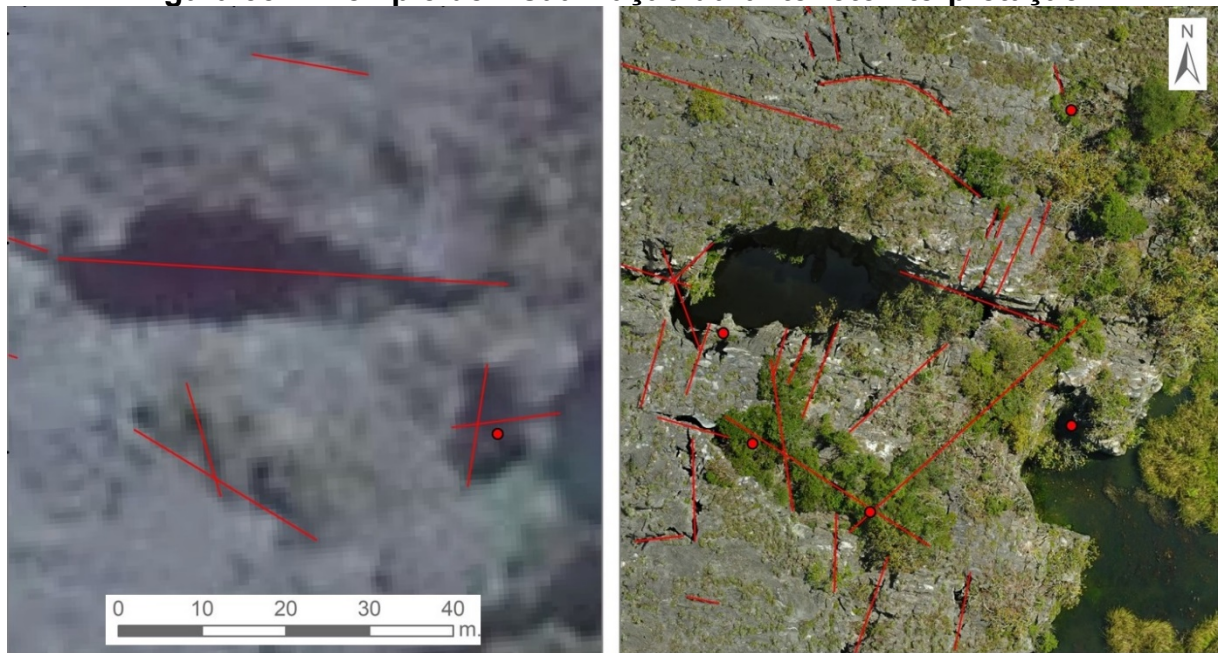
O ganho de qualidade com o uso de RPAs fica evidente com a redução da quantidade de pontos de incertezas (Tabela 11) em quase a metade. Também houve um ganho na identificação de feições com tonalizadas próximas como o caso da água, calcário e sombras da vegetação. Na ortofoto gerada pela RPA foi possível identificar uma morfologia até então oculta na fotointerpretação da imagem satelital, sendo que somente na ortofoto foi possível perceber a existência de água no interior de uma das dolinas (Figura 35).

Tabela 11 - Quantitativos Morfométricos do afloramento.

Forma / Ponto		Fonte da Imagem	
		DigitalG./Google	RPA
Pontos de incerteza		85	45
Diaclases e ou fraturas lineares	Quantidade	150	336
	Extensão máxima	85,50 m	89,58 m
	Extensão mínima	3,72 m	1,20 m
	Extensões / soma	2,711 m	4,680 m
Dolinas	Quantidade	20	37
	Área total	0,3 ha	0,57 ha
Dolinas com água	Quantidade	0	1
	Área Total	0 ha	0,02 ha

Fonte: Elaborado pelo autor.

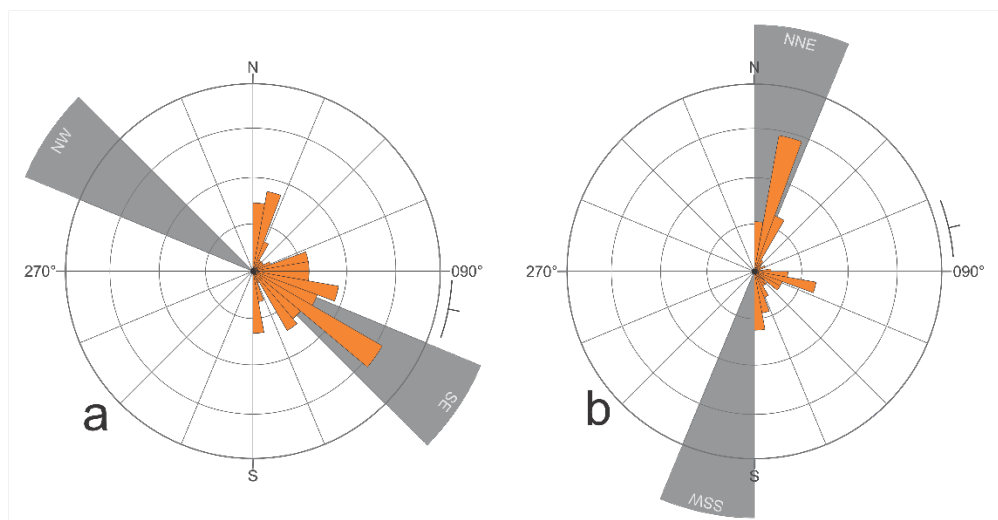
Figura 35 - Exemplo de visualização durante fotointerpretação.



Fonte: Elaborado pelo autor. esquerda DigitalGlobe (2017); direita RPA (2019).

Esse aumento de qualidade também representou discrepâncias nos resultados das análises de alinhamento das diaclases e fraturas lineares. O alinhamento encontrado no mapeamento da imagem satelital ocorre preferencialmente no sentido SE-NW e possui o rumo 101° como direção média (Figura 36a) enquanto na ortofoto ocorre preferencialmente no sentido SSW-NNE e possui o rumo de 077° com média (Figura 36b).

Figura 36 - Alinhamentos das diaclases e fraturas lineares.

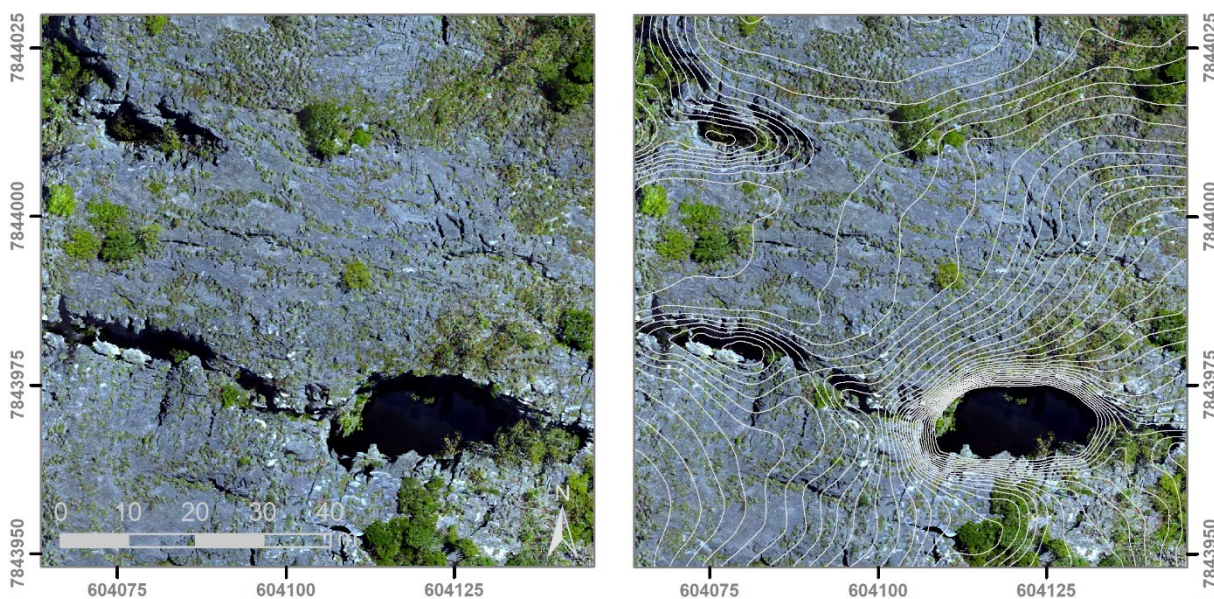


Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2 Modelamento digital do terreno.

Os produtos cartográficos gerados como as curvas de nível apresentam um dos maiores benefícios do uso dessas aeronaves como ferramenta geotecnológica. As curvas geradas possuem equidistâncias de 1 metro que possibilitaram a criação de modelos 3D bem como serviram para gerar uma série de análises espaciais com o uso de ferramentas como as dos pacotes *hydrology* e *surface* do ArcGis®. (Figura 37).

Figura 37 - Curvas de geradas pela RPAs (resolução 1 m).



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.5 Resolução temporal

Apesar de não ter sido possível realizar o monitoramento bimestral, durante a pesquisa foram levantados os custos e limitações de aquisições de imagens satelitais, tanto de banco de imagens quando de programadas. As resoluções cotadas foram as submétricas para se aproximarem ao máximo da resolução atingida com os RPAs. Para aquisição de imagens únicas, de satelital ou da RPAs, a aplicação dela é viável até o limite aproximado de 200 ha. A partir daí a aquisição de imagem satelital é mais vantajosa.

Essa relação é progressiva, e quanto maior a resolução espacial, maior a viabilidade dos RPAs. A projeção foi realizada até o limite de resolução temporal mensal e o espacial de 800 ha. (Tabela 12). Entretanto, é preciso aumentar o universo amostral de opções de aquisição tanto de satélites quanto de RPAs,

inclusive incluindo as projeções com RPAs de fixa. Também é preciso constantemente cotar os valores de mercado para manter essa projeção atualizada dada a constante evolução das plataformas de aquisição.

Também é preciso considerar que essa tabela foi criada considerando o custo médio de aquisição de imagens satelitais em R\$ 3.500, 00 (três mil e quinhentos reais) bem como considerando o custo médio de operação proprietária do RPA de R\$ 18,00 (dezoito reais). Esse valor não considera logística de campo nem horas de laboratório. Para os casos em que o pesquisador for contratar os serviços de RPAs de terceiros os valores serão maiores e essa tabela não se aplica.

Tabela 12 - Projeção custo benefício.

Plataforma de Obtenção	Área Imageada (em ha)															
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
	Área Imageada (em km ²)															
Multicóptero																
Satelital																
Projeção para resolução semestral.																
Multicóptero																
Satelital																
Projeção para resolução trimestral.																
Multicóptero																
Satelital																
Projeção para resolução bimestral.																
Multicóptero																
Satelital																
Projeção para resolução mensal.																
Multicóptero																
Satelital																

**Fonte: Elaborado pelo autor. Verde = uso indicado para a plataforma;
Vermelho = uso não indicado para a plataforma.**

Por fim, independente da aderência de valores, o conceito fundamental é que o uso de RPAs nem sempre é a opção mais adequada, variando em função do objeto, escala e aplicações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa dissertação foi estruturada em torno de um questionamento sobre o emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPAs em estudos morfométricos de paisagens cársticas. Pretendia-se saber qual seria a efetividade e as limitações do emprego dessas aeronaves nesse tipo de estudo.

Foi balizado ainda pela hipótese de que o uso de RPAs representariam ganhos em resolução espacial e temporal, reduções de custo e aumento da flexibilidade de obtenção de imagens aéreas, mas que existiriam limitações para o emprego das mesmas.

Para tanto foi conduzido um estudo de caso realizado através de um ensaio realizado no Monumento Natural Experiência da Jaguará localizado em Mocambo, distrito de Matozinhos – Minas Gerais. O ensaio consistiu em realizar levantamentos morfométricos através da fotointerpretação de uma imagem satelital de distribuição gratuita e de uma imagem aérea gerada através de plataforma remotamente pilotada.

Foram realizadas oito campanhas de campo que consistiram em investigação in loco e registro das principais feições geomorfológicas existentes na área, levantamentos geomáticos com a finalidade de georreferenciar as imagens obtidas com a RPA e os voos remotos de imageamento com recobrimento frontal de 75% (*frontlap*) e lateral de 65% (*sidelap*). Em laboratório foram realizadas rotinas de Processamento Digital de Imagens – PDI, geoprocessamento em ambiente de informação geográfica – SIG e utilizadas técnicas de fotointerpretação e sensoriamento remoto.

Os resultados obtidos nesse estudo serviram para confirmar todas as hipóteses bem como respondeu aos questionamentos centrais sobre a efetividade e limites do uso de RPAs.

De maneira geral e, respeitando-se os limites de escala, as RPAs são sim uma importante ferramenta geotecnológica para a Geografia e demais ciências que necessitam de imagens aéreas atualizadas e de alta resolução espacial.

No tocante a resolução espacial, quando comparada com satélites de fornecimento gratuito que entregam resoluções espacial acima dos 10 m/pix, o ensaio realizado demonstrou que nesse quesito, a resolução de 2,62 cm/pix alcançada pela RPA é imbatível e incomparável. Algumas empresas de imagens

satelitais comerciais entregam resoluções espaciais melhores que as gratuitas, mas a maioria das empresas consultadas entregam resoluções entre 3 e 5 m/pix sendo que apenas uma delas entrega resolução submétrica de 70 cm/pix. Mesmo assim a comparação ainda é desproporcional em termos de resolução.

Os reflexos dos ganhos relacionados à resolução foram sentidos na extração das morfologias. A imagem do RPA, com maior detalhamento, gerou menos pontos de incertezas e revelou duas morfologias adicionais que a imagem satelital com menor resolução. Em termos de tempo nas vetorizações, a experiência não apontou vantagens nas imagens de RPA pois, se de um lado existem menos incertezas na identificação das formas, por outro existem mais detalhes a serem vetorizados.

No tocante à resolução temporal, a projeção de custos envolvidos revela que o uso das RPAs para áreas pequenas é imbatível. Para além dessa extrema redução de custos, a possibilidade de revisitas ao objeto de estudo, que podem ser semestrais, mensais ou até horárias, evidentemente dependendo da área, é sem dúvida um dos maiores benefícios do emprego das RPAs.

O cotidiano das análises ambientais impõe que, determinados eventos precisam ser registrados no momento da ocorrência do evento, não sendo possível esperar janelas de tempo (revisita/clima) para aquisição de uma cena.

Como apresentado nas pesquisas sobre aquisição de imagens satelitais (fase de consultas e orçamentos), não é possível estabelecer uma data específica de coleta de cena. Também não é garantido que se obtenha uma cena completamente livre de nuvens e outros. Já o RPA pode operar abaixo de camadas de nuvens muito baixas o que se reflete em maior possibilidade de registrar momentos específicos no tempo/espaço.

O uso dos RPAs pode ainda representar autonomia de pesquisadores, gestores ambientais e profissionais que podem observar remotamente seus objetos em análise sem dependerem de empresas comerciais de imagens satelitais, bem como a menor restrição em relação às condições climáticas é outro fator a ser considerado. Eventos repentinos como queimadas, inundações, movimentação de massa e outros podem ser rapidamente registrados com o uso de RPAs.

Ainda tratando do uso das RPAs, elas representam um poderoso instrumento de campo quando pensamos nas fotografias aéreas oblíquas. Essas aeronaves se revelam a cada utilização como sendo importante ferramenta de investigação e

registro da paisagem, se tornando assim fundamentais para constituição de registros de condições ambientais pretéritas (*backgrounds*) e para laudos cautelares.

Em relação à investigação da paisagem em campo as RPAs podem ser utilizadas para revelarem paisagens intersticiais ou inacessíveis por terem condições, em muitas situações, de vencerem barreiras visuais, nesse trabalho tratadas como barreiras vegetal, topográfica, antrópica, espacial e locacional.

Quanto aos estudos em gabinete e constituição de background, é preciso diferenciar o simplesmente ilustrativo dessas fotografias aéreas do uso técnico georreferenciado.

Sempre que utilizado RPAs com essa finalidade, as fotografias deverão possuir minimamente como metadados: as informações posicionais geodésicas dos eixos X, Y e Z; o azimuth do rumo da visada em relação à câmera - motivo registrado; e a atitude da câmera fotográfica (ângulo em relação ao horizonte). Isso no caso de fotografias amostrais aleatórias. Já no caso de registros sistematizados, deve-se acrescentar a esses dados a rota voada, o intervalo das fotografias e a taxa de recobrimento da área. Para ambos os casos, dispô-las conjuntamente com cartografia referenciando-as na paisagem também é preponderante para que as mesmas possam ser utilizadas no futuro, principalmente por outros pesquisadores não envolvidos na pesquisa original.

Destaca-se ainda que mesmo que as fotografias aéreas oblíquas sejam utilizadas como mera ilustração da paisagem, sem a rigidez posicional e cartográfica sugerida para estudos de caráter Geográfico, elas devem vir necessariamente com a indicação de serem “fotografias aéreas” e de preferência com a informação da altitude de tomada das mesmas. Isso porque, para leitores não familiarizados com a área ou aqueles não familiarizados com as análises cartográficas algumas fotografias aéreas podem ser entendidas como tendo sido realizadas do alto de colinas ou de paredões.

Ante ao exposto, não seria descontextualizada a afirmação de que as RPAs representam a democratização da informação uma vez que propiciam de maneira quase totalmente autônoma a geração de produtos antes cativos da indústria aeroespacial. O desejo dos pesquisadores poderem sobrevoar suas áreas de pesquisa, antes condicionados à caros sobrevoos em aeronaves tripuladas, agora pode ser alternativamente suprido.

Por outro lado, é fundamental compreender que, assim como os receptores GNSS e os diversos softwares de SIG, as RPAs não se constituem em uma “disciplina” ou “trabalho” por si só. É preciso ter em mente que essas aeronaves são apenas mais uma ferramenta geotecnológica que viabiliza a realização de análises diversas. São ferramentas de coleta de dados primários que precisarão ser pesadamente tratados e processados por diversos softwares até se transformarem efetivamente em informação. Dessa maneira, o uso dessas tecnologias deve estar atrelado a um arcabouço teórico e prático que contemple os princípios clássicos e elementares da Geografia.

Como contribuição para a sociedade, o trabalho deixa, além das reflexões e sugestões sobre os limites de aplicação das RPAs em estudos ambientais, um mapa morfométrico, em formato físico A3, gerado em escala 1:3.500 que está disponível nos anexos (V e VI) e que estará disponível em formato digital PDF para ser baixado de maneira gratuita na web juntamente com as geometrias vetoriais geoespaciais em formato *shapefile* (.shp) e *Keyhole Markup Language* (.kml).

Produtos derivados dessas imagens como curvas de nível com equidistância de um metro, modelos digitais de elevação e de terreno e um modelo 3D estarão igualmente disponíveis.

Acredita-se que com esse material poderão ser realizadas comparações entre a área do MONAE-EJ e outras áreas cársticas da região de maneira a subsidiar análises de similaridade e com isso aumentar a compreensão sobre a APA Carste Lagoa Santa e seus sistemas.

Assim como o mapa morfométrico e demais produtos derivados, o ortofotomosaico georreferenciado e em alta resolução espacial também estará disponível na web e poderá servir tanto para comparações com outras áreas, quanto para comparações com a própria área do Monumento, com especial expectativa para que a mesma sirva de referência para o plano de manejo que até o momento não foi realizado e que é previsto na lei 9.985/2000 que trata do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

Por fim, no tocante aos objetivos iniciais, existe a expectativa que esse estudo seja continuado e ampliado. Novos ensaios com variações de altitude, de sensores embarcados e das malhas de recobrimento devem ser realizadas na mesma área ou

em áreas semelhantes dentro da APA Carste Lagoa Santa de maneira a compor um robusto banco de dados geográfico.

Expectativa semelhante de perpetuação dos estudos e de refinamentos dos resultados ora apresentados reside na necessidade de que as análises morfométricas sejam realizadas por um grupo de controle qualificado, o maior possível, de maneira a aumentar o universo amostral.

Adicionalmente, para além das discussões em torno dos dados que elucidam as indagações iniciais dessa pesquisa, algumas contribuições alheias aos objetivos inicialmente delineados foram alcançadas. Com base nos estudos bibliográficos, tanto para construção do arcabouço teórico quanto para a compreensão e caracterização da área de estudo, percebe-se que propostas realizadas por aqueles que estudaram a área preteritamente foram tangenciadas de alguma maneira.

Um exemplo é a sugestão de Pereira (2015) que aponta para a necessidade de realização de estudos geomorfológicos mais detalhados da UC em questão. Os resultados apresentados no mapa morfométrico são um passo a mais na consecução dessa proposta da autora.

Também pode-se dizer que essa dissertação gerou elementos que podem corroborar com a consecução de outros objetivos alheios à ela, que não poderia, deixar de serem expressos aqui, especialmente quando eles trazem novamente à tona, a urgência de se estruturar um Banco de Dados Geográficos organizado, gratuito, disponível na web e com funcionalidades de geovisualização em ambiente WebGIs.

Tal recomendação não é inédita, sendo que Alt (2008) já a fez, de maneira incipiente, quando afirmou que a “falta de integração de ideias e áreas do conhecimento, talvez seja a base da maioria dos problemas ambientais hoje existentes, não só na APA Carste de Lagoa Santa, mas no Brasil”. (ALT, 2008) ou ainda quando denunciou a falta de integração entre órgãos da administração pública, em todas as esferas. A autora aponta que IBAMA, IEF, FEAM, IGAM e prefeituras deveriam agir coordenadamente na gestão da APA Carste Lagoa Santa e reflete ainda sobre a necessidade de integração dos bancos de dados geográficos existentes no âmbito Federal e Estadual, respectivamente o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente – SINIMA e o Sistema Integrado de Informações Ambientais – SIAM. (ALT, 2008).

Sampaio (2010) tem um posicionamento mais contundente em relação à criação de um robusto Bancos de Dados Geográficos para a região quando dispendeu esforços na elaboração de um inventário digital de dados georeferenciados de todos os domínios naturais daquela região.

O autor aponta questões relacionadas à dificuldade de compilação de dados geoespaciais de naturezas diversas pela falta de metadados nas informações digitais existentes e ressalta ainda que “a não periodicidade de renovação e/ou atualização das bases digitais” também é um problema. (SAMPAIO, 2010).

Tais dificuldades em relação ao acesso à informação também foram experienciadas pelo autor dessa pesquisa. Uma delas diz respeito a aquisição de dados meteorológicos públicos como apresentado nos procedimentos metodológicos e outra em relação a qualidade, confiança e parametrização de dados vetoriais públicos de órgão como IBGE, ANA, IEF, FEAM, IGAM, CPRM, DNIT, DECEA entre outros.

Em relação aos dados vetoriais, além de falta de metadados, em muitos casos tais dados não seguem o sistema de referência geomático estabelecido por lei, ou seja, Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas – SIRGAS 2000. Alguns estão em WGS-84 e outros em SAD-69. Desde que informados, as devidas conversões e parametrização são realizadas. O problema reside em que tal fato, demonstra a incapacidade do Brasil em gerir sua base de dados geoespaciais.

Geometrias divergentes para o mesmo objeto também são encontradas nesses bancos de dados, o que causa ainda mais insegurança aos pesquisadores e no cotidiano da vivência acadêmica foi possível observar que os caminhos para aquisição e organização dessas informações, juntamente com os processos de emissão de autorizações diversas, minam demasiados esforços e tempo dos pesquisadores.

É inconcebível pensar que novos pesquisadores tenham que gastar tanto tempo em uma região com estudos que remontam a década de 80. É necessário destacar que quando se trata da APA Carte Lagoa Santa, pode-se pensar em décadas de estudos desenvolvidos por dezenas de pesquisadores de grandes universidades nacionais e de órgãos públicos o que, certamente, reflete em aportes financeiros na casa dos milhões.

Assim como Sampaio (2010) pretendia disponibilizar o inventário digital de sua pesquisa em ambiente WebGIs, a presente pesquisa compartilha do mesmo desejo, mas igualmente ao idealizador da ideia, se depara com falta de verbas e engajamento das instituições de pesquisa ou dos órgãos envolvidos no gerenciamento da APA Carste Lagoa Santa.

Nessa onde foi defendida a viabilidade do uso de RPAs para levantamentos com alta resolução espacial e temporal e onde foi defendido que as RPAs representam democratização da informação, infelizmente encerra-se com um grande dilema. Se por um lado espera-se que cada vez mais pesquisadores se dediquem ao imageamento da APA Carste Lagoa Santa até que o mesmo seja realizado de maneira exaustiva e com alta periodicidade de revisitas, por outro temos os problemas já apontados por Alt (2008) e Sampaio (2010) que força essa pesquisa a ser encerrada com a seguinte pergunta: onde depositar todo esse material?

Não adianta esse material ser disponibilizado de maneira isolada, assim como tantos outros são disponibilizados dispersamente. É preciso cobrar das autoridades a criação de um repositório único dedicado ao patrimônio cárstico e espeleológico da APA carste Lagoa Santa, que poderá servir de modelo para as demais áreas de Minas Gerais ou até mesmo de outros estados.

Assim, corroborando com o anseio de Sampaio (2010), essa pesquisa se finda com a recomendação da criação imediata de um banco de dados de natureza geográfica referente à APA Carste Lagoa Santa.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, Flaubert; OLIVEIRA FILHO, Paulo Costa de. **Obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato e videografia por meio de aeromodelo artesanal adaptado**. In: Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XV, 2011, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba, IMPE, 2011. p.8984-8991
- ALT, Luciana de Resende. **Efetividade Sócio-Ambiental da APA Carste de Lagoa Santa - MG: uma avaliação a partir de suas ferramentas de planejamento e gestão**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. 243p.
- ALVES NETO, Armando. **Geração de trajetórias para veículos aéreos autônomos não tripulados**. Dissertação (mestrado). Pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- AMBIENTE BRASIL CENTRO DE ESTUDOS. **Estudo técnico para a criação do Monumento Natural Estadual Experiência da Jaguará**. Belo Horizonte, sem data.
- ANDRADE, José Bittencourt de. **Fotogrametria**. 2ª ed. Curitiba, SBEE. 2003. 225p.
- ANDREYCHOUK, V.N. **Karst landscape in terms of synergetics: general remarks**. Speleology and Karstology, Simferopol, n. 13, 2014. P. 45-53.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133: Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro, 1994. 35 p."
- AULER, Sarreiro Auler; ZOGBI, Leda. **Espeleologia: Noções Básicas**. São Paulo - Redespeleo Brasil, 2005.
- AULER, Augusto Sarreiro. **Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Matozinhos-Pedro Leopoldo Karst, Brazil**. 1994. 110p. (Masters Theses & Specialist Projects) - Western Kentucky University, 1994.
- BAETA, A. **Os Grafismos Rupestres e suas Unidades Estilísticas no Carste de Lagoa Santa e Serra do Cipó, MG**. Dissertação de Doutorado, Museu de Arqueologia e Etnologia, São Paulo, 2011.
- BERBERT-BORN, Mylène. **Carste de Lagoa Santa, MG: Berço da paleontologia e da espeleologia brasileira**. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D. A.; Queiroz, E. T.; Winge, M.; Berbert-Born, M. L. C. (Org..) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do**

Brasil. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002, v.01: 415-430.

BERBERT-BORN, Mylène. **Geoquímica dos Sedimentos Superficiais de Lagoas da Região Cárstica de Sete Lagoas-Lagoa Santa (MG), e os Indícios de interferências Antrópicas**. 1998. 201 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, Brasília, 1998.

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 303 p.

BRINA, Ana Elisa. **Aspectos da Dinâmica da Vegetação Associada aos Afloramentos Calcários na APA Carste de Lagoa Santa, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: UFMG/ICB, 1998. 105p.

BROTTON, Jerry. **Uma história do mundo em doze mapas**. Rio de Janeiro, Editora Zahar, 2016. 616p."

CABRAL, Jayme Álvaro de Lima (Org.). **Informações Básicas para a Gestão Territorial: Cartografia Geotécnica de Planejamento**. 3v. (Série Ordenamento Territorial). CPRM, 1994, 84p.

CASTRO, José Flávio Moraes. **História da Cartografia e Cartografia Sistemática**. 1ª ed. Belo Horizonte: Editora PUC Minas, 2012. 104p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. Editora Edgard Blucher. IGCE. Unesp. São Paulo. 1989.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blucher, 1936; 2.ed. 1980.

DA-GLORIA, Pedro; NEVES, Walter Alves; HUBBE, Mark. **História das pesquisas bioarqueológicas em Lagoa Santa, Minas Gerais, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, Ciências Humanas, v. 12, n. 3, p. 919-936, 2017.

DARDEBE, Marcel Auguste. **Síntese sobre a estratigrafia do Grupo Bambuí e Macaúbas no Brasil central**. Anais do 30º Congresso Brasileiro de Geologia. 1978, Recife, SBG, V2 p. 597-610.

DEGARMO, Matthew. **Issues Concerning Integration of Unmanned Aerial Vehicles in Civil Airspace**. Center for Advanced Aviation System Development. McLean, Virginia, 2004. 98 p.

DISPERATI, Attilio Antonio. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato**. Curitiba: UFPR, FEPEF, 1991. 290p.

DUTRA, Georgete Macedo; HORTA, Lília Senna Horta; BERBERT-Born Mylène Luiza C. Berbert-Born (Orgs.) **LEVANTAMENTO ESPELEOLÓGICO: Apa Carste Lagoa Santa**. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. 57p. (Série APA Carste de Lagoa Santa - MG).

FERREIRA, Marcos César. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. 1ª ed. São Paulo. Editora UNESP, 2014. 344p.

FITZ, Paulo Roberto. **Cartografia Básica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. 143 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p.

FRANCISCHETT, Mafalda Nesi. **A cartografia no ensino de geografia: abordagens metodológicas para o entendimento da representação**. Cascavel: EDUNIOESTE, 2010. 2010p.

FREY, Carl Benedikt; OSBORNE, Michael A. **The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation?** University of Oxford: Oxford, UK, 2013. 72p.

GEORGE, Pierre. **Os Métodos da Geografia**. 1. ed. São Paulo, Editora Difusão Europeia do Livro, 1972. 119 p."

GOMES, Maria do Carmo Andrade. **Velhos Mapas, Novas Leituras. Revisitando a história da cartografia**. GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo, Nº 16, pp. 67 - 79, 2004

HENRIQUES, Renata Jordan. **Formas, processos e materiais: uma proposta de evolução geomorfológica multiescalar da borda meridional do Carste de Lagoa Santa, em Vespasiano, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 20176. 172p.

HERRMANN, Gisela; KPHLER, Heinz Charles; DUARTE Júlio César; CARVALHO Patrícia Garcia da Silva (Org.). **Gestão Ambiental: Apa Carste Lagoa Santa**. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. 57p. (Série APA Carste de Lagoa Santa - MG).

HOMA, Jorge M. **Aeronaves e Motores**. São Paulo, 20ª ed. Editora Asas, 1997. 186p.

JENSEN, John R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª edição por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphany (coordenador); Antonio R. Formaggio; Athos R. Santos;

Bernardo F. T. Rudorff; Cláudia M. Almeida; Lênio S. Galvão. São José dos Campos: Ed. Parêntese, p. 672, 2009"

JORGE, Lúcio André de Castro; INAMASU, Ricardo Yassushi; CARMO, Rhendrix Borges do. **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 399-406."

KARMANN, Ivo. **Água: Ciclo e ação geológica**. In TEIXEIRA, Wilson et al (Org.). Decifrando a Terra. 2. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. p. 186-209.

KOHLER, Heinz Charles. **Geomorfologia cárstica na região de Lagoa Santa-MG**. 1989. 113p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

LAJÚS; Cristiano Reschke.et al. **Prospecção de patentes relacionadas ao uso de VANTs como inserção tecnológica na agricultura de precisão**. In: Anais eletrônicos do X Congresso Brasileiro de Agroinformática, 21 a 23 de outubro de 2015, Ponta Grossa, PR; Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2015. p. 93-102.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, 424p.

LOCH, Carlos. **A interpretação de imagens aéreas: noções básicas e algumas aplicações nos campos profissionais**. 5ª Edição rev. atual. – Florianópolis: Ed. Da UFSC, 2008. 103p.

MEDEIROS, Fabrício Ardaís, ALONÇO, Airton dos Santos; BALESTRA Mônica Regina Gonzatti; DIAS, Vilnei de Oliveira; LANDERHAL JÚNIOR, Mário Luiz. **Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado**. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.8, p. 2375-2378, 2008.

MENDONÇA, Laura Maria Irene de Michelis. **Socio-econômica: Apa Carste Lagoa Santa**. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. V. 4, 66p. (Série APA Carste de Lagoa Santa - MG).

MENESES, Cristina Rocha Roquete Cardoso de Meneses. **Análise Geossistêmica na Área de Proteção Ambiental (APA) Carste de Lagoa Santa, MG**. 2003, 187 f. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

MENEZES, Paulo Márcio Leal de; FERNANDES, Manoel do Couto. **Roteiro de cartografia**. 1ed. São Paulo, Editora Oficina dos Textos, 2013. 288 p.

MOREIRA, Maurício Alves. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 4.ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011. 320p.

NEVES, Walter Alves; PILÓ, Luís Beethoven. **O Povo de Luzia: em busca dos primeiros americanos**. 1. ed. São Paulo, Editora Globo, 2008. 334 p.

NOVO, Evlyn Marcia Leão de Moraes. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2011. 387p.

OLIVEIRA, Cêurio de. **Notas sobre Cartografia antiga**. Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 33, n. 1, p. 141-152, jan./mar. 1971.

Oliveira, Mario Mendonça de. **A documentação como ferramenta de preservação da memória**. 2008. Brasília, DF: IPHAN / Programa Monumenta, 2008. 144 p.: il. ; 28 cm. – (Cadernos Técnicos; 7)

PEREIRA, Patrícia Reis. **Sistema de Áreas Protegidas (SAP) em Áreas Cársticas: O Caso do SAP Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG) e uma proposta geoturística**. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais - Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial, Belo Horizonte, 2015. 99p.

PILO, Luís Beethoven. **Morfologia Cárstica e Materiais Constituintes: Dinâmica e evolução da depressão poligonal de Macacos-Baú no Carste de Lagoa Santa, MG**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Departamento de Geografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998. 268p.

RAISZ, Erwin. **Cartografia Geral**. Editora Científica, Rio de Janeiro, 1969. 403p.

RODRIGUES, Bruno Durão. **Identificação e mapeamento das matas secas associadas ao carste carbonático de Santo Hipólito e Monjolos, Minas Gerais**. Dissertação (mestrado). PUC Minas, Belo Horizonte, 2011. 106p.

ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 6. ed. Uberlândia Ed. UFU, 2007.

ROSA, Roberto; BRITO, Jorge Luis Silva. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informação Geográfica**. Uberlândia, Ed. Da Universidade Federal de Uberlândia, 1996.

ROSSATO, Bruno Affonso Rego. **As Temporalidades das Representações Cartográficas**. 2006. 104 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Cartográfica, Rio de Janeiro.

ROUILLÉ, André. **A fotografia: entre documento e arte contemporânea**. São Paulo: Editora Senac, 2009.

SAGAN, Carl. **O Pálido Ponto Azul: o futuro do homem no espaço**. São Paulo: Companhia das Letras, 1996. 496p.

SAINTIVE, Newton Soler, **Teoria de voo: introdução à aerodinâmica**. São Paulo, 2ª ed. Editora ASA, 1999. 204p.

SALOMON, Delcio Vieira. **Como fazer monografia**. 9. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999. 425p.

SAMPAIO, Jarbas Lima Dias. **Inventário digital da APA (Área de Proteção Ambiental) Carste Lagoa Santa e algumas implicações**. 2010, 221p. (Tese de Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica De Minas Gerais - Programa de Pós-Graduação em Geografia - Tratamento da Informação Espacial, Belo Horizonte, 2010.

SHINZATO, Edgar. **O carste da Área de Proteção Ambiental de Lagoa Santa (MG) e sua influência na formação dos solos**. Dissertação (mestrado). UENF, Rio de Janeiro, 1998. 117p.

SILVA, Joana Cruz de Souza e. **Caracterização hidrogeológica ambiental da Área de influência da mina Lapa Vermelha, na Região Cárstica de Lagoa Santa, MG**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. 239p.

SIMPSON, Andrew David. **Development of an unmanned aerial vehicle for low-cost remote sensing and aerial photography**. Master of Science Thesis. University of Kentucky, Lexington, Kentucky. 2003. 126p.

SOUSA, Helio Antonio de (Org.). **Zoneamento Ambiental: APA Carste de Lagoa Santa**. Belo Horizonte: IBAMA/CPRM, 1998. 61 p. (Série APA Carste Lagoa Santa).

TAYER, Thiago de Castro. **Avaliação da vulnerabilidade intrínseca do aquífero cárstico da APA de Lagoa Santa, MG, utilizando o método COP**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. 146p.

TEMBA, Pínio. **Fundamentos da Fotogrametria**. Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Belo Horizonte - MG, 2000. 24p.

TOMLINSON, Roger F. **Geographic Information Systems: a new frontier**. in: Introductory Readings In Geographic Information Systems. Peuquet, Roger F.; Marble, D. F. (org.). Taylor & Francis Group, 1990, London.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. **Contribuições científicas do Professor Dr. Heinz Charles Kohler para a Geomorfologia Cárstica Tropical Brasileira**. Sociedade & Natureza, Uberlândia, 22 (3): 625-637, dez. 2010.

TRAVASSOS, Luiz Eduardo Panisset. A importância cultural do carste e das cavernas. 2010. 211 f. Tese (Doutorado) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de Topografia**. GPEAS - Departamento de Engenharia Agrícola UFC – Fortaleza, 2007. 196p.

VIEIRA, Lucieth Cruz. **A Formação Sete Lagoas (Grupo Bambuí) e as variações paleoambientais no final do Proterozóico**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, 2007. 198p

WILLIAMS, Paul; FONG, Yin Ting. **World Map of Carbonate Rock Outcrops v3.0**. Auckland: University of Auckland, 2008. Disponível em <https://www.fos.auckland.ac.nz/our_research/karst/index.html> acessado em 22 de fevereiro de 2019.

ANEXO I
Autorização de Pesquisa no MONAE Experiência da Jaguará



AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA CIENTÍFICA NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Número da Autorização

036/2018

Data da Emissão

10/05/2018

Prazo de Validade

10/05/2019

INFORMAÇÕES DO RESPONSÁVEL E DO PROJETO

Título do Projeto	"Mapeamento Geomorfológico de áreas Cársticas: uma análise do emprego de Aeronaves Remotamente Pilotada no Carste de Lagoa Santa".									
Instituição	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais									
Responsável	Carlos Frederico de Souza Lott							CPF	029.274.436-61	
Logradouro	Vereador Geraldo Pereira									
Nº/KM	793	Complemento	204	Bairro/Localidade		Padre Eustáquio				
Município	Belo Horizonte			UF	MG	CEP	30720-400	Cx. Postal		
Telefone	31-2516-5594 / 31-3413-6370			Celular	31-99130-4127					
E-mail	fredlott@gmail.com; sandrolaudares@gmail.com									

INTEGRANTES DA EQUIPE

Nome	Instituição	CPF/RG	Função
Sandro Laudares	PUC Minas	922.731.226-91	Orientador
Luiz Eduardo Travassos Panisset	PUC Minas	028.197.816-67	Coorientador

INFORMAÇÕES DAS ATIVIDADES

Tipo de Atividade:	☐ Captura	☐ Coleta	☐ Transporte	☒ Sem Coleta/Captura
	☐ Abiótica	☐ Microrganismos	☐ Fungo	☐ Botânica
	☐ Anfíbios	☐ Répteis	☐ Aves	☐ Mamíferos

OBSERVAÇÕES

Esta autorização não permite coleta de material biótico e abiótico.
Esta autorização deve ser acompanhada de outras autorizações legais para o uso de Aeronave Remotamente Pilotada/drone, dos seguintes órgãos: Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC; Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL e Departamento de Controle de Espaço Aéreo - DECEA.
É responsabilidade do operador seguir os regulamentos e tomar as providências necessárias para a operação segura da aeronave, assim como conhecer e cumprir os regulamentos do DECEA, ANAC e de outras autoridades competentes.
O pesquisador deverá enviar um e-mail com a cópia da autorização do SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas).
Recomenda-se evitar o uso do drone nos horários de pico de falconiformes, pelo início da manhã (até as 10:00) e início da tarde (depois das 16:00) até o crepúsculo.
Recomenda-se também o uso de protetor de hélice, a fim de se evitar possíveis danos as aves durante o voo.

LOCAL DA ATIVIDADE - EM UNIDADE DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL

Unidade de Conservação	Responsável pela UC	Contato (Telefone e e-mail)	Endereço da UC	Assinatura do Responsável pela UC
Monumento Natural Estadual: Experiência da Jaguará	Rinaldo José de Souza	(31) 3661-8671 (31) 99356-3614 (31) 3689-8592 rinaldo.souza@meioambiente.mg.gov.br	Rua Domingos Gomes Ferreira, nº 81 - Distrito de Mocamboiro CEP: 35.725-000. Matozinhos	

Esta autorização será válida apenas com a autenticação do responsável pela(s) Unidade(s) de Conservação.

LOCAL DA ATIVIDADE - FORA DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO ESTADUAL (apenas para material botânico)

Município(s)	Não se aplica
--------------	---------------

Assinatura do responsável pela Autorização

Número do Processo SIGED/SIPRO - IEF/ASPROP

Henri Dubois Collet
Diretor Geral do IEF
Masp: 1302849-3

SIGED



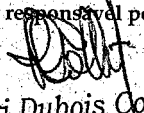
00000835 2101 2018



TRANSPORTE - DESTINO DO MATERIAL COLETADO	
Instituição(ões)	Não se aplica
Endereço(s)	Não se aplica

Outras Observações e Ressalvas:

1. Esta autorização não exige o pesquisador titular e os membros de sua equipe da necessidade de obter as anuências previstas em outros instrumentos legais, bem como do consentimento do responsável pela área, pública ou privada, onde será realizada a atividade, inclusive do órgão gestor de terra indígena, da unidade de conservação federal, distrital ou municipal, ou do proprietário, arrendatário, posseiro ou morador de área dentro dos limites de unidade de conservação estadual cujo processo de regularização fundiária encontra-se em curso;
2. O pesquisador titular deverá contatar a administração dessa unidade a fim de CONFIRMAR AS DATAS das expedições, as condições para realização das coletas e de uso da infraestrutura da unidade de conservação, quando for o caso;
3. O Instituto Estadual de Florestas não se responsabiliza por qualquer dano a equipamentos, acidentes ou lesões físicas ou psíquicas, estando ainda, o pesquisador responsável e sua equipe ciente da vulnerabilidade da área de realização da pesquisa;
4. O material biológico coletado deverá ser utilizado para atividades científicas ou didáticas no âmbito do ensino superior;
5. O titular da autorização e os membros de sua equipe deverão optar por métodos de coleta e instrumentos de captura direcionados, sempre que possível ao grupo taxonômico de interesse, evitando a morte ou dano significativo a outros grupos e empregar esforços de coleta ou captura que não comprometa a viabilidade de populações do grupo taxonômico de interesse em condições *in situ*, quando for o caso;
6. Esta autorização não permite captura/coleta/transporte:
 - para fins comerciais, industriais ou esportivos;
 - para realização de atividades integrantes do processo de licenciamento ambiental de empreendimentos, conforme resolução do CONAMA de nº 237 de 19/12/97, salvo quando especificado;
 - de espécies ameaçadas de extinção em lista oficial federal, salvo quando constante de projeto específico autorizado pelo SISBIO;
 - de espécies ameaçadas de extinção em lista oficial estadual, salvo quando constante de projeto específico autorizado pelo IEF;
 - de fauna e flora em áreas de domínio privado, sem o consentimento expresso ou tácito do proprietário nos termos do Código Civil;
7. Esta autorização não permite transporte interestadual e internacional de material biológico;
8. Esta autorização não dispensa o cumprimento da legislação que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. Veja maiores informações em www.mma.gov.br;
9. O titular desta autorização, assim como os membros de sua equipe, quando da violação da legislação vigente, ou quando da inadequação, omissão ou falsa descrição de informações relevantes que subsidiaram a expedição do ato, poderá, mediante decisão motivada, ter a autorização suspensa ou revogada pelo IEF e o material biológico coletado apreendido nos termos da legislação em vigor;
10. O responsável poderá, durante a validade desta autorização e conforme Termo de Compromisso firmado, solicitar à Gerência de Projeto e Pesquisas do IEF Renovação, Cancelamento ou Conclusão, conforme instruções no site do IEF (<http://www.ief.mg.gov.br/biodiversidade/pesquisa-cientifica>);
11. Esta autorização é válida somente sem emendas ou rasuras e exclusivamente no estado de Minas Gerais;
12. O pesquisador deverá estar sempre acompanhado desta autorização para apresentá-la às autoridades, quando solicitado.

Assinatura do responsável pela Autorização  Henri Dubois Collet Diretor Geral do IEF Masp: 1302849-3	Número do Processo SIGED/SIPRO - IEF/ASPROP
---	---

ANEXO II
Sumário do Processamento do marco: 970157
(2018/11/27 12:43:05,00)

Sumário do Processamento do marco: 970157

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2018/11/27 12:43:05,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2018/11/27 13:45:06,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHCX900R NONE
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	1,770
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,74 GPS 1,10 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,58 GPS 0,26 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	-19° 29' 52,1901"	-44° 00' 37,6660"	666,08	7843787.892	603839.088	-45
Na data do levantamento ⁵	-19° 29' 52,1830"	-44° 00' 37,6679"	666,08	7843788.111	603839.034	-45
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,005	0,019	0,024			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-7,75					
Altitude Ortométrica (m)	673,83					

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.

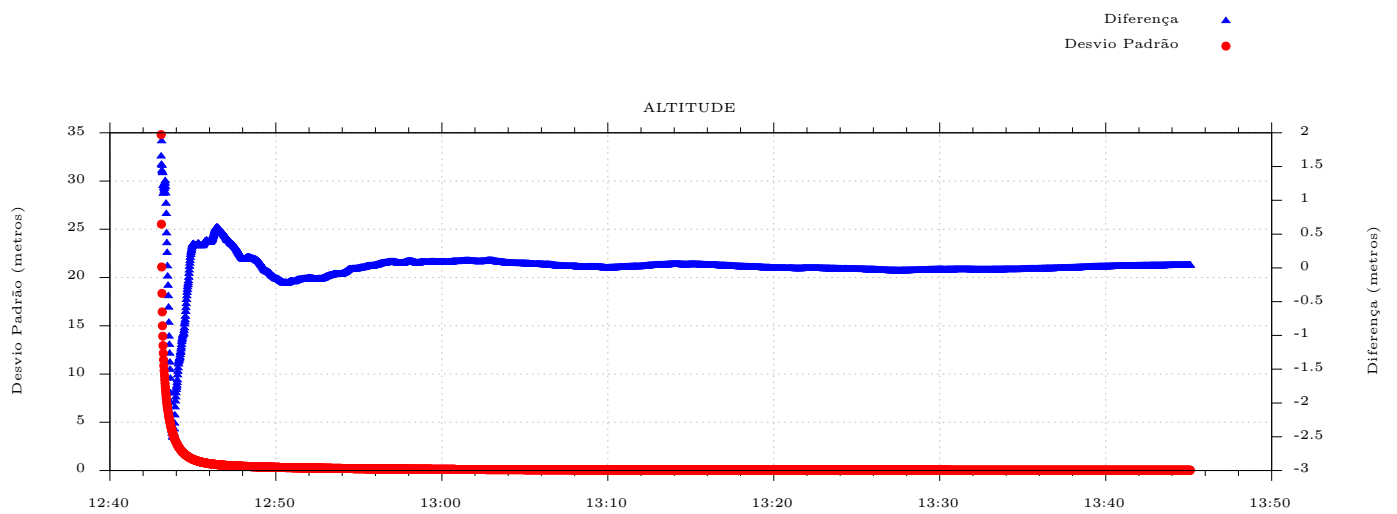
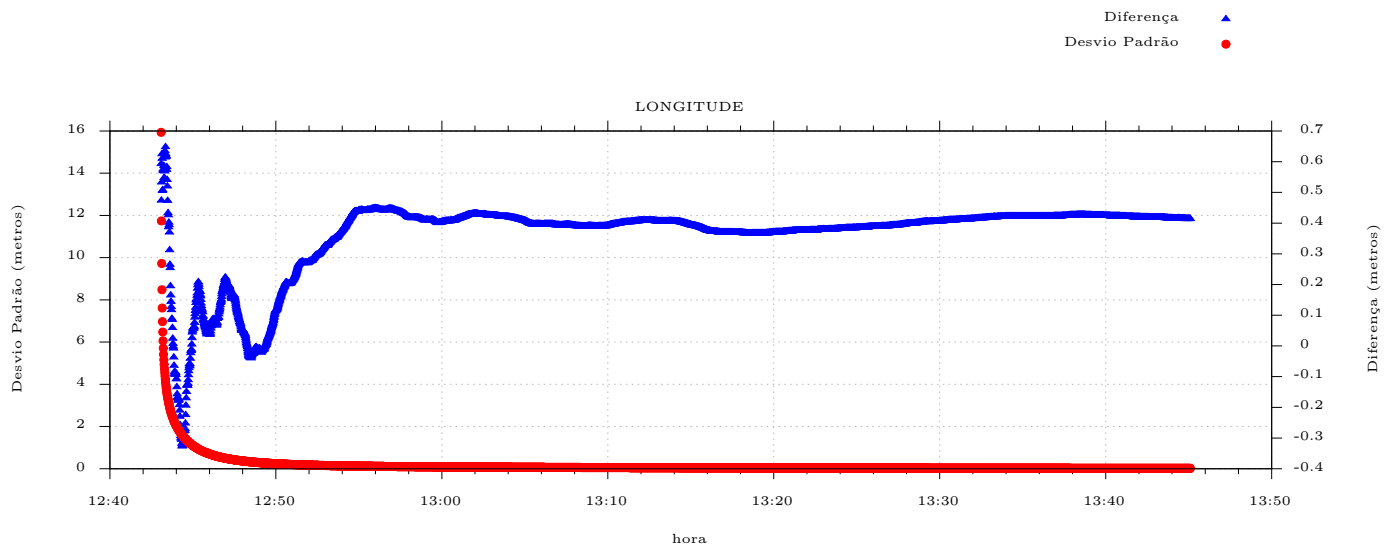
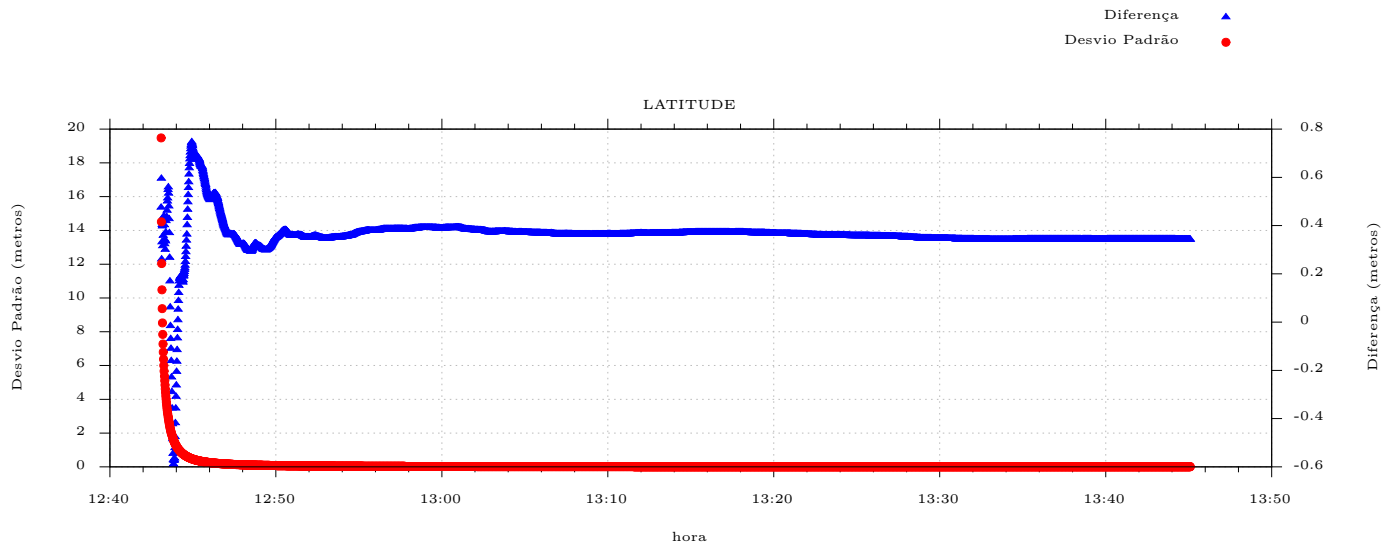
⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

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.



ANEXO III

**Sumário do Processamento do marco: 970157
(2018/11/27 14:40:44,00)**

Sumário do Processamento do marco: 970157

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2018/11/27 14:40:44,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2018/11/27 15:26:53,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHCX91R NONE
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	1,650
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,93 GPS 3,40 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,28 GPS 0,64 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	-19° 29' 45,6401"	-44° 00' 15,2333"	658,14	7843985.463	604494.202	-45
Na data do levantamento ⁵	-19° 29' 45,6330"	-44° 00' 15,2352"	658,14	7843985.681	604494.148	-45
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,018	0,074	0,086			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-7,76					
Altitude Ortométrica (m)	665,90					

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.

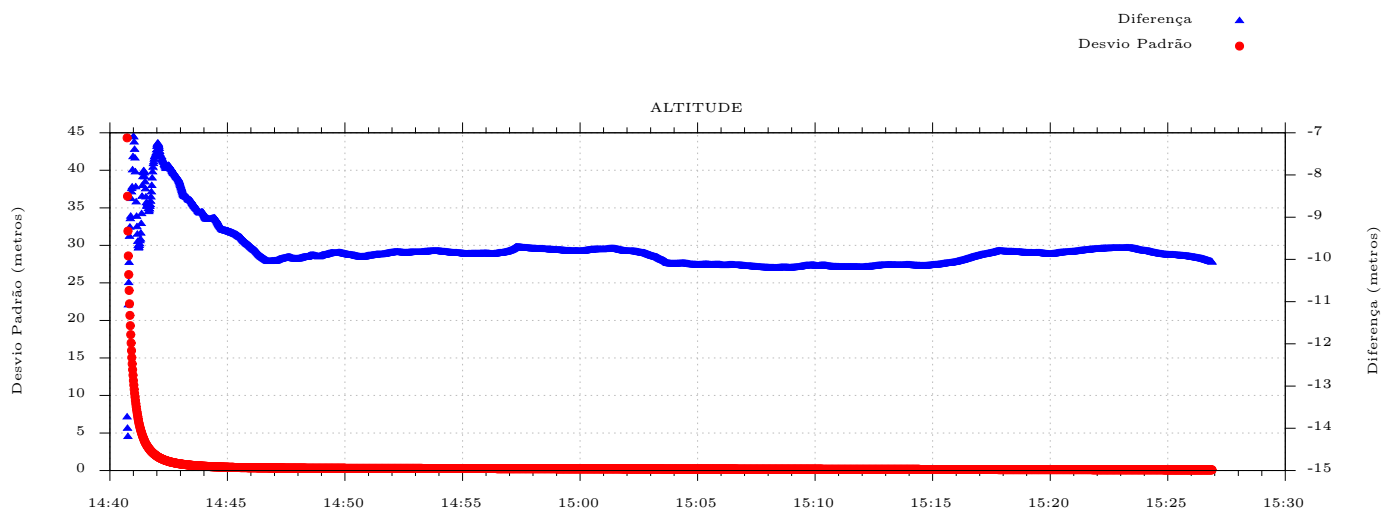
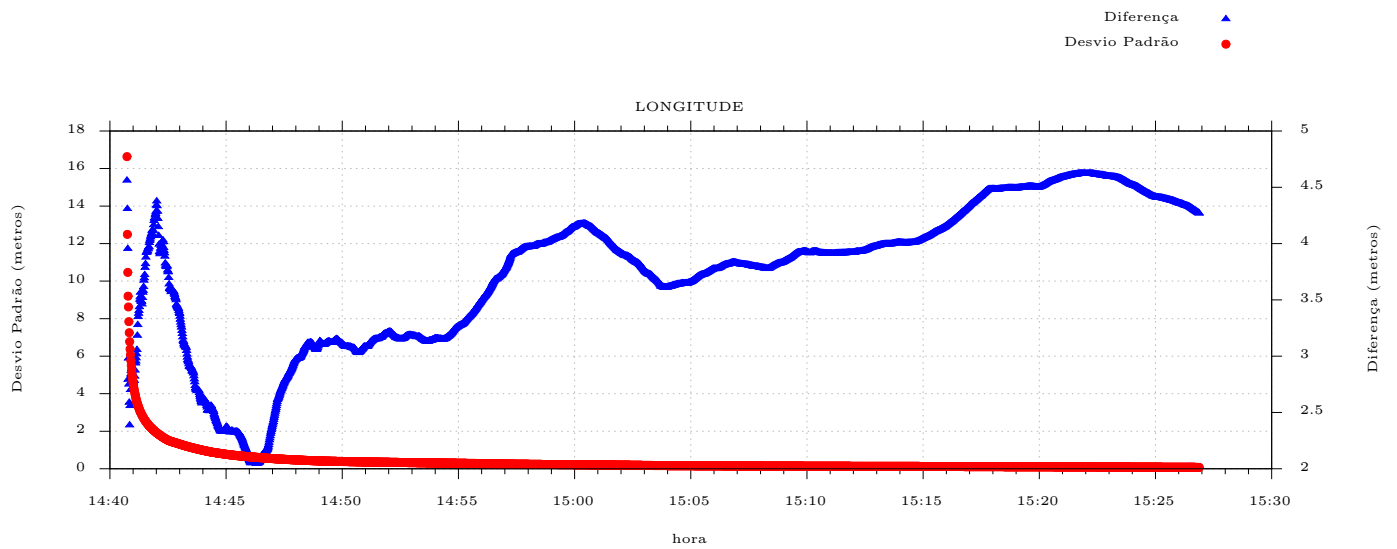
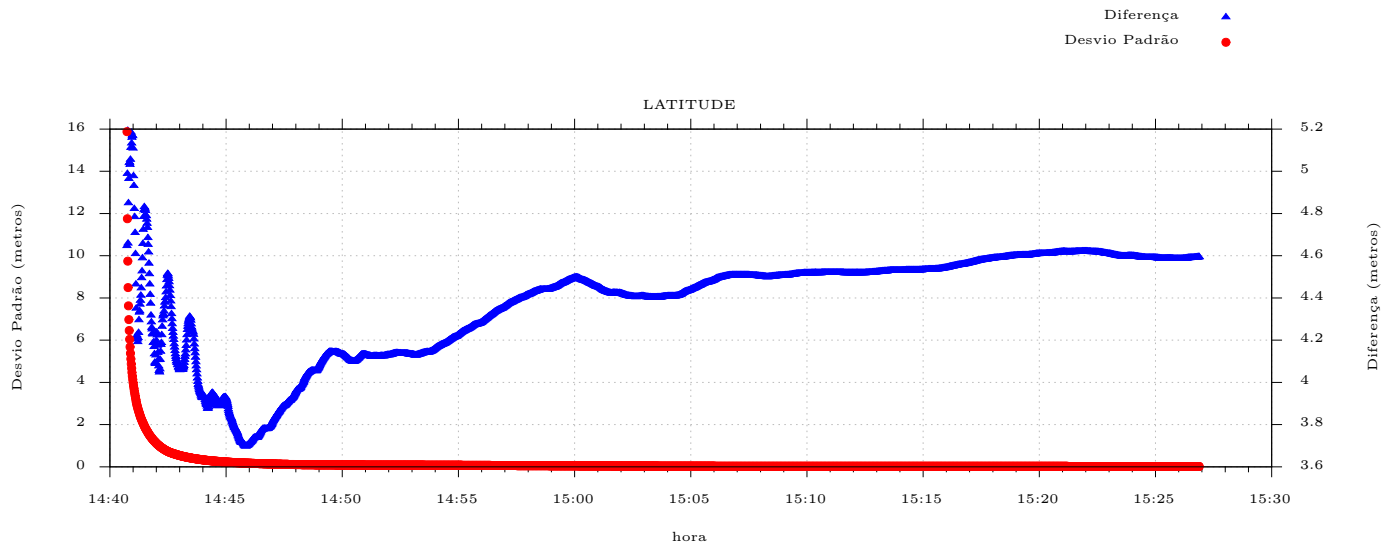
⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

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.



ANEXO IV

Sumário do Processamento do marco: 1033869

(2019/02/21 13:41:36,00)

Sumário do Processamento do marco: 1033869

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/02/21 13:41:36,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2019/02/21 16:11:35,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHCX91R NONE
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	1,850
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,82 GPS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,58 GPS

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	-19° 29' 46,9758"	-44° 00' 37,7004"	658,58	7843948.190	603839.010	-45
Na data do levantamento ⁵	-19° 29' 46,9686"	-44° 00' 37,7023"	658,58	7843948.411	603838.955	-45
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,003	0,004	0,017			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-7,75					
Altitude Ortométrica (m)	666,33					

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.

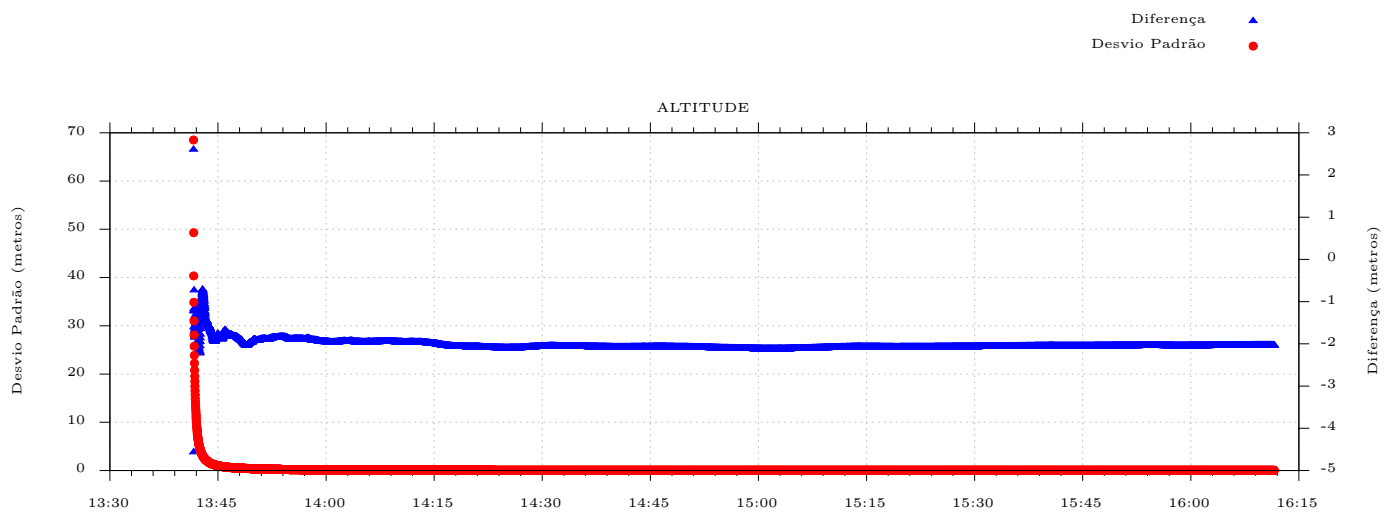
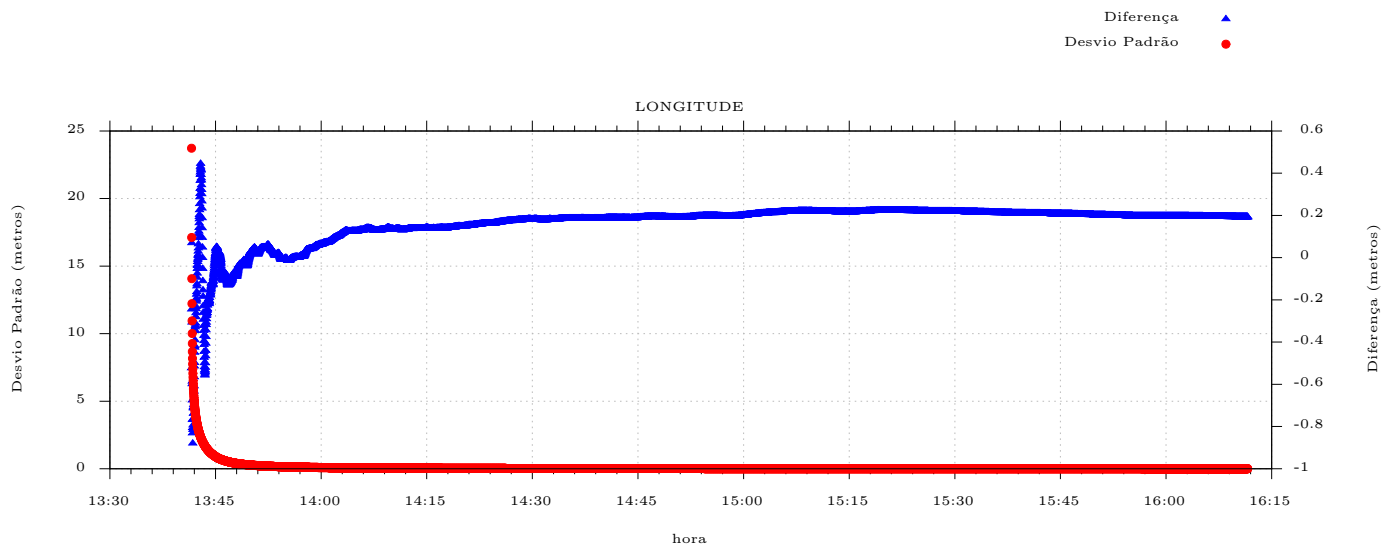
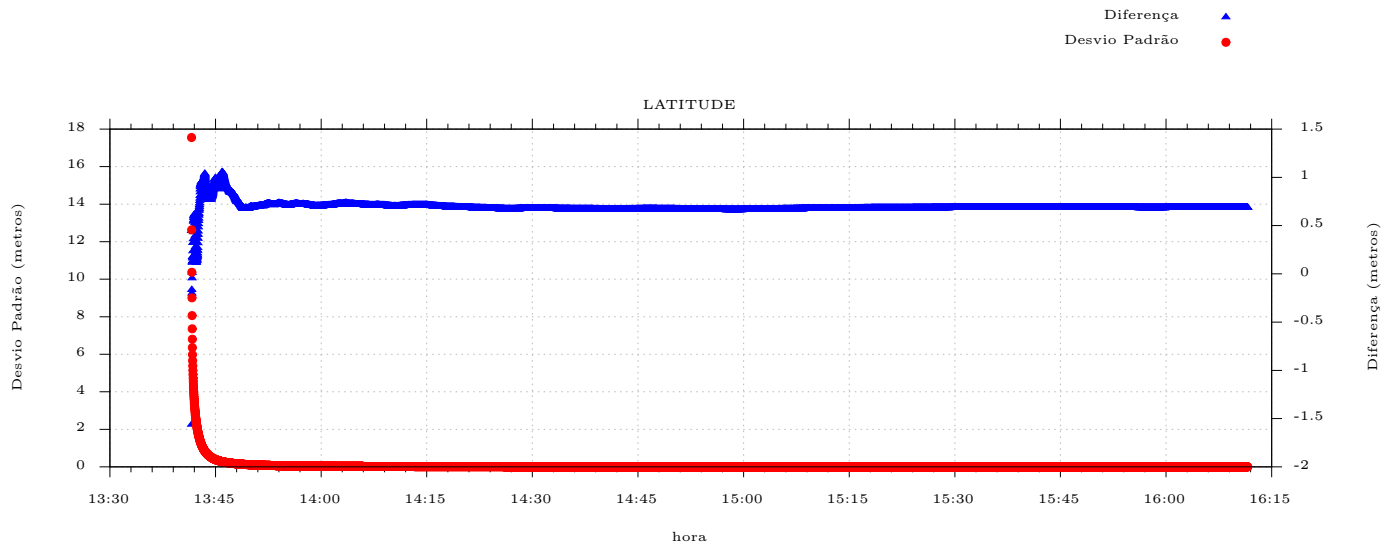
⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

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.



ANEXO V
Mapeamento Morfométrico (base DigitalGlobe)



MAPA MORFOMÉTRICO DO MONAE EXPERIÊNCIA DA JAGUARÁ

Fotointerpretação sobre imagem
satelital DigitalGlobe/Google (2017)

CONVENÇÕES

- | | | |
|--|--------------------|-----------------------------------|
| Feições
Cársticas | ● | Pontos de Incerteza gráfica |
| | — | Diaclasses e/ou fraturas lineares |
| | ■ | Dolinas |
| Compartimentação básica
da paisagem | ■ | MONAE Experiência da Jaguará |
| | ■ | Propriedade Privada |
| | ■ | Afloramento / Maciço |
| | ■ | Corpos d'água |
| | ■ | Pastagens |
| | ■ | Vegetação |
| ■ | Vegetação aquática | |

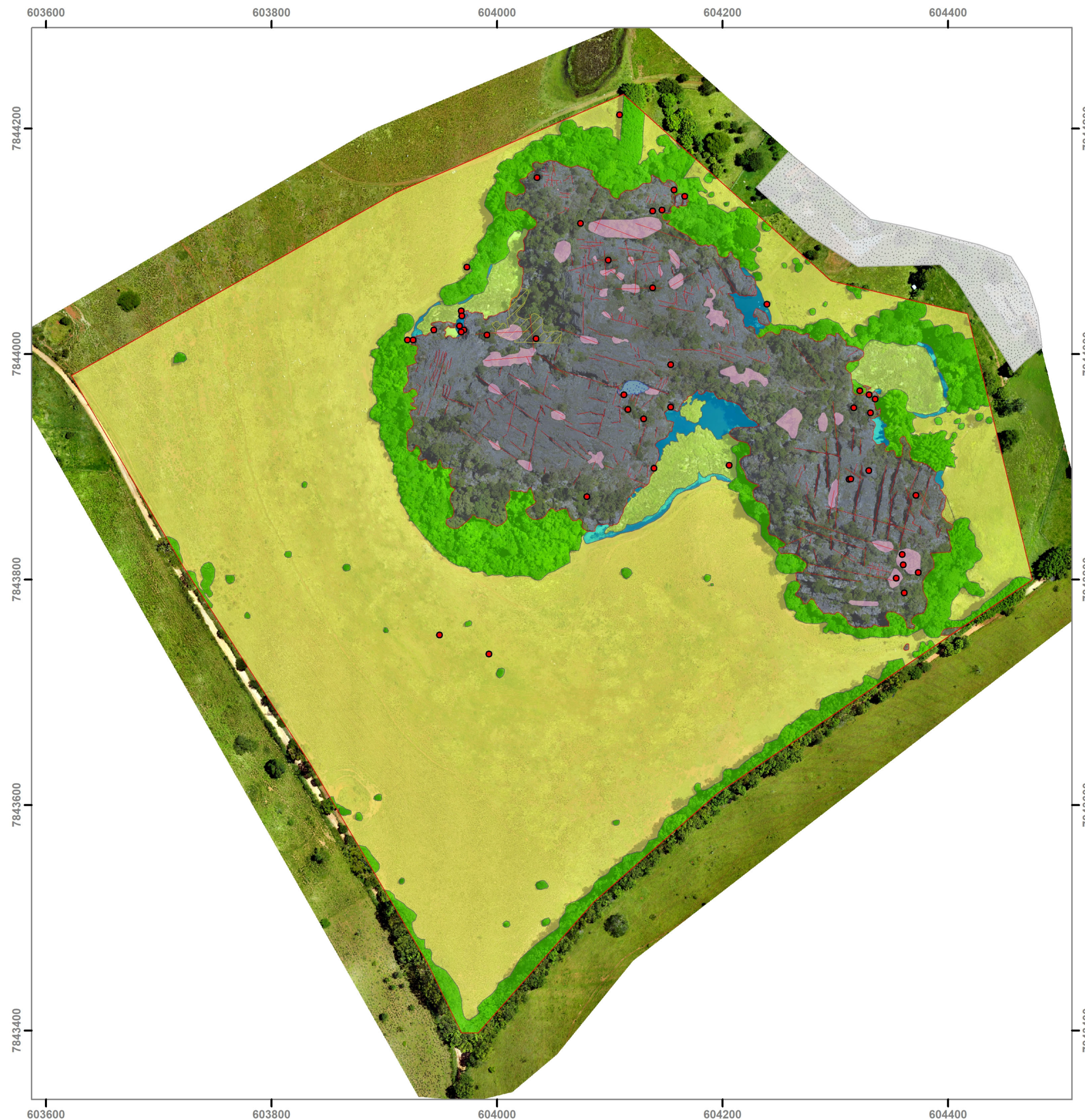


0 25 50 100 150 200 250
m.

1:3.500

Elaboração: Carlos Frederico de Souza Lott. Data: 10/02/2019. Base cartográfica digital: Instituto Estadual de Florestas (2017) e Imagem Satelital DigitalGlobe/Google Earth Pro (2017). Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator. Datum: SIRGAS 2000 (Zona 23K). Escala no formato de saída: 1:3.500. Formato exclusivo de saída: A3

ANEXO VI
Mapeamento Morfométrico (base ortofotografia)



MAPA MORFOMÉTRICO DO MONAE EXPERIÊNCIA DA JAGUARÁ

Fotointerpretação sobre ortofotomosaico
gerado por plataforma remotamente pilotada

CONVENÇÕES

- Pontos de incerteza gráfica
- Feições Cársticas**
 - Diaclases e/ou fraturas lineares
 - Dolinas
 - Dolina com água
- MONAE Experiência da Jaguará
- Propriedade Privada
- Compartimentação básica da paisagem**
 - Afloramento / Maciço
 - Corpos d'água
 - Pastagens
 - Vegetação
 - Vegetação aquática



0 25 50 100 150 200 250
m.

1:3.500

Elaboração: Carlos Frederico de Souza Lott. Data: 10/02/2019. Base cartográfica digital: Instituto Estadual de Florestas (2017) e Ortofotomosaico com imagens geradas em 25/02/2019. Sistema de Coordenadas: Universal Transversa de Mercator. Datum: SIRGAS 2000 (Zona 23K). Escala no formato de saída: 1:3.500. Formato exclusivo de saída: A3